



Universidad Nacional  
**Federico Villarreal**

**VRIN** | VICERRECTORADO  
DE INVESTIGACIÓN

**FACULTAD DE INGENIERIA GEOGRAFICA, AMBIENTAL  
Y ECOTURISMO**

**REMOCION DE CROMO HEXAVALENTE POR PROCESOS  
FISICOQUIMICOS EN EFLUENTES DE CURTIEMBRE DE  
LA EMPRESA IPEPESA, 2020**

**Línea de Investigación:  
Tecnologías para residuos y pasivos ambientales.  
Biorremediación.**

**Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental**

**Autor(a)**

Altamirano Terrones, Luis Antonio

**Asesor(a)**

Sernaque Auccahuasi, Fernando Antonio  
(ORCID: 0000-0003-1485-5854)

**Jurado**

Rojas León, Gladys  
Guillen León, Rogelia  
Ventura Barrera, Carmen Luz

**Lima - Perú  
2021**

**Dedicatoria**

A mis padres María Isabel Terrones Fernández y Edilberto Altamirano Osorio.

A mis hermanos Diana Altamirano Terrones y Daniel Altamirano Terrones

A mi enamorada Rocio Pamela Moreno Tarazona quienes me dieron su apoyo incondicional durante el tiempo que desarrollaba la tesis.

A mi tía Emerita Terrones Fernández quien siempre confió en mi y me aconsejo para ser mejor cada día

A mis amigos mas cercanos, Luz Inga Egoavil, Leonardo Cabredo Carrillo quienes me apoyaron y aconsejaron en todo momento.

A mis maestros Fernando Sernaque Auccahuasi y Omar Vásquez Aranda quienes con paciencia me guiaron y ayudaron a mejorar mi tesis.

## **Agradecimiento**

A Dios, por bendecirme para llegar hasta donde he llegado, haciendo realidad mi sueño anhelado.

A mi alma mater, la “Universidad Nacional Federico

Villarreal”, por darme la oportunidad de estudiar y ser un profesional.

A mis padres María Isabel Terrones Fernández y Edilberto Altamirano Osorio, a mis hermanos Diana Altamirano Terrones y Daniel Altamirano Terrones, a mi enamorada Rocio Pamela Moreno Tarazona y a mis demás familiares y amigos agradecerles por los consejos, la paciencia y el ánimo que me dieron a lo largo de mi camino como profesional.

A los docentes de mi alma mater por darme la oportunidad de aprender de ustedes y ser un profesional.

A mi asesor de tesis el Dr. Fernando Sernaque Auccahuasi, por su esfuerzo y dedicación, quien, con sus conocimientos, experiencia, paciencia y motivación, he logrado terminar mis estudios con éxito.

A todos ellos, les debo mi total agradecimiento, por su apoyo.

## INDICE

<b>RESUMEN</b> .....	9
<b>ABSTRACT</b> .....	10
<b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....	11
1.1 Descripción y Formulación del problema.....	122
1.2 Antecedentes.....	14
1.3 Objetivos.....	23
- Objetivo General.....	23
-Objetivos Específicos.....	23
1.4 Justificación.....	23
1.5 Hipótesis.....	24
<b>II. MARCO TEORICO</b> .....	255
2.1 Bases teóricas.....	255
<b>III. MÉTODO</b> .....	44
3.1 Tipo de Investigación.....	444
3.2 Ámbito temporal y espacial.....	444
3.3 Variables.....	455
3.4 Población y muestra.....	47
3.5 Instrumentos.....	47
3.6 Procedimientos.....	48
3.7 Análisis de Datos.....	49
<b>IV. RESULTADOS</b> .....	50
4.1 Resultados Iniciales de Cromo Hexavalente.....	500
4.2 Resultados de la Dosis Óptima en la Remoción de Cromo VI.....	500
4.3 Resultados Finales de Cromo VI.....	66

4.4 Análisis Estadísticos .....	70
<b>V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS</b> .....	85
<b>VI. CONCLUSIONES</b> .....	88
<b>VII. RECOMENDACIONES</b> .....	89
<b>VIII. REFERENCIAS</b> .....	90
<b>IX. ANEXOS</b> .....	966

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Operacionalización de Variables .....	46
Tabla 2	Caracterización Fisicoquímica.....	500
Tabla 3	Resultados del primer ensayo (Cr <sup>6+</sup> ): Tratamiento 1 .....	511
Tabla 4	Resultados del segundo ensayo (Cr <sup>6+</sup> ): Tratamiento 1 .....	53
Tabla 5	Resultados del tercer ensayo (Cr <sup>6+</sup> ): Tratamiento 1.....	544
Tabla 6	Resultados del primer ensayo (Cr <sup>6+</sup> ): Tratamiento 2 .....	56
Tabla 7	Resultados del segundo ensayo (Cr <sup>6+</sup> ): Tratamiento 2 .....	58
Tabla 8	Resultados del tercer ensayo (Cr <sup>6+</sup> ): Tratamiento 2.....	59
Tabla 9	Resultados del primer ensayo (Cr <sup>6+</sup> ): Tratamiento 3 .....	61
Tabla 10	Resultados del segundo ensayo (Cr <sup>6+</sup> ): Tratamiento 3 .....	63
Tabla 11	Resultados del tercer ensayo (Cr <sup>6+</sup> ): Tratamiento 3.....	64
Tabla 12	Concentraciones finales (Cr <sup>6+</sup> ) del Primer Ensayo y Primer Tratamiento.....	66
Tabla 13	Concentraciones finales (Cr <sup>6+</sup> ) del Segundo Ensayo y Primer Tratamiento .....	67
Tabla 14	Concentraciones finales (Cr <sup>6+</sup> ) del Tercer Ensayo y Primer Tratamiento .....	67
Tabla 15	Concentraciones finales (Cr <sup>6+</sup> ) del Primer Ensayo y Segundo Tratamiento.....	68
Tabla 16	Concentraciones finales (Cr <sup>6+</sup> ) del Segundo Ensayo y Primer Tratamiento.....	68
Tabla 17	Concentraciones finales (Cr <sup>6+</sup> ) del Tercer Ensayo y Segundo Tratamiento .....	69
Tabla 18	Concentraciones finales (Cr <sup>6+</sup> ) del Primer Ensayo y Tercer Tratamiento .....	69
Tabla 19	Concentraciones finales (Cr <sup>6+</sup> ) del Segundo Ensayo y Tercer Tratamiento .....	70
Tabla 20	Concentraciones finales (Cr <sup>6+</sup> ) del Tercer Ensayo y Tercer Tratamiento.....	70
Tabla 21	Caracterización del agua Residual Obtenida .....	71
Tabla 22	Tratamiento 1, Primera dosis aplicada (0.5 ml de CaOH).....	722
Tabla 23	Tratamiento 1, Segunda dosis aplicada (1 ml de CaOH).....	73
Tabla 24	Tratamiento 1, Segunda dosis aplicada (1 ml de CaOH).....	74

Tabla 25	Tratamiento 2, Tercera dosis aplicada (0.5 ml de CaOH) .....	75
Tabla 26	Tratamiento 2, Segunda dosis aplicada (1 ml de CaOH).....	76
Tabla 27	Tratamiento 2, Tercera dosis aplicada (2 ml de CaOH) .....	77
Tabla 28	Tratamiento 3, Primera dosis aplicada (0.5 ml de CaOH).....	78
Tabla 29	Tratamiento 3, Segunda dosis aplicada (1 ml de CaOH).....	79
Tabla 30	Tratamiento 3, Tercera dosis aplicada (2 ml de CaOH) .....	800
Tabla 31	Resultados de tratamientos Dosis 2 ml de CaOH, tiempo 20 minutos .....	811
Tabla 32	Contrastación de hipótesis .....	844

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Concentración de Cr <sup>6+</sup> Vs. CaOH al 0.5% .....	52
Figura 2	Concentración de Cr <sup>6+</sup> Vs CaOH al 1% .....	53
Figura 3	Concentración de Cr <sup>6+</sup> Vs CaOH al 2% .....	55
Figura 4	Concentración de Cr <sup>6+</sup> Vs CaOH al 0.5% .....	57
Figura 5	Concentración de Cr <sup>6+</sup> Vs. CaOH al 1% .....	58
Figura 6	Concentración de Cr <sup>6+</sup> vs. CaOH al 2% .....	60
Figura 7	Concentración de Cr <sup>6+</sup> Vs. CaOH al 0.5% .....	62
Figura 8	Concentración de Cr <sup>6+</sup> Vs CaOH al 1% .....	63
Figura 9	Concentración de Cr <sup>6+</sup> Vs. CaOH al 2% .....	65
Figura 10	Resultados de aplicación del tratamiento 1, dosis 0.5 ml de CaOH .....	722
Figura 11	Resultados de aplicación del tratamiento 1, dosis 1 ml de CaOH .....	73
Figura 12	Resultados de aplicación del tratamiento 1, dosis 2 ml de CaOH .....	74
Figura 13	Resultados de aplicación del tratamiento 2, dosis 0.5 ml de CaOH .....	75
Figura 14	Resultados de aplicación del tratamiento 2, dosis 1.0 ml de CaOH .....	76
Figura 15	Resultados de aplicación del tratamiento 2, dosis 2.0 ml de CaOH .....	77
Figura 16	Resultados de aplicación del tratamiento 3, dosis 0.5 ml de CaOH .....	78
Figura 17	Resultados de aplicación del tratamiento 3, dosis 1.0 ml de CaOH .....	79
Figura 18	Resultados de aplicación del tratamiento 3, dosis 2.0 ml de CaOH .....	80
Figura 19	Resultados de la prueba de Validez Inferencial ANOVA de un solo factor aplicada a la Investigación .....	822
Figura 20	Análisis de cajas realizados a los resultados de prueba inferencial ANOVA de un solo factor .....	83



## RESUMEN

**Objetivo:** Evaluar la remoción de Cromo Hexavalente mediante procesos fisicoquímicos en efluentes de curtiembre de la empresa IPEPESA, 2020. **Método:** La metodología utilizada fue de tipo aplicada de enfoque cuantitativo, además contó con un diseño experimental. La muestra consta de un volumen de 135 litros de efluente de curtiembre. Así mismo se utilizó instrumentos, una ficha de recolección de datos, métodos estandarizados y fichas textuales. **Resultados:** Se encontró que los efluentes de las actividades de curtiembre de acuerdo a su caracterización presentan elevadas concentraciones de Cromo Total, en forma de Cromo III y Cromo VI, alcanzando promedios de 2365 y 385 mg/l respectivamente, y presentando un grado de acidez o pH que fluctúa entre 3.0, 3.1 y 3.3. Las concentraciones finales de Cr 6+, después de cada tratamiento final presentan diferentes valores dependiendo del pH a los que fueron tratados, así tenemos, para el tratamiento 1, el cual presentó una concentración inicial de 410.3 mg/l se alcanzó remover hasta 0.86 mg/l a un pH de 9, mientras que, para el tratamiento 2, con una concentración inicial de 386.5 mg/l se alcanzó remover hasta 0.44 mg/l a un pH de 9.2 y finalmente en el tratamiento 3, con una concentración inicial de 358.2 mg/l se alcanzó remover hasta 0.35 mg/l a un pH de 9.5. **Conclusiones:** Se concluye que si bien es cierto que en los tres tratamientos se alcanzan eficiencias cercanas al 99.8%, los tratamientos 2 y 3, superan los niveles de pH normados por los Valores Máximos Admisibles (9), sin embargo, el tratamiento 1, es quien alcanza los niveles que no superan los Valores Máximos Admisibles, siendo 0.48 mg/l para Cr 6+ y pH de 9.

*Palabras clave:* cromo, efluente, curtiembre, fisicoquímico, valores máximos admisibles.

## ABSTRACT

**Objective:** Evaluate the removal of hexavalent chromium through physicochemical processes in tannery effluents from the IPEPESA company, 2020. **Method:** The methodology used was of an applied type of quantitative approach, it also had an experimental design. The sample consists of a volume of 135 liters of tannery effluent. Likewise, instruments, a data collection sheet, standardized methods and textual sheets were made. **Results:** It was found that the effluents from the tanning activities, according to their characterization, present high concentrations of Total Chromium, in the form of As III and Chromium VI, reaching averages of 2365 and 385 mg/l respectively, and presenting a degree of acidity or pH that fluctuates between 3.0, 3.1 and 3.3. The final concentrations of Cr 6+, after each final treatment present different values depending on the pH at which they were treated, thus we have, for treatment 1, which presented an initial concentration of 410.3 mg/l, it was possible to remove up to 0.86 mg /l at a pH of 9, while for treatment 2, with an initial concentration of 386.5 mg/l, it was possible to remove up to 0.44 mg/l at a pH of 9.2 and finally in treatment 3, with an initial concentration of 358.2 mg/l was able to remove up to 0.35 mg/l at a pH of 9.5. **Conclusions:** It is concluded that although it is true that in the three treatments efficiencies close to 99.8% are reached, treatments 2 and 3 exceed the pH levels regulated by the Maximum Admissible Values (9), however, treatment 1, it is who reaches levels that do not exceed the Maximum Admissible Values, being 0.48 mg/l for Cr 6+ and pH of 9. *Keywords:* chrome, effluent, tannery, physicochemical, maximum admissible values.

*Keywords:* chrome, effluent, tannery, physicochemical, maximum admissible values.

## I. INTRODUCCIÓN

El Cromo es un elemento que encontramos en la naturaleza como un mineral conocido como cromita en unión con otros elementos como el hierro y magnesio, el cual favorecido por sus diferentes estados de oxidación 2+, 3+, 4+, 5+ y 6+, puede ser utilizado en diferentes aplicaciones a nivel industrial. Bajo este último concepto, el Cromo Trivalente y Hexavalente (III y VI) son utilizado como curtidor de pieles en las actividades de curtiembre, sin embargo, no todas las sales de cromo pueden ser fijadas en la epidermis o unirse al colágeno que es la finalidad principal, quedando concentraciones que forman parte de los efluentes al final del proceso.

Diferentes estudios indican que el  $\text{Cr}^{+6}$  es relativamente mucho más toxico que el  $\text{Cr}^{+3}$ , presentando este último hasta 1000 veces menor grado de toxicidad (Chávez, 2010). El Cromo VI es considerado como una de las especies más toxicas y cancerígenas (Codd et al., 2001), donde sus principales estados pueden estar formando iones Cromatos o Dicromatos (Cervantes et al., 2001). Las concentraciones de Cromo Total en las aguas naturales son relativamente bajas (10 ug/l), esto debido al pH que presentan, quien permite tenerlos formando precipitados como  $\text{Cr}(\text{OH})_3$ , de manera insoluble (Chávez, 2010), en el caso del ion cromato es más soluble a diferencia del ion dicromato quien solo puede estar solubilizado a niveles de pH ácidos, sin embargo cuando se vierten estos efluentes a los ríos las concentraciones pueden alcanzar hasta 25 ug/l (Tapia et al., 2002).

La industria de la curtiembre tiene un enorme impacto, dadas las características de los efluentes que se vierten, por ello se planteó en la presente investigación remover el Cromo VI mediante procesos fisicoquímicos, encontrando la dosis óptima y eficiente que no genere costos adicionales.

## **1.1. Descripción y formulación del problema**

### **1.1.1. Descripción del problema**

Las actividades de curtiembre siempre han sido una de las mayores preocupaciones tanto a nivel nacional como internacional debido al tipo de efluente que éste genera, que por lo general son una mezcla de ácidos, bases, surfactantes y sales de cromo (Quijano et al. 2015), propias del proceso del curtido de pieles, y muchas veces no son tratadas adecuadamente por el costo que pueden generar, por la falta de un método adecuado o por los insumos químicos que se utilizarían que resultan poco amigables con el ambiente (Maksaev, 2009).

El proceso de curtiembre en general pasa por una serie de etapas de pretratamiento, curado, desinfección, pelambre, desencalado, descarnado, desengrasado, piquelado, curtido, secado, engrasado y planchado, generándose en cada proceso diferentes tipos de residuos y efluentes conteniendo sustancias toxicas contaminantes.

Así tenemos al Cromo como uno de los principales metales pesados, considerados como peligrosos por su alto grado de toxicidad y se encuentran en las aguas residuales de curtiembres, el cual puede estar presente en dos de sus principales especiaciones, como Cromo III o Cromo IV. Estas especies del Cromo son descargadas al ambiente mediante diferentes efluentes industriales causando contaminación en suelos y agua (Sanjay et al. 2020).

Las especies más comunes de este elemento son el cromo metálico Cr (0), Cr<sup>3+</sup> y Cr<sup>6+</sup>, aunque puede existir en 9 estados diferentes de oxidación. Las actividades humanas que aumentan las concentraciones de Cr<sup>3+</sup> son el acero, las peleterías y las industrias textiles, curtiembres, pintura eléctrica y otras aplicaciones industriales del Cr<sup>6+</sup>. Todas estas aplicaciones en general aumentarían las concentraciones del Cr en agua, otra forma de es mediante la combustión del carbón, donde el Cr será también dirigido al agua y algunas veces se disolverá.

El cromo hexavalente  $\text{Cr}^{6+}$  es la especie más tóxica de este metal, por ser considerado un potente oxidante de la materia orgánica, como otros metales pesados peligrosos es considerado altamente mutagénico, carcinogénico y teratogénico. En diferentes estudios de toxicidad se ha demostrado que es 100 veces más tóxico y 1000 veces más mutagénico que en su estado trivalente, es por este motivo que en la actualidad el  $\text{Cr}^{6+}$  se considera un contaminante prioritario para muchos países en el mundo, su exposición genera alto riesgo a carcinomas (Langard y Costa 2014).

La inhalación de  $\text{Cr}^{6+}$  puede ocasionar cáncer y efectos no cancerígenos sobre la salud. Algunas formas de cáncer se dan por ejemplo cuando se respira  $\text{Cr}^{6+}$  durante un largo período de tiempo, de tal manera que incrementa el riesgo de cáncer de pulmón y cánceres nasales, otras formas no cancerígenas se dan al respirar  $\text{Cr}^{6+}$  a niveles altos, y con el tiempo puede generar o empeorar ciertas condiciones de salud, incluyendo por ejemplo irritaciones de la nariz, la garganta y los pulmones, con síntomas de secreción nasal, tos, u otros síntomas alérgicos como sibilancias, dificultad para respirar, o llegando inclusive a manifestarse mediante llagas nasales y perforación de la membrana que separa las fosas nasales, su exposición por los altos niveles encontrados se da en los lugares de trabajo que se producen en las industrias de curtiembre, (Quijano et al. 2015).

Es así que, se necesita aplicar métodos que permitan remover el  $\text{Cr}^{6+}$  de las aguas residuales de curtiembre, los cuales pueden encontrarse en un principio como Cromo trivalente, pero por procesos oxidativos pueden llegar a transformarse en Cromo hexavalente haciendo mucho más peligroso y tóxico para el ambiente.

### **1.1.2. Formulación del problema**

#### 1.1.2.1 Problema General

➤ ¿Cómo será la remoción de Cromo Hexavalente mediante procesos fisicoquímicos en efluentes de curtiembre de la empresa IPEPESA, 2020?

### 1.1.2.2 Problemas Secundarios

- ¿Cuáles serán las concentraciones de Cromo Hexavalente antes del tratamiento por procesos fisicoquímicos en el efluente de curtiembre de la Empresa IPEPESA, 2020?
- ¿Cuál será la dosis óptima para la remoción de Cromo hexavalente por procesos fisicoquímicos en el efluente de curtiembre de la Empresa IPEPESA, 2020?
- ¿Cuáles serán las concentraciones finales de Cromo Hexavalente después del tratamiento por procesos fisicoquímicos en el efluente de curtiembre de la Empresa IPEPESA, 2020?

## 1.2. Antecedentes

### 1.2.1. Antecedentes internacionales

Cerón (2011), en su investigación sobre “Estudio de un sistema físico-químico a escala prototipo de tratamiento de aguas residuales provenientes de una curtiembre” en cuyo estudio tiene como uno de sus objetivos específicos: Implementar un sistema de tratamiento de aguas residuales a escala laboratorio para la remoción de los siguientes contaminantes de los efluentes de los procesos de remojo, pelambre y curtido de una curtiembre: cromo, sulfuro, sólidos totales en suspensión y materia orgánica como DQO. Para lo cual se buscó la relación que existe entre pelambre/curtido para poder alcanzar su neutralización, luego se determinó la posibilidad de incorporar un sistema de lechada de cal que permita la absorción del H<sub>2</sub>S removido; y los lodos producidos en la neutralización y que hospedan el cromo fueron sometidos a un proceso de estabilización por solidificación con cemento. Independientemente, al efluente de remojo se le cometió a un proceso de coagulación floculación para su remoción de materia orgánica y sólidos. Finalmente se llegó a la conclusión que el prototipo para el tratamiento físico-químico de los efluentes de pelambre y curtido cuentan con una remoción de sulfuro y cromo superior al 98% luego de la sedimentación de los lodos de proceso aproximadamente de 6 días, no

obstante, aun cuenta con altas concentraciones de materia orgánica y sólidos por lo cual se puede tener en cuenta implementar etapas post tratamiento, pues el proceso investigado en esta tesis constituye un tratamiento preliminar.

Suárez y Agudelo (2014) en su artículo científico sobre: “Tratamiento de agua residual procedente de la industria de curtiembres mediante humedales Subsuperficiales usando *Zantedeschia Aethiopica*” emplearon como metodología la construcción de humedales como pruebas piloto, las cuales se realizaron empleando 2 contenedores de 51 cm de largo, 35 cm de ancho y 30 cm de alto los cuales tenían un sustrato de grava mixta de 25 cm de altura , constituida por 2 tipos de granulometría de 9 mm y 12,5 mm de diámetro. Uno de los humedales fue plantado con *Zantedeschia aethiopica* mientras el otro se dejó sin plantar como control. Para llevar a cabo el acondicionamiento del humedal se diluyó de 1 a 20 partes el agua de curtiembre con agua lluvia, esta etapa se estableció por 6 días, luego se modificó la dilución de 1 a 10 partes, por 6 días también. Finalmente se realizó una dilución 1 a 5 durante 8 días y para finalizar el proceso se alimentaron los humedales con agua residual cruda por un periodo de 6 días. El agua fue recirculada empleando bombas HANNA INSTRUMENTS, con un caudal máximo de salida de 5 litros por hora a una presión de 7 bares. Se empleó un flujo de 10 en la escala de 1 a 100 que tiene la bomba, el cual dio un caudal de 4.690l/h para las condiciones del experimento. Las mangueras de descarga de las bombas que suministran el agua residual a los humedales se colocaron al extremo opuesto del nivel de salida de cada humedal para garantizar que el tiempo real de permanencia del agua sea más cercano al tiempo de retención hidráulico. Antes del arranque de los humedales en cada etapa, se realizó una caracterización de la muestra de agua residual. En distintos periodos se realizó la evaluación de los parámetros pH, turbiedad, DQO y Cromo total, en base a los métodos estandarizados. Para cada etapa del muestreo se tomó una planta para el análisis de Cr en raíz, tallos y flor de la misma. Finalmente se concluye que para las diferentes etapas del humedal se logró reducir de la carga contaminante del agua,

lo cual indica que este sistema es una alternativa de solución para el tratamiento de aguas contaminadas por carga orgánica y metales pesados. La remoción de materia orgánica por microorganismos presentes en el humedal fue predominante. Los procesos fitotóxicos del cromo presentes en los efluentes sobre el desarrollo de la *Zantedeschia aethiopica* fueron negativos, lo cual se evidenció con el crecimiento de hojas y flores en el periodo de evaluación del mismo. Tal es así que se puede considerar a la *Zantedeschia aethiopica* como una planta eficiente para el proceso de fitorremediación debido a la remoción del Cromo del agua y la fitoestabilización del metal, además de fitoacumulación en sus tallos, hojas y flores.

Morocho (2017), en su investigación sobre “Tratamiento de Aguas Residuales de una Curtiembre en el Canton Cuenca mediante la Aplicación Dosificada de EMAs (Microorganismos Eficientes Autóctonos)”, estudio en el cual plantea y analizan 3 tratamientos para aguas residuales de una curtiembre en la Ciudad de Cuenca, es así que se analizó un tratamiento físico químico (Terra flock GM – Back Flock RR) y posteriormente 2 tratamientos que consisten en microorganismos eficientes/efectivos (EM® y EM1). Esta investigación se realizó para la Curtiembre Solcuero asituada en la Provincia del Azuay, Ciudad de Cuenca – Ecuador. La muestra de agua fue tomada en la fábrica y la captura de las EMAs se realizó en la rivera del río. Como se planteó analizar tres métodos para el tratamiento de dichas aguas residuales, las cuales deben contar en su caracterización con los siguientes parámetros Cr; Sustancias solubles al hexano; PH; DBO5; DBO; Solidos Sedimentables; Solidos Suspendedos; Solidos Totales; Sulfuros. Coliformes totales y termotolerantes.

Posteriormente las aguas residuales se dosificaron por un lado las EMAs recolectadas antes y analizadas; y por el otro lado la EM1 tecnología de Efficient Microorganisms fundamentado en la actividad sinérgica de consorcios de microorganismos eficaces implementada como referencia para el tratamiento de aguas contaminadas puesto que según (Higa y Parr, 1996) aumentan la densidad de microorganismos que pueden emplear



compuestos contenidos en el agua como fuente de carbono y energía para su metabolismo y crecimiento, regenerando una reducción sus concentraciones (Cardona y García, 2009).

Finalmente se comprobó el efecto de los EMAs en la purificación y descontaminación de las aguas residuales de la Curtiembre, concluyendo que los microorganismos eficientes no purifican y descontaminan las aguas de la curtiembre, pese a que se observó mientras se realizaba el tratamiento se obtenía un sedimento marcado, sin embargo, los resultados indicaron que los valores del agua no estaban dentro de los límites máximos permisibles según la norma TULAS. Por otro lado, se concluyó que ninguno de los 3 métodos propuestos en este estudio es eficiente para este tipo de agua de la curtiembre, los tratamientos con microorganismos son eficientes se produce un sedimento marcado al finalizar, no se obtuvo resultados con valores dentro de la norma para descarga, hay que recalcar que el tratamiento físico químico desarrolló mejores resultados, pese a que casi todos los parámetros medidos presentaron resultados fuera de norma de descarga según el TULA.

Glorias (2014), en un estudio que realizó sobre “Remoción de Cr +6 empleando un Sistema de Filtración con  $\alpha$ -Alúmina” donde planteó como objetivo general: Evaluar el sistema de filtración con un disco de  $\alpha$ -Alúmina en un proceso de recirculación en continuo donde se plantea remover más del 50% de Cr+6 en 5 filtraciones. La metodología empleada en la presente investigación contó de 06 etapas: la 1era etapa contó de la elaboración del disco de  $\alpha$ -alúmina sintetizado, en la 2da etapa se procedió a hacer la Caracterización del disco antes y después de hacer contacto con las soluciones de  $K_2Cr_2O_7$  y agua desionizada, en la 3era etapa se procedió a prepararon las soluciones de cromo de diferentes concentraciones, en la 4ta etapa se experimentó la filtración en continuo de la solución de Cr (VI), en la 5ta etapa se realizó las cinéticas de adsorción con  $\alpha$ -Alúmina y se determinó el modelo cinético y en la 6ta y última etapa se determinó en punto de saturación del Cr VI en los discos de  $\alpha$ -Alúmina. Concluyéndose que este método de remoción de Cr (VI) puede emplearse en procesos en continuo ya que se

podrían escalar y establecer diferentes discos hasta alcanzar la concentración deseada de modo que el agua pase a los procesos de tratamiento tradicional, por último cabe resaltar que al realizar las filtraciones con diversas concentraciones se alcanzaron remociones de 50% y 80% para concentraciones altas y pequeñas respectivamente solo con 5 filtraciones y en menos de 5 minutos; tal es así que se obtuvo que este método de remoción es mayor comparado con la cinética, que para obtener 50% se necesita de más de 1 hora.

Cuberos et al. (2009), en su artículo científico sobre “Niveles de Cr y Alteraciones de Salud en una Población Expuesta a las Actividades de Curtiembres en Bogotá, Colombia” donde planteó como objetivo: Determinar si los niveles de Cr en orina superan los límites permitidos y contrastarlos con alteraciones de salud en personas del barrio San Benito - Bogotá. Dentro de la metodología empleada se contó con una muestra de 827 personas, donde se cuantificó el Cr total en orina como biomarcador de exposición y se contrastó con alteraciones de salud atribuibles a exposición a Cr. La exposición se presenta por la “Ocupación actual” relacionada con la labor en curtiembres. Como resultados se obtuvo que un 6,3 % presentó niveles de Cr >10 ug/L (intervalo de confianza: 4,64- 7,96 %). El 34,3 % cuenta con diagnósticos posiblemente ocasionados por la exposición a Cr. El 23,3 % otorrinolaringológico; 6,5 % dermatológico; 2,9 % oftalmológico; 1,6 % cavidad oral y el 65,7 % no relacionados. Se encontró una relación entre los niveles >10ug/L y vivir en esta zona. Finalmente se concluye que las personas que trabajan en el proceso productivo de cuero presentan un riesgo significativo de padecer patologías por la exposición a cromo.

### **1.2.2. Antecedentes nacionales**

Juarez et al. (2019), en la investigación que desarrollaron sobre “*Determinación de los Parámetros Electroquímicos Óptimos para la Remoción de Cromo (III) y DQO en Aguas de Curtido a través del proceso de Electrocoagulación en un Reactor de Recirculación*” plantearon como objetivo general: Encontrar los parámetros óptimos para la remoción de Cr

(III) Y DQO de las aguas residuales de curtido, mediante el proceso de electrocoagulación. Esta investigación se desarrolló en la ciudad de Arequipa, en la empresa “Curtiembre Austral” localizada en el Parque Industrial de Rio Seco, dentro de la metodología se realizaron pruebas de electrocoagulación en el laboratorio de Electroquímica de la Universidad Nacional de San Agustín. Los analitos se analizaron en un laboratorio acreditado. La recolección de muestra del efluente del proceso de curtido fue de manera directa de los botaes (donde se realiza el proceso de curtido), aplicando un muestreo aleatorio sistemático, posteriormente fueron almacenadas en porongos de polietileno y para prevenir la descomposición, preservando dichas muestras con ácido sulfúrico para realizas los ensayos y caracterización respectiva. El cálculo de parámetros in situ, se realizaron directamente en el cuerpo de agua. El diseño y construcción de la celda electrolítica constó de un recipiente rectangular de vidrio para un volumen de 40L y de dimensiones 40cm altura x 40cm ancho x 80cm largo contando con 3 divisiones internas para una mejor electrodeposición. Posteriormente se instaló la celda electrolítica, electrodos de Al y Fe a una distancia de 1 y 2cm respectivamente, se utilizó una bomba de agua y una fuente de poder conectada a los electrodos a través de un alambre de Cub. El paso de corriente se dio en un tiempo de 60 y 90 min con un voltaje de 3V y un amperaje de 20 A y 30 A. Las determinaciones de Cromo (III), Cromo (VI), Cromo Total y DQO de la muestra fueron medidos mediante métodos estandarizados, para corroborar el porcentaje de remoción y realizar una comparación de las concentraciones iniciales y finales de los analitos tomando en cuenta los LMP de los analitos. Para el procesamiento de datos se empleó un diseño factorial DOE, en el programa estadístico MINITAB 2017. Finalmente llegando a la conclusión que los parámetros eficientes para reducir Cromo (III) y DQO mediante el proceso de electrocoagulación fueron: la distancia entre los electrodos de Al y Fe de 1cm; densidad de corriente de 2,5 A/m<sup>2</sup> y tiempo de remoción de 240 min. Y por último afirmar que se alcanzó

el objetivo reduciendo el Cr (III) de 2484 ppm a 0,3 ppm y el DQO de 8200 ppm a 38 ppm, encontrándose estos valores por debajo de los LMP.

Olivera (2018), en su estudio que realizó sobre: “Remoción de Cr VI de aguas residuales de curtiembres empleando el polvo de la semilla de Moringa oleífera como coagulante natural en la región Puno, 2018” planteó como objetivo general: Determinar la remoción de Cr VI de aguas residuales de curtiembres empleando el polvo de la semilla de Moringa oleífera como coagulante natural en la región Puno. La metodología presentada en esta investigación fue de coagulación y floculación empleando la prueba de jarras. Las pruebas se realizaron a una mezcla rápida y lenta de 1 hora de sedimentación a 200 rpm por 60 segundos y 45 rpm por 10 min respectivamente; en esta investigación se tuvo como variable independiente: el pH (8 y 10) y a la concentración del coagulante de Moringa oleífera de (5 % y 7 %). Posteriormente se llevaron a cabo 4 ensayos con 3 repeticiones. Concluyéndose finalmente que la mayor remoción se obtiene empleando una concentración de 7 % y pH 10, logrando la remoción del 95.6 % del Cr VI, tal es así que la semilla de Moringa oleífera pasa a ser un coagulante eficiente en la remoción de este metal en aguas residuales de curtiembre, y se determina también que el pH y la concentración de coagulante influyen directamente en la Remoción de Cr VI las variables independientes del estudio si influyen en la remoción de metal cromo VI.

Mendoza (2016), en su investigación que realizó sobre “Efecto precipitante del Hidróxido de Sodio y Óxido de Magnesio en la Remoción de Cr del Efluente de Curtido, Inversiones HAROD S.A.C”, planteó como objetivo general: Evaluar el efecto precipitante del hidróxido de sodio y óxido de magnesio en la remoción del efluente de la etapa de curtido de Inversiones HAROD S.A.C, a nivel laboratorio. Dentro de la metodología en la investigación se aplicó un diseño experimental unifactorial, la muestra utilizada fue de 5 litros de efluente de curtido, el proceso de análisis de datos se desarrolló empleando el método ANOVA para contrastar la hipótesis planteada. Los parámetros fisicoquímicos del efluente residual de curtido

se calcularon mediante métodos normalizados para el análisis de aguas residuales y para determinar la concentración de cromo antes del proceso de precipitación se realizó por el método de volumetría, y las concentraciones de cromo después de los tratamientos se calcularon empleando el método de espectrofotometría de absorción atómica a llama. Finalmente se llegó a la conclusión que se logró remover en un 99,96 % el cromo del efluente, utilizando una dosificación de hidróxido de sodio y óxido de magnesio de 3:2 en un tiempo de agitación de 60 minutos, reduciendo de 42 915 ppm hasta 16,7 ppm de Cr respectivamente mostrando un valor muy cerca a los VMA (Valores máximos admisibles) dispuestos por D.S. N° 021-2009-VIVIENDA.

Muñis (2016), en su investigación sobre “Eficiencia del biosorbente de coronta de maíz para la adsorción del Cr Hexavalente en aguas residuales de la industria Curtiembre Huachipa - 2016”, en cuyo estudio tiene como uno de sus objetivos específicos: Evaluar las características fisicoquímicas del biosorbente de coronta de maíz para la adsorción de Cr VI en aguas residuales de la industria curtiembre Huachipa-2016. Dentro de la metodología, para el tratamiento de las aguas residuales de la industria curtiembre, en el desarrollo de esta investigación se empleó como biosorbente la coronta de maíz la cual fue modificada químicamente. Esta investigación fue de tipo explicativo, diseño de estudio pre experimental, ya que se modifican las variables de estudio, así mismo se utiliza el enfoque cuantitativo. La técnica empleada es la observacional y el instrumento donde se registró lo observado una ficha de recolección de datos, el cual se aplicó a una muestra de 20 litros de agua residual de la industria curtiembre en el distrito de Huachipa , el procesamiento de la estadística aplicada fue mediante el programa Excel 2013 y el programa SPSS v21.Finalmente se llegó a la conclusión que características fisicoquímicas del biosorbente de coronta de maíz influyen en la adsorción del cromo hexavalente en aguas residuales de la industria curtiembre Huachipa-2016. Ya que en todos los tratamientos se logró un resultado eficiente, también se obtuvo que el biosorbente

de coronta de maíz es altamente eficiente para tratar aguas residuales de la industria curtiembre, el cual dio un porcentaje de remoción de 83.5% con el tratamiento T1, a 60 min de tiempo de contacto con 100 r.p.m.

Portada (2016), en la investigación que realizó sobre “Tratamiento de las Aguas Residuales del Proceso de Curtido en Pieles por Procesos Físico-Químico de la Curtiembre de la Facultad de Ingeniería Química de la UNA-PUNO” planteó como objetivo general: Desarrollar un sistema de tratamiento de las aguas residuales del proceso de curtido de pieles mediante procesos físicoquímico de la curtiembre de la Facultad de Ingeniería Química de la UNA-Puno. En esta investigación las aguas residuales a tratar provienen del proceso de curtido de pieles de animales de la curtiembre de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Altiplano. Se establecieron condiciones específicas para desarrollar el tratamiento físico-químico de las principales aguas residuales de curtiembre: remojo, pelambre y curtido; para obtener un agua residual cuyas concentraciones cumplan los valores de la norma para sólidos totales, sulfuro y cromo. Por tal motivo se determinó los niveles específicos para la coagulación y floculación de las aguas residuales de remojo empleando  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$ , así se obtuvo que los porcentajes de remoción de sólidos totales (ST) son del 98.78 %. Por otro lado, para el tratamiento de aguas residuales de pelambre se desarrolló aireando la muestra, empleando como catalizador sulfato de manganeso ( $MnSO_4$ ) para la oxidación de sulfuros, logrando de esta forma oxidar los sulfuros de las aguas residuales en un 91.45%, en cuanto a las aguas residuales de curtido, se empleó soluciones de NaOH para el tratamiento obteniendo la remoción de las concentraciones de cromo (III) y sólidos totales (ST) en un 96.22% y 73.65% respectivamente. Llegando a concluir que el tratamiento de las aguas residuales de remojo, la coagulación/floculación empleando sales de  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$  fue una alternativa eficiente removiendo los sólidos totales (ST) en un 98.78%, en cuanto a la oxidación de sulfuros de las aguas residuales de pelambre se realizó aireando y catalizado con  $MnSO_4$ , donde el porcentaje

de oxidación de sulfuro fue del 91.45%, y a través de la precipitación con NaOH se logró disminuir las concentraciones de sólidos totales (ST) y cromo (III) hasta en un 96.22% y 73.65% respectivamente.

### **1.3. Objetivos**

#### **1.3.1. Objetivo general**

➤ Evaluar la remoción de Cromo Hexavalente mediante procesos fisicoquímicos en efluentes de curtiembre de la empresa IPEPESA, 2020.

#### **1.3.2. Objetivos específicos**

➤ Determinar las concentraciones de Cromo Hexavalente antes del tratamiento por procesos fisicoquímicos en el efluente de curtiembre de la Empresa IPEPESA, 2020.

➤ Determinar la dosis óptima para la remoción de Cromo hexavalente por procesos fisicoquímicos en el efluente de curtiembre de la Empresa IPEPESA, 2020.

➤ Determinar las concentraciones de Cromo Hexavalente después del tratamiento por procesos fisicoquímicos en el efluente de curtiembre de la Empresa IPEPESA, 2020.

### **1.4. Justificación**

Actualmente el desarrollo de la industria de curtiembre se considera como una actividad importante para la economía, pero a su vez presenta un riesgo en la sustentabilidad ambiental y los recursos naturales, deteriorando el medio ambiente y a su vez produciendo un impacto en la salud poblacional expuesta a los efluentes que son descargados a los cuerpos receptores como los ríos y el mar.

El presente trabajo de investigación nos permitirá dar a conocer el grado de eficiencia que tienen los procesos fisicoquímicos para remover el cromo hexavalente, considerado como un contaminante altamente tóxico y que se encuentra presente en los efluentes de curtiembre.

El método aplicado permitirá a las diversas industrias contar con una alternativa de solución para evitar impactar con este metal pesado al ambiente o a la salud de las personas, ya que el Cr 6+ es considerado bioacumulativo y posee una toxicidad de cien veces superior al Cr 3+ de este metal tóxico, así mismo mediante este método de remoción de Cromo hexavalente se podrá cumplir con los Valores Máximos Admisibles establecidos en la normativa nacional en relación a sus vertimientos.

## **1.5. Hipótesis**

### **1.5.1. Hipótesis general**

➤ La evaluación de Cromo Hexavalente permitirá conocer su grado de remoción por procesos fisicoquímicos en efluentes de curtiembre de la empresa IPEPESA, 2020.

### **1.5.2. Hipótesis específicos**

➤ Las concentraciones de Cromo Hexavalente se encuentran fuera de los rangos de los VMA antes del tratamiento por procesos fisicoquímicos en el efluente de curtiembre de la Empresa IPEPESA, 2020.

➤ Los procesos fisicoquímicos permitirán conocer la dosis óptima para la remoción de Cromo hexavalente en el efluente de curtiembre de la Empresa IPEPESA, 2020.

➤ Las concentraciones de Cromo Hexavalente se encuentran dentro de los VMA después del tratamiento por procesos fisicoquímicos en el efluente de curtiembre de la Empresa IPEPESA, 2020.



## II. MARCO TEORICO

### 2.1. Bases teóricas

#### 2.1.1. Metales pesados

Los metales pesados se encuentran en su forma natural sobre la corteza terrestre en concentraciones traza asociados a diferentes minerales o como depósitos. Su existencia en toda la tierra y mantos acuíferos, son gracias a fenómenos naturales como alteraciones y erosión de rocas volcánicas sedimentarias, lavado de suelos orgánicos, así como a las diferentes actividades del hombre entre ellas tenemos la construcción de presas, procesos industriales y urbanización que se acompaña del desecho de efluentes contaminados (Amiart-Triquet, 1989).

Diferentes industrias desechan aguas contaminadas en metales pesados como la producción de pigmentos, los efluentes de estas industrias contienen Cd, Cr, Pb, Zn y Fe (Brauckmann, 1990).

La presencia de metales pesados en el agua y suelos en altas concentraciones desarrollan problemas severos de contaminación. La toxicidad de los metales pesados se produce ya que se acumulan en los organismos hasta llegar a niveles que causan trastornos fisiológicos y metabólicos. Por ejemplo, el cadmio, el cobalto, el cromo, el mercurio y el plomo (Wong, 1988).

Martin (2008), manifiesta que los metales pesados también son denominados tóxicos y en ambiente pueden encontrarse como sales o en su estado natural. En aguas superficiales se encuentran en forma de coloides y/o partículas, mostrándose como hidróxidos, óxidos, silicatos, sulfuros o adsorbidos en minerales del grupo de las arcillas, sílice y materia orgánica. Igualmente están presentes de forma disuelta (gracias a su baja solubilidad de estos elementos, las concentraciones que poseen son muy bajas en forma iónica o complejos organometálicos), la cual es dependiente del pH.

### **2.1.2. Remoción de metales pesados**

Los metales pesados como el cobre, cadmio, mercurio, cromo y plomo están presentes en las aguas residuales como resultado de diferentes procesos industriales y, a causa de su toxicidad sus concentraciones deben reducirse a niveles muy bajos antes de ser descargados al agua residual. Se emplean diferentes estrategias para la remoción de los metales pesados.

Aun cuando no se han diseñados procesos específicos para la eliminación de metales pesados, la mayoría del tratamiento de aguas residuales remueven grandes cantidades de los metales pesados más difíciles que se encuentran en las aguas residuales. Hay que resaltar que los metales pesados no pueden degradarse, sino transformarse o removerse del medio (Duran 2007).

Existen métodos convencionales para la remoción de metales pesados de efluentes como: electrodiálisis, intercambio iónico y ultrafiltración. Estos son algunos procesos que se emplean para la remoción o recuperación de elevadas concentraciones de metales pesados en efluentes y por lo general son procedimientos muy costosos (Kuyucak, 1990).

El agua presenta globalmente un problema en cuanto a su Calidad, la cual está deteriorándose con el tiempo debido a las diferentes industrias y actividades que desarrolla el ser humano, y sin ningún cuidado ha venido afectando negativamente este recurso hídrico. La problemática proviene principalmente del contenido biológico, que produce enfermedades infecciosas, más o menos graves. A pesar de ello dependiendo de la concentración (corto, mediano, o largo plazo) los contenidos en sales y en partículas sólidas de composición determinada, también pueden acarrear problemas considerables (Higueras, 2008).

### **2.1.3. Procesos fisicoquímicos**

Los sistemas físico-químicos se caracterizan porque los cambios ocurren debido a la aplicación de fuerzas físicas que trabajan conjuntamente con reacciones químicas para lograr un efectivo tratamiento del agua residual cruda (Cerón, 2011).

Para la purificación de las aguas residuales, es común realizar un tratamiento físico-químico antes de ser descarga a la red de alcantarillado o a ser destinadas a cuerpo receptores (ríos, pantanos, mares, etc.) siendo el más utilizado la coagulación-floculación; la eficacia de las operaciones posteriores de tratamiento depende del éxito de este proceso (Aguilar, 2002).

Marín (2013) menciona que los procesos químicos fueron los primeros que se utilizaron para el tratamiento de aguas (potabilización y depuración) son cada vez los empleados en la depuración de aguas residuales y unido a diferentes procesos físicos complementan el tratamiento secundario y terciario de las aguas usadas.

#### **2.1.4. Industria de curtiembre**

La industria de curtiembre cuenta con diferentes etapas en el proceso de producción, a través del cual las pieles de variedad de animales se convierten en cuero.

Cada etapa del proceso desarrolla objetivos con la finalidad de maximizar el procesamiento de la piel, empleando materias primas (agua, reactivos químicos, energía, etc.) y produciendo residuos con un elevado número de contaminantes, y de volúmenes considerables y significativos; según sea la materia prima, proceso de manufactura y producto final.

Los residuos que se producen pueden ser en estado sólido, líquido o gaseoso; siendo las descargas líquidas las más significativas. Todo esto necesita un método de tratamiento para contrarrestar el impacto que pueden producir al medioambiente.

Los efluentes de curtiembre que se generan presentan grandes concentraciones de agentes químicos tóxicos como Cromo y Sulfuros, también presentan gran carga orgánica, sólidos suspendidos y gases presentes en los residuos líquidos que finalizan las distintas etapas del proceso.

La mayoría de los residuos sólidos presentan Cromo, por lo que su tratamiento debe ser muy controlado.

Para cumplir con la legislación ambiental vigente en las zonas donde se desarrolla el proceso, las industrias tienen que mejorar sus sistemas productivos, implementando sistemas de Gestión de residuos en sus procesos, con adecuados programas de producción limpia e instalar tecnologías apropiadas para el tratamiento de las mismas (Méndez et al., 2007).

#### **2.1.5. Efluente de curtiembre**

Las diferentes aguas residuales que se producen en las industrias de curtido son resultado del uso del agua para diversos fines, por lo que presentan comúnmente características totalmente variadas. Como resultado de este uso, el agua alberga materias disueltas y suspendidas que alteran sus propiedades. La variación de las propiedades del agua, son resultado del uso industrial varían entre contaminación netamente física (como en la contaminación térmica) o contaminación de compuestos orgánicos e inorgánicos o suspendidos.

Para analizar las características de un vertido específico se necesita cuantificar las propiedades físicas, químicas y biológicas.

Conocer la composición y comportamiento de las poblaciones de los métodos de tratamiento, a través de la identificación de las actividades en los procesos, permite alcanzar una eficiencia en el tratamiento generando calidad en los efluentes tratados (Méndez et al., 2007).

#### **2.1.6. Caracterización física y química de los efluentes de curtiembre**

Méndez et al. (2007) fundamenta que los parámetros principales para medir las características físicas y químicas de los efluentes de curtiembre son:

- **Físicos**
  - Temperatura
  - Sabor y olor
  - Color

- Turbidez
- Sólidos (Sólidos Totales ST, Volátiles SV, Sólidos en Suspensión Totales SST y Sólidos en Suspensión Volátiles SSV)
- Conductividad Eléctrica
- **Químicos**
- Carga Orgánica: DBO5, DQO, COT
- Parámetros Inorgánicos: pH, Alcalinidad, Dureza, OD, Nitrógeno (Total, orgánico, amoniacal, nitrito, nitrato), Fósforo, Sulfatos, Sulfuros Cloruros)

### **2.1.7. Tratamiento para los efluentes de curtiembre**

Los efluentes que resultan de los procesos de curtiembres se caracterizan por presentar bastantes contaminantes, motivo por el cual no pueden descargarse al alcantarillado ni a cuerpos receptores de agua dulce sin ser previamente tratadas. Según los contaminantes que presenten y las características del efluente, serán sometidos a tratamientos físico-químicos, biológicos o una combinación de ellos para optimizar su rendimiento.

- **Tratamientos fisicoquímicos**

Se caracterizan por las modificaciones que se presentan al emplear fuerzas físicas con reacciones químicas paralelamente con la finalidad de contar con un tratamiento del agua residual eficiente.

- **Para el tratamiento del efluente combinado de curtiembre tenemos:**

- **Electrocoagulación**

Para la remoción de los contaminantes orgánicos e inorgánicos de efluentes combinados de curtiembre se han desarrollado técnicas de electrocoagulación en reactores con placas de hierro o hierro-aluminio. Considerando que a un pH que varía entre 7-9, con una densidad de corriente eléctrica de 22.4 A /m<sup>2</sup> y un flujo de alimentación del efluente mezclado de 3.67 L/min se hallaron porcentajes de remoción de SST, DQO, DBO, aceites y grasas, color, y cromo

de más del 95% asociado a un tiempo de electrólisis de 20 min. Pese a la eficiencia del tratamiento este mantiene problemas para la remoción de sulfuro (este debe ser previamente oxidado lo que genera costos e incorporación de otras tecnologías) y depende del pH inicial del agua y del flujo a tratar. Sin embargo, en otro estudio donde se utilizó electrocoagulación y el proceso Electro-Fenton se alcanzaron porcentajes de remoción de sulfuro del 85 al 90%, SST del 70%, DQO entre el 46 y 54% y cromo del 97%, lo que indica que esta técnica gracias a las características que adquiere el efluente combinado de la curtiembre es aplicable y se obtienen muy buenos resultados (Cerón, 2011).

#### - **Coagulación Química**

La coagulación química es el proceso de desestabilización de partículas coloidales, para que las mismas se agreguen en unidades de mayor tamaño denominadas flóculos y puedan precipitar por acción de la gravedad (NCADE, 2003). El efluente de remojo gracias a sus características físico-químicas (elevada concentración de sólidos, sales, materia orgánica) puede ser sometido a un proceso de coagulación-floculación en el cual, por acción de un agente coagulante (en este caso  $\text{FeCl}_3$ ) se obtiene la remoción considerable de estos a un pH determinado.

Dentro de este proceso se aplican sales de aluminio o hierro (sulfato de aluminio y cloruro férrico) para fomentar la formación de flóculos a un pH determinado y que así las partículas sedimenten. Song et al. (2004) realizaron estudios de este proceso para el efluente combinado de curtiembre obteniendo porcentajes de remoción de SST del 70% (incorporando centrifugación), 30-37% de DQO, 74-99% de cromo (dependiendo de la concentración inicial), a un pH que oscila entre 7.5 y una concentración de 800 mg l<sup>-1</sup> de coagulante. Este proceso no resultó eficiente para el efluente combinado, pero posiblemente para efluentes aislados caracterizados por su gran concentración de sólidos suspendidos arroje mejores resultados. (Gunn et al., 2004).

- **Procesos de oxidación**

Empleando sistemas en base a H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> acoplados a luz UV se han alcanzado porcentajes de remoción del 60% de la DQO con un tiempo de reacción de 4 horas. utilizando hipoclorito de sodio como agente oxidante, se han alcanzado porcentajes de remoción del 76% de la DQO iniciando con concentraciones de más de 3000 mg/L. Cuando se emplea ozono como agente oxidante a un flujo de 42.8 mg/min durante un tiempo de alimentación de 5 minutos se obtienen remociones del 60% de la DQO, si se incrementa el flujo de entrada y el tiempo de reacción se han alcanzado remociones de hasta 92% (Cerón, 2011).

○ **Para la remoción de cromo del efluente de curtido**

✓ **Precipitación de cromo con álcalis y posterior disolución**

Es un proceso dependiente del pH (el valor debe estar dentro de la zona de precipitación teórica del metal) y de la concentración inicial del mismo. Se pueden utilizar diferentes compuestos, dependiendo de las necesidades operativas en el proceso y de los costos. Mencionaremos algunos de los principales álcalis y sus ventajas y desventajas de uso:

**Hidróxido de calcio:** Empleando el mismo, a un Ph de 8 y 9 se logra precipitar el cromo en forma de hidróxido (porcentajes de remoción de aprox. 99%). No obstante, empleando este álcali se logra una considerable cantidad de lodo (365 ml de los 500 ml de agua residual corresponden a lodo de proceso) y la consistencia de este no promueve su adecuada sedimentabilidad.

**Hidróxido de sodio y carbonato de sodio:** Estos reactivos favorecen una precipitación rápida, no obstante, una de sus mayores desventajas es la gran generación de lodo. Si al proceso se le añaden polielectrolitos éstos facilitan la coagulación y precipitación rápida.

**Óxido de magnesio:** Se genera una precipitación lenta a un pH entre 7-9, en la misma se utiliza menor cantidad de reactivo y se obtiene un lodo más denso susceptible a decantación. La principal desventaja de este método es la interferencia de grasas y proteínas para la

sedimentación del hidróxido. Complementario a la utilización de este reactivo se han ejecutado pruebas con sonicación a  $0.12 \text{ W cm}^{-3}$  para favorecer la sedimentación de las partículas y disminuir los tiempos de sedimentación de 3 horas a 1 aproximadamente. El orden de efectividad de remoción de cromo para los álcalis es el siguiente: Hidróxido de calcio > Hidróxido de sodio > Hidróxido de amonio > Carbonato de sodio.

Al cromo recuperado en forma de hidróxido se lo puede re-dissolver utilizando ácido sulfúrico concentrado e incorporarlo al proceso en una relación 2:1 (dos partes de sales nuevas de cromo por una parte de sales de cromo regeneradas)

✓ Adsorción del cromo en intercambiadores catiónicos

En este proceso se han empleado resinas a base de sílice-alúmina a las que se les añade un grupo carboxilato para mejorar la formación de complejos con las especies de cromo [27, 28]. El cromo (III o VI) se recupera de la resina a través de un proceso de elución con piridina, ácido dicarboxílico y solución buffer de fosfato. Los experimentos desarrollados en columnas empacadas con la resina, partiendo de concentraciones iniciales de  $3145 \pm 24 \mu\text{g}/0\text{ml}$  de Cr (III) generan porcentajes de remoción del 97.2%. No obstante, estos procesos son muy costosos (regeneración del material) y altamente dependientes de la capacidad de intercambio iónico, la temperatura, de la concentración del metal, del pH y del tiempo de contacto/agitación. Cabe mencionar que otros adsorbentes también se han utilizado para la remoción de cromo, por ejemplo, una mezcla de aluminosilicato con carbón activado (con una capacidad de adsorción de  $92 \text{ mg g}^{-1}$ ) así como también carbón activado elaborado a partir de desechos agrícolas (capacidad de adsorción de  $39.5 \text{ mg/g}$ ).

✓ Coagulación química

En investigaciones que se realizaron para la remoción de cromo (tratamiento secundario a una remoción previa en una planta de tratamiento) se emplearon coagulantes como el sulfato de aluminio y el cloruro de polialuminio a diferentes valores de pH. Se observó que, a un pH



de 8, una dosis de coagulante de 100 mg/l se alcanzaron concentraciones de cromo de 0.45 mg l-1 y una turbidez de 15.7 NTU (Cerón, 2011).

### **2.1.8. Cromo**

Elemento natural, que se encuentra en el suelo, rocas, plantas, animales y gases volcánicos. Puede funcionar con diferentes valencias y en el ambiente se presenta en diferentes formas; las más comunes son los derivados del cromo trivalente o cromo (III), y las del cromo hexavalente o cromo (VI). Pertenecen al grupo VI de los elementos de transición y sus estados de oxidación son -2, 0, +2, +3, +6. El cromo hexavalente  $Cr^{6+}$ , es más tóxico que el trivalente  $Cr^{3+}$ . El cromo trivalente al entrar en contacto con el oxígeno del aire se oxida convirtiéndose en cromo hexavalente. Sus características son: peso atómico 52; número atómico 24; densidad 7.2 g/cm<sup>3</sup>; punto de fusión  $1857 \pm 20$  °C; punto de ebullición 2672 °C. Con estado de oxidación +6 forman los iones cromato ( $CrO_4$ )-2 y dicromato ( $Cr_2O_7$ )-2; con estado de oxidación +3 forma el ion crómico  $Cr^{3+}$ ; con estado de oxidación +2 forman el ion cromoso  $Cr^{2+}$  (Albert, 1985).

### **2.1.9. Características fisicoquímicas del Cromo**

El cromo es el sexto elemento en abundancia en la corteza terrestre, donde se presenta como óxido crómico ( $Cr_2O_3$ ) y, combinado con hierro y oxígeno, en la mineral cromita. El elemento se descubrió en 1762, en el cromato de plomo ( $PbCrO_4$ ), que forma el escaso mineral crocoíta. Es un metal pesado de la primera serie de metales de transición, motivo por el que presenta sus principales propiedades químicas y bioquímicas, presenta varios estados de oxidación, alguno de sus compuestos son paramagnéticos, muchos de ellos son coloridos, por lo que algunos minerales y piedras preciosas deben su color al cromo, sin embargo el cromo tiende a formar iones complejos: los derivados de los estados de oxidación -2 y +2 tienen poca importancia, con estado de oxidación 0 corresponde al cromo metálico. Los únicos compuestos de importancia biológica son los derivados de los estados de oxidación +3 y +6; el primer grupo pertenece el óxido crómico ( $Cr_2O_3$ ) y las sales crómicas como el cloruro crómico ( $CrCl_3$ ) o el

anión cromito ( $\text{Cr}(\text{OH})_4^-$ ) y, el segundo grupo, el trióxido de cromo ( $\text{CrO}_3$ ), los cromatos ( $\text{CrO}_4^{2-}$ ) y los dicromatos ( $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ ) (Albert, 1985).

## **2.2. Marco conceptual**

### **2.2.1. Definición de los principales procesos de una curtiembre y de los efluentes que se generan.**

Los procesos esenciales que se llevan a cabo en una curtiembre y sus efluentes que se generan son:

- **Remojo**

Las pieles previamente saladas y secas son seccionadas en mitades longitudinales (bandas) y se sumergen durante 24 horas en agua, para obtener su ablandamiento y eliminar la sal y la suciedad (sangre, tierra, estiércol) que traen inicialmente. Según sea el tipo de piel, el proceso y las condiciones climáticas, se debe utilizar bactericidas como agentes conservantes y para minimizar el daño que puedan ocasionar las bacterias a las pieles. Este proceso se realiza en piscinas y el consumo de agua en el mismo varía entre el 200 y 400% en función al peso de la piel. finalizado el proceso de remojo, las pieles son sometidas a un lavado previo al proceso de pelambre (Cerón, 2011).

- **Pelambre**

Los principales objetivos en esta operación son: depilar la piel, eliminando los materiales hechos de queratina (pelo, raíces de pelo y epidermis) y encalar la misma a fin de hincharla en forma homogénea, preparándola de esta forma para el curtido y al mismo tiempo removiendo algunas albúminas, muco-polisacáridos y grasas.

Convencionalmente el proceso de pelambre (con destrucción de pelo) se realiza empleando sulfuro de sodio ( $\text{Na}_2\text{S}$ ) y un álcali como la cal apagada  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  [11]. El tiempo de proceso varía entre 8 a 24 horas, se realiza en el bombo o fulón y el consumo de agua varía entre el 50 y 65% en función al peso de la piel (Cerón, 2011).

- **Descarne**

Esta operación consiste en la separación, por corte mecánico, de los residuos de carne, grasa subcutánea y tejido conectivo de la piel. Generalmente se la realiza después del pelambre, pero también puede realizarse antes para minimizar insumos y mejorar la calidad del cuero. En este proceso no se producen descargas líquidas.

- **Dividida**

En este proceso se utiliza una máquina denominada divididora para dividir a las pieles en dos secciones: flor (parte externa) y costra (parte interna). El objetivo de esta actividad, es entregar pieles más delgadas que absorban mejor los reactivos químicos durante el curtido. Cabe indicar que este proceso no genera descargas líquidas (Cerón, 2011).

- **Desencalado**

Tiene como objetivo remover la cal de la piel, usando básicamente sales de amonio (cloruro y/o sulfato) ya que un simple lavado no permite eliminar toda la cal. El desencalado permite neutralizar la piel, detener su hinchamiento y remover el sulfuro remanente, pero es necesario adicionar agua y reactivos químicos como el bisulfito de sodio y en otros casos agentes tensoactivos. Este proceso se realiza en el bombo y una vez finalizado el mismo las pieles son lavadas nuevamente antes de ingresar al proceso de piquelado. Se utiliza un porcentaje de agua de 200% sobre el peso de la piel que ingresa a la operación (Cerón, 2011).

- **Piquelado**

El objetivo principal de este proceso es entregar a las pieles el pH necesario para la operación de curtido (entre 2.8 y 3.5). Generalmente se utiliza ácido sulfúrico/ ácido fórmico y cloruro de sodio. Éste último se utiliza en un 6% del peso de la piel que ingresa a la operación para obtener una inhibición total al hinchamiento ácido. En este proceso también se pueden agregar fungicidas para una mejor preservación de las pieles (Cerón, 2011).

- **Curtido**

El principal propósito nace para convertir las pieles en material no putrescible. Los agentes curtientes empleados ya sean sales metálicas (cromo, aluminio, titanio y circonio), compuestos fenólicos o compuestos orgánicos sintéticos, se fijan en las fibras de colágeno a través de uniones cruzadas para darles mayor estabilidad. Esta operación dura entre 8-12 horas, se lleva a cabo a temperatura de 40°C y se utiliza una cantidad de sales de cromo ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ) de aproximadamente el 7 a 8% en función al peso de las pieles a curtir. Es necesario emplear en este proceso un agente basificante para obtener un pH de aprox. 3.8 a 4.2 para alcanzar una fijación óptima del cromo, pero evitando que este se precipite.

Después del curtido se producen operaciones complementarias como Neutralización, Rebajado y Gamuzado (operaciones que no son consideradas procesos húmedos), Recurtido-Teñido y los Lavados, cuyos efluentes no serán objeto de esta investigación.

### **2.2.2. Aguas residuales**

Las aguas residuales son materiales derivados de residuos domésticos o de procesos industriales, los cuales por razones de salud pública y por consideraciones de recreación económica y estética, no pueden desecharse vertiéndolas sin previo tratamiento a los lagos o corrientes convencionales. El tratamiento de las aguas residuales es una forma muy importante de cuidar nuestro medio ambiente. Los materiales inorgánicos como la arcilla, sedimentos y otros residuos se pueden eliminar por métodos mecánicos y químicos; pero, si el material que se desea eliminar es de naturaleza orgánica, el tratamiento implica particularmente actividades de microorganismos que oxidan y convierten la materia orgánica en  $\text{CO}_2$ , por tal motivo los tratamientos de las aguas de desecho son procesos en los cuales los microorganismos juegan papeles cruciales. El tratamiento de las aguas residuales produce la eliminación de microorganismos patógenos, evitando así que estos microorganismos lleguen a ríos o a otras fuentes de abastecimiento.

El tratamiento biológico de las aguas residuales es considerado un tratamiento secundario ya que este está vinculado íntimamente a dos procesos microbiológicos, los cuales pueden ser aerobios y anaerobios. El tratamiento secundario de las aguas residuales comprende una serie de reacciones complejas de digestión y fermentación efectuadas por un huésped de diferentes especies bacterianas, el resultado final es la conversión de materiales orgánicos en CO<sub>2</sub> y otras, también se genera gas metano, el cual se puede separar y quemar como una fuente de energía. Dado que ambos productos finales son volátiles, el efluente líquido ha disminuido notablemente su contenido en sustancias orgánicas (Romero, 1999).

Las aguas residuales, también llamadas aguas negras, son una mezcla compleja que contiene agua por lo común más de 99% mezclada con contaminantes orgánico e inorgánico tanto en suspensión como disueltos. La concentración de estos contaminantes generalmente es muy pequeña, y se expresa en mg/L, esto es, miligramos de contaminante por litro de la mezcla. Esta es una relación de peso/volumen que se utiliza para indicar componentes en el agua, aguas residuales, desperdicios industriales y otras soluciones diluidas. Ya que la densidad relativa de estas soluciones diluidas es similar a la del agua, las concentraciones también se pueden considerar relaciones de peso/peso, como mg/kg o ppm (partes por millón). Pero, cuando la densidad de la mezcla no es 1.0 mg/L y ppm no son términos indistintos (Romero, 1999).

- **Tipos de aguas residuales**

- a) Aguas residuales municipales*

Los residuos que excretan los humanos se conocen como aguas negras sanitarias. Las aguas residuales de aguas residenciales, que se describen como aguas negras domésticas, contienen residuos provenientes de cocinas, baños, lavado de ropa y drenaje de pisos. Estas junto con los residuos líquidos de los establecimientos comerciales e industriales, se designan como aguas residuales municipales. Estas usualmente se recogen en un sistema de alcantarillado público (alcantarillas, registros, estaciones de bombeo, etc.) y se envían a los

centros de tratamiento para su eliminación sin peligro. La cantidad de aguas residuales municipales generalmente se determina a partir del uso del agua. El agua es consumida por los humanos, se emplea como medio de enfriamiento, y es necesaria para actividades como el riego de plantas y el lavado de las calles, solo del 70 al 90% llega a las alcantarillas (Romero, 1999).

***b) Aguas residuales domésticas***

Aguas que provienen de zonas de vivienda y de servicios generadas principalmente por el metabolismo humano y las actividades domésticas (Romero, 1999).

***c) Aguas residuales industriales***

Son Aguas vertidas desde diferentes locales empleados para desarrollar cualquier actividad comercial o industrial, que no sean aguas residuales domésticas ni aguas de escorrentía pluvial (Romero, 1999).

**2.2.3. Aguas residuales de curtiembres**

Las aguas residuales de curtiembre presentan un alto contenido de sólidos en suspensión, niveles relativamente elevados de sustancias inhibitorias y/o recalcitrantes, como Cr+3 y S-2, que puede alterar el proceso biológico, por lo cual se les realiza un tratamiento físico-químico previo al biológico con la finalidad de precipitar al cromo y oxidar el sulfuro a sulfatos y evitar así la inhibición del sistema biológico. De los aspectos centrales que preocupan en la temática de los efluentes de la curtiembre se destacan; los sólidos en suspensión el Cromo, el Sulfuro. Una característica relevante del impacto ambiental de la curtiembre es el elevado volumen de agua que demanda y, consecuentemente, las descargas no son sólo abrumadoras, sino que transportan una carga contaminante muy alta. Durante todo el proceso se están vertiendo a los cursos de agua volúmenes importantes que contienen la carga de cada una de las operaciones que se han completado. Se considera que, por cuero, se utilizan, para el caso de ovinos, alrededor de 200 a 300 litros y para vacunos de 750 a 1000 litros de agua.

**2.2.4. Tratamiento**

Variedad de métodos, técnicas o procesos diseñados para la remoción de sólidos y/o contaminantes de efluentes o emisiones (Lee, 2005).

#### **2.2.5. Remoción**

Reducir la cantidad de contaminante de un efluente. La reducción puede obtenerse por medios físicos, químicos o biológicos (Lee, 2005).

#### **2.2.6. Coagulación**

Proceso de desestabilización química de las partículas coloidales que se generan al neutralizar las fuerzas que los mantienen separados, por medio de la adición de los coagulantes químicos y la aplicación de la energía de mezclado (Restrepo, 2009).

#### **2.2.7. Floculación**

Proceso químico mediante el cual, con la adición de sustancias denominadas floculantes, se aglutinan las sustancias coloidales presentes en el agua, facilitando así su decantación y posterior filtrado (Gunn, 2004).

#### **2.2.8. Potencial de hidrógeno**

El pH mide las concentraciones de iones hidrógeno y se define como  $\text{pH}=\log(1/[\text{H}^+])$ . Es una medida de la naturaleza ácida o alcalina de la solución acuosa que puede afectar a los usos específicos del agua (Rigola, 1990).

#### **2.2.9. Demanda bioquímica de oxígeno DBO**

La demanda bioquímica de oxígeno se emplea como una medida de la cantidad de oxígeno requerido para la degradación bioquímica de la materia orgánica en las aguas municipales, industriales y en general residuales (Ramalho, 1983).

#### **2.2.10. Demanda química de oxígeno DQO**

La demanda química de oxígeno (DQO) es la cantidad de oxígeno requerido para oxidar la materia orgánica en una muestra de agua residual, bajo condiciones específicas de agente oxidante, temperatura y tiempo (Ramalho, 1983).

### 2.2.11. Sólidos totales ST

Se encuentran representados por el material que arrastra las aguas de suministro doméstico, industrial y agrícola durante su uso. Desde el punto de vista analítico, el contenido de sólidos totales en aguas residuales se define como toda la materia remanente después de evaporar una muestra de agua a una temperatura entre 103 y 105 °C. Todo el material que tenga presión de vapor considerable a esta temperatura y se pierde durante la evaporación no se define como sólido (Ramos et al., 2003).

### 2.2.12. Sistemas fisicoquímicos

Los sistemas físico-químicos se caracterizan porque los cambios ocurren debido a la aplicación de fuerzas físicas que trabajan conjuntamente con reacciones químicas para lograr un efectivo tratamiento del agua residual cruda (Cerón, 2011).

## 2.3. Marco legal ambiental

- *La Constitución Política del Perú – Título III, Capítulo II: Del Ambiente y los Recursos Naturales-1993*, establece en su artículo 2do, inciso 22, que “Toda persona tiene derecho a la paz, la tranquilidad, al disfrute del tiempo libre y al descanso, así como a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado para el desarrollo de su vida”. Por otro lado, los artículos 66, 67, 68 y 69 indican que los recursos naturales, considerados como renovables y no renovables son patrimonio de la Nación, donde el Estado es el impulsor de su uso sostenible.

- *Decreto Legislativo N°635, Código Penal del año 1991*. En el título XIII sobre delitos ambientales, establece las penas privativas de libertad a las personas que arrojen, comercialicen o viertan desechos industriales o domésticos en lugares no autorizados, haciendo énfasis en una mayor sanción si el causante del delito es funcionario o servidor público.

- *La Ley General del Ambiente, Ley N° 28611*, Conforme al artículo 1, menciona que toda persona tiene el derecho irrenunciable a coexistir en un ambiente saludable, equilibrado y adecuado para el desarrollo de la vida, y a su vez tiene el deber de aportar a una efectiva gestión



del ambiente y de protegerlo, así como a sus componentes, asegurando de manera individual y colectiva la salud de las personas, la conservación de la biodiversidad, el aprovechamiento de los recursos naturales de forma sostenible para desarrollo del país.

En su artículo 9, cuando se refiere a la Política Nacional del Ambiente que su objetivo es mejorar la calidad de vida de las personas y garantizar la permanencia de ecosistemas saludables, viables y funcionales a largo plazo; y el desarrollo sustentable del país, mediante la preservación, cuidado y recuperación del ambiente y sus componentes, la conservación y el aprovechamiento racional y sostenible de los recursos naturales, de una forma responsable y congruente con el respeto a los derechos esenciales de la persona.

En su Artículo 31, define el Estándar de Calidad Ambiental como la medida que establece el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo, en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente.

- *Ley N° 29338. Ley de Recursos Hídricos, del 31 de marzo de 2009*, esta norma tiene por finalidad estandarizar el uso y la gestión integrada del agua, la participación del sector estatal y privado en dicha gestión, tomando como base los principios de valoración del agua, priorizando el acceso al agua, la participación de la ciudadanía y cultura del agua, seguridad jurídica, así como el respeto de los diversos usos del agua por las comunidades nativas y campesinas, sustentabilidad, descentralización, prevención, eficiencia., gestión integrada y tutela jurídica.

- *Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos, D.S. N° 001-2010 - AG*, establece en su Artículo 103, sobre la protección del agua, indicando que el agua tiene como finalidad la prevención del deterioro de su calidad, protegiendo y mejorado el estado de los cuerpos de aguas naturales y sus ecosistemas, implantando medidas específicas para eliminar o reducir progresivamente las causas que motivan su contaminación y degradación.

➤ *D.L N° 1083-2008-ANA*. La presente norma legislativa establece el marco legal para promover el aprovechamiento racional y conservación de los recursos hídricos motivando una cultura de uso y manejo responsable de todos los usuarios y operadores de infraestructura hidráulica, pública o privada. La Autoridad Nacional del Agua, establece los parámetros de eficiencia para el aprovechamiento del recurso hídrico, indicando cuales son requisitos mínimos y máximos aplicables de acuerdo al tipo y forma de uso del recurso. La ANA ofrece certificados de eficiencia en el cual se demuestra su uso eficiente, así como certificaciones de creatividad, innovación e implementación en cuanto al uso eficiente del Agua.

➤ *Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM. Aprueban Estándares de Calidad Ambiental para Agua y establecimiento de sus Disposiciones Complementarias*. Reúne normativas aprobadas anteriormente mediante los decretos supremos Número: 002-2008-MINAM, 023-2009-MINAM y el 015-2015-MINAM; quedando aprobado de esta manera los Estándares de Calidad Ambiental para agua, y estando sujetos a partir de la fecha por lo establecido en el presente Decreto Supremo y su Anexo que lo conforma.

➤ *D.S N° 003-2002-PRODUCE*. La presente norma aprueba los Límites Máximos Permisibles de Efluentes para vertimiento a alcantarillado de las actividades de cerveza, cemento, papel y Curtiembre. Se aprueban los Límites Máximos Permisibles (LMP) y Valores Referenciales aplicables por el sector y autoridad competente, dirigido hacia las actividades de industrias manufactureras de cerveza, cemento, papel y curtiembre, de acuerdo a las condiciones y términos que se muestran en los anexos 1, 2 y 3, que forman parte del presente Decreto Supremo.

➤ *D.S N° 010-2019-VIVIENDA*. La presente norma aprueba el Reglamento de Valores Máximos Admisibles, para las descargas de aguas residuales de uso No Doméstico en el sistema de alcantarillado sanitario, quedando para tal caso, sin efecto el Decreto Supremo N° 021-2009-

VIVIENDA, en el cual se Aprobaron los VMA de las descargas de aguas residuales de uso No Doméstico en el sistema de alcantarillado sanitario.

### **III. MÉTODO**

#### **3.1. Tipo de investigación**

El tipo de investigación según el objetivo que se persigue es APLICADA, ya que se busca encontrar conocimientos que se puedan aplicar para resolver un problema, para nuestro planteamiento se pretende encontrar la dosis óptima para remover la presencia de Cromo hexavalente hasta alcanzar el límite máximo permisible en el efluente de curtiembre de la empresa IPEPESA. El diseño metodológico desde un enfoque cuantitativo es EXPERIMENTAL, y debido a su grado de manipulación de la variable independiente se clasifica dentro de los EXPERIMENTALES PUROS, puesto que se manipula intencionalmente una de las variables, es decir la variable independiente (Procesos Fisicoquímicos) será alterada las veces que sea necesario, con la finalidad de observar el comportamiento de la variable dependiente (Cromo Hexavalente) frente a dichos cambios.

#### **3.2. Ámbito temporal y espacial**

##### **3.2.1. Ámbito temporal**

El desarrollo del presente trabajo de investigación fue desarrollado durante los meses comprendidos entre enero y diciembre del año 2020; utilizando información comprendida entre los años 2009 al 2019. Los ensayos experimentales fueron desarrollados en el mes de febrero, mientras que la búsqueda de información se inició en el mes de enero hasta Julio del 2020. El trabajo final se proyectó terminarlo en diciembre del 2020.

##### **3.2.2. Ámbito espacial**

El espacio a considerar en el cual será desarrollado el trabajo de investigación corresponde a las aguas residuales industriales de la empresa IPEPESA ubicada en el distrito de Ate, las cuales son generadas como producto de sus procesos productivos de curtiembre,

teniendo como ubicación las siguientes coordenadas UTM 293782 E y 8 669 691 N, y a una altitud de 400 msnm. Los ensayos experimentales con las muestras a trabajar fueron desarrollados en el laboratorio de Geografía y Medio Ambiente de la Facultad de Ingeniería Ambiental y Ecoturismo de la UNFV, con coordenadas UTM 277 097 E y 8 667 468 N.

### **3.3. Variables**

#### **3.3.1. Variables independientes**

- Procesos Físicoquímicos.

#### **3.3.2. Variable dependiente**

- Remoción de Cromo Hexavalente.

### 3.3.3. Operacionalización de variables

**Tabla 1**

*Operacionalización de Variables*

Variables	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala
<b>Variable Independiente</b>	Se caracterizan porque los cambios ocurren debido a la aplicación de fuerzas físicas que trabajan conjuntamente con reacciones químicas para lograr un efectivo tratamiento del agua residual teniendo en cuenta las características Fisicoquímicas del agua y la concentración del metal a tratar. (Cerón, 2011)	Las características físicas y químicas de los efluentes de curtiembre son: Ph, temperatura, color, turbidez, SST, etc. Méndez (2007)	PARAMETROS FISICO QUIMICOA	PH	0-14
Procesos Fisicoquímicos				TEMEPRATURA	° C
			METALES PESADOS	Cr +6 Cr +3	mg/l
<b>Variable Dependiente</b>	Los métodos más usados para la remoción de Cr+6 son: adsorción, métodos químicos de tratamiento, ósmosis inversa, precipitación, tecnología de membrana y métodos electroquímicos.(Glorias, 2014)	. Reducción : se reduce el cromo hexavalente a trivalente mediante el uso de un agente reductor (López, 2013) Precipitación: Es un proceso dependiente del pH y de la concentración, puede emplearse Hidroxido de Calcio, Hidroxido de sodio u Oxido de Magnesio (Cerón,2011)	REDUCCIÓN	DOSIS DE SULFITO DE SODIO	ml
Remoción de Cr +6			PRECIPITACIÓN	DOSIS DE HIDROXIDO DE CALCIO	ml

### **3.4. Población y muestra**

#### **3.4.1. Población**

Nuestra población en estudio corresponde a los efluentes de curtiembre que se generan como producto del proceso de curtiembre después de haber pasado por una serie de etapas en el curtido de las pieles y que contienen presencia de cromo hexavalente.

#### **3.4.2. Muestra**

La muestra consta de un volumen de 135 litros de efluente de curtiembre tomados en tres tiempos diferentes durante el mes de febrero, siendo aproximadamente la toma de muestra de 45 litros por semana, considerando dos repeticiones para cada ensayo.

### **3.5. Instrumentos**

#### **3.5.1. Técnicas**

- Muestreo.
- Protocolo de muestreo (saneamiento).
- Análisis de muestras.
- Observación de campo.

#### **3.5.2. Instrumentos**

- Fichas de recolección de datos.
- Métodos Estandarizados.
- Fichas textuales, resúmenes de informes, trabajos anteriores si hubieran.
- Estadísticas, etc.

#### **3.5.3. Fuentes**

- Informes, trabajos anteriores, estadísticas, etc.
- El propio investigador se encargará de realizar los ensayos de laboratorio.

### **3.6. Procedimientos**

El procedimiento tomado para el desarrollo de la presente investigación considera tres etapas secuenciales: etapa inicial, etapa de laboratorio y etapa final de gabinete

#### **3.6.1. Etapa inicial**

En esta etapa se ubica el lugar donde se hará la toma de muestras para el desarrollo del trabajo del trabajo experimental, siendo la empresa IPEPESA ubicada en el distrito de Ate quien nos daría las facilidades para la recolección de las muestras necesarias para la investigación. Se tomó en cuenta para el muestreo el Protocolo de monitoreo de efluentes del subsector saneamiento, donde se tomaron una cantidad aproximada de 135 litros que incluye las repeticiones para cada ensayo.

#### **3.6.2. Etapa de laboratorio**

Una vez obtenidas las muestras recolectadas, fueron llevadas al laboratorio con el fin de analizar los parámetros más importantes tales como: Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), pH, y concentración de Cromo Hexavalente. La concentración inicial de  $\text{Cr}^{6+}$  fue determinado mediante el método colorimétrico (con difenil carbazida) con el uso del espectrofotómetro de absorción molecular y tomando como referencia los métodos estandarizados de la APHA, la medición del pH y la temperatura se realizó con el potenciómetro de mesa. La caracterización en general se llevó a cabo en el laboratorio de Geografía y Medio Ambiente de la facultad de Ingeniería, Geográfica, Ambiental y Ecoturismo, los resultados obtenidos fueron comparados con los valores especificados en el D.S. 003-2002-PRODUCE “Límites Máximos Permisibles y valores referenciales para las actividades industriales de cemento, cerveza, curtiembre y papel.”.

Las pruebas para el tratamiento fisicoquímico serán desarrolladas mediante una prueba de jarras o Jar Test, donde se aplicarán las dosis de reductor y luego del agente químico precipitante. Los ensayos serán llevados a cabo en cinco jarras de un litro de capacidad y se harán adicionalmente dos repeticiones para cada prueba o corrida experimental.



### **3.6.3. Etapa final**

Después de trabajar la parte analítica con los resultados finales obtenidos en las pruebas de jarras y las determinaciones de Cromo hexavalente, se evaluaron cuales fueron finalmente las dosis más óptimas en la remoción final de Cromo  $^{6+}$ , y se procedió a elaborar las tablas y graficas respectivas a fin de observar el comportamiento de cada dosis óptima registrada, de acuerdo a ello se obtiene las conclusiones finales.

### **3.7. Análisis de datos**

Para el análisis de datos cuantitativos se tomará en cuenta los niveles de medición de las variables y se aplicará la estadística que permitirá describir las características principales de las variables, tomadas individualmente. Para analizar y describir cada una de las variables se utilizará el programa Ms. Excel 2010; además se usará para presentar la estadística descriptiva tablas y gráficas de datos y para presentar la distribución de los datos se realizará empleando graficas lineales, todo esto con el propósito de conocer cuáles serán las dosis más óptimas y que pueda estar dentro de los Límites Máximos Permisibles para el  $Cr^6$  y probar así mismo las hipótesis.

## IV. RESULTADOS

### 4.1. Resultados iniciales de cromo hexavalente

En relación al primer objetivo planteado, y de acuerdo a los tres monitoreos llevados a cabo se determinaron las concentraciones de Cromo Hexavalente en las muestras tomadas en el efluente de curtiembre, así mismo, la caracterización fisicoquímica incluyó las mediciones del Potencial de Hidrogeno (pH) y Temperatura, las cuales fueron medidas antes de iniciar el proceso de tratamiento por procesos fisicoquímicos con Hidróxido de Calcio (CaOH), y después de haber pasado por una etapa de reducción con Bisulfito de Sodio (concentración al 1% y 20 ml de dosis).

**Tabla 2**

*Caracterización Fisicoquímica*

Monitoreo	T (°C)	pH	Cr <sup>6+</sup> (mg/l)
1	23.7	3.3	410.3
2	24.4	3.1	386.5
3	24.1	3.0	358.2
VMA	<35°C	6 - 9	0.5

*Nota.* T: Temperatura; pH: Potencial de Hidrógenos; Cr<sup>6+</sup>: Cromo Hexavalente

### 4.2. Resultados de la dosis óptima en la remoción de cromo VI

De acuerdo al segundo objetivo planteado, se muestran los resultados obtenidos en el tratamiento de Cr<sup>6+</sup> (reducido a Cr<sup>3+</sup>), donde se utilizaron tres concentraciones diferentes de hidróxido de Calcio de 0.5, 1.0 y 2.0 % para cada uno de los tres monitoreos realizados, a fin de determinar la dosis óptima para cada tratamiento en particular.

#### 4.2.1. Tratamiento N° 1

El tratamiento 1, fue desarrollado teniendo en cuenta el primer monitoreo, en el cual se consideró tres ensayos con concentraciones de 0.5, 1 y 2 % de CaOH.

- Primer ensayo

A continuación, se muestran los tres resultados del primer ensayo, el cual consistió en una corrida inicial y luego complementadas con dos repeticiones más. Los valores iniciales de las variables del ensayo fueron los siguientes:

- Volumen: 1L por muestra de tratamiento a 200 RPM..
- pH inicial: 3.3
- Concentración Inicial de  $Cr^{6+}$ : 410.3 mg/l
- Concentración (CaOH): 0.5 %
- Tiempo: 15 min.

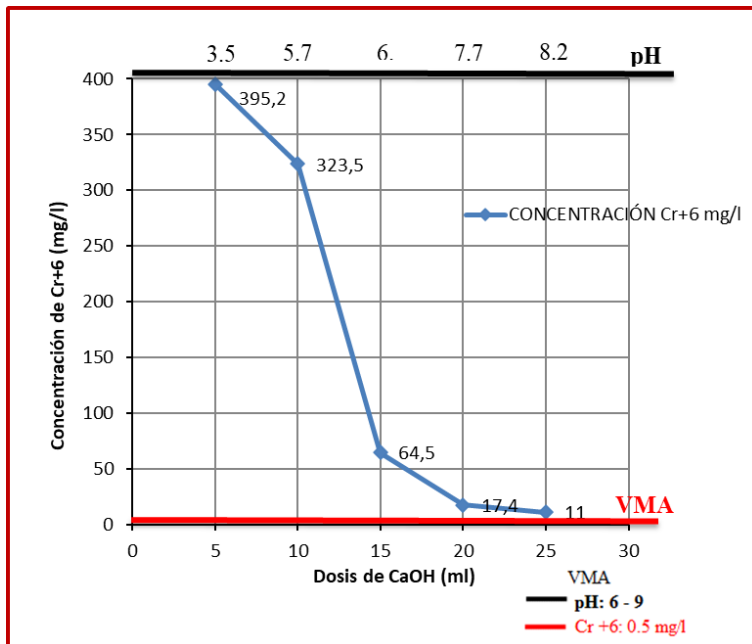
**Tabla 3**

*Resultados del primer ensayo ( $Cr^{6+}$ ): Tratamiento 1*

<b>Muestra</b>	<b>Dosis CaOH (ml)</b>				
<b>Tratamientos</b>	5	10	15	20	25
Concentración Inicial (mg/l)	410.3				
<b>pH</b>	3.5	5.7	6.9	7.7	8.2
Concentración Final (mg/l)	393.5	321.5	64.9	18.7	10.4
Repeticiones					
1	390.4	325.2	63.5	16.2	11.3
2	401.6	323.7	65.2	17.3	11.4
<b>Promedio</b>	<b>395.2</b>	<b>323.5</b>	<b>64.5</b>	<b>17.4</b>	<b>11.0</b>

**Figura 1**

Concentración de  $Cr^{6+}$  Vs.  $CaOH$  al 0.5%



De acuerdo al primer ensayo realizado, se puede apreciar que al trabajar con una concentración del 0.5% de  $CaOH$  y una concentración inicial de 410.3 mg/l de Cromo VI, los niveles empiezan a descender hasta alcanzar un valor final de 11.0 mg/l con una dosis de 25 ml. Se puede apreciar que los niveles de  $Cr^{6+}$  se van reduciendo considerablemente, según se van adicionando las diferentes dosis, sin embargo, con la adición de la última dosis no se logra alcanzar el valor esperado que esté por debajo del Valor Máximo Admisible (VMA) requerido por el sector competente (0.5 mg/l).

- Segundo ensayo

A continuación, se muestran los tres resultados del segundo ensayo, el cual consistió en una corrida inicial y luego complementadas con dos repeticiones más. Para la elaboración de las gráficas se tomó como base los promedios de las tres corridas experimentales. Los valores iniciales de las variables del ensayo fueron los siguientes:

- Volumen: 1L por muestra de tratamiento a 200 RPM..
- pH inicial: 3.3

- Concentración Inicial de Cr 6+ : 410.3 mg/l
- Dosis (CaOH): 1 %
- Tiempo: 15 min

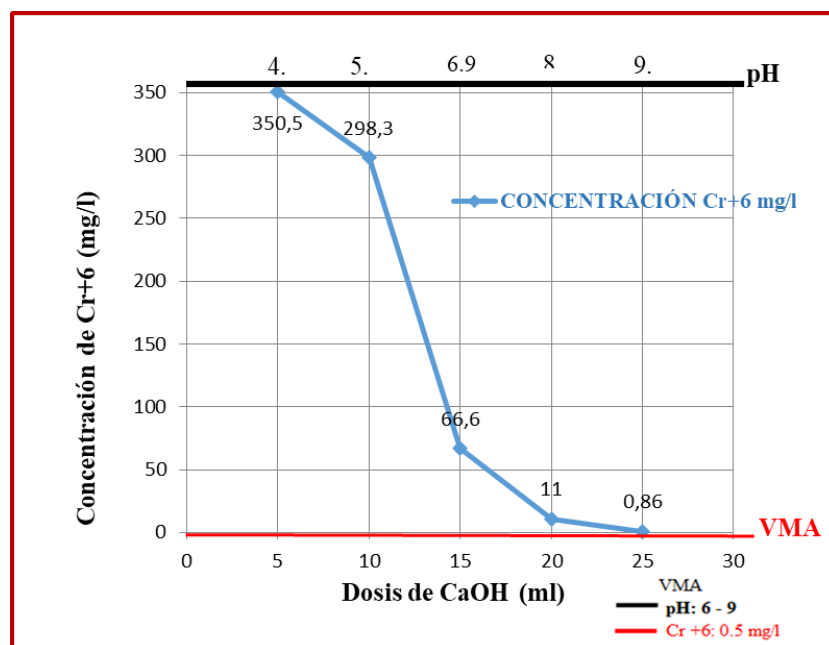
**Tabla 4**

Resultados del segundo ensayo (Cr<sup>6+</sup>): Tratamiento 1

Muestra	Dosis CaOH (ml)				
Tratamientos	5	10	15	20	25
Concentración Inicial (mg/l)	410.3				
pH	4.7	5.5	6.9	8.3	9.5
Concentración Final (mg/l)	350.3	301.5	65.9	10.7	0.85
<b>Repeticiones</b>					
1	353.2	298.2	66.3	11.1	0.88
2	348.1	295.3	67.8	11.4	0.87
<b>Promedio</b>	<b>350.5</b>	<b>298.3</b>	<b>66.6</b>	<b>11.0</b>	<b>0.86</b>

**Figura 2**

Concentración de Cr<sup>6+</sup> Vs CaOH al 1%



De acuerdo al segundo ensayo realizado, se puede apreciar que al trabajar con una concentración del 1 % de CaOH y una concentración inicial de 410.3 mg/l de Cromo VI, los niveles empiezan a descender hasta alcanzar un valor final de 0.86 mg/l con una dosis de 25 ml. Se puede apreciar que los niveles de Cr<sup>6+</sup> se van reduciendo considerablemente, según se van adicionando las diferentes dosis, sin embargo, con la adición de la última dosis no se logra alcanzar el valor esperado que esté por debajo del Valor Máximo Admisible (VMA) requerido por el sector competente (0.5 mg/l).

- Tercer ensayo

A continuación, se muestran los tres resultados del tercer ensayo, el cual consistió en una corrida inicial y luego complementadas con dos repeticiones más. Para la elaboración de las gráficas se tomó como base los promedios de las tres corridas experimentales. Los valores iniciales de las variables del ensayo fueron los siguientes:

- Volumen: 1L por muestra de tratamiento a 200 RPM..
- pH inicial: 3.3
- Concentración Inicial de Cr 6+ : 410.3 mg/l
- Dosis (CaOH): 2 %
- Tiempo: 15 min

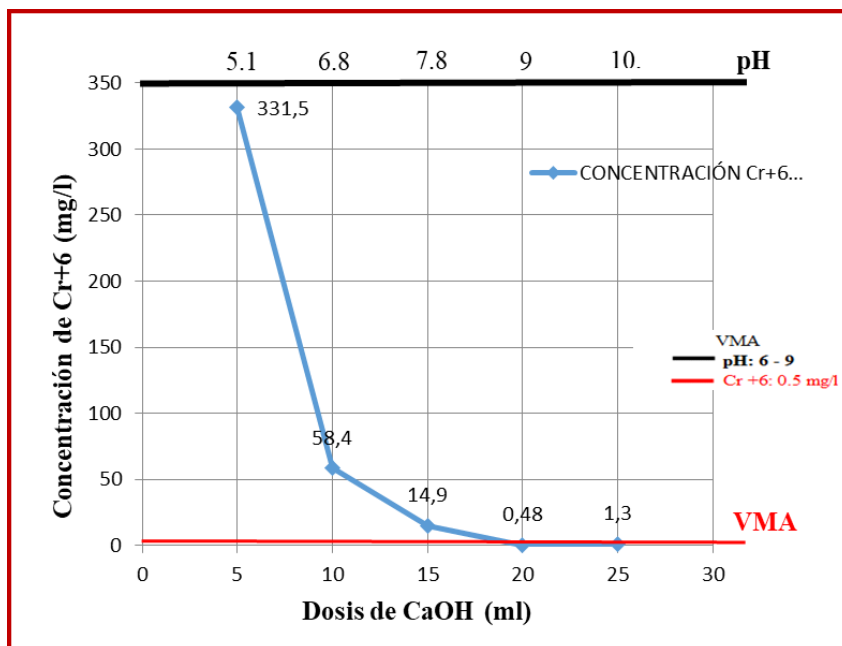
**Tabla 5**

*Resultados del tercer ensayo (Cr<sup>6+</sup>): Tratamiento 1*

<b>Muestra</b>	<b>Dosis CaOH (ml)</b>				
<b>Tratamientos</b>	5	10	15	20	25
Concentración Inicial (mg/l)	410.3				
<b>pH</b>	5.1	6.8	7.8	9	10.6
Concentración Final (mg/l)	330.4	59.5	14.9	0.51	1.3
<b>Repeticiones</b>					
1	335.2	58.2	15.1	0.45	1.2
2	328.8	57.4	14.7	0.49	1.4
<b>Promedio</b>	<b>331.5</b>	<b>58.4</b>	<b>14.9</b>	<b>0.48</b>	<b>1.3</b>

Figura 3

Concentración de  $Cr^{6+}$  Vs CaOH al 2%



De acuerdo al tercer ensayo realizado, se puede apreciar que al trabajar con una concentración del 2 % de CaOH y una concentración inicial de 410.3 mg/l de Cromo VI, los niveles empiezan a descender hasta alcanzar un valor final de 1.3 mg/l con una dosis de 25 ml. Sin embargo, se puede apreciar que los niveles de  $Cr^{6+}$  se van reduciendo considerablemente hasta alcanzar un valor promedio de 0.48 mg/l, con una dosis de 20 ml de NaOH, alcanzando de esta manera estar dentro del Valor Máximo Admisible (VMA) requerido por el sector competente (0.5 mg/l). Asimismo, cabe indicar que la *dosis óptima para este ensayo sería de 20 ml*, alcanzando una eficiencia del 99.8 %, se aprecia también que la dosis de 25 ml supera los Valores Máximos Admisibles.

#### 4.2.2. Tratamiento N° 2

El tratamiento 2, fue desarrollado teniendo en cuenta el segundo monitoreo, y en el cual se consideró tres ensayos con concentraciones de 0.5, 1 y 2 % de CaOH.

- Primer ensayo

A continuación, se muestran los tres resultados del primer ensayo, el cual consistió en una corrida inicial y luego complementadas con dos repeticiones más. Para la elaboración de las gráficas se tomó como base los promedios de las tres corridas experimentales. Los valores iniciales de las variables del ensayo fueron los siguientes:

- Volumen: 1L por muestra de tratamiento a 200 RPM.
- pH inicial: 3.3
- Concentración Inicial de Cr 6+ : 386.5 mg/l
- Dosis (CaOH): 0.5 %
- Tiempo: 15 min

**Tabla 6**

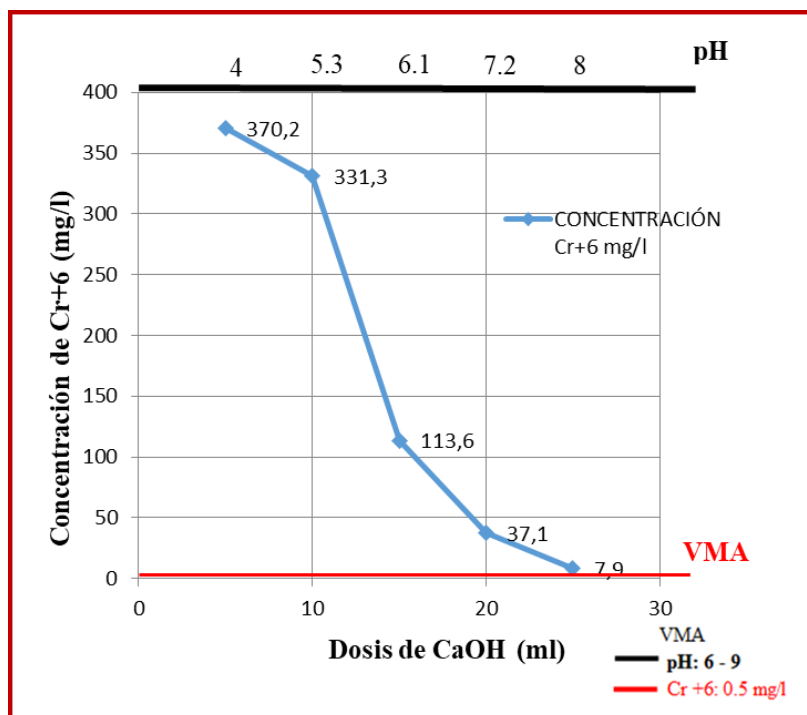
*Resultados del primer ensayo (Cr<sup>6+</sup>): Tratamiento 2*

<b>Muestra</b>	<b>Dosis CaOH (ml)</b>				
<b>Tratamientos</b>	5	10	15	20	25
Concentración Inicial (mg/l)	386.5				
<b>pH</b>	4	5.3	6.1	7.2	8
Concentración Final (mg/l)	370.4	331.5	114.9	34.7	7.8
<b>Repeticiones</b>					
1	369.2	332.2	112.3	37.1	8.1
2	371.1	330.3	113.8	39.4	7.9
<b>Promedio</b>	<b>370.2</b>	<b>331.3</b>	<b>113.6</b>	<b>37.1</b>	<b>7.9</b>



**Figura 4**

Concentración de  $Cr^{6+}$  Vs CaOH al 0.5%



De acuerdo al primer ensayo realizado, se puede apreciar que al trabajar con una concentración del 0.5% de CaOH y una concentración inicial de 386.5 mg/l de Cromo VI, los niveles empiezan a descender hasta alcanzar un valor final de 7.9 mg/l con una dosis de 25 ml. Se puede apreciar que los niveles de  $Cr^{6+}$  se van reduciendo considerablemente, según se van adicionando las diferentes dosis, sin embargo, con la adición de la última dosis no se logra alcanzar el valor esperado que esté por debajo del Valor Máximo Admisible (VMA) requerido por el sector competente (0.5 mg/l).

- Segundo ensayo

A continuación, se muestran los tres resultados del segundo ensayo, el cual consistió en una corrida inicial y luego complementadas con dos repeticiones más. Para la elaboración de las gráficas se tomó como base los promedios de las tres corridas experimentales. Los valores iniciales de las variables del ensayo fueron los siguientes:

- Volumen: 1L por muestra de tratamiento a 200 RPM..
- pH inicial: 3.3
- Concentración Inicial de Cr 6+ : 386.5 mg/l
- Dosis (CaOH): 1 %
- Tiempo: 15 min

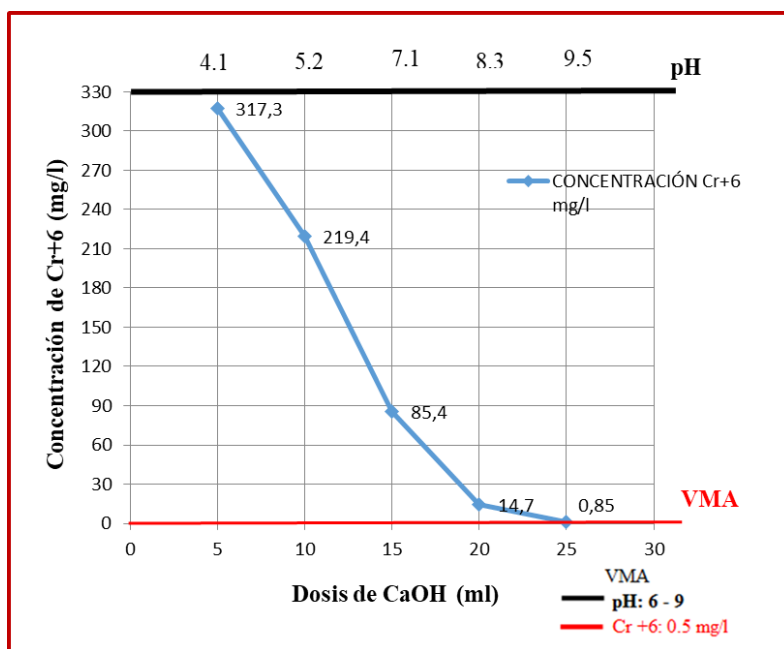
**Tabla 7**

Resultados del segundo ensayo (Cr<sup>6+</sup>): Tratamiento 2

Muestra	Dosis CaOH (ml)				
Tratamientos	5	10	15	20	25
Concentración Inicial (mg/l)	386.5				
pH	4.1	5.2	7.1	8.3	9.5
Concentración Final (mg/l)	318.4	220.3	84.7	14.4	0.9
<b>Repeticiones</b>					
1	316.4	218.7	85.2	15.3	0.8
2	317.2	219.1	86	14.5	0.9
<b>Promedio</b>	317.3	219.4	85.4	14.7	0.85

**Figura 5**

Concentración de Cr<sup>6+</sup> Vs. CaOH al 1%



De acuerdo al segundo ensayo realizado, se puede apreciar que al trabajar con una concentración del 1 % de CaOH y una concentración inicial de 386.5 mg/l de Cromo VI, los niveles empiezan a descender hasta alcanzar un valor final de 0.85 mg/l con una dosis de 25 ml. Se puede apreciar que los niveles de  $\text{Cr}^{6+}$  se van reduciendo considerablemente, según se van adicionando las diferentes dosis, sin embargo, con la adición de la última dosis no se logra alcanzar el valor esperado que esté por debajo del Valor Máximo Admisible (VMA) requerido por el sector competente (0.5 mg/l).

- Tercer ensayo

A continuación, se muestran los tres resultados del tercer ensayo, el cual consistió en una corrida inicial y luego complementadas con dos repeticiones más. Para la elaboración de las gráficas se tomó como base los promedios de las tres corridas experimentales. Los valores iniciales de las variables del ensayo fueron los siguientes:

- Volumen: 1L por muestra de tratamiento a 200 RPM..
- pH inicial: 3.3
- Concentración Inicial de  $\text{Cr}^{6+}$  : 386.5 mg/l
- Dosis (CaOH): 2 %
- Tiempo: 15 min

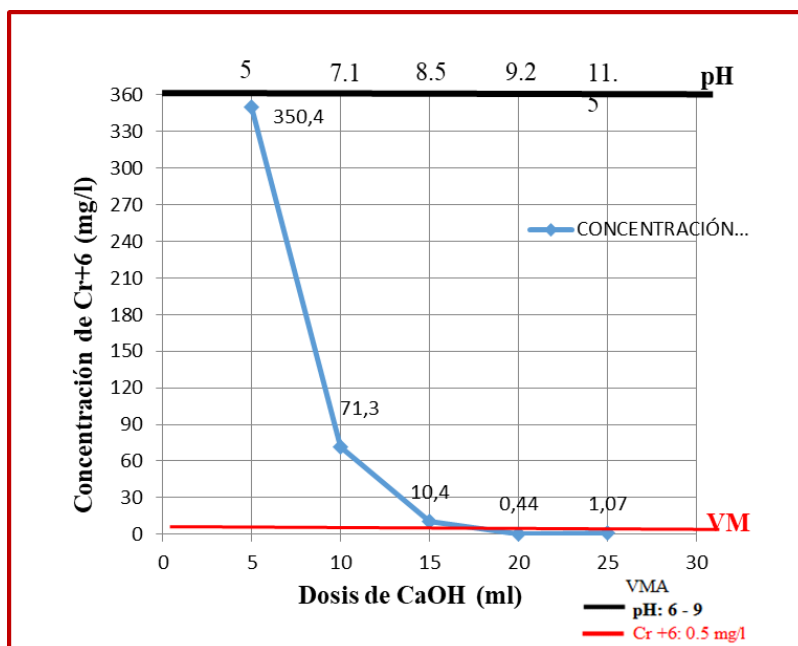
**Tabla 8**

*Resultados del tercer ensayo ( $\text{Cr}^{6+}$ ): Tratamiento 2*

<b>Muestra</b>	<b>Dosis CaOH (ml)</b>				
<b>Tratamientos</b>	5	10	15	20	25
Concentración Inicial (mg/l)	386.5				
<b>pH</b>	5	7.1	8.5	9.2	11.5
Concentración Final (mg/l)	350.4	70.5	10.42	0.43	0.92
<b>Repeticiones</b>					
1	351.2	71.2	10.39	0.45	1.18
2	349.8	72.4	10.41	0.44	1.13
<b>Promedio</b>	<b>350.4</b>	<b>71.3</b>	<b>10.41</b>	<b>0.44</b>	<b>1.07</b>

**Figura 6**

Concentración de  $Cr^{6+}$  vs.  $CaOH$  al 2%



De acuerdo al tercer ensayo realizado, se puede apreciar que al trabajar con una concentración del 2 % de  $CaOH$  y una concentración inicial de 386.5 mg/l de Cromo VI, los niveles empiezan a descender hasta alcanzar un valor final de 1.07 mg/l con una dosis de 25 ml. Sin embargo, puede apreciar que los niveles de  $Cr^{6+}$  trabajados con una dosis de 20 ml de  $NaOH$ , se van reduciendo considerablemente hasta alcanzar un valor de 0.48 mg/l, alcanzando de esta manera estar dentro del Valor Máximo Admisible (VMA) requerido por el sector competente (0.5 mg/l). Asimismo, cabe indicar que la *dosis óptima para este ensayo sería de 20 ml*, alcanzando una eficiencia del 99.8%, se aprecia también que la dosis de 25 ml supera los Valores Máximos Admisibles.

#### 4.2.3. Tratamiento N° 3

El tratamiento 3, fue desarrollado teniendo en cuenta el tercer monitoreo, y en el cual se consideró tres ensayos con concentraciones de 0.5, 1 y 2 % de  $CaOH$ .

- Primer ensayo

A continuación, se muestran los tres resultados del primer ensayo, el cual consistió en una corrida inicial y luego complementadas con dos repeticiones más. Para la elaboración de las gráficas se tomó como base los promedios de las tres corridas experimentales. Los valores iniciales de las variables del ensayo fueron los siguientes:

- Volumen: 1L por muestra de tratamiento a 200 RPM.
- pH inicial: 3.3
- Concentración Inicial de Cr 6+ : 358.2 mg/l
- Dosis (CaOH): 0.5 %
- Tiempo: 15 min

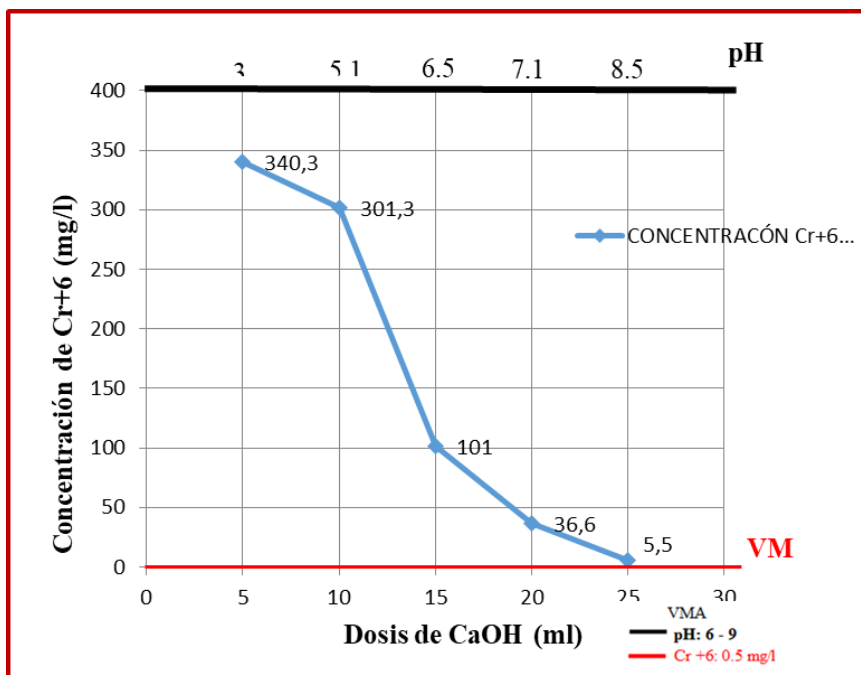
**Tabla 9**

*Resultados del primer ensayo (Cr<sup>6+</sup>): Tratamiento 3*

<b>Muestra</b>	<b>Dosis CaOH (ml)</b>				
<b>Tratamientos</b>	5	10	15	20	25
Concentración Inicial (mg/l)	358.2				
<b>pH</b>	3.5	5.1	6.5	7.1	8.5
Concentración Final (mg/l)	340.4	350.5	100.9	35.7	5.3
<b>Repeticiones</b>					
1	341.2	302.2	101.3	36.8	5.4
2	339.1	301.3	102.8	37.1	5.9
<b>Promedio</b>	<b>340.3</b>	<b>301.3</b>	<b>101</b>	<b>36.6</b>	<b>5.5</b>

**Figura 7**

Concentración de  $Cr^{6+}$  Vs.  $CaOH$  al 0.5%



De acuerdo a la gráfica en el primer ensayo realizado, se puede apreciar que al trabajar con una concentración del 0.5% de  $CaOH$  y una concentración inicial de 358.2 mg/l de Cromo VI, los niveles empiezan a descender hasta alcanzar un valor final de 5.5 mg/l con una dosis de 25 ml. Se puede apreciar que los niveles de  $Cr^{6+}$  se van reduciendo considerablemente, según se van adicionando las diferentes dosis, sin embargo, con la adición de la última dosis no se logra alcanzar el valor esperado que esté por debajo del Valor Máximo Admisible (VMA) requerido por el sector competente (0.5 mg/l).

- Segundo ensayo

A continuación, se muestran los tres resultados del segundo ensayo, el cual consistió en una corrida inicial y luego complementadas con dos repeticiones más. Para la elaboración de las gráficas se tomó como base los promedios de las tres corridas experimentales. Los valores iniciales de las variables del ensayo fueron los siguientes:

- Volumen: 1L por muestra de tratamiento a 200 RPM.

- pH inicial: 3.3
- Concentración Inicial de Cr 6+ : 358.2 mg/l
- Dosis (CaOH): 1 %
- Tiempo: 15 min

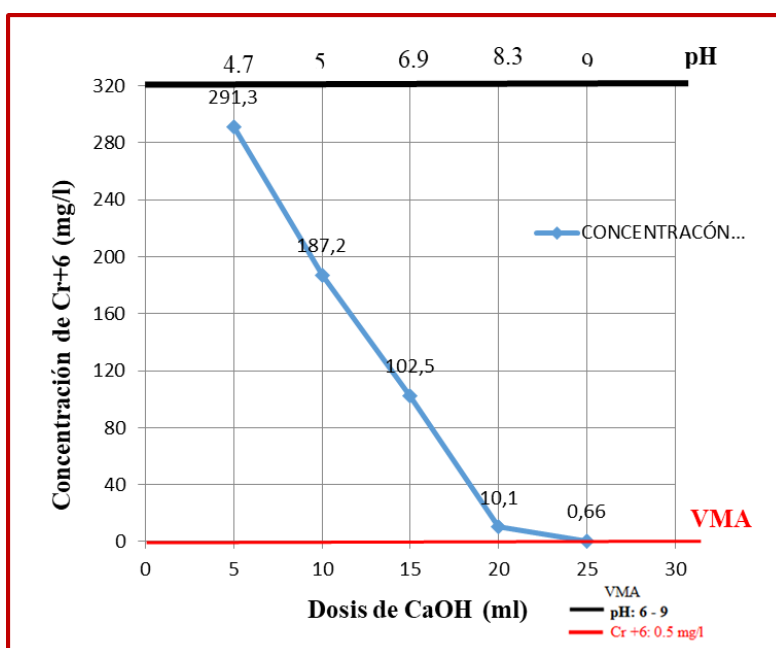
**Tabla 10**

*Resultados del segundo ensayo (Cr<sup>6+</sup>): Tratamiento 3*

Muestra	Dosis CaOH (ml)				
Tratamientos	5	10	15	20	25
Concentración Inicial (mg/l)	358.2				
pH	4.7	5.5	6.9	8.3	9.8
Concentración Final (mg/l)	290.4	188.3	101.5	10.3	0.65
<b>Repeticiones</b>					
1	292.3	187.2	103.3	9.8	0.68
2	291.2	186.1	102.7	10.2	0.67
<b>Promedio</b>	<b>291.3</b>	<b>187.2</b>	<b>102.5</b>	<b>10.1</b>	<b>0.66</b>

**Figura 8**

*Concentración de Cr<sup>6+</sup> Vs CaOH al 1%*



De acuerdo al segundo ensayo realizado, se puede apreciar que al trabajar con una concentración del 1 % de CaOH y una concentración inicial de 358.2 mg/l de Cromo VI, los niveles empiezan a descender hasta alcanzar un valor final de 0.66 mg/l con una dosis de 25 ml. Se puede apreciar que los niveles de Cr<sup>6+</sup> se van reduciendo considerablemente, según se van adicionando las diferentes dosis, sin embargo, con la adición de la última dosis no se logra alcanzar el valor esperado que esté por debajo del Valor Máximo Admisible (VMA) requerido por el sector competente (0.5 mg/l).

- Tercer ensayo

A continuación, se muestran los tres resultados del tercer ensayo, el cual consistió en una corrida inicial y luego complementadas con dos repeticiones más. Para la elaboración de las gráficas se tomó como base los promedios de las tres corridas experimentales. Los valores iniciales de las variables del ensayo fueron los siguientes:

- Volumen: 1L por muestra de tratamiento a 200 RPM.
- pH inicial: 3.3
- Concentración Inicial de Cr 6+ : 358.2 mg/l
- Dosis (CaOH): 2 %
- Tiempo: 15 min

**Tabla 11**

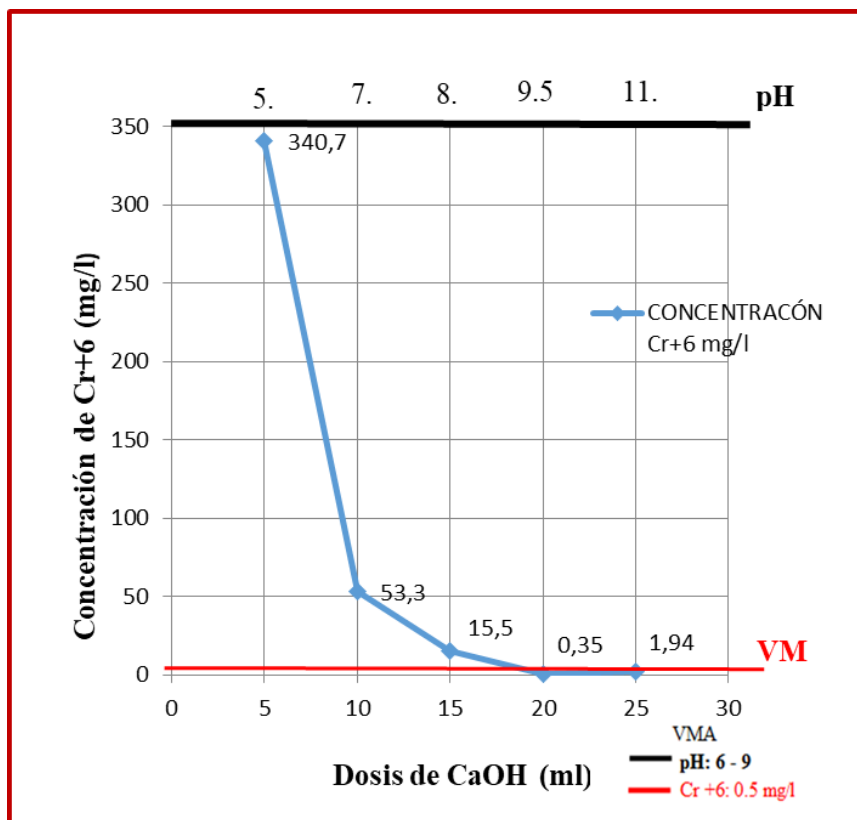
*Resultados del tercer ensayo (Cr<sup>6+</sup>): Tratamiento 3*

<b>Muestra</b>	<b>Dosis CaOH (ml)</b>				
<b>Tratamientos</b>	5	10	15	20	25
Concentración Inicial (mg/l)	358.2				
<b>pH</b>	5.1	7.3	8.3	9.5	11.2
Concentración Final (mg/l)	340.4	55.4	14.5	0.35	1.85
<b>Repeticiones</b>					
1	341.2	53.5	15.3	0.37	1.91
2	340.6	54.1	16.7	0.36	2.05
<b>Promedio</b>	<b>340.7</b>	<b>53.3</b>	<b>15.5</b>	<b>0.35</b>	<b>1.94</b>



**Figura 9**

Concentración de  $Cr^{6+}$  Vs.  $CaOH$  al 2%



De acuerdo al primer ensayo realizado, se puede apreciar que al trabajar con una concentración del 2 % de  $CaOH$  y una concentración inicial de 358.2 mg/l de Cromo VI, los niveles empiezan a descender hasta alcanzar un valor final de 1.94 mg/l con una dosis de 25 ml. Sin embargo, puede apreciar que los niveles de  $Cr^{6+}$  trabajados con una dosis de 20 ml de  $NaOH$ , se van reduciendo considerablemente hasta alcanzar un valor de 0.35 mg/l, alcanzando de esta manera estar dentro del Valor Máximo Admisible (VMA) requerido por el sector competente (0.5 mg/l). Asimismo, cabe indicar que la *dosis óptima para este ensayo sería de 20 ml*, alcanzando una eficiencia del 99.9%, por otro lado, la dosis de 25 ml supera los Valores Máximos Admisibles.

### 4.3. Resultados finales de cromo VI

De acuerdo al tercer objetivo propuesto se determinaron las concentraciones finales de Cromo VI para cada tratamiento y ensayos correspondientes.

#### 4.3.1. Resultados del Primer Tratamiento

A continuación, se muestran los resultados de los tres ensayos correspondientes al primer tratamiento:

- Ensayo N° 1

En la tabla 12, se muestran los resultados obtenidos del primer ensayo, el cual presentó una concentración inicial de 410.3 mg/l y concentraciones finales promedio de 395.2, 323.5, 64.5, 17.4 y 11.0 mg/l de acuerdo a cada dosis utilizada de CaOH (0.5%).

**Tabla 12**

*Concentraciones finales ( $Cr^{6+}$ ) del Primer Ensayo y Primer Tratamiento*

Variables	MUESTRAS				
Concentración Inicial de $Cr^{6+}$ (mg/l)	410.3				
Dosis de NaOH (ml)	5	10	15	20	25
pH	3.5	5.7	6.9	7.7	8.2
Concentraciones Finales de $Cr^{6+}$ (mg/l)	<b>395.2</b>	<b>323.5</b>	<b>64.5</b>	<b>17.4</b>	<b>11.0</b>

- Ensayo N° 2

En la tabla 13, se muestran los resultados obtenidos del segundo ensayo para el primer tratamiento, el cual presentó una concentración inicial de 410.3 mg/l y concentraciones finales promedio de 350.5, 298.3, 66.6, 11.0 y 0.86 mg/l de acuerdo a cada dosis utilizada de CaOH (1%).

**Tabla 13***Concentraciones finales ( $Cr^{6+}$ ) del Segundo Ensayo y Primer Tratamiento*

Variables	MUESTRAS				
Concentración Inicial de $Cr^{6+}$ (mg/l)	410.3				
Dosis de NaOH (ml)	5	10	15	20	25
pH	4.7	5.5	6.9	8.3	9.5
Concentraciones Finales de $Cr^{6+}$ (mg/l)	<b>350.5</b>	<b>298.3</b>	<b>66.6</b>	<b>11.0</b>	<b>0.86</b>

- Ensayo N° 3

En la tabla 14, se muestran los resultados obtenidos del tercer ensayo, el cual presentó una concentración inicial de 410.3 mg/l y concentraciones finales promedio de 331.5, 58.4, 14.9, 0.48 y 1.3 mg/l de acuerdo a cada dosis utilizada de CaOH (2%)

**Tabla 14***Concentraciones finales ( $Cr^{6+}$ ) del Tercer Ensayo y Primer Tratamiento*

Variables	MUESTRAS				
Concentración Inicial de $Cr^{6+}$ (mg/l)	410.3				
Dosis de NaOH (ml)	5	10	15	20	25
pH	5.1	6.8	7.8	9	10.6
Concentraciones Finales de $Cr^{6+}$ (mg/l)	<b>331.5</b>	<b>58.4</b>	<b>14.9</b>	<b>0.48</b>	<b>1.3</b>

#### 4.3.2. Resultados del segundo tratamiento

A continuación, se muestran los resultados de los tres ensayos correspondientes al segundo tratamiento:

- Ensayo N° 1

En la tabla 15, se muestran los resultados obtenidos del primer ensayo, el cual presentó una concentración inicial de 386.5 mg/l y concentraciones finales promedio de 370.2, 331.3, 113.6, 37.1 y 7.9 mg/l de acuerdo a cada dosis utilizada de CaOH (0.5%).

**Tabla 15**

*Concentraciones finales ( $Cr^{6+}$ ) del Primer Ensayo y Segundo Tratamiento*

Variables	MUESTRAS				
Concentración Inicial de $Cr^{6+}$ (mg/l)	386.5				
Dosis de NaOH (ml)	5	10	15	20	25
pH	4	5.3	6.1	7.2	8
Concentraciones Finales de $Cr^{6+}$ (mg/l)	<b>370.2</b>	<b>331.3</b>	<b>113.6</b>	<b>37.1</b>	<b>7.9</b>

- Ensayo N° 2

En la tabla 16, se muestran los resultados obtenidos del segundo ensayo, el cual presentó una concentración inicial de 386.5 mg/l y concentraciones finales promedio de 317.3, 219.4, 85.4, 14.7 y 0.85 mg/l de acuerdo a cada dosis utilizada de CaOH (1%).

**Tabla 16**

*Concentraciones finales ( $Cr^{6+}$ ) del Segundo Ensayo y Primer Tratamiento*

Variables	MUESTRAS				
Concentración Inicial de $Cr^{6+}$ (mg/l)	386.5				
Dosis de NaOH (ml)	5	10	15	20	25
pH	4.1	5.2	7.1	8.3	9.5
Concentraciones Finales de $Cr^{6+}$ (mg/l)	<b>317.3</b>	<b>219.4</b>	<b>85.4</b>	<b>14.7</b>	<b>0.85</b>

- Ensayo N° 3

En la tabla 17, se muestran los resultados obtenidos del tercer ensayo, el cual presentó una concentración inicial de 386.5 mg/l y concentraciones finales promedio de 350.4, 71.3, 10.41, 0.44 y 1.07 mg/l de acuerdo a cada dosis utilizada de CaOH (2%).

**Tabla 17**

*Concentraciones finales ( $Cr^{6+}$ ) del Tercer Ensayo y Segundo Tratamiento*

Variables	MUESTRAS				
Concentración Inicial de $Cr^{6+}$ (mg/l)	386.5				
Dosis de NaOH (ml)	5	10	15	20	25
pH	5	7.1	8.5	9.2	11.5
Concentraciones Finales de $Cr^{6+}$ (mg/l)	<b>350.4</b>	<b>71.3</b>	<b>10.41</b>	<b>0.44</b>	<b>1.07</b>

#### 4.3.3. Resultados del tercer tratamiento

A continuación, se muestran los resultados de los tres ensayos correspondientes al tercer tratamiento:

- Ensayo N° 1

En la tabla 18, se muestran los resultados obtenidos del primer ensayo, el cual presentó una concentración inicial de 358.2 mg/l y concentraciones finales promedio de 340.3, 301.3, 101.0, 36.6 y 5.5 mg/l de acuerdo a cada dosis utilizada de CaOH (0.5%).

**Tabla 18**

*Concentraciones finales ( $Cr^{6+}$ ) del Primer Ensayo y Tercer Tratamiento*

Variables	MUESTRAS				
Concentración Inicial de $Cr^{6+}$ (mg/l)	358.2				
Dosis de NaOH (ml)	5	10	15	20	25
pH	3.5	5.1	6.5	7.1	8.5
Concentraciones Finales de $Cr^{6+}$ (mg/l)	<b>340.3</b>	<b>301.3</b>	<b>101</b>	<b>36.6</b>	<b>5.5</b>

- Ensayo N° 2

En la tabla 19, se muestran los resultados obtenidos del segundo ensayo, el cual presentó una concentración inicial de 358.2 mg/l y concentraciones finales promedio de 291.3, 187.2, 102.5, 10.1 y 0.66 mg/l de acuerdo a cada dosis utilizada de CaOH (1%).

**Tabla 19**

*Concentraciones finales ( $Cr^{6+}$ ) del Segundo Ensayo y Tercer Tratamiento*

Variables	MUESTRAS				
Concentración Inicial de $Cr^{6+}$ (mg/l)	358.2				
Dosis de NaOH (ml)	5	10	15	20	25
pH	4.7	5.5	6.9	8.3	9.8
Concentraciones Finales de $Cr^{6+}$ (mg/l)	<b>291.3</b>	<b>187.2</b>	<b>102.5</b>	<b>10.1</b>	<b>0.66</b>

- Ensayo N° 3

En la tabla 20, se muestran los resultados obtenidos del tercer ensayo, el cual presentó una concentración inicial de 358.2 mg/l y concentraciones finales promedio de 340.7, 53.3, 15.5, 0.35 y 1.94 mg/l de acuerdo a cada dosis utilizada de CaOH (2%).

**Tabla 20**

*Concentraciones finales ( $Cr^{6+}$ ) del Tercer Ensayo y Tercer Tratamiento*

Variables	MUESTRAS				
Concentración Inicial de $Cr^{6+}$ (mg/l)	358.2				
Dosis de NaOH (ml)	5	10	15	20	25
pH	5.1	7.3	8.3	9.5	11.2
Concentraciones Finales de $Cr^{6+}$ (mg/l)	<b>340.7</b>	<b>53.3</b>	<b>15.5</b>	<b>0.35</b>	<b>1.94</b>

#### 4.4. Análisis estadísticos

##### 4.4.1. Caracterizando la muestra en su estado inicial

De acuerdo a la información generada se tienen los siguientes datos iniciales, mostrados en la tabla 21:

**Tabla 21**

*Caracterización del agua Residual Obtenida*

Concentración Inicial de Cr <sup>+6</sup>	pH determinado
410.3 mg/l	3.5

Teniendo como base el DS 021-2009 VIVIENDA como base para analizar la concentración de cromo hexavalente tolerable se tiene que el agua excede en la misma y también en pH, por lo cual se justifica el tratamiento a virtud de esto se aplicó 3 tratamientos al agua con diferentes dosis de neutralizador, el cual permitirá neutralizar la acidez del agua y al mismo tiempo liberar el cromo hexavalente.

##### 4.4.2. Análisis estadístico descriptivo comparativo

Aplicando los tres tratamientos al agua residual de curtiembre se obtiene los siguientes resultados estadísticos:

- Tratamiento 1

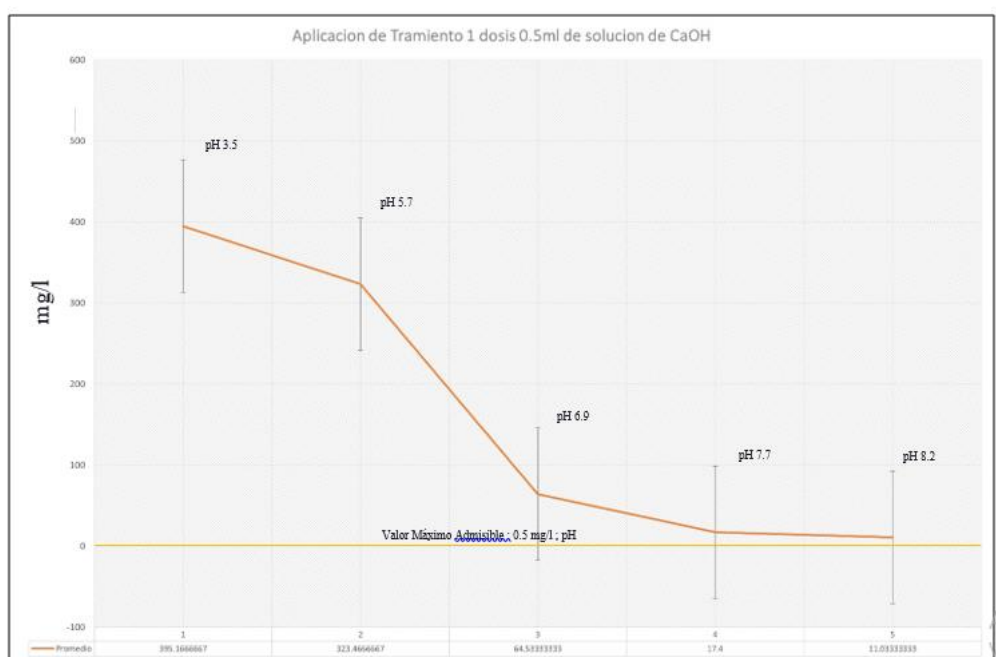
**Tabla 22**

*Tratamiento 1, Primera dosis aplicada (0.5 ml de CaOH)*

TRATAMIENTO 1					
Dosis 0.5 ml de solución CaOH					
	5 ml	10 ml	15 ml	20 ml	25 ml
Repeticion1	393.5	321.5	64.9	18.7	10.4
Repeticion2	390.4	325.2	63.5	16.2	11.3
Repeticion3	401.6	323.7	65.2	17.3	11.4
Promedio	395.167	323.4666667	64.53333333	17.4	11.03333333
pH	3.5	5.7	6.9	7.7	8.2

**Figura 10**

*Resultados de aplicación del tratamiento 1, dosis 0.5 ml de CaOH*

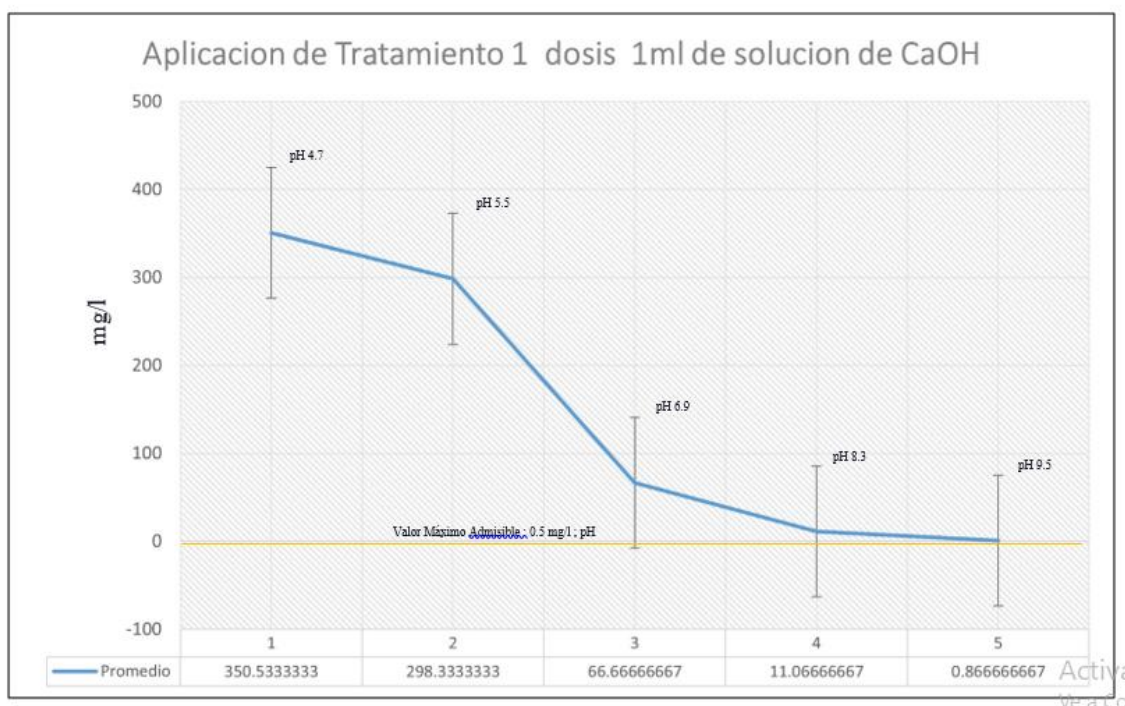


De la Tabla 22 y Figura 10 se observa que se presenta una disminución significativa en la concentración de Cromo Hexavalente en todo el tratamiento, observando que el periodo de tiempo de aplicación del mismo de 20 ml es el que presenta mayor remoción, pero no cumpliendo con el límite mínimo admitido por la norma, a su vez si cumple según norma con el pH admisible.



**Tabla 23***Tratamiento 1, Segunda dosis aplicada (1 ml de CaOH)*

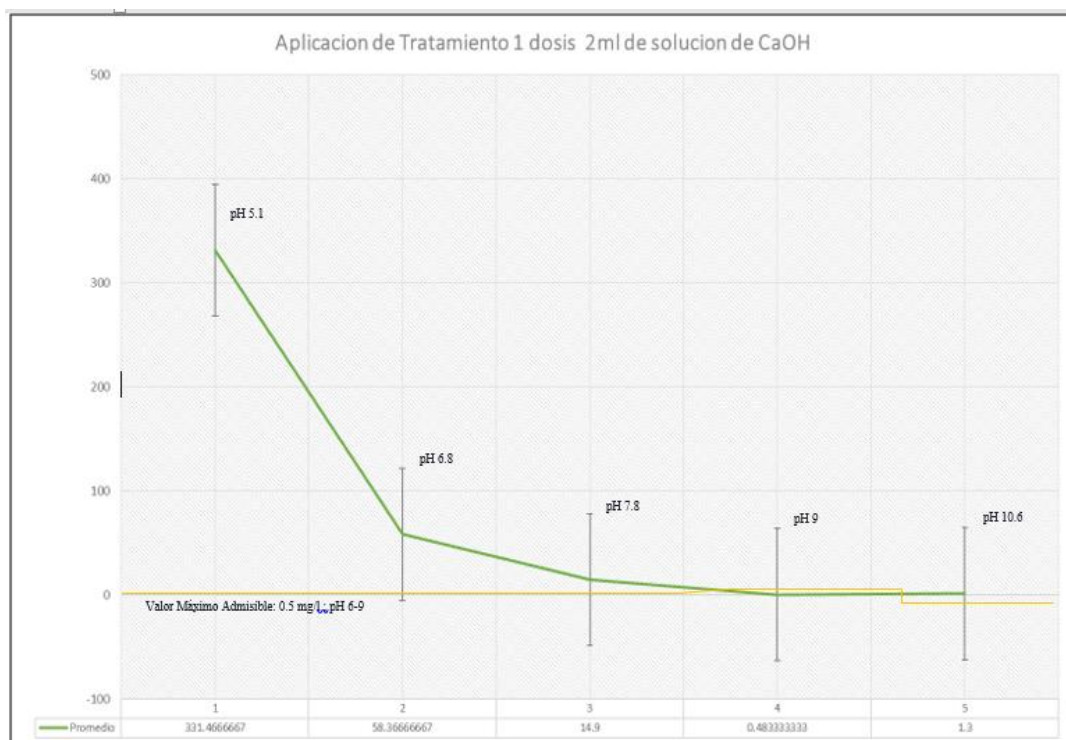
TRATAMIENTO 1					
Concentración al 1% de solución CaOH					
	5 ml	10 ml	15 ml	20 ml	25 ml
Repetición1	350.3	301.5	65.9	10.7	0.85
Repetición2	353.2	298.2	66.3	11.1	0.88
Repetición3	348.1	295.3	67.8	11.4	0.87
Promedio	350.533	298.3333333	66.66666667	11.066667	0.866666667
pH	4.7	5.5	6.9	8.3	9.5

**Figura 11***Resultados de aplicación del tratamiento 1, dosis 1 ml de CaOH*

De la Tabla 23 y Figura 11 se observa que se presenta una disminución significativa en la concentración de Cromo Hexavalente en todo el tratamiento, observando que el periodo de tiempo de aplicación del mismo de 25 min es el que presenta mayor remoción, pero no cumpliendo con el límite mínimo admitido por la norma, a su vez si cumple según norma con el pH admisible.

**Tabla 24***Tratamiento 1, Segunda dosis aplicada (1 ml de CaOH)*

TRATAMIENTO 1					
Dosis 2 ml de solución CaOH					
	5 min	10 min	15 min	20 min	25 min
Repeticion1	330.4	59.5	14.9	0.51	1.3
Repeticion2	335.2	58.2	15.1	0.45	1.2
Repeticion3	328.8	57.4	14.7	0.49	1.4
Promedio	331.467	58.36666667	14.9	0.48333333	1.3
pH	5.1	6.8	7.8	9	10.6

**Figura 12***Resultados de aplicación del tratamiento 1, dosis 2 ml de CaOH*

De la Tabla 24 y Figura 12 se observa que se presenta una disminución significativa en la concentración de Cromo Hexavalente en todo el tratamiento, observando que el periodo de tiempo de aplicación del mismo de 20 min es el que presenta mayor remoción, cumpliendo los Valores Máximos Admisibles determinados por ley.

- **Tratamiento 2**

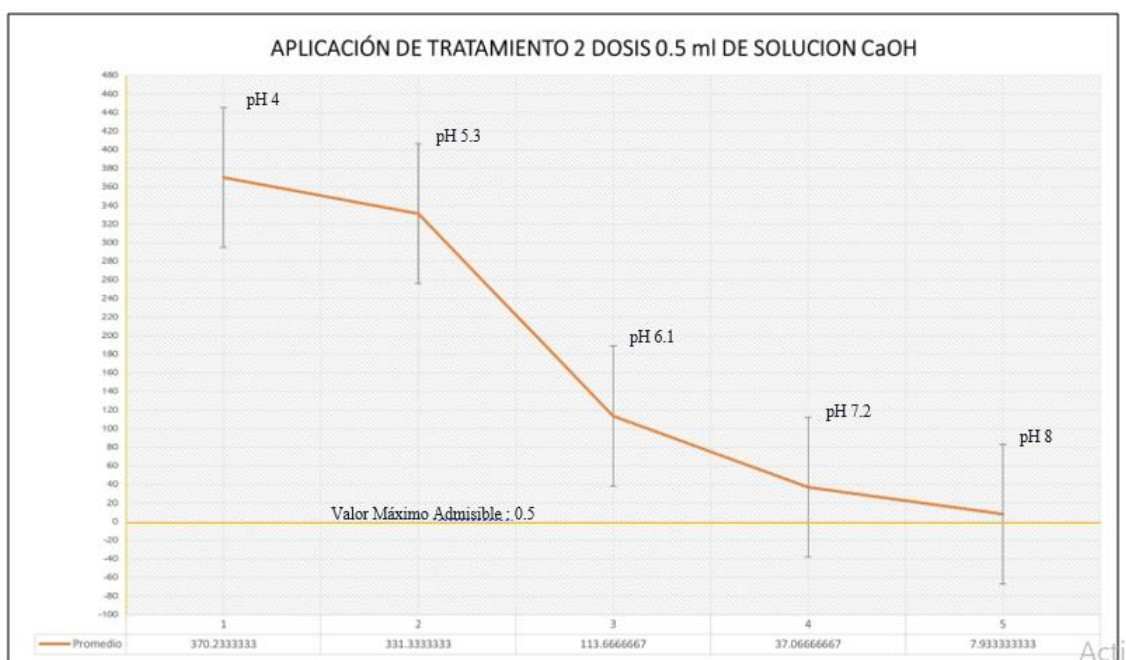
**Tabla 25**

*Tratamiento 2, Primera concentración aplicada (0.5% de CaOH)*

TRATAMIENTO 2					
Dosis 0.5 ml de solución CaOH					
	5 min	10 min	15 min	20 min	25 min
Repeticion1	370.4	331.5	114.9	34.7	7.8
Repeticion2	369.2	332.2	112.3	37.1	8.1
Repeticion3	371.1	330.3	113.8	39.4	7.9
Promedio	370.2333333	331.3333333	113.6666667	37.06666667	7.933333333
pH	4	5.3	6.1	7.2	8

**Figura 13**

*Resultados de aplicación del tratamiento 2, dosis 0.5 ml de CaOH*



De la Tabla 25 y Figura 13 se observa que se presenta una disminución significativa en la concentración de Cromo Hexavalente en todo el tratamiento, observando que el periodo de tiempo de aplicación del mismo de 25 min es el que presenta mayor remoción, pero no

cumpliendo con el Valor Máximo Admisible por la norma, a su vez si cumple según norma con el pH admisible.

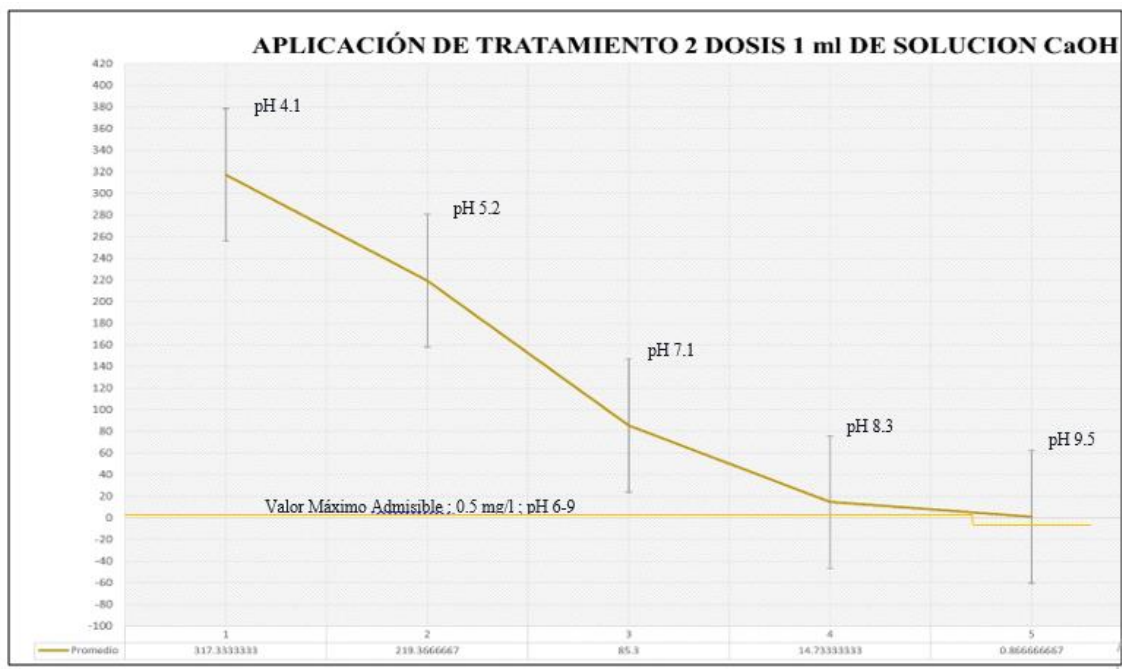
**Tabla 256**

*Tratamiento 2, Segunda dosis aplicada (1 ml de CaOH)*

TRATAMIENTO 2					
Dosis 1 ml de solución CaOH					
	5 min	10 min	15 min	20 min	25 min
Repeticion1	318.4	220.3	84.7	14.4	0.9
Repeticion2	316.4	218.7	85.2	15.3	0.8
Repeticion3	317.2	219.1	86	14.5	0.9
Promedio	317.333333	219.366667	85.3	14.7333333	0.86666667
pH	4.1	5.2	7.1	8.3	9.5

**Figura 14**

*Resultados de aplicación del tratamiento 2, dosis 1.0 ml de CaOH*



De la Tabla 26 y Figura 14 se observa que se presenta una disminución significativa en la concentración de Cromo Hexavalente en todo el tratamiento, observando que el periodo de

tiempo de aplicación del mismo de 25 min es el que presenta mayor remoción, pero no cumpliendo con el Valor Máximo Admisible por la norma, a su vez no cumple según norma con el pH admisible.

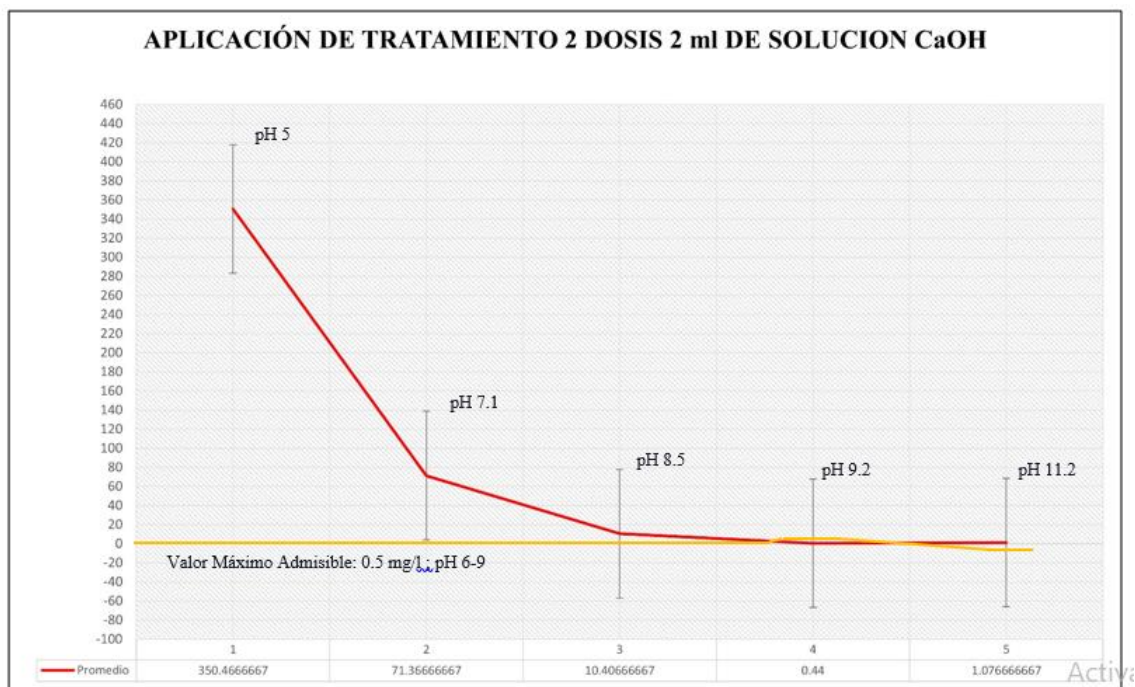
**Tabla 26**

*Tratamiento 2, Tercera dosis aplicada (2 ml de CaOH)*

TRATAMIENTO 2					
Dosis 2 ml de solución CaOH					
	5 min	10 min	15 min	20 min	25 min
Repetición1	350.4	70.5	10.42	0.43	0.92
Repetición2	351.2	71.2	10.39	0.45	1.18
Repetición3	349.8	72.4	10.41	0.44	1.13
Promedio	350.466667	71.3666667	10.4066667	0.44	1.07666667
pH	5	7.1	8.5	9.2	11.5

**Figura 15**

*Resultados de aplicación del tratamiento 2, dosis 2.0 ml de CaOH*



De la Tabla 27 y Figura 15 se observa que se presenta una disminución significativa en la concentración de Cromo Hexavalente en todo el tratamiento, observando que el periodo de

tiempo de aplicación del mismo de 20 min es el que presenta mayor remoción, cumpliendo con el Valor Máximo Admisible por la norma, a su vez no cumple según norma con el pH admisible.

- **Tratamiento 3:**

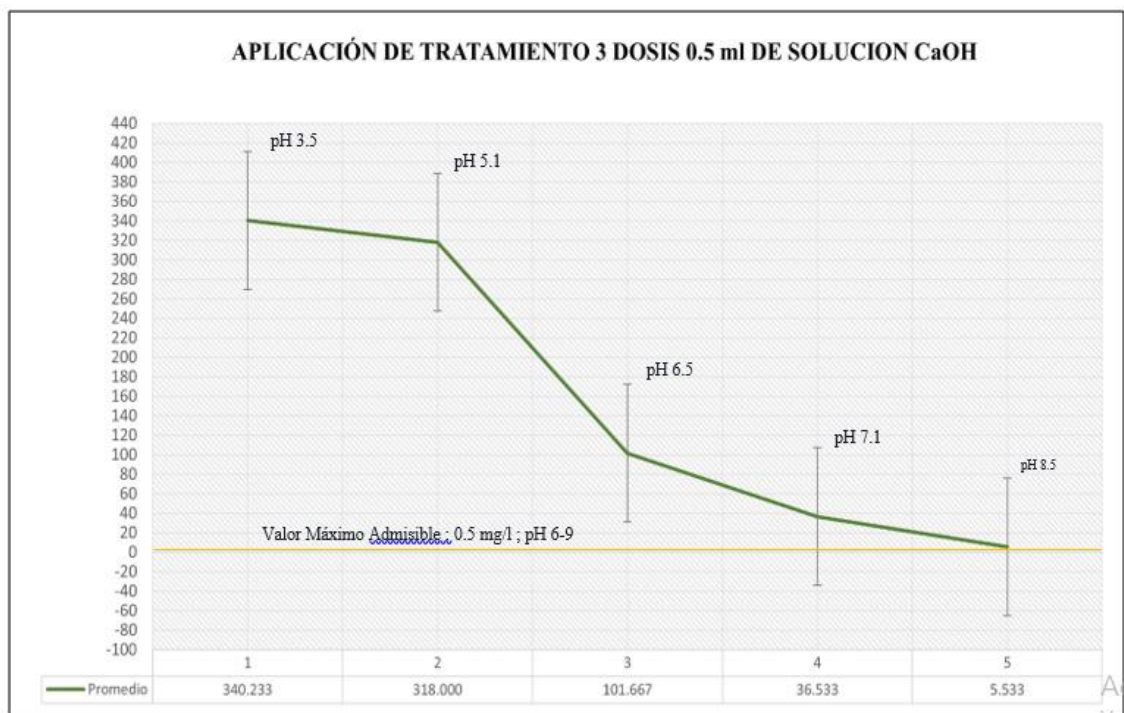
**Tabla 27**

*Tratamiento 3, Primera dosis aplicada (0.5 ml de CaOH)*

TRATAMIENTO 3					
Dosis 0.5 ml de solución CaOH					
	5 min	10 min	15 min	20 min	25 min
Repetición1	340.4	350.5	100.9	35.7	5.3
Repetición2	341.2	302.2	101.3	36.8	5.4
Repetición3	339.1	301.3	102.8	37.1	5.9
Promedio	340.2333	318.0000	101.6667	36.5333	5.5333
pH	3.5	5.1	6.5	7.1	8.5

**Figura 16**

*Resultados de aplicación del tratamiento 3, dosis 0.5 ml de CaOH*



De la Tabla 28 y Figura 16 se observa que se presenta una disminución significativa en la concentración de Cromo Hexavalente en todo el tratamiento, observando que el periodo de tiempo de aplicación del mismo de 25 min es el que presenta mayor remoción, pero no cumpliendo con el Valor Máximo Admisible por la norma, a su vez cumple según norma con el pH admisible.

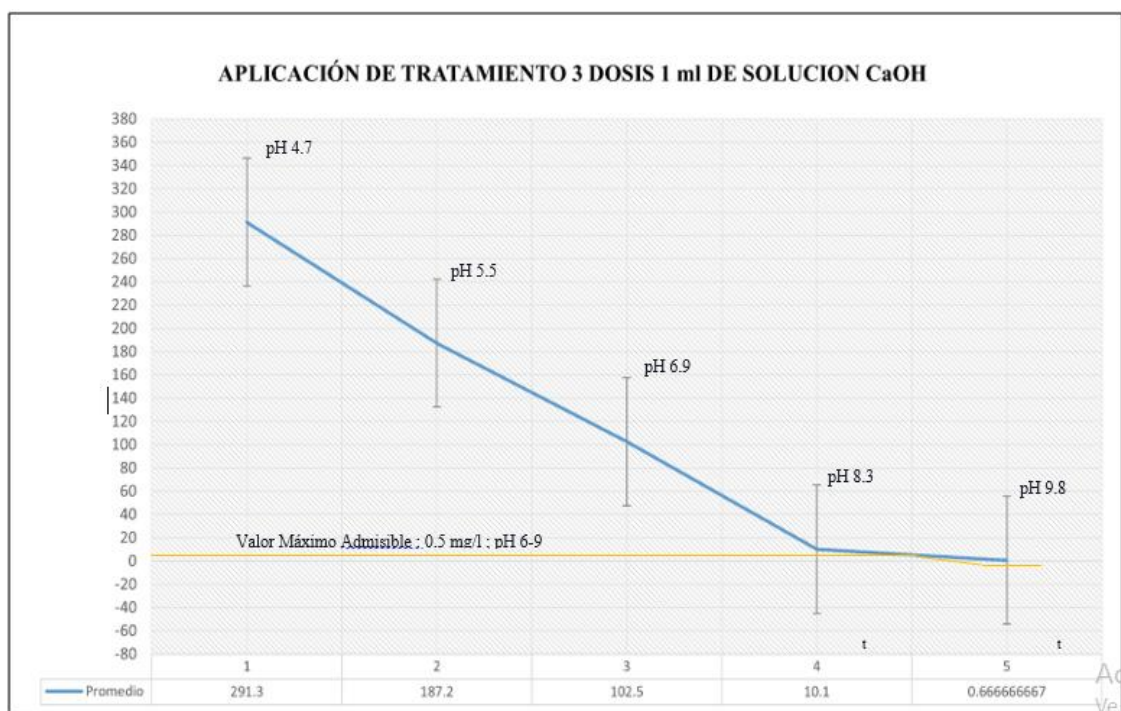
**Tabla 28**

*Tratamiento 3, Segunda dosis aplicada (1 ml de CaOH)*

TRATAMIENTO 3					
Dosis 1 ml de solución CaOH					
	5 min	10 min	15 min	20 min	25 min
Repeticion1	290.4	188.3	101.5	10.3	0.65
Repeticion2	292.3	187.2	103.3	9.8	0.68
Repeticion3	291.2	186.1	102.7	10.2	0.67
Promedio	291.3	187.2	102.5	10.1	0.6666667
pH	4.7	5.5	6.9	8.3	9.8

**Figura 17**

*Resultados de aplicación del tratamiento 3, dosis 1.0 ml de CaOH*



De la Tabla 29 y Figura 17 se observa que se presenta una disminución significativa en la concentración de Cromo Hexavalente en todo el tratamiento, observando que el periodo de tiempo de aplicación del mismo de 25 min es el que presenta mayor remoción, pero no cumpliendo con el Valor Máximo Admisible por la norma, a su vez no cumple según norma con el pH admisible.

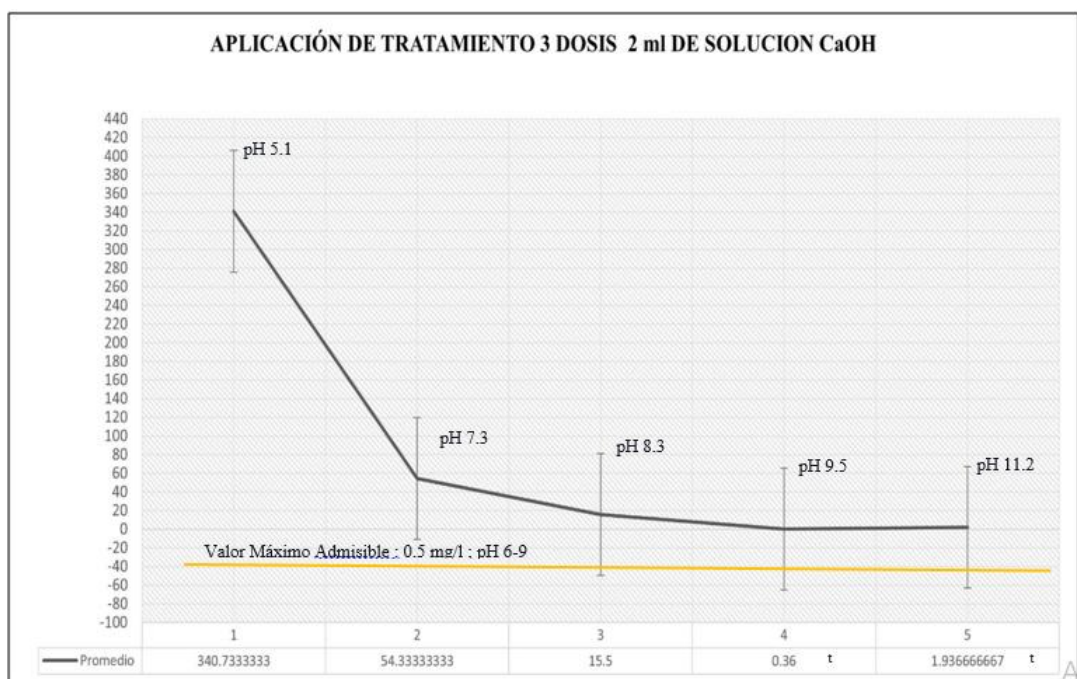
**Tabla 30**

*Tratamiento 3, Tercera dosis aplicada (2 ml de CaOH)*

TRATAMIENTO 3					
Dosis 2 ml de solución CaOH					
	5 min	10 min	15 min	20 min	25 min
Repeticion1	340.4	55.4	14.5	0.35	1.85
Repeticion2	341.2	53.5	15.3	0.37	1.91
Repeticion3	340.6	54.1	16.7	0.36	2.05
Promedio	340.73333	54.333333	15.5	0.36	1.9366667
pH	5.1	7.3	8.3	9.5	11.2

**Figura 18**

*Resultados de aplicación del tratamiento 3, dosis 2.0 ml de CaOH*





De la Tabla 30 y Figura 18 se observa que se presenta una disminución significativa en la concentración de Cromo Hexavalente en todo el tratamiento, observando que el periodo de tiempo de aplicación del mismo de 20 min es el que presenta mayor remoción, cumpliendo con el Valor Máximo Admisible por la norma, a su vez no cumple según norma con el pH admisible.

#### 4.4.3. Análisis estadístico inferencial

Después de analizar estadísticamente la muestra se comprueba que existe una relación muy fuerte entre la Variación de Cromo y el pH buscando el fundamento estadístico para validar la dosis optima del tratamiento por el cual se analiza las concentraciones optimas, o que tratamiento tiene mayor remoción de Cr VI para probar cuál de los tres tratamientos es más efectivo por medio de una prueba ANOVA de un solo factor la cual se realizó por medio de software MiniTab versión 19

**Tabla 29**

*Resultados de tratamientos Concentración 2% de CaOH, Dosis 20 ml*

	T1	T2	T3
Repetición 1	0.51	0.43	0.35
Repetición 2	0.45	0.45	0.37
Repetición 3	0.49	0.44	0.36
pH	9	9.2	9.5

Para demostrar la validez estadística de la dosis optima obtenida tiene que cumplir con los requisitos de la Prueba ANOVA que para fines de la investigación es el mayor valor obtenido en la prueba y que el sig o p-valor sea menor a 0.05 que es el grado de incertidumbre o sig de la investigación, y además el pH por ser un valor de importancia debe cumplir con el VMA establecido. Para lo cual se estableció el siguiente resultado:

## Figura 19

Resultados de la prueba de Validez Inferencial ANOVA de un solo factor aplicada a la Investigación

<b>Método</b>					
Hipótesis nula	Todas las medias son iguales				
Hipótesis alterna	No todas las medias son iguales				
Nivel de significancia	$\alpha = 0.05$				
Filas no utilizadas	54				
<i>Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.</i>					
<b>Información del factor</b>					
Factor	Niveles	Valores			
Factor	3	T1; T2; T3			
<b>Análisis de Varianza</b>					
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	2	0,046978	0,023489	77,72	0,000
Error	15	0,004533	0,000302		
Total	17	0,051511			
<b>Resumen del modelo</b>					
S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)		
0,0173845	91,20%	90,03%	87,33%		
<b>Medias</b>					
Factor	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%	
T1	6	0,4833	0,0273	(0,4682; 0,4985)	
T2	6	0,44000	0,00894	(0,42467; 0,45513)	
T3	6	0,36000	0,00894	(0,34467; 0,37513)	
<i>Desv.Est. agrupada = 0,0173845</i>					
<b>Comparaciones en parejas de Tukey</b>					
Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%					
Factor	N	Media	Agrupación		
T1	6	0,4833	A		
T2	6	0,44000	B		
T3	6	0,36000	C		
<i>Las medias que no comporten una letra son significativamente diferentes.</i>					

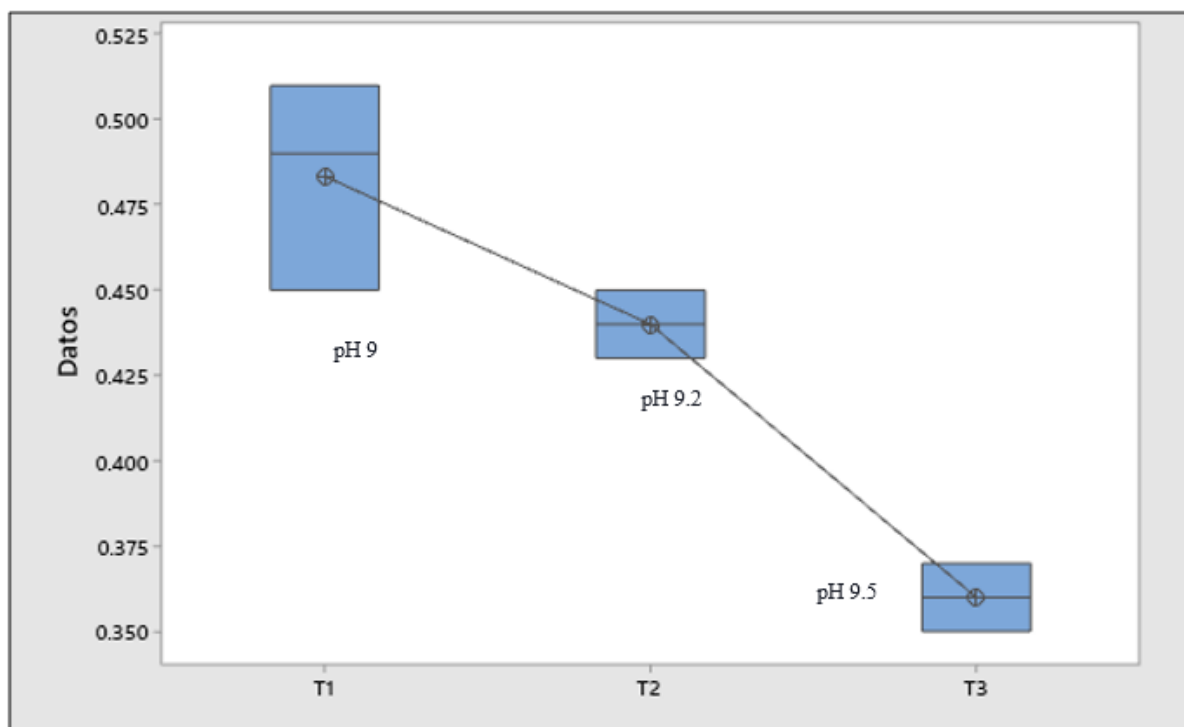
- **Interpretación**

Para validar la prueba inferencial ANOVA los datos tienen que haber sido obtenidos al azar, lo cual se fundamenta en que es el promedio de datos monitoreados de manera casual sin ninguna manipulación de la información a la hora de efectuar las muestras, seguidamente se comprueba que el Valor p es igual a 0.00 que es menor a 0.05 que es el valor p de la

investigación por lo cual se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna de la prueba que versa: No todas las medias son iguales, implicando una diferencia entre los tratamientos, seguidamente se analiza la prueba Tukey la cual establece que estadísticamente todas las pruebas son diferentes sin guardar una similitud estadística, pero por la premisa ya mencionada por la naturaleza de la investigación se acepta que la prueba que presenta mayor media, es la más eficiente en remover Cr VI, por lo tanto con  $F=77.72$  y una confianza del 95% se puede inferir que el Tratamiento 1 con dosis de 2 ml de CaOH es el más eficiente en remover Cr VI, por lo tanto la dosis óptima en todos los tratamientos es 2 ml de CaOH en solución a un tiempo de exposición de 20 min, cumpliendo los mismos con el VMA establecido por norma.

### Figura 20

*Análisis de cajas realizados a los resultados de prueba inferencial ANOVA de un solo factor*



*Nota.* Si bien los tratamientos que demuestran mayor remoción son el T2 y T3, siendo el T3 el más efectivo en remover Cr VI, pero por la naturaleza de investigación y porque el pH obtenido que cumple un factor concomitante en la toma de decisión inferencial se asume que el T1 es el tratamiento más eficiente en remover Cr VI cumpliendo con la norma vigente.

#### 4.4.4. Contratación de hipótesis de la investigación

Para poder contrastar las hipótesis tanto general como específica se contrasta de la siguiente manera:

**Tabla 30**

*Contratación de hipótesis*

HIPOTESIS GENERAL	ARGUMENTACION	CONTRASTACION
La evaluación de Cromo Hexavalente permitirá conocer su grado de remoción por procesos fisicoquímicos en efluentes de curtiembre de la empresa IPEPESA, 2020.	La remoción en los tres tratamientos es significativa presentando un valor estadístico $F=77.72$ y un P-valor $=0.00$ , lo que establece que existe significancia en los tres tratamientos al momento de remover cromo hexavalente	Verdadera
<b>HIPOTESIS ESPECIFICAS</b>		
Las concentraciones de Cromo Hexavalente se encuentran fuera de los rangos de los VMA antes del tratamiento por procesos fisicoquímicos en el efluente de curtiembre de la Empresa IPEPESA, 2020.	La concentración de cromo hexavalente en la muestra original es de 410.13 mg/l lo que superara en mucho al valor establecido por el VMA vigente que es de 0.5 mg/l	Verdadera
Los procesos fisicoquímicos permitirán conocer la dosis óptima para la remoción de Cromo hexavalente en el efluente de curtiembre de la Empresa IPEPESA, 2020.	La dosis optima evaluada en tres tratamientos con solución de CaOH aplicada es de 2 ml de CaOH en solución en un tiempo de aplicación de 20 min, esto determinado después de una correlación estadística verificada en los tres tratamientos	Verdadera
Las concentraciones de Cromo Hexavalente se encuentran dentro de los VMA después del tratamiento por procesos fisicoquímicos en el efluente de curtiembre de la Empresa IPEPESA, 2020.	Las concentraciones se encuentran por debajo de los valores de VMA establecido siendo el factor determinante el pH, el cual no se encuentra en un rango permitido salvo en la dosis optima en la cual el pH juega un papel determinante para establecer la concentración optima de dosis superior a esta disminuye su capacidad de remoción del tratamiento y el pH aumenta.	Verdadera

## V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Portada (2016), en su investigación realizada sobre “Tratamiento de las Aguas Residuales del Proceso de Curtido en Pielés por Procesos Físico-Químico de la Curtiembre de la Facultad de Ingeniería Química de la UNA-PUNO, empleó soluciones de NaOH para el tratamiento obteniendo la remoción de las concentraciones de cromo (III) y sólidos totales (ST) en un 96.22% y 73.65% respectivamente. El porcentaje de oxidación de sulfuro fue del 91.45%, y a través de la precipitación con NaOH se logró disminuir las concentraciones de sólidos totales (ST) y cromo (III) hasta en un 96.22% y 73.65% respectivamente. Para el caso de nuestra investigación en el primer tratamiento se alcanzó la mayor eficiencia cuando se trabajó con una dosis de 20 ml y una concentración del 2% de CaOH, llegando a remover desde un nivel inicial de 410.3 mg/l hasta 0.48 mg/l de Cr 6+ alcanzando una remoción del 99.8%, para el caso del segundo tratamiento de igual manera se alcanzó la mayor eficiencia cuando se trabajó con una dosis de 20 ml y una concentración del 2% de CaOH, llegando a remover desde un nivel inicial de 386.5 mg/l hasta 0.44 mg/l, de Cr 6+ alcanzando una remoción del 99.8%, y finalmente para el tercer tratamiento también se alcanzó la mayor eficiencia cuando se trabajó con una dosis de 20 ml y una concentración del 2% de CaOH, llegando a remover desde un nivel inicial de 358.2 mg/l hasta 0.35 mg/l, de Cr 6+ alcanzando una remoción del 99.9%.

Juarez et al. (2019), en la investigación que desarrollaron sobre “Determinación de los Parámetros Electroquímicos Óptimos para la Remoción de Cromo (III) y DQO en Aguas de Curtido a través del proceso de Electrocoagulación en un Reactor de Recirculación”, alcanzó reducir el Cromo (III) de 2484 ppm a 0,3 ppm y el DQO de 8200 ppm a 38 ppm, encontrándose estos valores por debajo de los Límites Máximos Permisibles (LMP). En relación a nuestra investigación tenemos que en el primer tratamiento se alcanzó la mayor eficiencia cuando se trabajó con una dosis de 20 ml y una concentración del 2% de CaOH, alcanzando una remoción

del 99.8%, para el caso del segundo tratamiento de igual manera se alcanzó la mayor eficiencia cuando se trabajó con una dosis de 20 ml y una concentración del 2% de CaOH, alcanzando una remoción del 99.8%, y finalmente para el tercer tratamiento también se alcanzó la mayor eficiencia cuando se trabajó con una dosis de 20 ml y una concentración del 2% de CaOH, alcanzando una remoción del 99.9%.

Olivera (2018), en su estudio que realizó sobre: “Remoción de cromo VI de aguas residuales de curtiembres utilizando el polvo de la semilla de Moringa oleífera como coagulante natural en la región Puno, 2018”, encuentra que la mayor remoción se obtiene empleando una concentración de 7 % y pH 10, removiendo el 95.6 % de cromo VI, tal es así que la semilla de Moringa oleífera pasa a ser un coagulante eficaz para la remoción de este metal en aguas residuales de curtiembre, y se determina también que el pH y la concentración de coagulante influyen directamente en la Remoción de Cromo VI. En el caso de nuestra investigación para el primer tratamiento se alcanzó la mayor eficiencia cuando se trabajó con una dosis de 20 ml y una concentración del 2% de CaOH y un pH de 9.0, desde una concentración inicial de 410.3 mg/l hasta 0.48 mg/l de Cr 6+ alcanzando una remoción del 99.8%. En el segundo tratamiento, de igual manera se alcanzó la mayor eficiencia cuando se trabajó con una dosis de 20 ml y una concentración del 2% de CaOH y un pH de 9.2, llegando a remover desde un nivel inicial de 386.5 mg/l hasta 0.44 mg/l, de Cr 6+ alcanzando una remoción del 99.8%, y finalmente para el tercer tratamiento también se alcanzó la mayor eficiencia cuando se trabajó con una dosis de 20 ml y una concentración del 2% de CaOH y un pH de 9.5, llegando a remover desde un nivel inicial de 358.2 mg/l hasta 0.35 mg/l, de Cr 6+ alcanzando una remoción del 99.9%.

Muñis (2016), en su investigación sobre “Eficiencia del biosorbente de coronta de maíz para la adsorción del Cromo Hexavalente en aguas residuales de la industria Curtiembre Huachipa – 2016, obtuvo que el biosorbente de coronta de maíz es altamente eficiente para

tratar aguas residuales de la industria curtiembre, el cual dio un porcentaje de remoción de 83.5% con el tratamiento T1, a 60 min de tiempo de contacto con 100 r.p.m. En analogía con nuestra investigación, las cuales fueron trabajadas con tiempos únicos de 15 minutos y a 200 r.p.m., se alcanzaron eficiencias en cada uno de los tratamientos cuando se trabajaron con dosis de 20 ml y una concentración del 2% de CaOH, alcanzando remociones para el primer y segundo tratamiento, remociones del 99.8%, y para el tercer tratamiento 98.9%.

## VI. CONCLUSIONES

➤ Los efluentes de las actividades de curtiembre de acuerdo a su caracterización presentan elevadas concentraciones de Cromo Total, en forma de Cromo III y Cromo VI, alcanzando promedios de 2365 y 385 mg/l respectivamente, y presentando un grado de acidez o pH que fluctúa entre 3.0, 3.1 y 3.3.

➤ En los tres tratamientos aplicados para la remoción de Cr VI, al ser trabajados con dosis de 20 ml de CaOH al 2%, se alcanzaron eficiencias del 99.8% para los tratamientos 1 y 2 (0.48 y 0.44 mg/l Cr<sup>6+</sup> respectivamente), y del 99.9% para el tratamiento 3 (0.35 mg/l), sin embargo, los tratamientos 2 y 3, presentan niveles de pH que superan los Valores Máximos Admisibles (9), siendo de 9.2 y 9.5, los cuales ya no resultan ser óptimos de acuerdo a la norma, en tal sentido la dosis óptima corresponde al tratamiento 1, el cual llegó a alcanzar un valor de 0.48 mg/l de Cr<sup>6+</sup> a un pH de 9, encontrándose por debajo de los Valores Máximos Admisibles (0.5 mg/l Cr<sup>6+</sup>).

➤ Las concentraciones finales de Cr<sup>6+</sup>, después de cada tratamiento final presentan diferentes valores dependiendo del pH a los que fueron tratados, así tenemos, por ejemplo, para el tratamiento 1, el cual presentó una concentración inicial de 410.3 mg/l se alcanzó remover hasta 0.86 mg/l a un pH de 9, mientras que, para el tratamiento 2, con una concentración inicial de 386.5 mg/l se alcanzó remover hasta 0.44 mg/l a un pH de 9.2 y finalmente en el tratamiento 3, con una concentración inicial de 358.2 mg/l se alcanzó remover hasta 0.35 mg/l a un pH de 9.5.

➤ Si bien es cierto que en los tres tratamientos se alcanzan eficiencias cercanas al 99.8%, los tratamientos 2 y 3, superan los niveles de pH normados por los Valores Máximos Admisibles (9), sin embargo, el tratamiento 1, es quien alcanza los niveles que no superan los Valores Máximos Admisibles, siendo 0.48 mg/l para Cr<sup>6+</sup> y pH de 9.



## VII. RECOMENDACIONES

➤ A fin de encontrar mayores posibilidades de remoción de Cromo VI, se recomienda variar las concentraciones y dosis del agente químico utilizado, de manera que se pueda evaluar o mejorar la eficiencia de la metodología aplicada.

➤ Se recomienda considerar diferentes tiempos y número de revoluciones para el agente químico utilizado, con la finalidad de verificar y comprobar el ensayo bajo otras condiciones que pueden resultar más óptimas.

➤ Se recomienda buscar otros tipos de reductores químicos, los cuales puedan reemplazar al utilizado en la presente investigación, de manera que se use la menor cantidad posible y mejore los resultados obtenidos.

➤ Se recomienda aplicar otros tipos de agentes químicos con mayores tiempos de sedimentación a fin de evaluar los ensayos bajo otras condiciones que puedan mejorar los resultados de la presente investigación.

➤ Se recomienda continuar investigando lo desarrollando en el presente estudio, de manera que se puedan encontrar mayores alternativas en el tratamiento y remoción de Cromo VI en otros efluentes diferentes al de curtiembres, siguiendo el procedimiento establecido en la presente investigación.

## VIII. REFERENCIAS

- Aguilar, M. (2002). *Tratamiento físico-químico de aguas residuales: Coagulación-floculación*. Editorial Servicio de Publicaciones Universidad de Murcia.
- Albert L. (1985). *Curso básico de toxicología ambiental*. Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud. <https://iris.paho.org/handle/10665.2/55908>
- Amiard-Triquet, C. (1989). Bioaccumulation et nocivitt relatives de quelques polluants metalliques a l'égard des especes marines. *Bulletin d'Ecologie*, 20, 129-151. <https://hal-emse.ccsd.cnrs.fr/emnse-00611721/document>
- Brauckmann, B. (1990). *Industrial Solutions Amenable to Biosorption*. Editorial CRC Press Boca Raton.
- Cerón, P. (2011). *Estudio de un sistema físico-químico a escala prototipo de tratamiento de aguas residuales provenientes de una curtiembre* [Tesis de titulación, Universidad San Francisco de Quito] Repositorio Institucional. <http://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/1248>
- Cervantes, C., Campos, J., Devars, S., Gutierrez, F., Lozano, H., Torres, J.C. y Moreno, R. (2001). Interactions of chromium with microorganisms and plants. *FEMS Microbiology Reviews*, 25, 333-347. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11348688/>
- Chávez, A. (2010). Descripción de la nocividad del cromo proveniente de la industria curtiembre y las posibles formas de removerlo. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 9(17), 41-49. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4845697.pdf>
- Codd, R., Dillon, T. Levina, A. y Lay, P. (2001). Studies on the genotoxicity of chromium: from the test tube to the cell. *Coordination Chemistry Reviews*, 216, 537-582. [https://doi.org/10.1016/S0010-8545\(00\)00408-2](https://doi.org/10.1016/S0010-8545(00)00408-2)

- Cuberos, E., Rodríguez, A. y Prieto, E. (2009). Niveles de Cromo y Alteraciones de Salud en una Población Expuesta a las Actividades de Curtiembres en Bogotá, Colombia. *Revista de Salud Pública*. 11(2), 278-289. [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0124-00642009000200012](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0124-00642009000200012)
- Doble M. y Kumar A. (2005). Tannery Effluent. In *Biotreatment of Industrial Effluents*, 133–143. <https://doi.org/10.1016/b978-075067838-4/50013-0>
- Dunn, M., Jimenez, J., Baumgardner, D., Castro T., McMurry P. y Smith, J. (2004). Measurements of Mexico City nanoparticle size distributions: Observations of new particle formation and growth, *Geophysical Research Letters*, 31(10). <https://doi.org/10.1029/2004GL019483>.
- Duran, G. (2007). *Empresa y medio ambiente: Políticas de gestión ambiental*. Editorial Pirámide.
- García, G., y García, A. (2009). Fosfolipasas A2: Grandes familias y mecanismos de acción. *Revista Repertorio De Medicina Y Cirugía*, 18(4), 199–209. <https://doi.org/10.31260/RepertMedCir.v18.n4.2009.555>
- Glorias, F. (2014) *Remoción de Cromo Hexavalente utilizando un Sistema de Filtración con  $\alpha$ -Alúmina* [Tesis de maestría, Universidad Autónoma del Estado de México]. Repositorio Institucional. <http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/14995/420094.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Gunn, J. (2004). *Encyclopedia of Caves and Karst Science*. Editorial Fitzroy Dean.
- Higa, T. y Parr, J. (1996) Beneficial and Effective Microorganisms for a Sustainable Agriculture and Environment. *International Nature Farming Research Center, Atami*, 9(4), 1-5. <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=PH9610388>

- Higuera, E. (2008). *El reto de una ciudad habitable y sostenible*. Editorial DAPP Publicaciones Jurídicas.
- Juarez, C., Osorio, G., y Rodriguez, J. (2019). *Determinación de los Parámetros Electroquímicos Óptimos para la Remoción de Cromo (III) y DQO en Aguas de Curtido a través del proceso de Electrocoagulación en un Reactor de Recirculación* [Tesis de titulación, Universidad Nacional San Agustín] Repositorio Institucional. <http://proyectos-vri.unsa.edu.pe/handle/91.103.221022/499>
- Kuyucak, N. (1990). *Feasibility of biosorbent applications*. In *Biosorption of Heavy Metals*. Editorial CRC Press Boca Raton.
- Langard S., y Costa M. (2014) *Chromium*. In: *Nordberg GF, Fowler BA, Nordberg M, editors. Handbook on the Toxicology of Metals*. Editorial Academic Press.
- Lee, P. (2005). *Putting principles into practice: understanding history*. Editorial National Academies Press.
- Maksaev, V., Munizaga, F., Zentilli, M. y Charrier, R. (2009). Fission track thermochronology of Neogene plutons in the Principal Andean Cordillera of central Chile (33°-35°S): Implications for tectonic evolution and porphyry Cu-Mo mineralization. *Revista Geológica Andean Geology*, 36(2), 153-171. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=173914378001>
- Marín. R. (2013). *Procesos Físicoquímicos en Depuración de Aguas: Teoría, práctica y problemas resueltos*. Editorial Díaz de Santos S.A. <https://acortar.link/GxRUiM>
- Martin, M. (2008). *Caracterización y aplicación de biomasa residual a la eliminación de metales pesados* [Tesis Doctoral, Universidad de Granada] Repositorio Institucional. <http://hdl.handle.net/10481/1906>
- Méndez, R., Vidal, G., Márquez, F., E.K., (2007). *Producción Limpia en la Industria de Curtiembre*. Santiago de Compostela. Editorial Universidad de Santiago de

Compostela. <https://acortar.link/GxRUiM>

- Mendoza, R. (2016). *Efecto precipitante del hidróxido de sodio y óxido de magnesio en la remoción de cromo del efluente de curtido, inversiones HAROD S.A.C.* [Tesis de titulación, Universidad César Vallejo]. Repositorio Institucional <https://hdl.handle.net/20.500.12692/6818>
- Morocho, M. (2017). *Tratamiento de Aguas Residuales de una Curtiembre en el Canton Cuenca Mediante la Aplicación Dosificada de EMAS (microorganismos eficientes autóctonos)* [Tesis de maestría, Universidad de Cuenca]. Repositorio Institucional. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/26955>
- Muñiz, J. (2016). *Eficiencia del biosorbente de coronta de maíz para la adsorción del Cromo Hexavalente en aguas residuales de la industria Curtiembre Huachipa – 2016* [Tesis de titulación, Universidad César Vallejo]. Repositorio Institucional. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/4668>
- Olivera, M. (2018). *Remoción de cromo VI de aguas residuales de curtiembres utilizando el polvo de la semilla de Moringa oleífera como coagulante natural en la región Puno, 2018* [Tesis de titulación, Universidad Peruana Unión]. Repositorio Institucional. <http://hdl.handle.net/20.500.12840/1681>
- Portada, A. (2016). *Tratamiento de las aguas residuales del proceso de curtido en pieles por procesos físico-químico de la curtiembre de la facultad de ingeniería química de la UNA – Puno* [Tesis de titulación, Universidad Nacional del Altiplano]. Repositorio Institucional. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/4061>
- Quijano A., Castillo C., y Meléndez I. (2015). Potencial mutagénico y genotóxico de aguas residuales de la curtiembre Tasajero en la ciudad de Cúcuta, Norte de Santander, Colombia. *Revista U.D.C.A. Actualidad & Divulgación Científica*, 18(1), 13–20. <https://doi.org/10.31910/rudca.v18.n1.2015.449>

- Ramalho, R. (1983). *Introduction to Wastewater Treatment Processes*. Editorial Reverte S.A.
- Ramos, R., Sepúlveda, R., y Villalobos, F. (2003). *Agua en el medio ambiente. Muestreo y análisis*. Editorial Plaza y Valdés.
- Restrepo, H. (2009). *Evaluación del proceso de coagulación – floculación de una planta de tratamiento de agua potable* [Tesis de titulación, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio Institucional.  
[https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/2561/15372239\\_2009.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/2561/15372239_2009.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Rigola, L. (1990). *Tratamientos de aguas industriales: Aguas de proceso y residuales*. Editorial Marcombo S.A.
- Romero, J. (1999). *Tratamiento de aguas residuales: Teoría y principios de diseño*. Editorial. Escuela Colombiana de Ingeniería
- Sanjay, J., Revadekar, J., Ramarao, M., Borgaonkar, H., Sengupta, S., Kothawale, D., Jayashri, P., Mahesh, R., Ingle, S., Achutarao, K., Srivastava, K., y Ratnam, J. (2020). *Temperature Changes in India, Assessment of Climate Change over the Indian Region*. Editorial Springer Open.
- Song, Q., Hara, T., Cornillon P., y Friehe, C. (2004) A comparison between observations and MM5 simulations of the marine atmospheric boundary layer across a temperature front. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, 21, 170–178. [https://doi.org/10.1175/1520-0426\(2004\)021%3C0170:ACBOAM%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0426(2004)021%3C0170:ACBOAM%3E2.0.CO;2)
- Suárez, A. y Agudelo, R. (2014). Tratamiento de agua residual procedente de la industria de curtiembres mediante humedales subsuperficiales usando *Zantedeschia aethiopica*. *Revista AVANCES Investigación en Ingeniería*, 11(1), 121-126.  
<https://doi.org/10.18041/1794-4953/avances.1.300>

- Tapia, J., Freer, J., Mansilla., Villaseñor, J., Bruhn, C. y Basualto, D. (2002). Estudio de Reducción Fotocatalizada de Cromo Hexavalente. *Boletín de la Sociedad Chilena de Química*, 47(4), 469-476. <https://dx.doi.org/10.4067/S0366-16442002000400018>
- Wong, P. (1998). Mutagenicity of heavy metals. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 40(4), 597-603. <https://doi.org/10.1007/BF01688386>

**IX. ANEXOS**

**ANEXO A:**

Matriz de consistencia

PROBLEMA	OBJETIVO	OPERACIONALIZACION		METODOLOGIA
		VARIABLES	INDICADORES	
<p><u>GENERAL</u> ¿Cómo será la remoción de Cromo Hexavalente mediante procesos fisicoquímicos en efluentes de curtiembre de la empresa IPEPESA, 2020?</p> <p><u>ESPECIFICO</u> ¿Cuáles serán las concentraciones de Cromo Hexavalente antes del tratamiento por procesos fisicoquímicos en el efluente de curtiembre de la Empresa IPEPESA, 2020?</p> <p>¿Cuál será la dosis óptima para la remoción de Cromo hexavalente por procesos fisicoquímicos en el</p>	<p><u>GENERAL</u> Evaluar la remoción de Cromo Hexavalente mediante procesos fisicoquímicos en efluentes de curtiembre de la empresa IPEPESA, 2020.</p> <p><u>ESPECIFICO</u> Determinar las concentraciones de Cromo Hexavalente antes del tratamiento por procesos fisicoquímicos en el efluente de curtiembre de la Empresa IPEPESA, 2020.</p> <p>Determinar la dosis óptima para la remoción de Cromo hexavalente por procesos</p>	<p><u>INDEPENDIENTE</u> Procesos Fisicoquímicos.</p> <p><u>DEPENDIENTE</u> Remoción de Cromo Hexavalente</p>	<p>PH</p> <p>Temperatura</p> <p>Cr + 6 Cr + 3</p> <p>Dosis de sulfito de sodio</p> <p>Dosis de hidróxido de calcio</p>	<p><u>TIPO DE INVESTIGACIÓN</u> La presente investigación es de tipo aplicada.</p> <p><u>ENFOQUE DE INVESTIGACIÓN</u> Cuantitativo.</p> <p><u>DISEÑO</u> Experimental.</p>



<p>efluente de curtiembre de la Empresa IPEPESA, 2020?</p> <p>¿Cuáles serán las concentraciones finales de Cromo Hexavalente después del tratamiento por procesos fisicoquímicos en el efluente de curtiembre de la Empresa IPEPESA, 2020?</p>	<p>fisicoquímicos en el efluente de curtiembre de la Empresa IPEPESA, 2020.</p> <p>Determinar las concentraciones de Cromo Hexavalente después del tratamiento por procesos fisicoquímicos en el efluente de curtiembre de la Empresa IPEPESA, 2020.</p>			
--	--	--	--	--

**ANEXO B:**

## Galería fotográfica



Toma de muestra del efluente de Curtiembre.



Inicio de los ensayos de remoción de Cromo VI



Corrida del Jar Test: Adición de la dosis de  $\text{CaOH}$ , de 5, 10, 15, 20 y 25 ml.



llenado de las muestras al final del ensayo para su determinación de  $\text{Cr VI}$ .



Llenado de muestras en cada frasco de acuerdo a las dosis consideradas.



Muestras con las dosis de 5, 10, 15, 20 y 25 ml.



Jar Test: Muestras con las dosis de 5, 10, 15, 20 y 25 ml.



Determinación de Cr VI por absorción molecular, método Difenilcarbazida.