



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Sistema de tratamiento de agua residual con “*Lemna minor*” para la absorción de Cromo en la etapa de curtido.

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO AMBIENTAL

AUTORES:

Br. Chávarry Ynguil María Isabel (ORCID: 0000-0002-6159-5429)

Br. Valderrama Urbina Ivan Arnaldo Joseph (ORCID: 0000-0003-0971-1071)

ASESOR:

Mg. Villacorta Gonzalez Misael (ORCID: 0000-0002-5346-4824)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Calidad y Gestión de los Recursos Naturales

TRUJILLO - PERÚ

2020

## **DEDICATORIA**

Como unas de mis muestras de amor, esta tesis va dedicada a Mi madre y a Mi padre, por todo el apoyo incondicional que me han brindado, sus palabras de amor y apoyo han sido fundamental para que pueda concluir este trabajo.

A mis mejores amigos de la vida, constantes ánimos me han brindado durante todo este tiempo, quiero que sean partícipes de este logro.

Con amor, para ustedes.

María Isabel Chávarry Ynguil

## **DEDICATORIA**

La presente tesis se la dedico a mi Madre y a mi Padre, los cuales siempre me han brindado su apoyo y cariño incondicional cuando más lo necesite.

A mi Tía Yrene, por toda la enseñanza brindada a través de sus consejos y lecciones que me enseñaron a afrontar cualquier adversidad y a formarme como persona.

A mi hermano por la comprensión y motivación brindada día a día en el transcurso de cada año de mi carrera universitaria.

Para mis amigos de corazón, los cuales me han brindado motivación y palabras de aliento constantemente durante estos 5 años, logrando que este sueño se haga realidad.

Ivan Arnaldo Joseph Valderrama Urbina

## **AGRADECIMIENTO**

Como muestra de agradecimiento, a mis padres, quienes me han dado lo más valioso que se le puede dar a una hija, el poder de lograr todo lo que me propongo, su amor y su apoyo incondicional se ha visto reflejada a lo largo de todo este tiempo y mucho más, en el desarrollo de este trabajo.

Mi familia, mis amigos, Karina, Daniel, Karol y a uno que otro docente que han sido parte de este crecimiento personal y profesional.

María Isabel Chávarry Ynguil

## **AGRADECIMIENTO**

Mi más incalculable y sincero agradecimiento son y siempre serán para **MIS PADRES** que estuvieron involucrados durante mi formación profesional y me brindaron aquel aliento incondicional para nunca doblegarme frente a cualquier adversidad.

A **MI TIA YRENE**, por enseñarme a ser perseverante cada momento de mi vida, seguir el camino recto con sus consejos y lecciones para lograr todas mis metas trazadas.

A **MI HERMANO**, por el apoyo ilimitado para mantener mi empeño ante todo reto que acepto.

A **MIS FAMILIARES** y **MIS AMIGOS**, por su inagotable y más sincero apoyo, motivación y amor otorgado.

A mis **DOCENTES** por todos los conocimientos que me han compartido y brindado.

Ivan Arnaldo Joseph Valderrama Urbina

## **Página del Jurado**

## **Página del Jurado**

## DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD

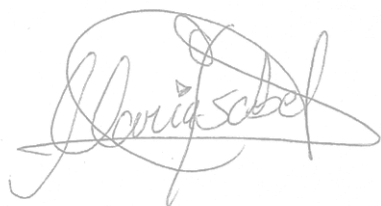
Mediante el presente documento, yo, **MARÍA ISABEL CHÁVARRY YNGUIL**, identificada con Documento Nacional de Identidad N° 71502696, con domicilio en **CALLE LOS TULIPANES N° 266, DPTO. 301 – URB. SANTA EDELMIRA**, en el distrito de **VICTOR LARCO HERRERA**, provincia de **TRUJILLO**, departamento de **LA LIBERTAD**, declaro lo siguiente:

Ser autora del proyecto de investigación titulado “**SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL CON “LEMNA MINOR” PARA LA ABSORCIÓN DE CROMO EN LA ETAPA DE CURTIDO**” y, en consecuencia, mantener todos los derechos morales de la misma.

El proyecto de investigación es de mi auditoría

Se encuentra citado de acuerdo, y respetando las normas de citas y referencias según ISO 690.

El proyecto no ha sido presentado para obtener algún grado académico previo o título profesional ni propio, ni de otros.



-----  
MARÍA ISABEL CHÁVARRY YNGUIL

D.N.I. N° 71502696

10 de diciembre del 2019



## DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD


Mediante el presente documento, yo, **IVAN ARNALDO JOSEPH VALDERRAMA URBINA**, identificada con Documento Nacional de Identidad N° 70970104, con domicilio en **AV. MANUEL VERA ENRIQUEZ 720 – URB. PRIMAVERA**, en el distrito de **TRUJILLO**, provincia de **TRUJILLO**, departamento de **LA LIBERTAD**, declaro lo siguiente:

Ser autor del proyecto de investigación titulado “**SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL CON “LEMNA MINOR” PARA LA ABSORCIÓN DE CROMO EN LA ETAPA DE CURTIDO**” y, en consecuencia, mantener todos los derechos morales de la misma.

El proyecto de investigación es de mi auditoría

Se encuentra citado de acuerdo, y respetando las normas de citas y referencias según ISO 690.

El proyecto no ha sido presentado para obtener algún grado académico previo o título profesional ni propio, ni de otros.



-----  
IVAN ARNALDO JOSEPH VALDERRAMA URBINA  
D.N.I. N° 70970104

10 de diciembre del 2019

## ÍNDICE

Carátula.....	i
Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento.....	iv
Página del Jurado.....	vi
Declaratoria de Autenticidad.....	viii
Índice.....	x
Resumen.....	xi
Abstract.....	xii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. METODO.....	11
2.1.Tipo y diseño de investigación.....	11
2.1.1. Sistema de tratamiento.....	12
2.1.2. Dimensionamiento de los sistemas.....	12
2.2.Operacionalización de Variables.....	14
2.3.Población, muestra y muestreo.....	16
2.3.1. Población.....	16
2.3.2. Muestra.....	16
2.3.3. Unidad de análisis.....	16
2.4.Técnicas e instrumento de recolección de datos, validez y confiabilidad..	16
2.5.Procedimiento.....	16
2.5.1. Reproducción por gemación de <i>Lemna minor</i> .....	16
2.5.2. Adaptación de <i>Lemna Minor</i> .....	16
2.5.3. Recolección de muestra.....	17
2.5.4. Método Volumétrico para determinar la cantidad de Cromo total..	17
2.5.5. Pre-Tratamiento Químico de la muestra.....	17
2.5.6. Análisis de concentración de cromo total post tratamiento con Hidróxido de sodio.....	18
2.5.7. Uso de <i>Lemna minor</i> para la absorción del cromo total del agua residual de la fase de curtido.....	18
2.5.8. Control mecánico del crecimiento de <i>Lemna minor</i> .....	18
2.5.9. Evaluación de la eficiencia del porcentaje de Absorción de cromo total.....	18
2.5.10. Cantidad de Cromo por Unidad de Lenteja .....	18
2.5.11. Análisis de la Capacidad de Absorción (Análisis de masa) .....	18
2.6.Método de análisis de datos.....	19
2.7.Aspectos Éticos.....	19
III. RESULTADOS.....	20
IV. DISCUSIÓN.....	28
V. CONCLUSIONES.....	32
VI. RECOMENDACIONES.....	33
REFERENCIAS .....	34
ANEXOS.....	43

## RESUMEN

El presente proyecto de investigación consistió en proponer un sistema de tratamiento para las aguas residuales de la etapa de curtido en un sistema tipo Bach, así como determinar el mayor porcentaje de absorción de los sistemas, la capacidad de absorción de las lentejas y comparar los valores del agua tratada con la norma vigente y determinar si cumple o no los estándares.

Debido a la capacidad de retención de la macrófita en el estudio es que se escogió como principal protagonista de este trabajo, así también los sistemas se hicieron a escala de laboratorio usando 300 ml de agua residual como unidad de análisis de un total de 6 litros de agua de curtido previamente filtrada y precipitada con hidróxido de sodio. Este trabajo tuvo un diseño factorial cuyas dimensiones de la variable independiente fueron Cantidad de absorbente (20, 40 y 60 lentejas) y tiempo de contacto (3 y 6 días) las cuales fueron combinadas, obteniéndose un total de 6 experimentos con tres repeticiones cada una. En un sistema Bach a un pH de 7 constante y una temperatura de 18°C.

Para el análisis estadístico se utilizó ANOVA factorial completo para determinar la mejor combinación entre las dimensiones de la variable y obtener el mejor porcentaje de absorción de cromo. Obteniéndose un porcentaje de absorción de 86% proveniente del sistema de tratamiento con 60 lentejas y con tiempo de contacto de 6 días.

En conclusión, se logró determinar el sistema de tratamiento con un porcentaje de absorción de cromo más óptimo, que logra absorber cromo hasta dejar el agua residual dentro de los estándares de calidad.

**Palabras claves:** Cromo, sistema, tiempo, *Lemna minor*, absorción.

## ABSTRACT

The present research project consisted of proposing a treatment system for wastewater during the tanning stage in a Bach type system, to determine the highest percentage of absorption by the systems, the absorption capacity of the duckweed and to compare the values of the water treated with the current method and determine whether or not it meets the same standards. Due to the retention capacity of the macrophyte in the study, it was chosen as the main protagonist of this work, the systems were also made on a laboratory scale using 300 ml of wastewater as an analysis unit of a total of 6 liters of tanned water previously filtered and precipitated with sodium hydroxide. This work had a factorial design whose dimensions of the independent variable was the absorbent amount (20, 40 and 60 *Lemna minor*) and contact time (3 and 6 days) which were combined, obtaining a total of 6 experiments with three repetitions each. In a bach system at a constant pH of 7 and a temperature of 18 ° C. For the statistical analysis, full factor ANOVA was used to determine the best combination between the dimensions of the variable and obtain the best percentage of chromium absorption. Obtaining a percentage of absorption of 86% from the treatment system with 60 *Lemna minor* and with contact time of 6 days.

In conclusion, it was possible to determine the treatment system with a more optimal chromium absorption percentage, which manages to absorb chromium from the wastewater to the expected quality standards

**Keywords:** Chromium, system, time, *Lemna minor*, absorption

## I. INTRODUCCIÓN

El uso del agua es indispensable para el desarrollo de actividades cotidianas. Este uso del recurso implica su agotamiento y su contaminación. El crecimiento demográfico de manera acelerada, está relacionada de manera directamente proporcional con el agotamiento de recursos y el impacto ambiental que éste genera. Los procesos industriales expulsan efluentes con excesos tanto de materia orgánica, como de sólidos disueltos, metales pesados, tintes, siendo los principales causantes de la contaminación del medio. Como es el caso de las curtiembres, las cuales, en los últimos años, han cogido gran cabida para el desarrollo económico. Tal es el caso de “la eliminación de un metal pesado como el Cromo, el cual es complicada su degradación química y biológica, generando consecuencias de biomagnificación y severos daños a la flora, la fauna y a la salud humana”. (Tejada-Tovar, 2014, p.87). Sin embargo, mediante procesos biológicos puede llegar a estar disponible, “siendo absorbido por el fitoplancton y el zooplancton, donde a través de la cadena trófica puede llegar a formas superiores de vida”. (Pinzón- Bedoya, 2010, párr. 1). Los efluentes de las curtiembres alcanzan concentraciones que superan los límites máximos permisibles e incumpliendo los Valores Máximos Admisibles establecidos en la legislación en el DS N° 010-2019-VIVIENDA, debido a que, “en el proceso de curtido tradicional, la piel consume en promedio un 60% a 80% del cromo aplicado y el resto es descargado sin previo tratamiento, causando problemas al alcantarillado y afectando a los diferentes cuerpos de agua” (Esmaeili, 2005, p.1471).

Actualmente, el método que más se utiliza como tratamiento de estos efluentes, según Rodríguez (como se citó en Gutiérrez-Corona, 2016, párr. 1), implica la reducción de las especies de Cr (VI) a Cr (III), el cual es más insoluble, mediante el uso de una sustancia básica (lechada de cal) que actúa como reductor para formar hidróxido de cromo. Sin embargo, éste proceso implica una alta inversión al usar estos métodos y no garantizan resultados totalmente eficientes, lo que lleva a la búsqueda de tecnologías emergentes tales como la fitorremediación y la bioabsorción (Pinzón- Bedoya, 2010, párr. 2), tecnología que consiste en remover, degradar o inmovilizar contaminantes de diversos cuerpos naturales, mediante el uso de vegetales (macrófitas), las cuales cumplen un rol importante, brindando directamente e indirectamente alimento, protección y un gran número de hábitats para otros organismos (Arroyave, 2004, p. 34); además, mediante la bioabsorción, un proceso con fase sólida (biomasa) y líquida (agua), las sustancias contaminantes (los iones de metales

pesados) que se encuentran disueltas en el agua son removidas.(Tejada-Tovar, 2015, p.112). Como es el caso de usar la macrófita *Lemna minor* en un sistema de tratamiento de agua residual para la absorción de cromo en la etapa de curtido.

Basándonos en trabajos previos sobre el proceso de bioadsorción de material biológico vivo, obtuvimos que:

Según Sierra L., *et al.*, (2018, p. 153) en su artículo “*Evaluación del postratamiento de aguas residuales mediante la utilización de macrófitas como las lentejas de agua (Lemna minor) en lagunas de estabilización*), tuvo como propósito determinar la utilidad de la lenteja de agua como postratamiento en lagunas de estabilización que tratan aguas residuales domésticas, mediante el uso de 5 cinco recipientes de 14 Litros cada uno, se introdujo en el recipiente 1,2 y 3 lentejas de agua, más agua del efluente de la laguna, en el 4 se introdujo agua de humedal más *Lemna minor* para su reproducción, y en el último se introdujo agua del efluente sin *Lemna minor* (control), se determinó que la absorción depende de la velocidad de crecimiento del absorbente, de la población establecida y de la composición de los tejidos de la planta, en este caso se obtuvo una buena eficiencia en relación a la absorción de nutrientes considerados contaminantes en los efluentes de las lagunas de estabilización.

Así mismo, Ohlbaum M., *et al.* (2018, p. 321), en su artículo denominado “*Phytoremediation of seleniferous soil leachate using the aquatic plants Lemna minor and Egeria densa*”, determinó mediante la fitorremediación de una solución contaminada con Se y  $MnSO_4$  y la utilización de dos plantas acuáticas mostró la eficiencia de eliminación del Selenio en un (97%) con un factor de bioconcentración (FBC) de 504.35(+ 0.83), y una eficiencia de eliminación de  $MnSO_4$  en un 77% y 66% respectivamente. Este estudio demuestra que las plantas acuáticas como *Lemna minor* y *Egeria densa* pueden ser utilizadas para eliminar Selenio de los lixiviados seleníferos de suelos.

Kalcikova G., *et. al.* (2017, p. 311) en su investigación “*The impact of humic acid on chromium phytoextraction by aquatic macrophyte Lemna minor*”, tuvo como finalidad determinar la influencia del ácido húmico en el proceso de especiación del Cromo, en ausencia de ácido húmico, solo el cromo hexavalente se encontraba presente en el agua y ocasionó disminución de la clorofila A en un 48% y un 43% en la clorofila B, por otro lado, la presencia de éste, redujo la biodisponibilidad del cromo en un 57%, pudiéndose observar ningún cambio o alteración en la *Lemna minor*. Se concluyó que “éste efecto fue causado

por la reducción abiótica de las especies de cromo hexavalente a trivalente”, por tal, la presencia del ácido húmico y la especiación de cromo no se pueden descuidar durante estudios de Fitoextracción, es decir, deben ser analizadas y estudiadas en conjunto.

Latrou *et al.* (2017, p. 116) en su investigación *Fate of antimicrobials in duckweed Lemna minor wastewater treatment systems*, tuvo como objetivo determinar la absorción mediante la *Lemna minor* sobre los agentes antimicrobianos como cefadroxilo (CFD), metronidazol (METRO), trimetoprim (TRI) y sulfametoxazol (SMX), usando una cantidad de 600 gr/cm<sup>2</sup> de *Lemna minor* en un sistema de 3 tanques durante 6,5 días de contacto cada uno, con un total de 24 días de experimento, bajo condiciones de luz/oscuridad de exposición de 16/8 horas, y compensando la pérdida de agua por evotranspiración con agua de caño para que no influya en ningún aspecto las concentraciones del agua tratada, Se encontró la eliminación de todos los contaminantes de manera significativa, teniendo la más alta la eliminación de la CFD (100 % en 14 días), seguido de METRO (96%, 14 días), SMX (73%, 14 días) y por último el TRI (59% en 24 días), se determinó que la principal vía de degradación del TRI fue mediante el proceso de hidroxilación que se produce durante la fito y fotodegradación, de los cuales mediante la aplicación del balance de masa mostraron que las sustancias fueron eliminadas mediante la absorción por parte de la *Lemna minor*.

Se puede corroborar que mediante los procesos de absorción son posibles la eliminación de diversas sustancias por parte de la macrófita estudiada, así también corroboramos su efecto en metales pesados.

Según Rezanian S. *et al* (2016, p. 13), en su artículo “*Comprehensive review on phytotechnology: Heavy metals removal by diverse aquatic plants species from wastewater*”, tuvo como objetivo comparar cuatro especies de plantas acuáticas bien conocidas como hiperacumuladoras: *Pistia stratiotes*, *Eicchornia spp*, *Lemna spp*, y *Salvinia spp*. Debido a su diferente morfología y su tasa de crecimiento, se concluyó que las plantas de flotación libre son más eficientes en absorber metales pesados en comparación a las plantas sumergidas.

Sasmaz A. *et al* (2016, p. 6), en su investigación “*Removal of Cr, Ni and Co in the wáter of chromium mining áreas by using Lemna gibba l. and Lemna minor*”, tuvo como finalidad el estudio del uso de las especies de las lentejas en la absorción de Cr, Ni y Co de un agua contaminada por minería, se colocaron por separado para alimentar dos reactores y se midió

el pH, la conductividad eléctrica y la temperatura del agua durante 8 días, luego las plantas fueron lavadas, secadas y quemadas a una temperatura de 300°C durante 24 horas en un horno de secado y posteriormente fueron analizadas mediante ICP-MS (espectroscopia de masas de plasma de acoplamiento inductivo) para determinar las concentraciones de los metales Cr, Ni y Co, los cuales fueron 1.2, 0.9 y 0.5 g/L , lo cual demostró que la *Lemna gibba* presenta una mejor absorción con respecto a la *Lemna minor*, y ambas presentan una mayor afinidad por el Cromo en aguas contaminadas.

Por otro lado, Maine M. *et al* (2004, p. 38) en su estudio “*Chromium bioaccumulation: comparison of the capacity of two floating aquatic macrophytes*, tuvo como objetivo determinar la capacidad de bioacumulación de la *Salvinia herzogii* y de la *Pista stratiotes* con respecto al cromo, mediante concentraciones de 1, 2, 4 y 6 mg de Cromo en un litro de agua, la *S herzogii* fue la especie que más absorbió cromo en un proceso rápido de 24 horas, se determinó que el proceso de absorción se da mediante dos fases, una rápida que al cabo de 24 horas realiza la absorción más eficiente mediante todas las estructuras de la planta (hojas, tallo) y que se puede dar por la adhesión del contaminante a las superficies de éstas, y que luego, en la fase lenta, se da la acumulación del contaminante, la cual progresivamente con el tiempo, disminuye su eficiencia.

La afinidad de la macrófita con los metales pesados es notoria, y se puede comprobar los procesos utilizados por la planta para su eliminación. Así también, respecto al diseño del sistema, se basa en acondicionar el medio para el crecimiento de la *Lemna minor* y así efectuar un proceso de absorción eficiente, se obtuvo que:

Según Basigliani *et al* (2018, p. 54-59) en su investigación denominada “*Effects of treated industrial wastewaters and temperature on growth and enzymatic activities of duckweed (Lemna minor L.)*”. tuvo como objetivo determinar la eficiencia en la eliminación de aguas residuales respecto a las propiedades físico-químicas del contaminante, se implementaron dos sistemas de plantas en invierno y en verano, de los cuales se tuvieron como resultado que en ambas temperaturas una alta actividad, pero una baja de 53% y 58% con respecto al control.

Gálvez *et al* (2018, p.46) en su tesis denominada *Influencia de temperatura, tiempo de residencia y cantidad de cáscara deshidratada de Musa Cavendishii en la adsorción de cromo hexavalente*, se obtuvo que para una correcta adsorción del cromo (Dicromato de



potasio), la temperatura ideal es de 60°C, con 8 g/L de adsorbente, durante 90 minutos y logró remover un 77% de la concentración de metal, siendo las condiciones más favorables.

Mendocilla *et al* (2018, p. 80) en su trabajo de investigación, *Influencia del pH y el tiempo en la remoción de cromo hexavalente presente en soluciones acuosas utilizando electrocoagulación*, también demostró la fuerte influencia del pH y el tiempo de remoción, mediante el uso de celdas de electrocoagulación con 8 electrodos, generando energía continua. Los resultados más favorables se dieron con un pH de 3 y el mayor tiempo, en este caso de 15 minutos.

Rivas *et al* (2017, p. 81) en su investigación *Remoción de Cromo (VI) usando zeolita tipo clinoptilolita modificada con fierro (II), en soluciones acuosas*, estudió el mecanismo de acción de la zeolita natural y modificada con Fierro, para determinar la influencia del pH de la solución, el tiempo de contacto y la concentración inicial de Cr (VI) mediante un sistema Bach, en la adsorción de Cromo. A una concentración de 20 mg/L inicialmente, se obtuvo una remoción de la zeolita modificada con Fe(II) de 84.87%, 76.16% y 65.14% a pH de 3.0, 5.0 y 6.6 respectivamente, necesitando un aproximado de 72 horas para alcanzar el equilibrio y se ajustó al Isoterma de adsorción de Langmuir demostrando que el pH en soluciones acuosas influye en la biodisponibilidad del adsorbato para ser adsorbido.

Por tal, es necesario, empalmarnos sobre bases teóricas para entender a fondo el mecanismo de acción del absorbente y el adsorbato, con respecto a las condiciones dadas en el sistema.

La empresa del curtido de cuero es conocida por ser uno de los sectores industriales líderes económicamente en la mayoría países. Ha habido una creciente preocupación ambiental impulsada por la liberación de varios contaminantes en aguas residuales de las curtiembres. Se sabe que el proceso de curtido consiste en las etapas en donde la piel de origen vacuno u otros son transformados en cuero (Córdova *et al*, 2014, p. 184).

Los efluentes residuales provenientes del proceso de curtido tienen pH ácido, entre 2 y 4; en este rango de pH el cromo trivalente es muy soluble y los floculantes prácticamente no alcanzan a precipitarlo. Ortiz y Carmona (2015). La cantidad de contaminantes presentes en los efluentes de las industrias de curtiembre se deben a la deficiencia de los procesos convencionales, debido a que el Cr 3+, que proviene de la Sal de Sulfato de Cromo trivalente, el cual es usado como fijador en las pieles de los ganados, no

es totalmente adsorbido en los procesos, por tal son eliminados en los efluentes. Lo que ocasiona daños significativos, ambiental; y económicamente, causa pérdidas a la empresa, pues al desperdiciarse esta sustancia, los cueros producidos son de calidad deficiente debido a la mala absorción de la misma (Doria y Admurrio, 2017).

La utilización de sistemas de tratamiento para estos efluentes es indispensable y por ley deben estar previstos en sus instrumentos de gestión ambiental de cada industria, esto varía respecto a la clase de contaminante que se desee eliminar, la cantidad y el tipo de efluente. Los sistemas biológicos para el tratamiento de aguas residuales se caracterizan por emplear microorganismos para transformar los contaminantes (disueltos o partículas) en productos finales aceptable (Portada, 2016)

El Cromo eliminado en los efluentes, es un metal pesado de la primera serie de metales de transición, a lo que deben sus principales propiedades química y bioquímicas, como la variedad de sus estados de oxidación; los derivados de las valencias -2 y +2, que tienen poca importancia, el 0 el cual corresponde al cromo metálico es un elemento natural, que se encuentra en plantas, suelo, animales y gases volcánicos. Tiene varias valencias y en el ambiente se presencia en varias formas; las más comunes son los derivados del cromo trivalente o cromo (III), y las del cromo hexavalente o cromo (VI) (Portada, 2016, p.26-27). Se sabe que el Cr (VI) se encuentra principalmente como cromato ( $\text{CrO}_4$ ), el cual a pH ácidos se transforma sucesivamente en cromato protonado ( $\text{HCrO}_4$ ) y dicromato ( $\text{Cr}_2\text{O}_7$ ) Estos aniones forman sales muy solubles y su adsorción en superficies de arcillas y oxihidróxidos es muy baja, por lo que demuestra una constante contaminación para el suelo y el agua (Rodríguez y otros. 2017, p.12). El cromo trivalente (cromo III) es menos tóxico que el cromo hexavalente (cromo VI). Entre los daños a la salud producidos por el Cromo (VI), tenemos: alergias y erupciones cutáneas, irritaciones y sangrado de la nariz, malestar estomacal (Mayta, *et al*, 2017, p. 332). alteración del material genético, como la replicación disfuncional del ADN, mala regulación en el control del ciclo celular, “respuesta inflamatoria y el daño de genes, clave en la regulación de redes responsables del balance, entre la vida y la muerte celular, que juegan un papel importante en la carcinogénesis del Cr (VI)” (Quijano,2015, p.15).

Los metales pesados “se clasifican en dos grupos: Oligoelementos o micronutrientes: Necesarios para los microorganismos mientras no excedan la cantidad necesaria, pero tóxicos una vez que superan el umbral, incluyen al As, B, Co, Cr, Cu, Mo,

Mg, Ni, Se y Zinc. Y sin función biológica conocida: los cuales son altamente tóxicos e incluyen Ba, Cd, Hg, Pb, Sb y Bi”. (Choque, 2010, p. 2). Por otro lado, se pueden clasificar según el interés y su impacto ambiental en “cuatro categorías: Pesados tóxicos (40 elementos), de elevado peso atómico (mayor a 44) cuya densidad específica es superior a 5 g/cm<sup>3</sup>, excluyendo a los metales alcalinos. Estratégicos: son minerales productores de acero. Preciosos: Se encuentran sin combinarse con otros elementos. Radionúclidos: Los cuales liberan radiación al paso que se descomponen u se vuelven más estables. Estudiados principalmente por los efectos a la salud y al medio ambiente” (Tejada-Tovar et al ,2015, p.114-115).

Existe cantidad considerable de plantas que son útiles para los humanos, ya bien sea como alimento, o materia prima para la operación en sus diversas actividades de las industrias como también para ser usadas en procesos de biorremediación, debido a que pueden absorber algunas sustancias disueltas y ofrecen oxígeno por medio de la fotosíntesis (Arroyave, 2004, p.34). Se sabe que las macrófitas, como plantas poseen la competencia de purificar el agua por medio de la asimilación directa de nutrientes, especialmente el nitrógeno y fósforo, que son extraídos del medio e incorporados al tejido vegetal, siendo éstos también, los principales responsables de la eutrofización de los cuerpos de agua contaminados (Arroyave, 2004, p.33). Una de las ventajas específicas más resaltante que ofrecen estos sistemas son la superficie de contacto que tienen sus raíces con el agua residual, debido a que todo el sistema sumerge, permitiendo una mayor capacidad depuradora de la materia orgánica por medio de microorganismos adheridos a la superficie (Soto, 2005, p.11-17).

Además, las macrófitas flotantes tienen la habilidad de transformar el dióxido de carbono de acuerdo a las demandas de oxígeno de la atmósfera, receptionan sus nutrientes y minerales por medio del agua (Jaramillo y otros, 2012, p.37). Tal cual, la *Lemna minor*, es una macrófita flotante de pequeño tamaño y de un diámetro de aproximadamente 0.1 y 2 cm, su estructura simple permite que su tallo no esté separado de las hojas, a lo cual se le denomina “fronda”. La tasa de reproducción relativa de la *Lemna minor* se encuentre entre el rango de 0.1 y 0.5 dia<sup>-1</sup>, es decir, que puede duplicar su biomasa si se tienen las condiciones adecuadas (Jaramillo *et al*, 2012, p.44). Y tiene una capacidad de adsorción de cromo de 2.7 g Cr/Kg (Zayed *et al*, 1998, p. 719). El potasio que se encuentra en la macrófita tiene una función de un activador enzimático en la síntesis de ATP de carbohidratos, en la respiración

y en la síntesis de proteínas. Plantas con deficiencia de potasio demuestran menor síntesis de proteínas y acumulación de compuestos nitrogenados solubles, como aminoácidos, nitratos y amidas. Por lo cual es altamente eficiente en la remoción de ortofosfatos, si se cosecha de manera frecuente (Martelo J. y Lara J. (2012). Otro beneficio de la *Lemna minor* es su alta digestibilidad, similar al pasto que va destinado como alimento de animales.

Además, la lenteja de agua absorbe los nutrientes por medio del lado inferior de la fronda y de sus raíces (Choque, 2010, p.14). Mediante toda su superficie que se encuentra en contacto directo con el agua residual y el hecho de que se aproveche toda la planta para la captación de nutrientes influye en la eficiencia del proceso (Kalcikova *et al*, 2016, p. 312). Además, se sabe que puede crecer en condiciones de temperatura entre 25 y 30°C (Ohlbaum M. *et al*, 2018, p.322).

La bioadsorción es un mecanismo de acción que implica la eliminación de sustancias contaminantes de efluentes industriales, domésticos, etc, mediante el uso de biomásas vivas y/o muertas (Tejada-Tovar *et al* 2015, p.110). Se reconoce también como la acumulación con respecto al tiempo en un organismo biótico u abiótico de sustancias ajenas. (Cuizano N. *et al* 2010, p. 125). La biomasa, (microorganismos, algas, hongos, bacterias, etc.) adoptan diferentes formas para que el Cr (VI) pueda ser bioadsorbido o biotransformado y esto depende de la naturaleza superficial de biosorbente y la disponibilidad de reductores para realizar esta acción (Jobby R. *et al*, 2018, p. 263). Esto involucra dos fases, la sólida (biomasa) y la líquida (agua) que contiene disueltos la sustancia de interés que será adsorbida (iones de metales pesados), en donde, debe encontrarse una gran afinidad entre los grupos funcionales para que el contaminante sea altamente atraído hacia el sólido (Tejada-Tovar *et al*. 2015, p. 112). Se sabe también que la *Lemna minor*, tiene un mecanismo de acción que varía con el contaminante a tratar, pues, en ocasiones, puede llegar a saturarse, ocasionando que no siga reteniendo (Pérez-Vásquez N. *et al*. 2016). En estudios han demostrado la eficiencia de la *Lemna minor*, en condiciones de pH ajustadas conseguidas luego de un tiempo de acondicionamiento (Sun Shiquing *et al*, 2019, p. 698). El mecanismo de acción empieza primero con el cromo hexavalente uniéndose a los grupos funcionales cargados positivamente, los cuales se encuentran en la superficie del biomaterial (iones carbonilo, hidroxilo, amino, etc.) (Tejada-Tovar *et al* 2014, p.87-88). El paso siguiente es la reducción de Cr (VI) a Cr (III) por los grupos donadores de electrones adyacentes del biomaterial. Por último, el Cr (III) es reducido y liberado a la fase acuosa debido a la repulsión electrónica

entre los grupos con carga positiva y el Cr (III) (Tejada-Tovar *et al* 2015, p. 115). El porcentaje de absorción (%PA) es definido por la proporción de la diferencia entre la concentración del contaminante antes y después de pasar por el sistema de tratamiento de adsorción de los contaminantes presentes, mediante la siguiente fórmula:

$$\%PA = \frac{\text{Concentración inicial} - \text{Concentración final}}{\text{Concentración inicial}} \times 100$$

El pH es el valor de medida de la concentración de los iones de hidrogeno presentes en el cuerpo de agua. Las aguas residuales que tienen condiciones adversas del ion hidrógeno son difíciles de tratar biológicamente, pues alteran la biota de las fuentes receptoras y con el tiempo se vuelven fatales para los microorganismos. No obstante, la *Lemna minor* puede sobrevivir a condiciones de un amplio rango de pH (3-10). Sin embargo, existen valores óptimos y límites mínimos y máximos de supervivencia para las diferentes especies. (Coronel, 2016). En el caso de la *Lemna minor* es de 4-6 con un rango de tolerancia de 2 a 10. Se sabe también que el pH de la solución acuosa es parámetro esencial que tiene un control significativo en relación a los adsorbentes durante su proceso de absorción, debido a que los iones de hidrógeno son considerados como un adsorbato fuertemente competitivo (Tejada-Tovar *et al*, 2015, p. 113). Si el valor de pH incrementa alcanzando valores mínimos de (7.36 y 9.99) la forma como se remueve el cromo en el efluente es de modo de Hidróxido de cromo. A valores bajos, los iones de hidrógeno compiten con los iones cromo por los sitios activos libres del material bioadsorbente (Pinzón-Bedoya *et al*, 2010). Se ve afectado pues el pH influye en los centros activos de los adsorbentes y en la disponibilidad de iones metálicos en la solución. (Reyes, F. *et al*, 2009)

También que para manejar la población de la *Lemna minor* mediante un control de su crecimiento, puede ser dado por un método físico (mecánico), químico, biológico o integrado. El control físico o mecánico, incluye la extracción física a mano o en máquinas de los excesos. El control químico es mediante herbicidas en aguas infestadas por la *Lemna minor*, y el control biológico por especies naturales que actúen como enemigos y que consumen lenteja de agua (Ekperusi A. *et al*, 2019, p.16).

Luego de toda la información revisada nos planteamos ¿Cuál es la eficiencia del sistema de tratamiento con “Lemna minor” en la absorción de Cromo de agua residual de curtido?

El siguiente proyecto de investigación, surge debido a la falta de interés por parte de las empresas y de las autoridades para poder controlar los efluentes en los cuerpos naturales expulsadas por parte de las industrias, donde sobre sale el Cromo (VI), los cuales forman sales muy solubles, por lo que representa una gran contaminación para el suelo y el agua, que pueden sobrepasar los Valores máximos admisibles (VMA) produciendo efectos en la red de alcantarillado y/o sobrepasar los Límites máximos permisibles (LMP). Aquí es donde interviene el ingeniero ambiental, pues el monitoreo y control de estos parámetros implican el cuidado de los recursos para un futuro. Para esto, el surgimiento de tecnologías emergentes que emplean el uso de biomásas, como vegetales, para remover, degradar o inmovilizar contaminantes localizados en suelos, sedimentos, aguas superficiales, profundas y en la atmósfera, implican un bajo costo además de no generar impactos significativos por formación de residuos. A diferencia de los métodos convencionales para remover cromo, que aparte de no ser totalmente eficientes, son costosos. (Rodríguez A *et al*, 2017). No obstante, las ventajas que posee el tratamiento de aguas residuales con *Lemna minor*, radica del hecho que es económico, debido a que no requieren muchos recursos para su operación y mantenimiento, además de la capacidad regenerativa de la biomasa, no obstante, si dependerá las características y condiciones del lugar donde se desee la implementación. Por tal, el uso de esta opción como alternativa, tendría beneficios importantes como la disminución del costo de un tratamiento de agua residual con este contaminante. (Sierra L y otros, 2018). Además del cuidado del recurso, y un beneficio económico para las industrias que se evitarían de cancelar el pago adicional por exceso de concentración en las descargas de aguas residuales no domésticas (D.S 010-2019- VIVIENDA).

Como objetivo general, nos planteamos elaborar un sistema de tratamiento de agua residual con “*Lemna minor*” para la absorción de cromo en la etapa de curtido, por consiguiente analizaremos el agua residual de la etapa de curtido mediante el método de análisis más adecuado, para obtener el dato de cuanta concentración de cromo se expulsa en el agua residual de curtido, y posterior al tratamiento en los sistemas para ver si existe alguna variación, por consiguiente, sabremos cual es el porcentaje de absorción del contaminante por medio de esta macrófita (*Lemna minor*) y qué sistema es más eficiente en la absorción de cromo y así poder comparar finalmente si cumple con los Valores Máximos Admisibles.

Nuestra hipótesis afirma la eficiencia del sistema de tratamiento con *Lemna minor* en agua residual de curtido.

## II. MÉTODO

### 2.1. Tipo y diseño de investigación

Este proyecto de investigación es de tipo cuantitativa experimental debido a que presenta manipulación de variables con la finalidad de escribir de qué modo y por qué causa se produce una situación o acontecimiento particular, y de nivel aplicativo, debido a que se plantea la aplicación de un tratamiento para la solución de parte de un problema.

Se trabaja con tres diseños del sistema multiplicado de 1 nivel de muestra (200 ml), 3 cantidades de absorbente *Lemna Minor* (20, 40 y 60 lentejas) con 2 tiempos de contacto (3 y 6 días respectivamente), lo cual da un diseño multiplicativo de (1\*3\*2), para un total de 6 experimentos.

La metodología de esta investigación consta de varias actividades que comprenden en los siguientes aspectos:

Tabla N° 1: *Tabla de diseño de investigación*

		Cantidad de Absorbente ( <i>Lemna minor</i> )			CONSTANTES DE ANÁLISIS	
		Cantidad 1 C1	Cantidad 2 C2	Cantidad 3 C3	Unidad de Análisis	pH
tiempo de contacto	TESTIGO	T1/C1	T1/C2	T1/C3	300 ml	7 pH
	T2/ -	T2/C1	T2/C2	T2/C3	300 ml	7 pH

Fuente: Elaboración propia.

Dando un total de 6 experimentos,

T1= Tiempo de contacto primero (3 días)      C1= Cantidad de *Lemna minor* (60 u)

T2= Tiempo de contacto segundo (6 días)      C2= Cantidad de *Lemna minor* (40 u)

C3= Cantidad de *Lemna minor* (20 u)

pH = Potencial de hidrógeno constante (7)

T° = Temperatura ambiente (18 °C)

### 2.1.1. Sistema de tratamiento

Para el desarrollo de esta investigación se utilizará un sistema de tratamiento tipo Bach o por lotes, que consta de un estanque para el sistema, el cual simula a una laguna pequeña con agua estancada, en el cual, no hay transferencia de materia, se recargará de agua al inicio del tratamiento y luego de un cierto tiempo será descargada.

Según el diseño mencionado, se instalarán 5 recipientes para controlar los sistemas, en el 1 sistema solo tendrá la *Lemna minor* para su crecimiento y reproducción, el 2do, tendrá agua residual de curtido sin *Lemna minor*, y los recipientes 3, 4 y 5 tendrán las diversas cantidades de lentejas mencionadas anteriormente.

Tabla N° 2: Tratamiento aplicados en el sistema de aguas residuales de curtiembre.

N° DE SISTEMA DE TRATAMIENTO	COMPONENTES
- crecimiento	Estanque con <i>Lemna minor</i> y agua común adaptada al pH (7)
S0 – control	Estanque con agua residual de curtido sin <i>Lemna minor</i>
S1	Agua residual + 20 lentejas de agua
S2	Agua residual + 40 lentejas de agua
S3	Agua residual + 60 lentejas de agua

Fuente: Elaboración propia.

Se agregarán los 300 ml de agua residual de curtido en los diferentes sistemas con las diferentes cantidades de lentejas de agua (20, 40 y 60 unidades), luego de haber pasado por una rejilla para retener los residuos orgánicos como pelaje, grasa, etc. Y luego del tratamiento con la base Hidróxido de Sodio (NaOH) para lograr precipitar la mayor cantidad de Cromo, transformándolo en Oxido de Cromo, el cual pueda ser removido, quedando una cantidad apta para el tratamiento con la lenteja de agua.

### 2.1.2. Dimensionamiento de los sistemas

Se utilizará 20, 40 y 60 de *Lemna minor* para remover Cr. Además, Arroyave (2004) en su estudio nos brinda información sobre las características de la *Lemna minor*, en donde resalta su longitud de 2 a 4 mm y su ancho de 2 mm, por lo cual esta promisoriosa planta llega a



ocupar una dimensión máxima de  $8 \text{ mm}^2$  o  $0.08 \text{ cm}^2$  por unidad de planta y presenta una retención por absorción de  $2700 \text{ mg/L}$ .

Para determinar las dimensiones de los estanques, se estimó en primera instancia el área superficial necesaria que ocuparía la mayor cantidad de absorbente (*Lemna minor*), también se tomó en consideración un volumen para los estanques de  $300 \text{ ml}$  ( $300 \text{ cm}^3$ ), y un tiempo de retención hidráulica (TRH) máximo de 6 días.

Cálculo de área superficial necesaria por cada cantidad de absorbente (*Lemna minor*)

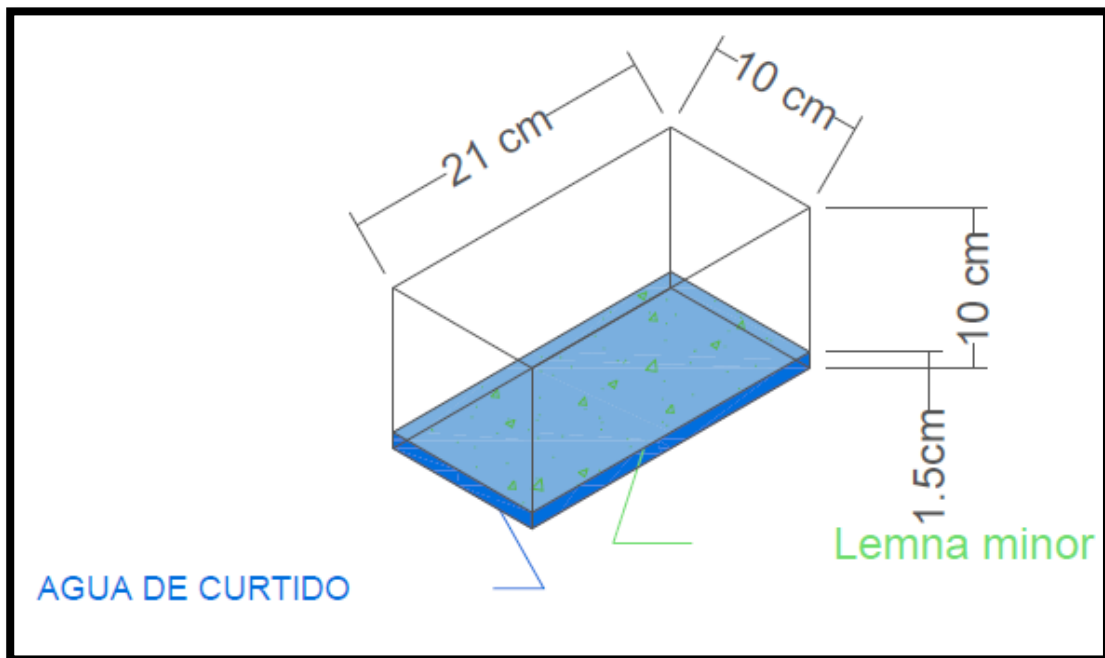


Figura N° 1: Cálculo de área superficial necesaria

- Para 60 plantas de *Lemna minor*

Cálculo de área superficial máxima necesaria

$$1 \text{ planta} \rightarrow 3.5 \text{ cm}^2$$

$$60 \text{ plantas} \rightarrow x \text{ cm}^2$$

$$x = 60 * 3.5$$

$$x = 210 \text{ cm}^2$$

Entonces observamos que el área superficial necesaria para la cantidad máxima de absorbente debe ser de  $210 \text{ cm}^2$ , por lo cual se procede a resolver la siguiente fórmula para obtener la altura de la pecera.

$$V = axbxh$$

$$300 \text{ cm}^3 = 210 \text{ cm}^2 \times h$$

$$\frac{300 \text{ cm}^3}{210 \text{ cm}^2} = h$$

$$h = 1.43 \text{ cm} \approx 1.5 \text{ cm}$$

## 2.2. Operacionalización de variables

**Variable Independiente:** En esta investigación la variable independiente es el sistema de tratamiento teniendo como dimensiones la cantidad de absorbente (*Lemna minor*) definidas como el número de plantas y el tiempo de contacto definido como el número de días que transcurre luego de iniciado el tratamiento de la *Lemna minor* y el agua residual hasta la toma de todas las muestras respectivamente.

**Variable Dependiente:** En esta investigación la variable dependiente es la absorción de cromo teniendo como dimensión la concentración de cromo definida como la cantidad de cromo presente en la muestra antes y después del tratamiento.

VARIABLES		DIMENSIONES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	INDICADORES
VARIABLE INDEPENDIENTE	Sistema de tratamiento	Cantidad de adsorbente ( <i>Lemna minor</i> )	La cantidad <i>Lemna minor</i> que puede adsorber y que es directamente proporcional área de su superficie interna. ( <i>Lemna minor</i> ). (Reyes, et al., 2009)	Número de lentejas de agua ( <i>Lemna minor</i> ) por área de superficie	20 lentejas de agua 40 lentejas de agua 60 lentejas de agua
		Tiempo de contacto	Periodo determinado de contacto entre el adsorbente ( <i>Lemna minor</i> ) y la solución conteniendo el adsorbato (Cromo). (Rivas-Sánchez, 2017)	Número de días que transcurre luego de iniciado el tratamiento de la <i>lemna minor</i> y el agua residual hasta la toma de todas las muestras.	Nº de días  3 días 6 días
VARIABLE DEPENDIENTE	Absorción de cromo	Absorción de cromo	Proceso activo por el cual los metales (el cromo) son eliminados por la actividad metabólica de la <i>Lemna minor</i> . (Sala L. et al., 2010)	Cantidad de iones Cr (VI) que se pueden percibir mediante espectrofotometría antes y después del tratamiento.	$\%PA = \frac{Ci - Cf}{Ci} \times 100$  Ci= Concentración inicial Cf= Concentración final  %PA= Porcentaje de absorción

### 2.3. Población, muestra y muestreo

#### 2.3.1. Población

Agua residual de la fase de curtido.

#### 2.3.2. Muestra

Se utilizará 6L de agua residual de la fase de curtido.

#### 2.3.3. Unidad de análisis

300 ml de unidad de análisis

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

Las validación y confiabilidad de los instrumentos fueron revisada y aprobadas por 03 expertos que poseen conocimientos en la materia debido a su experiencia en industrial textiles y tratamiento de agua. (ANEXO 1)

### 2.5. Procedimiento

#### 2.5.1. Reproducción por gemación de *Lemna minor*

Para la reproducción, primero procedemos a preparar un recipiente con agua teniendo en cuenta la temperatura optima entre 16°C a 18°C y el pH adaptado, con la finalidad de obtener crecimiento favorable de la *Lemna minor*. A continuación, procedemos a agregar unas 20 lentejas de agua para su crecimiento y reproducción teniendo presente el control de su temperatura y pH óptimo durante todo el proceso. Al momento de extraer la cantidad necesaria de *Lemna minor* obtenida de la reproducción, se procede a mantener una cantidad considerable de *Lemna minor* en el recipiente para poder repetir el ciclo constantemente. Finalmente, la cantidad extraída se procede a lavar con agua destilada y se continua a la adaptación de esta.

#### 2.5.2. Adaptación de *Lemna minor*

Para la adaptación de *Lemna minor*, antes de todo empezamos preparando un recipiente con agua a temperatura ambiente y con un pH de 7. Luego, se procede a ingresar la cantidad extraída de *Lemna minor* al recipiente con agua a un pH de 7 durante toda una semana; por consiguiente, filtramos la porción de plantas sobrevivientes adaptadas a este nivel de pH que cuente con la mejor apariencia física. Finalmente se procede a ingresar las correspondientes cantidades en los respectivos sistemas.

### 2.5.3. Recolección de muestra

Se recolectó en recipientes de plástico un total de 6 litros de agua residual de curtido, posteriormente se procedió a filtrar mediante rejillas para retirar los excesos de sólidos de los residuos orgánicos que pueden estar presentes en esta.

### 2.5.4. Método volumétrico para determinar la cantidad de Cromo total:

La muestra traída del efluente del curtido se analizó mediante el método indirecto volumétrico la cantidad de cromo presente, debido a que se estimaban cantidades mayores a 1000 ppm. Previamente la muestra filtrada de grasas y sólidos, fueron seleccionados 50 ml de muestra y se le agregó 10 ml de ácido perclórico y 10 ml de ácido sulfúrico, luego fue llevado a una estufa para que se diera la digestión de la muestra. Se esperó hasta que de dejen de producir gases y quede una lámina color naranja oscuro; se agregaron 300 ml de agua destilada para activar la muestra, y se agregaron 15 ml de ácido fosfórico, yoduro de potasio al 30%, unas gotas de almidón como indicador, y en la bureta fue colocado el Tiosulfato de sodio 0.1N con el cual se tituló la muestra hasta un cambio de color verde manzana. Se anotó el volumen gastado y se ingresó a la siguiente fórmula:

$$Cr_2O_3 = \frac{25.34 \times (Vg) \times (N)}{M} \times 1000 \quad (1)$$

Donde:

Vg = Volumen gastado

N = Normalidad del tiosulfato de sodio

M = ml de la muestra utilizada

### 2.5.5. Pre-tratamiento químico de la muestra

Como simulación del tratamiento químico que le dan algunas curtiembres al efluente de curtido, se procederá a regular el pH al  $9 \pm 0.2$  con Hidróxido de sodio, pH que permite que haya una precipitación de Cromo en estado trivalente formándose un complejo llamado Oxido de Cromo, quedando un remanente, el cual será tratado por los sistemas de tratamientos de las lentejas de agua (*Lemna minor*). Se separó el precipitado del remanente, procediendo a filtrar con papel filtro, sea separado y la cantidad de cromo restante permanezca en la muestra para su posterior tratamiento. El acondicionamiento de la muestra

consistió en el monitoreo del pH y de la temperatura de la muestra a una temperatura ambiente de manera constante de 26°C, el pH no varió del  $7 \pm 0.5$ .

#### 2.5.6 Análisis de concentración de Cromo total Post-tratamiento con Hidróxido de Sodio

Debido a que los niveles de cromo total son indetectables por el método volumétrico, se buscó otro método que permitiera la lectura de la concentración del metal, se escogió digestión ácida- Método de absorción atómica realizado en el laboratorio DELTAS S.R.L (ANEXO 2)

#### 2.5.7. Uso de *Lemna minor* para la absorción del cromo total del agua residual de la fase de curtido.

En los diferentes recipientes instalados, se procede agregar el agua residual previamente tratada con hidróxido de sodio y se agregaron las diferentes cantidades de lentejas de agua 20, 40 y 60 unidades, y se dejará actuar durante 7 días, analizando en intervalos de 2, 4 y 6 días en cada sistema.

#### 2.5.8. Control mecánico del crecimiento de *Lemna minor*

Debido a que la reproducción de la *Lemna minor* es rápida, se procederán a extraer mecánicamente los excesos, para así poder controlar la variable cantidad de absorbente estudiado y no haya variaciones en los resultados.

#### 2.5.9. Evaluación de la eficiencia del porcentaje de Absorción de cromo total

$$\% PA = \left( \frac{\text{Concentracion inicial} - \text{Concentracion Final}}{\text{Concentracion Inicial}} \right) \times 100$$

Y se llenarán estos datos en la ficha técnica. (ANEXO 1)

#### 2.5.10. Cantidad de Cromo por unidad de Lenteja

$$Q (mgCr/Un) = \left( \frac{\text{Cantidad de cromo}}{\text{Unidad de Lenteja}} \right)$$

Y se llenarán estos datos en la ficha técnica. (ANEXO 1)

#### 2.5.11. Análisis de la capacidad de absorción (análisis de masa)

Se mandó a analizar al laboratorio DELTAS S.R.L mediante el método de Absorción atómica con digestión ácida.

## 2.6. Método de análisis de datos

Se utilizará un diseño experimental factorial completo dos factores (Tiempo de contacto) y tres niveles por cada factor. (Cantidad de *Lemna minor*)

Los resultados obtenidos se analizarán mediante la prueba de Shapiro-Wilk para determinar la normalidad, posteriormente mediante el análisis ANOVA FACTORIAL se identificará las diferencias en la variable dependiente para los diferentes niveles de combinación de las variables independientes y por último, mediante la prueba post-hoc se identificará el sistema de tratamiento más significativo.

Todos los análisis de datos se realizarán utilizando el programa estadístico SPSS (*Statistical Package Scientia Social v24*) a un nivel de confianza del 95%.

## 2.7. Aspectos éticos

Como investigadores nos comprometemos a respetar los diversos principios de la ética que predominan en nuestro presente trabajo de investigación durante el periodo de tiempo de perduración.

El proyecto de investigación no efectuará ningún incumplimiento a las leyes, normas u otros documentos de política que estén ligados al desarrollo de la investigación. De esta forma se tendrá en cuenta los siguientes criterios:

- Autenticidad de los resultados
- El respeto a la propiedad intelectual citando conceptos y procedimientos extraídos de trabajos e investigaciones ya realizadas por medio del Sistema ISO 690 y el ISO 690-2.
- Respeto al medio ambiente mediante la prevención de contaminación de los recursos naturales (agua, aire y suelo).

### III. RESULTADOS

En el presente trabajo de investigación se absorbió cromo de un efluente de agua residual de curtido con un sistema de tratamiento con *Lemna minor* variando la cantidad del absorbente y el tiempo de contacto con el agua contaminada.

3.1. Se obtuvo la cantidad de cromo inicial por el método de volumetría (formula n° 1) de:

$$2565 \text{ ppm o mg/L} \quad (1)$$

Luego del tratamiento químico con Hidróxido de sodio se obtuvo:

Tabla N° 3: Porcentaje de absorción del tratamiento químico con Hidróxido de sodio

<b>Efluente Cromo curtido (ppm)</b>	<b>Promedio de Cromo post-tratamiento químico (ppm)</b>	<b>Porcentaje de absorción (%)</b>
2565	24.92	99.03

Fuente: Elaboración Propia

Luego de hallar el método de análisis más correcto para determinar la cantidad de cromo en el agua residual de curtido luego del tratamiento químico (Absorción atómica) (ANEXO 2). Esa cantidad de cromo 24.92 ppm, se tomó como inicial para el inicio del tratamiento con *Lemna minor*.

3.2. Se iniciaron los tratamientos experimentales como se muestra en la siguiente tabla N°4, donde se obtuvo que el mayor porcentaje de absorción se da en el Sistema de tratamiento compuesto por 20 lentejas de agua de material absorbente y 6 días de tiempo de contacto.



Tabla N° 4: *Porcentaje de absorción de Cromo.*

Tiempo de contacto (n° días)	Cantidad de absorbente (n° lentejas de agua)	Efluente cromo curtido (ppm)	Promedio Cr post tratamiento químico(ppm)	Tratamiento	Cr inicial (ppm)	Cr final (ppm)	Cr(i)-Cr(f) (ppm)	Porcentaje de absorción (%PA)	Promedio (PA%)
3	20	2565	24.92	C1T1	24.92	21.42	3.50	14%	14%
					24.92	20.62	3.55	17%	
					24.92	22.21	3.60	11%	
	40	2565	24.92	C2T1	24.92	13.13	11.79	47%	47%
					24.92	13.15	11.84	47%	
					24.92	13.11	11.88	47%	
	60	2565	24.92	C3T1	24.92	9.25	15.67	63%	63%
					24.92	9.24	15.72	63%	
					24.92	9.27	15.77	63%	
6	20	2565	24.92	C1T2	24.92	4.60	20.32	82%	82%
					24.92	4.58	20.34	82%	
					24.92	4.63	20.29	81%	
	40	2565	24.92	C2T2	24.92	3.76	21.16	85%	85%
					24.92	3.72	21.20	85%	
					24.92	3.79	21.13	85%	
	60	2565	24.92	C2T2	24.92	3.54	21.38	86%	86%
					24.92	3.57	21.35	86%	
					24.92	3.50	21.42	86%	

Fuente: Elaboración propia

En la tabla N° 5 (ANEXO 4) se puede observar que el valor de los Porcentajes de Absorción tiene una distribución normal.

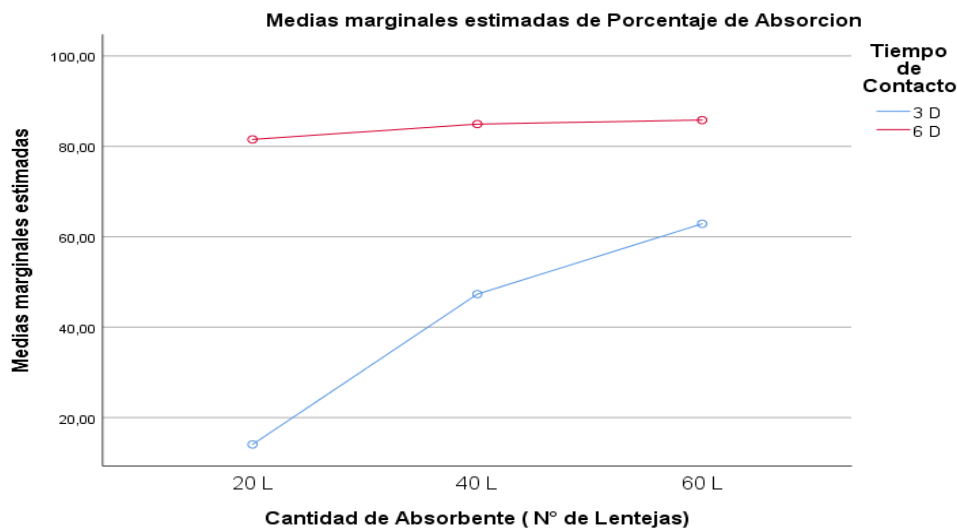


Figura N° 2: *Interacción de medias entre Tiempo de contacto\*Cantidad de absorbente*

Se observa en la figura N° 2 que no existe interacción alguna entre los tiempos de contacto en cada uno de las cantidades de absorbente que se presentan en los tratamientos. El porcentaje de absorción es mayor en la cantidad de absorbentes 60L (60 lentejas) que las de 40L (40 lentejas) y que las de 20L (20 lentejas) respectivamente, es decir son directamente proporcional con respecto a las cantidades de absorbente (*Lemma minor*) y al tiempo de contacto, mientras mayor sea, mayor es el porcentaje de absorción. Así también se observa el comportamiento del nivel de absorción en el tiempo de contacto de 3 días (3D) con un pico significativo del primer nivel de absorbente al segundo, a diferencia del Tiempo de contacto de 6 días (6D) donde se puede observar un tipo de saturación por parte del absorbente.

En la tabla N° 6 (ANEXO 4) se pueden observar las medias del porcentaje de absorción de los diferentes tratamientos, obteniendo un mayor porcentaje de absorción con el Sistema de Cantidad de absorbente 60L (60 lentejas) con un tiempo de contacto 6D (6 días) del 85.81%. No obstante, si tomamos en consideración la variable cantidad de absorbente, se obtiene un resultado similar en el sistema de 40L (40 lentejas) con tiempo de contacto de 6D (6 días), lo cual nos conviene con respecto a menos biomasa utilizada y casi la misma eficiencia.

La tabla N°7 (ANEXO 4) indica que existen diferencias en el porcentaje de absorción de acuerdo con los sistemas de tratamiento usados.

En la tabla N° 8 (ANEXO 4), de acuerdo a la prueba de Tukey se observa que existen diferencias significativas se encuentran casi en la totalidad de todos los sistemas de tratamiento, siendo excluido el sistema de tratamiento T2C20 con el sistema de tratamiento de T2C40 y el sistema de tratamiento T2C40 con el sistema de tratamiento T2C60.

Siguiendo con los análisis de los datos que nos brinda el estadístico, tenemos el análisis de los residuos, donde se obtiene:

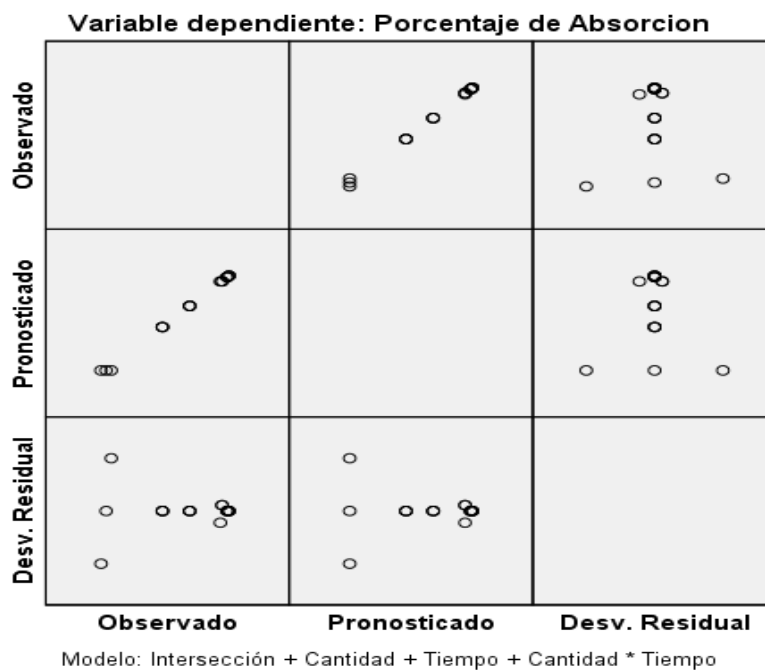


Figura N° 3: Cuadro de residuos

El análisis de los residuos de la figura n°3, nos demuestra cómo interactúan nuestras variables, en la coordenada de Desv. Residual-Observada, se puede ver la gran variación del porcentaje de absorción en el primer tiempo de contacto, situación que se estandariza luego. En la coordenada Desv. Residual -Pronosticados, muestra una dispersión semejante a la anterior. Y por último en la coordenada Pronosticados-Observados, se observa el nivel del ajuste del modelo presenta una relación lineal.

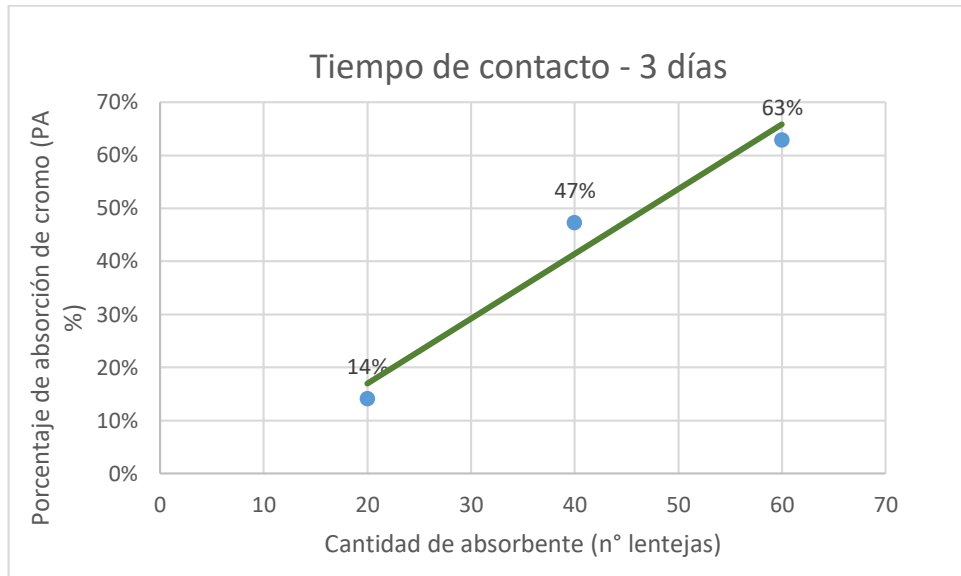


Figura N° 4: *Tendencia del porcentaje de absorción (L20 –L40 –L60) en 3 días*

En la figura N° 4 se puede observar, respecto al tiempo de contacto de 3 días, la tendencia en forma ascendente que tiene la función respecto a la cantidad de absorbente, habiendo un pico de diferencia entre la primera cantidad del absorbente (20L) a la segunda.

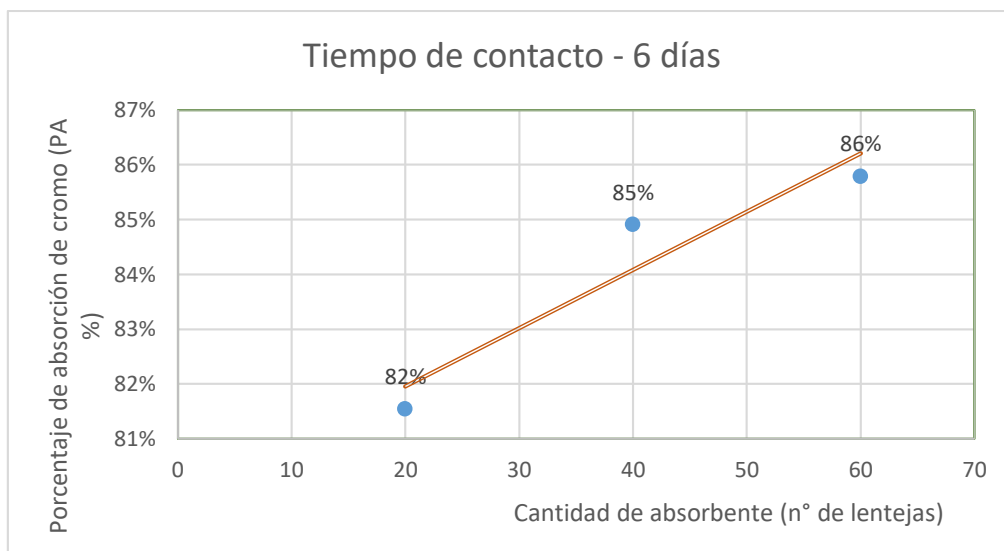


Figura N° 5: *Tendencia del porcentaje de absorción (L20 –L40 –L60) en 6 días*

En la figura N° 5 se observa también la función de forma ascendente del porcentaje de absorción con respecto a la cantidad del absorbente respecto a los 6 días, sin embargo, en este caso se observa un tipo de saturación por parte del absorbente pues no son muy significativas las diferencias de medias en este caso.

3.3. Se determinó el promedio de la cantidad de cromo por unidad de lenteja de manera teórica, según la diferencia de cromo observada en los análisis antes y después del tratamiento, de igual manera, para comprobar si efectivamente se había dado la absorción por parte de nuestro absorbente, se evaluó la capacidad de absorción de lenteja (mgCr/Kg) mediante el método de absorción atómica. Se observa en la tabla N°7, como la cantidad de cromo por unidad de lenteja es mayor en el sistema de tratamiento L1T2 que consiste en 20 lentesas después de 6 días de contacto, pues se nota una baja considerable en su concentración de cromo final, a pesar de no ser escogido el sistema con mayor porcentaje de absorción.

Tabla N°7: *Capacidad de absorción de cromo en cada unidad de lenteja.* (ANEXO 2C)

Tiempo de contacto (N° días)	Cantidad de absorbente (N° lentesas)	Tratamiento	Cantidad de cromo por unidad de lenteja (mg Cr /Un lenteja)	Promedio de cantidad de cromo por unidad de lenteja (mg Cr /Un lenteja)	Capacidad de Absorción de lenteja (mg Cr/Kg) **
			0.175		
	20	C1T1	0.178	0.178	
			0.180		
			0.295		
3	40	C2T1	0.296	0.296	
			0.297		
			0.261		
	60	C3T1	0.262	0.262	
			0.263		
			1.016		
	20	C1T2	1.017	1.016	0.773
			1.015		
			0.529		
6	40	C2T2	0.530	0.529	0.899
			0.528		
			0.356		
	60	C3T2	0.356	0.356	0.724
			0.357		

Fuente: Elaboración Propia

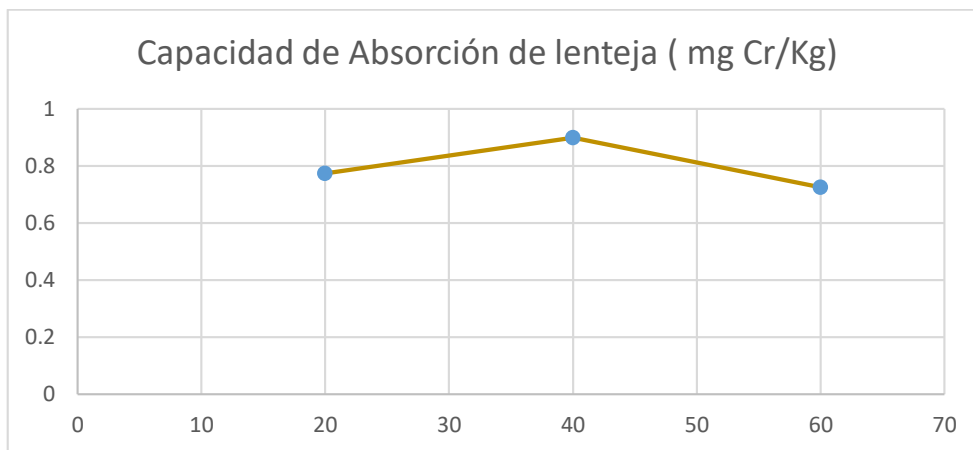


Figura N° 6: *Tendencia de la capacidad de absorción*

En la figura n°6, se observa la capacidad de absorción de los sistemas de tratamientos compuestos por cantidad de absorbente de 20, 40 y 60 lentejas y con un tiempo de contacto de 6 días, encontrando los valores de 0.773 mg Cr/Kg, 0.899 mg Cr/Kg y 0.724 mg Cr/Kg respectivamente.

Tabla N° 8: *Valores de Cr final en agua residual*

Sistema de Tratamiento	Cr inicial (ppm)	Cr final (ppm)	Promedio Cr final (ppm)
C1T1	24.92	21.42	21.42
	24.92	20.62	
	24.92	22.21	
C2T1	24.92	13.13	13.13
	24.92	13.15	
	24.92	13.11	
C3T1	24.92	9.25	9.25
	24.92	9.24	
	24.92	9.27	
C1T2	24.92	4.60	4.60
	24.92	4.58	
	24.92	4.63	
C2T2	24.92	3.76	3.76
	24.92	3.72	
	24.92	3.79	
C3T2	24.92	3.54	3.54
	24.92	3.57	
	24.92	3.50	

Se observa en la tabla N° 8 la relación entre los sistemas de tratamiento y los valores de la concentración de Cromo final. Se consiguen valores por debajo de los valores máximos admisibles (DS N° 021-2009 – VIVIENDA), a partir del sistema de tratamiento C3T1 (60 lentejas- 3 días). Pero según los Valores Referenciales de efluentes para alcantarillado D.S N° 003-2002-PRODUCE, los valores óptimos se consiguen con el sistema C1T2 (20 lentejas – 6 días).

#### IV. DISCUSION

Esta propuesta de sistemas de tratamiento se basa en la problemática que generan las industrias del cuero en la ciudad de Trujillo. Debido al uso irracional y empírico de Sulfato de cromo, como menciona (Doria y Admurrio, 2016) el cromo mediante la formación de enlaces carboxílicos con el colágeno, ioniza los aminoácidos y terminales de los grupos carbonilos, haciendo que éstos se carguen negativamente, lo que permite la reacción con el cromo trivalente; este proceso se divide en fases, la olificación, que mediante un pH básico permite que las moléculas de cromo trivalente se condensen y se formen los agregados moleculares, la oxalación permite la unión de dos iones de cromo a uno de oxígeno y por último, el enmascaramiento de varios iones de cromo. Sin embargo, este proceso no ocurre al 100 %, lo que nos dice (Esmaili, 2005), es que solo se aprovecha un 60-80% de sulfato de cromo en el proceso de curtido, lo que conlleva a tener un rango del 20-40% como remanente que son liberados en los efluentes, generando gran impacto en los cuerpos receptores. Las concentraciones de Cromo encontradas en los efluentes de curtido son aproximadamente 2000 ppm según (Portada A., 2016), en este caso, se encontró 2565 ppm, bastante cercano a lo que nos menciona la teoría. Esto a su vez, también coincide con (Córdova H. y otros, 2014) en donde la concentración en el proceso tradicional simulando condiciones de curtido optimas de las curtiembres en el Perú es de 2000 ppm, lo cual también se encuentra muy próximo al valor encontrado en los efluentes de curtido.

En la propuesta del Sistema de tratamiento se consideró como dimensiones la cantidad de absorbente (*Lemna minor*) y el tiempo de contacto, se logró proponer un diseño experimental de 3x2 (Tres cantidades de absorbente x 2 tiempos de contacto). Una de las consideraciones sobre el tiempo fueron que actúe de manera natural sin intervención de energía u hombre, por tal se decidieron que fueran días 3 y 6 respectivamente, así como (Maine, 2004) cuya absorción del cromo lo hace mediante macrófitas y con un rango de tiempo de contacto desde 0 horas hasta 744 horas (transformado a días, equivale entre 0 a 31 días), donde obtienen valores de remoción considerablemente altos en las primeras 24 horas, luego del primer al segundo día no hay una diferencia significativa, pero esto también indica que la absorción del cromo es directamente proporcional a su disponibilidad, pues al haber llegado a un 80% de remoción de cromo, solo quedaría un 20% de diferencia sobre el cual deben actuar. En nuestro caso, sucede un fenómeno similar, luego de los 3 días de contacto existe una remoción menos significativa. Lo que concuerda con lo que nos menciona (Pérez-Vásquez



N. *et al*, 2016). en donde la *Lemna minor* tiene un mecanismo de acción que varía con el contaminante a tratar y el tiempo de saturación, pues en ocasiones puede llegar a saturarse, ocasionando que ya no siga reteniendo, posteriormente la lenteja comienza a volverse hipercrómica, cambiando su apariencia y color a un amarillo pálido, y hasta en ciertos hundirse al fondo del recipiente.

Además, todas las cantidades de absorbente (*Lemna minor*) para cada sistema de tratamiento estuvieron en permanente contacto con el agua residual presentando un crecimiento durante todo el tiempo de contacto, lo que concuerda con (Kalcikova G. *et al*, 2016) en donde el crecimiento la macrófita en la superficie viene influenciado por el contacto directo con el agua residual debido a que ésta aprovecha toda la superficie de la planta para la captación de nutrientes volviéndola eficiente en el proceso. Coincide con (Soto, 2005) en donde menciona como una de las ventajas más resaltantes que pueden ofrecer estos sistemas con macrófitas flotantes, es la superficie de contacto que tienen las raíces con el agua residual, debido a que todo el sistema se sumerge, permitiendo una mayor capacidad depuradora.

Otra de las consideraciones se tuvo respecto a la temperatura, pues a pesar de no ser una variable independiente, se trató de que estuviera constante durante todo el tiempo de contacto que debía permanecer la macrófita con el agua residual, así como nos menciona (Arroyave, 2004) cuyos rangos de temperatura óptimos para el crecimiento de la *Lemna minor* va desde 15° hasta 18°C, valores no difíciles de controlar y lo que nos permite no generar un gasto adicional, lo cual es importante en la propuesta de este sistema.

Para poder determinar la concentración de cromo existente en el agua residual se utilizaron dos métodos respectivamente, volumetría, que permite analizar contaminantes con rangos por encima de los 100 ppm ó mg/L y el método de absorción atómica, que permite analizar cromo total con un rango alto por medio de diluciones desde 2000 ppm hasta mayores a >0.05 mg/L ó ppm. Métodos los cuales se encuentran estandarizados en la APHA (American Public Health Association).

El porcentaje de absorción de cromo que se han obtenido son altos a pesar de no considerar una variable quizás muy influyente en este proceso, el cual es el pH, se trabajó en un pH óptimo para la planta como lo menciona (Arroyave, 2004) que nos menciona el rango de crecimiento de la lenteja de agua en un pH de 4.5 hasta 7.5, cuyo valor se mantuvo luego del tratamiento químico con Hidróxido de sodio y se controló de manera constante el pH 7,

si bien nos mencionan que a este pH ocurre un fenómeno de precipitación, pues reaccionan con sales y se convierte en óxido de calcio, este fenómeno es más eficiente a un nivel de pH 9 como fue llevado previamente, (Esmaeili, 2005), empleando el Hidróxido de Sodio a un pH de 8.5 a 9.5 se obtiene la óptima precipitación del cromo del agua residual de la etapa de curtido, y a pesar de la eficiencia en la remoción de cromo, analizando post tratamiento con Hidróxido de sodio se obtuvieron valores aún elevados y que sobrepasan los Valores máximos admisibles y los Límites máximos permisibles. Sin embargo, para eso se trabajó con un blanco para poder saber el rango de error posible y no considerado.

Se determinó el porcentaje de absorción de la *Lemna minor*, obteniéndose rangos desde 14 % a primera instancia hasta el 86% de absorción de cromo, según (Ekperusi, A., 2018) nos menciona el uso de varias macrófitas para solucionar problemas con contaminantes en el recurso agua de manera amigable con el ambiente, es ahí donde se empiezan a probar estas alternativas de fitorremediación estudiándose varias especies, entre ellas por su alta adaptabilidad, como es la lenteja de agua, la gran capacidad de la macrófita *Lemna minor* para absorción de metales que tiene, la vuelve una planta potencialmente apta para sistemas de tratamiento alternativos, preferentemente con contaminantes difíciles como es el caso del cromo, Ekperusi obtuvo una remoción de cromo del 76 %, valor que se encuentra considerablemente menor a lo obtenido en este proyecto, sin embargo, se consideran las diferencias con las que fueron tratadas las muestras. Por otro lado (Martelo, 2012), encontró provechoso la ventaja de usar macrófitas flotantes para tratar aguas residuales con contaminantes pues la gran superficie de contacto además de sus raíces permite que realice su correcta actividad depuradora, obteniendo así remoción del 94.96 %, valor considerablemente elevado y eficiente. Se corrobora también el modelo de Langmuir que nos menciona (Arroyave, 2018) sobre un crecimiento ascendente y directamente proporcional entre el tiempo de contacto y cantidad de absorbente, comportamiento que se puede observar en la tabla n°4.

Con respecto a la cantidad de cromo por unidad de *Lemna minor*, mediante el cálculo de diferencia de cromo en los análisis realizados antes y después del tratamiento, este valor de cromo final en ppm se dividió con la cantidad de absorbente (número de lentejas) determinando la cantidad de absorción presente en cada lenteja. Sin embargo, para poder determinar la capacidad de absorción de cromo (mg Cr/kg) se utilizó el método de absorción atómica con digestión ácida en masa y se obtuvieron como resultados 0.773 mg Cr/kg, 0.889

mg Cr/Kg y 0.724 mg Cr/kg a diferencia de (Sasmaz, 2016) donde evaluó el comportamiento de dos tipos de lentejas de agua (*Lemna gibba* y *Lemna minor*).obteniendo valores altos de 4.8 y 5.8 mg Cr/kg-1, el cual incrementaba hasta el 8vo día, en este caso se observa un incremento a los 6 días, pero valores significativamente menores También se observaron cambios en su aspecto, del color verde vivo pasó a ser un verde agua, lo cual indicaba una saturación por parte de ésta. Así como (Malaver, 2013) habla de una saturación de la planta por parte del cromo, cambiando su coloración a grisácea lo que indica la inhibición de la asimilación de nutrientes por parte de la planta, lo cual es fundamental para que esta se mantenga viva. La diferencia más grande se da con el autor (Zayed, 1998) que menciona como concentración de absorción encontrada en los tejidos de la lenteja de agua de 2.8gr Cr convertidos a mg son 2800 mg Cr/Kg lo cual indica una concentración en masa considerablemente mayor.

Luego de haber encontrado la interacción significativa por parte de la cantidad del absorbente y el tiempo de contacto como formación de los sistemas, lo importante, más allá de si el Cromo se es ingerido por la planta, es la de los valores hasta donde reduce en el efluente pues nos regimos a la norma, y actualmente se están fiscalizando todas las empresas del sector curtiembre con el fin de que sus Valores Referenciales de efluentes para alcantarillado según el D.S N° 003-2002-PRODUCE del ministerio de producción sea de 5 ppm ó mg/L (ANEXO 5) a diferencia de los Valores máximos admisibles, los cuales consideran 10 ppm o mg/l. (ANEXO 6). Nuestra normativa es bastante flexible, pues considerando el tipo de contaminante al que estamos expuestos como es el cromo, la ONU considera valores máximos recomendados de 0.1 mg/l ó 1 ppm debido a los efectos en la salud respecto a la concentración de cromo en el agua que puede ser utilizada para diferentes actividades, además de que el cromo trivalente encontrado, a pesar de menos contaminante que el cromo hexavalente es potencialmente dispuesto a oxidarse en cromo 6+ lo que puede provocar alta toxicidad en los cuerpos receptores como lo menciona (Mayta, 2017). Lo cual, observando los resultados de la Tabla n° se obtienen valores por debajo del rango en el sistema de tratamiento C3T1 el cual consiste en 60 lentejas en un tiempo de contacto de 3 días si nos basamos en los VMA, pero si consideramos los Valores Referenciales de efluentes para alcantarillado (D.S N° 003-2002-PRODUCE), esos recién se obtienen con el sistema de tratamiento C1T2 conformado por 20 lentejas en un tiempo de contacto de 6 días.

## V. CONCLUSIONES

- Se comprobó que si existe absorción de cromo por parte de los sistemas de tratamiento con respecto a la cantidad de absorbente y al tiempo de contacto en el agua residual de curtido.
- Se encontró que el método más adecuado para analizar cromo en agua residual de curtido es mediante volumetría, y luego del tratamiento con valores de menos 50 ppm el método de absorción atómica con digestión ácida.
- El sistema de tratamiento de C3T2 (60 lentejas x 6 días) obtuvo el mejor porcentaje de absorción con un 86 %, bajando la concentración cromo desde 24.92 ppm hasta 3.54 ppm.
- La mejor capacidad de absorción de una *Lemna minor* se da en el sistema de C2T2 (40 lentejas – 6días), según el análisis de su masa de 0.899 mgCr/kg.
- Las concentraciones de cromo obtenidas por el sistema de tratamiento C3T1 (60 lentejas – 3 días) cumplen con los Valores Máximos Admisibles (DS N° 021-2009 - VIVIENDA) y todos los sistemas de tratamiento de tiempo de contacto de 6 días (C1T2, C2T2 y C3T2) cumplen con los Valores Referenciales de efluentes para alcantarillado (D.S N° 003-2002-PRODUCE).

## VI. RECOMENDACIONES

- Evaluar con el mismo método estandarizado todas las muestras.
- Evaluar todos los contaminantes en el agua, que podrían interferir en la absorción de cromo.
- Realizar mayor número de repeticiones en la determinación de la cantidad de cromo posterior al Tratamiento con Hidróxido de sodio y ver cómo influye el tiempo hasta encontrar su nivel de saturación.

## REFERENCIAS

ADSORPTION of hexavalent chromium from aqueous solution by modified corn stalk: A fixed-bed column study por Chen S. [et al]. China. *Bioresource Technology* [online]. Vol. 113, junio 2012. [Fecha de consulta: 29 de abril de 2019]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2011.11.110> ISSN: 0960-8524.

ANCO, Percy. Procedimiento para la separación del cromo hexavalente de efluentes mineros. Tesis (Título Profesional en ingeniería metalúrgica). Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos, 2004. 92 pp.

AMARE, Elfu, KEBEDE, Fassil y MULAT, Worku. Wastewater treatment by *Lemna minor* and *Azolla filiculoides* in tropical semiarid regions of Ethiopia. *Ecological Engineering* [online]. Vol. 120, septiembre 2018. [Fecha de consulta: 29 de abril de 2019]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2018.07.005> ISSN: 0925-8574.

APHA. Standard methods for the examination of water and wastewater, 21sted. Washington, DC, New York: American Public Health Association; 2005.

ARROYAVE, María del Pilar. La lenteja de agua (*Lemna minor*): Una planta acuática promisoras. *Revista EIA*, (1): 33-38, junio 2004. ISSN: 1794-1237.

ARROYO, P., ANSOLA G. y DE LUIS CALABUIG E. La biorremediación como medida correctora en los impactos ambientales del agua contaminada con metales pesados. México: Universidad de León. 2005.

BASIGLINI, E., PINTORE M. y FORNI C. Effects of treated industrial wastewaters and temperaturas on growth and enzymatic activities of duckweed (*Lemna minor* L.). *Ecotoxicology and Environmental Safety* [online]. Vol. 153, mayo 2018. [Fecha de consulta: 29 de abril de 2019]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.01.053> ISSN: 0147-6513

BIOSORCIÓN para la eliminación de metales pesados en aguas de desecho por Luis

Federico Sala [et al]. España: Química y Medio Ambiente, 106 (2): 114-120, 2010. ISSN 1575-3417

BIOSORPTION and biotransformation of hexavalent chromium [Cr (VI)] por Jobby, Renitta [et al]. *Chemosphere* [online]. Vol. 207, septiembre del 2018. [Fecha de consulta: 29 de abril de 2019]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.05.050> ISSN: 0045-6535

CHEMICAL and biological treatment technologies for leather tannery chemicals and wastewaters: a review por Giusy Lofrano [et al]. *Science of the total Environment* [online]. Vol. 461-462, septiembre 2013. [Fecha de consulta 04 de abril de 2019]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.05.004>.

CHO, Heechan, OH, Dalyoung y KIM Kwanho., A study on removal characteristics of heavy metals from aqueous solution by fly ash. *Journal of Hazardous Materials* [online]. Vol. 127 n° 1-3, 9 de diciembre del 2005. [Fecha de consulta: 29 de abril de 2019]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2005.07.019> ISSN: 0304-3894.

CHOQUE Yucra, Martin. Cuantificación de la remoción de Pb y Cd mediante la lenteja de agua *Lemna gibba* y Azolla *Azolla filiculoides* de las aguas de la bahía interior de Puno. Tesis (Magister Scientiae en Tecnologías de Protección Ambiental). Puno: Universidad Nacional del Altiplano, 2010. 110pp.

CORONEL Castro, Elver. Eficiencia del Jacinto de Agua (*Eichhornia crassipes*) y Lenteja de Agua (*Lemna minor*) en el tratamiento de las Aguas Residuales de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas- Chachapoyas, 2015. Tesis (Título Ingeniería Ambiental). San Martín: Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, 2016.76 pp.

D.S. N° 003-2002- PRODUCE. Aprueban Límites Máximos Permisibles y Valores Referenciales para las actividades industriales de cemento, cerveza, curtiembre y papel. Diario Oficial El Peruano, Lima, Perú, 04 de octubre del 2002

D.S. N° 021-2009-VIVIENDA. Decreto Supremo que aprueba el Reglamento de Valores Máximos Admisibles (VMA) para las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado. Diario Oficial El Peruano, Lima, Perú, 11 de marzo de 2019.

DORIA, D, y ADMURRIO, D. Alternativa de proceso de curtido con alto agotamiento de Cromo para las curtiembres tradicionales de la ciudad de Cochabamba. *Revista de Ciencias y Tecnología: ActaNova* [en línea]. Vol. 8 n.º 1 Cochabamba marzo. 2017 [Fecha de consulta: 29 de abril de 2019]. Disponible en: [http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1683-07892017000100002&lang=es](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1683-07892017000100002&lang=es)

ISSN 1683-0789

EFFECTS of ZnO nanoparticles on the toxicity of cadmium to duckweed *Lemna minor* por Sun, Shiqing [*et al*]. China. *Science of the Total Environment*[online]. Vol. 662, abril 2019. [Fecha de consulta: 29 de abril de 2019]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.275> ISSN: 0048-9697.

EKPERUSI, A., SIKOKI, F.y NWACHUKWU, E. Application of Common Duckweed (*Lemna minor*) in Pytoremediation of Chemicals in the Environment: State and Future Perspective. *Chemosphere* [online]. Vol. 223, mayo 2019. [Fecha de consulta: 29 de abril de 2019]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.02.025> ISSN: 0045-6535

ESMAEILI, Abass, MESDAGHI, Alireza y VAZIRINEJAD, Reza. Chromium (III) Removal and Recovery from Tannery wastewater by precipitation process. *American journal of applied sciences* [en línea].

ESTUDIO de modificación química y física de biomasa (*Citrus sinensis* y *musa paradisiaca*) para la adsorción de metales pesados en solución por Lesly Tejeda Benítez [et al]. *Luna Azul*, (39): 124-142, julio-diciembre 2014.ISSN 1909-2474.

ESTUDIO de reducción fotocatalizable cromo hexavalente por Jaime Tapia [et al]. *Boletín de la Sociedad Chilena de Química*.47(4):469-476, diciembre 2002. ISSN 0366-1644.



EVALUACIÓN de residuos agroindustriales como biofiltros: remoción de Cr (VI) en efluentes de curtiembres sintéticos por Tatiana Andrea Dávila-Martínez [et al]. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*. 15(1):49-58, enero 2017. ISSN 1692-3561.

FITORREMEDIACIÓN: Una alternativa para eliminar la contaminación por Delgadillo-López Angélica [et al]. México: *Tropical and Subtropical Agroecosystems* [en línea]. Vol.14, n°2, mayo-agosto 2011. [Fecha de consulta: 03 de Mayo de 2019]. Disponible en: ISSN: 1870-6462

GALVEZ Cotrina, José. Influencia de temperatura, tiempo de residencia y cantidad de cáscara deshidratada de *Musa Cavendishii* en la adsorción de cromo hexavalente. Tesis (Título profesional de Ingeniería Ambiental). Trujillo: Universidad César Vallejo, 2018. 46 pp.

GUILLERMINA Burillo, G; SERRANO-GÓMEZ, J and BONIFACIO-MARTÍNEZ, J. Adsorption of Chromium(VI) on Radiation Grafted N,N-dimethylaminoethylmethacrylate onto Polypropylene, from Aqueous Solutions. *Journal of the Mexican Chemical Society*. 57(2):80-47, junio 2013. ISSN 1870-249X

JARAMILLO Jumbo, Mariuxi Del Cisne y FLORES Campoverde, Edison. Fitorremediación mediante el uso de dos especies vegetales *Lemna minor* (lenteja de agua) y *Eichornia crassipes* (Jacinto de agua) en aguas residuales producto de la actividad minera. Tesis (Título profesional Ingeniería Ambiental). Ecuador: Universidad de Cuenca, 2012. 128 pp.

HIGUERA, O; ARROYAVE, J y FLOREZ, L. Diseño de un biofiltro para reducir el índice de contaminación por cromo generado en las industrias del curtido de cueros. *DYNA*. 76 (160):107-119, octubre-diciembre 2009. ISSN 0012-7353.

KUYUCAK N. y VOLESKY B. Accumulation of cobalt by marine alga. *Biochemical*

*Engineering Research Unit* [online]. Vol. 33, n.º, marzo 1989. [Fecha de consulta: 03 de mayo de 2019]. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/bit.260330703>

MACROPHYTE bioassay applications for monitoring pesticides in the aquatic environment for J.F. Della Vecchia [et al]. *Planta Daninha* [online]. Vol.34 no.3 Julio/Septiembre. 2016 [Fecha de consulta: 29 de abril de 2019]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-83582016340300021> ISSN: 1806-9681

MALAVAR, A. Evaluación de un humedal artificial de flujo superficial empleando lenteja de agua (*Lemna minor*) para el tratamiento de aguas residuales generadas por la industria de curtiembres. 2013.[Fecha de consulta: 04 de mayo de 2019]. Disponible en: <https://repository.unilivre.edu.co/bitstream/handle/10901/9999/Evaluaci%C3%B3n%20de%20un%20Humedal%20artificial%20de%20flujo%20superficial%20empleando%20lenteja%20de%20agua%20%28Lemna%20minor%29%20.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

MARTELO, J y LARA, J. Macrofitas flotantes en el tratamiento de aguas residuales; una revisión del estado del arte. *Ingeniería y Ciencia* [en línea]. Vol. 8, n° 15. Fecha de consulta: 02 de Mayo de 2019]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/comocitar.oa?id=83524069011>. ISSN 1794-9165

MAYTA, Roddy y MAYTA, Jhony. Remoción de Cromo y Demanda Química de Oxígeno en Aguas Residuales de Curtiembre por Electrocoagulación. *Rev. Soc. Química Perú*. 83 (3). 2017. ISSN 1810-634X

McLAY C. The effect of pH on the population growth of three species of duckweed: *Spirodela oligorrhiza*, *Lemna minor* and *Wolffia arrhizal*. *Freshwater Biology* [online]. Vol. 6 n.º2, abril 1976. [Fecha de consulta: 02 de mayo de 2019]. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.1976.tb01596.x>

MENDOCILLA Murillos, Carlos. Influencia del pH y el tiempo en la remoción de cromo hexavalente presente en soluciones acuosas utilizando electrocoagulación. Tesis (Título profesional). Perú: Universidad César Vallejo, 2018. 80 pp.

OPTIMIZACIÓN de parámetros para la construcción de la curva de ruptura en la adsorción de Cr(VI) sobre cáscara de cacao por Candelaria Tejada-Tovar [et al]. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*. 21(1):167-177, enero-junio 2018. ISSN: 0123-4226

ORTIZ, N. E. & CARMONA, J. C. Aprovechamiento de cromo eliminado en aguas residuales de curtiembres (San Benito, Bogotá), mediante tratamiento con sulfato de sodio. *Revista Luna Azul*. (40):117-126, enero – junio 2015. ISSN: 1909-2474

PÉREZ-VÁSQUEZ, N; ARIAS-RIOS, J y QUIRÓS-RODRÍGUEZ, J. Variación espacio-temporal de plantas vasculares acuáticas en el complejo cenagoso del bajo sinú, córdoba, Colombia. *Acta Biológica Colombiana*. 20(3):155-165, septiembre-diciembre. 2015. ISSN 0120-548X

PLANTEAMIENTO y evaluación de las aplicaciones de los productos obtenidos en la hidrólisis alcalina de las virutas de cromo generadas durante el procesamiento del cuero por Andrea Díaz [et al]. *Ingeniería e Investigación*. 26 (3):50-57 septiembre-diciembre. 2006. ISSN 0120-5609

PHYTOREMEDIATION of Seleniferous soil leachate using the aquatic plants *Lemna minor* and *Eferia densa* por Ohlbaum, M. [et al]. *Ecological Engineering* [online]. Vol. 120, septiembre 2018. [Fecha de consulta: 29 de abril de 2019]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2018.06.013> ISSN: 0925-8574

PINZÓN – BEDOYA, Influencia del Ph en la bioadsorción de Cr(II) sobre cáscara de naranja: Determinación de las condiciones de operación en proceso discontinuo. Colombia. *Revista Batua*. Vol 8 (1). 21-30, 2010.

PORTADA, A. 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 [en línea] Repositorio Institucional UNA-Puno, 2016. [Fecha de consulta: 21 de abril de 2019]. Disponible en: <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/4061>

QUIJANO, A., CASTILLO, C. y MELÉNDEZ, I. Potencial mutagénico y genotóxico de aguas residuales de la curtiembre tasajero en la ciudad de cúcuta, norte de santandersalsa, Colombia. Revista UDCA Actualidad y Divulgación Científica. 18(1): 13-20, enero-junio, 2015. ISSN 0123-4226

RELEVANCIA del pH en la adsorción de iones metálicos mediante algas pardas por Norma A. Cuizano y otros. Revista de la Sociedad Química del Perú. 76 (2):123-130. abril-junio. 2010. ISSN 1810-634X

REYES, Úrsula, NAVARRO, Abel y LLANOS, Bertha. Algas Marinas del litoral peruano como biosorbentes potenciales de ion Cu (II) en tratamiento de efluentes industriales. Rev Soc Química Perú 75(3):353-361, 2019. ISSN 1810-634X.

RIVAS Sanchez, Greysa y CHUQUIPOMA Távara, Rafael. Remoción de cromo (VI) usando Zeolita tipo clinoptilolita modificada con fierro (II), en soluciones sintéticas. Tesis (Título profesional de Ingeniería Ambiental). Trujillo: Universidad Nacional de Trujillo, 2017. 81 pp.

RODRIGUEZ, Adriana [*et al*]. Biosorción de Cromo (VI) en Solución acuosa por la biomasa de Amaranto (*Amaranthus caudatus*). Avances en Ciencia e Ingeniería [en línea]. Abril-Junio 2017. Vol 8(2). [Fecha de consulta: 20 de marzo de 2019] Disponible en: [http://www.exedu.com/publishing.cl/av\\_cienc-ing/](http://www.exedu.com/publishing.cl/av_cienc-ing/)

ROSNER, W. El Impacto Ambiental de las Curtiembres en Trujillo-Perú. Source: Revista Geográfica, no. 124 (1998): p 57-77. 2016. [Consulta 20 de Abril 2019]. Disponible en: <https://www.jstor.org/stable/40992746>

SANCHEZ R. & TAVARA C, 2017. Remoción de cromo (VI) usando zeolita tipo clinoptilolita modificada con fierro (II), en soluciones sintéticas. Revisado el 19/04/19. Disponible en: <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/9883>

SASMAZ, A., METE DOGAN., SASMAZ M., Removal of Cr, Ni and Co in the water of chromium mining areas by using *Lemna gibba* L. and *Lemna minor* L. *Water and Environmental Journal*. 2016. ISSN:1747-6585.

SIERRA, L., RAMIREZ, L., y RODRIGUEZ, J., Evaluation of municipal wastewater post-treatment using macrophytes as duckweed (*Lemna minor*) in stabilization ponds. *Rev. Logos Ciencia & Tecnologia*, 10(10):153-157, abril-junio 2018. ISSN: 2422-4200.

SOTO, José. Estudio de aplicabilidad de humedales artificiales para la mejora de la calidad de las aguas en los meandros abandonados del río Segura. Tesis (Máster Universitario en Ingeniería Ambiental). Valencia: Universidad Politécnica de Valencia, 2016. 84 pp.

TEJADA-TOVAR, Candelaria, VILLABONA-ORTIZ, Angel y MARIMÓN Wilfredo. Biosorción de cromo(VI) en agua usando material lignocelulosico modificado. *Revista: Educación en Ingeniería* [en línea]. Vol. 9, n° 17, enero-junio 2014. [Fecha de consulta: 29 de abril de 2019]. Disponible en: <https://www.educacioneningenieria.org/index.php/edi/article/viewFile/290/197>

TEJADA-TOVAR, C, VILLABONA-ORTIZ, Angel y GARCÉS-JARABA, L. Adsorción de metales pesados en aguas residuales usando materiales de origen biológico. *Tecno Lógicas*. Vol. 18, (34) pp: 109-123. Octubre- 2015. ISSN: 0123-7799

TEJADA-TOVAR, C.; VILLABONA, A y JIMÉNEZ, M. Remoción de cromo hexavalente sobre residuos de cacao pretratados químicamente [en línea]. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*. 20(1):139-147, enero-junio, 2017. ISSN 0123-4226

THE impact of humic acid on chromium phytoextraction by aquatic macrophyte *Lemna minor* por Gabriela Kalciková [et al]. *Chemosphere*. 147:311-317, marzo 2016. ISSN: 0045-6535.

THE use of Common Duckweed (*Lemna minor*) in the treatment of wastewater from the washing of sisal fiber (*Furcraea bedinghausi*) por Rarias, Arnol [et al]. Colombia.

*Ingeniería y Competitividad* [online]. 18(2):25-34; 2016. ISSN: 0123-3033. ISSN 0123-3033

TRATAMIENTO de las aguas residuales del proceso de curtido tradicional y alternativo que utiliza acomplejantes de cromo por Hansel Córdova Bravo [et al]. Lima: Revista Sociedad Química Perú 80 (3). 2014.

USO de microorganismos nativos en la remoción simultánea de materia Orgánica y Cr(VI) en una Celda de Combustible Microbiana de Biocátodo (CCM) por Dolly M. Revelo [et al]. Información tecnológica [en línea]. vol.26 no.6. 2015. [Fecha de consulta: 29 de abril de 2019]. Disponible en: [https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-07642015000600010&lang=es](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642015000600010&lang=es) ISSN 0718-0764

VENDRUSCOLO, Francielo, LUIZ DA ROCHA, Glalber y ANTONIOSI, Nelson. Biosorption of hexavalent Chromium by microorganisms. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 119:87-95, abril 2017. [Fecha de consulta: 28 de abril de 2019]. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2016.10.008> ISSN: 0964-8305

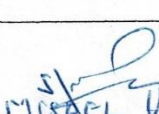


ZAYED, Adel, GOWTHAMAN Suvarnalatha y TERRY Norman. Phytoaccumulation of Trace Elements by Wetland Plants: I. Duckweed. *Journal of Environmental Quality* [online]. Vol. 27, n° 3, mayo 1998. [Fecha de consulta: 29 de abril de 2019]. Disponible en: [https://doi: 10.2134/jeq1998.00472425002700030032x](https://doi:10.2134/jeq1998.00472425002700030032x)

ZEOLITAS LTA y FAU obtenidas a partir de cenizas volantes y su aplicación en remoción de Cromo por Juan Camilo Arroyave-Manco [et al]. Medellín: *Revista DYNA*, 85 (204):150-160, enero-marzo 2018 ISSN: 0012-7353

ANEXOS

ANEXO 1: Instrumento de Recolección de datos

**INSTRUMENTO DE RECOLECCION DE DATOS**

<b>DESARROLLO DEL PROYECTO DE INVESTIGACION</b>									
<b>SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL CON "lemna minor" PARA LA ABSORCIÓN DE CROMO EN LA ETAPA DE CURTIDO</b>									
<b>Línea de Investigación</b>									
Calidad y Gestión de los Recursos Naturales									
<b>DATOS GENERALES:</b>									
Facultad de Ingeniería			Escuela Académica Profesional de Ingeniería Ambiental			Universidad Cesar Vallejo			
<b>Departamento</b>			<b>Provincia</b>			<b>Distrito</b>			
La Libertad			Trujillo			Víctor Larco H.			
<b>DATOS DE LA PRUEBA</b>									
<b>Fecha de prueba</b>									
<b>Cantidad de cromo inicial</b>									
<b>pH del Agua</b>									
<b>Temperatura del Agua</b>									
<b>Número de Replicas</b>									
<b>Tiempo de contacto</b>	<b>3 días (T1)</b>								
<b>Grupo de Prueba</b>	<b>T1/-(TESTIGO)</b>		<b>T1/L1</b>		<b>T1/L2</b>		<b>T1/L3</b>		
	<b>T1</b>	<b>L0</b>	<b>T1</b>	<b>L1</b>	<b>T1</b>	<b>L2</b>	<b>T1</b>	<b>L3</b>	
<b>Concentración usada: Xi</b>	Número de días de contacto con <i>lemna minor</i> .	0 plantas de <i>Lemna Minor</i> .	Número de días de contacto con <i>lemna minor</i> .	20 plantas de <i>Lemna Minor</i> .	Número de días de contacto con <i>lemna minor</i> .	40 plantas de <i>Lemna Minor</i> .	Número de días de contacto con <i>lemna minor</i> .	60 plantas de <i>Lemna Minor</i> .	
<b>Concentración de Cromo</b>									
<b>Porcentaje de Absorción</b>									
<b>Capacidad de Absorción (mg Cr/ Unidad de lenteja)</b>									
<b>Tiempo de contacto</b>	<b>6 días (T2)</b>								
<b>Grupo de Prueba</b>	<b>T2/-(TESTIGO)</b>		<b>T2/L1</b>		<b>T2/L2</b>		<b>T2/L3</b>		
	<b>T2</b>	<b>L0</b>	<b>T2</b>	<b>L1</b>	<b>T2</b>	<b>L2</b>	<b>T2</b>	<b>L3</b>	
<b>Concentración de Cromo</b>									
<b>Porcentaje de Absorción</b>									
<b>Capacidad de Absorción (mg Cr/ Unidad de lenteja)</b>									
<b>Responsables de la prueba</b>	Chavarry Ynguil Maria Isabel		<b>FIRMA</b>		Valderrama Urbina Ivan Arnaldo Joseph		<b>FIRMA</b>		
<b>Verificado por:</b>			<b>Verificado por:</b>				<b>Verificado por:</b>		
 MISHAEL VILLACORTA G.		 N.S.C. ISIDORO VALDERRAMA		 DR. NOEL CASTILLA S.					

ANEXO 2: Análisis de laboratorio (Concentración de cromo)

Anexo 2A



## SERVICIOS DE ANÁLISIS Y ASESORÍA **DELTA**S S.R.L

### REPORTE DE ANÁLISIS

SOLICITANTE : MARÍA ISABEL CHAVARRY  
MUESTRA : TRATADAS EN LABORATORIO  
LUGAR : TRUJILLO  
FECHA DE INGRESO : 26 DE NOVIEMBRE DE 2019

MUESTRA PUESTRA EN EL LABORATORIO

MUESTRA	mg Cr/L, (A)
TRATAMIENTO QUÍMICO	24.92
TRATAMIENTO CON 20 LENTEJAS	21.42
TRATAMIENTO CON 40 LENTEJAS	13.13
TRATAMIENTO CON 60 LENTEJAS	9.25

A: DIGESTIÓN ÁCIDA - MÉTODO DE ABSORCIÓN ATÓMICA

TRUJILLO 27 DE NOVIEMBRE DE 2019

ING. NOÉ COSTILLA SÁNCHEZ

JEFE DE LABORATORIO

CIP: 18715 / PERITO QUÍMICO



Urb. Monserrate 5 'Etapas Mz. D2 Lote 9 - Trujillo - La Libertad R.U.C. 20482155058  
Telef.: 044-280011 - 949 960633 - 949 564849. E-mail: deltas09@yahoo.com





## SERVICIOS DE ANÁLISIS Y ASESORÍA **DELTAS** S.R.L

### REPORTE DE ANÁLISIS

SOLICITANTE : MARÍA ISABEL CHAVARRY  
MUESTRA : TRATADAS EN LABORATORIO  
LUGAR : TRUJILLO  
FECHA DE INGRESO : 05 DICIEMBRE DE 2019

MUESTRA PUESTA EN EL LABORATORIO

MUESTRA DESPUÉS DE 6 DÍAS	mg Cr/L, (A)
TRATAMIENTO QUÍMICO	5.14
TRATAMIENTO CON 20 LENTEJAS	4.60
TRATAMIENTO CON 40 LENTEJAS	3.76
TRATAMIENTO CON 60 LENTEJAS	3.54

A: DIGESTIÓN ÁCIDA - MÉTODO DE ABSORCIÓN ATÓMICA

TRUJILLO 05 DE DICIEMBRE DE 2019

ING. MOÉ COSTILLA SÁNCHEZ

JEFE DE LABORATORIO

CIP: 18715 / PERITO QUÍMICO



Anexo 2C:



## SERVICIOS DE ANÁLISIS Y ASESORÍA **DELTAS** S.R.L.

### REPORTE DE ANÁLISIS


SOLICITANTE : MARÍA ISABEL CHAVARRY  
MUESTRA : TRATADAS EN LABORATORIO  
LUGAR : TRUJILLO  
FECHA DE INGRESO : 06 DICIEMBRE DE 2019


MUESTRA PUESTA EN EL LABORATORIOS

MUESTRAS	mg Cr/kg, (A)
LENTEJAS	5.46
CON 20 LENTEJAS	15.46
CON 40 LENTEJAS	35.96
CON 60 LENTEJAS	43.42

A: DIGESTIÓN ÁCIDA - MÉTODO DE ABSORCIÓN ATÓMICA

TRUJILLO 09 DE DICIEMBRE DE 2019

  
ING. NOÉ COSTILLA SÁNCHEZ  
JEFE DE LABORATORIO  
CIP: 18715 / PERITO QUÍMICO



Urb. Monserrate 5 'Etapa Mz. D2 Lote 9 - Trujillo - La Libertad R.U.C. 20482155058  
Telef.: 044-280011 - 949 960633 - 949 564849. E-mail: deltas09@yahoo.com

\*\* Cada valor se divide por el número de lentejas de agua analizadas (20, 40 y 60) respectivamente.

ANEXO 3: Cuadro informativo

Tiempo de contacto (N° días)	Cantidad de absorbente (N° lentejas)	EFLUENTE CROMO CURTIDO (ppm)	Cr POST NaOH (ppm)	TRATAMIENTO	Cr_inicial (ppm)	Cr_final (ppm)	Cr(i)-Cr(f) (ppm)	Porcentaje de absorción (%PA)	promedio PA%	Capacidad de Absorción de lenteja (Cr /Un lenteja)	pH	PROMEDIO Capacidad de Absorción de lenteja (Cr /Un lenteja)
3	20	2565	24.92	L1T1	24.92	21.42	3.50	14%	14%	0.175	7.67	0.178
					24.92	20.62	3.55	17%		0.178		
					24.92	22.21	3.60	11%		0.180		
	40	2565	24.92	L2T1	24.92	13.13	11.79	47%	47%	0.295	7.67	0.296
					24.92	13.15	11.84	47%		0.296		
					24.92	13.11	11.88	47%		0.297		
	60	2565	24.92	L3T1	24.92	9.25	15.67	63%	63%	0.261	7.67	0.262
					24.92	9.24	15.72	63%		0.262		
					24.92	9.27	15.77	63%		0.263		
6	20	2565	24.92	L1T2	24.92	4.60	20.32	82%	82%	1.016	7.67	1.016
					24.92	4.58	20.34	82%		1.017		
					24.92	4.63	20.29	81%		1.015		
	40	2565	24.92	L2T2	24.92	3.76	21.16	85%	85%	0.529	7.67	0.529
					24.92	3.72	21.20	85%		0.530		
					24.92	3.79	21.13	85%		0.528		
	60	2565	24.92	L2T3	24.92	3.54	21.38	86%	86%	0.356	7.67	0.356
					24.92	3.57	21.35	86%		0.356		
					24.92	3.50	21.42	86%		0.357		

ANEXO 4:

Tabla 5: *Prueba de Normalidad-Shapiro Wilk*

	Sistemas de Tratamientos		Shapiro-Wilk	
Porcentaje de Absorción	T1 C20	1,000	3	,991
	T1 C40	1,000	3	1,000
	T1 C60	,964	3	,637
	T2 C20	,987	3	,780
	T2 C40	,993	3	,843
	T2 C60	,990	3	,811

Tabla N° 6: *Estadísticos Descriptivos*

<b>Estadísticos descriptivos</b>				
Variable dependiente: Porcentaje de Absorción				
Cantidad de Absorbente (N° de Lentejas)	Tiempo de Contacto	Media	Desv. Desviación	N
20 L	3 D	14,0567	3,19503	3
	6 D	81,5267	,10066	3
	Total	47,7917	37,01010	6
40 L	3 D	47,3100	,08000	3
	6 D	84,9233	,14048	3
	Total	66,1167	20,60192	6
60 L	3 D	62,8667	,06110	3
	6 D	85,8067	,14572	3
	Total	74,3367	12,56515	6
Total	3 D	41,4111	21,65250	9
	6 D	84,0856	1,96017	9
	Total	62,7483	26,54228	18

Tabla N° 7: *Anova Unifactorial*

<b>ANOVA</b>					
Porcentaje de Absorción					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	11955,833	5	2391,167	1397,054	,000
Dentro de grupos	20,539	12	1,712		
Total	11976,372	17			

Tabla N° 8: *Post-Hoc*

**Comparaciones multiples**

Variable dependiente: Porcentaje de Absorción

	(I) Sistemas de Tratamientos	(J) Sistemas de Tratamientos	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
						Límite inferior	Límite superior
HSD Tukey	T1 L20	T1 C40	-33,25333*	1,06820	,000	-36,8413	-29,6653
		T1 C60	-48,81000*	1,06820	,000	-52,3980	-45,2220
		T2 C20	-67,47000*	1,06820	,000	-71,0580	-63,8820
		T2 C40	-70,86667*	1,06820	,000	-74,4547	-67,2787
		T2 C60	-71,75000*	1,06820	,000	-75,3380	-68,1620
	T1 C40	T1 C20	33,25333*	1,06820	,000	29,6653	36,8413
		T1 L60	-15,55667*	1,06820	,000	-19,1447	-11,9687
		T2 C20	-34,21667*	1,06820	,000	-37,8047	-30,6287
		T2 C40	-37,61333*	1,06820	,000	-41,2013	-34,0253
		T2 C60	-38,49667*	1,06820	,000	-42,0847	-34,9087
	T1 C60	T1 C20	48,81000*	1,06820	,000	45,2220	52,3980
		T1 C40	15,55667*	1,06820	,000	11,9687	19,1447
		T2 C20	-18,66000*	1,06820	,000	-22,2480	-15,0720
		T2 C40	-22,05667*	1,06820	,000	-25,6447	-18,4687
		T2 C60	-22,94000*	1,06820	,000	-26,5280	-19,3520
	T2 C20	T1 C20	67,47000*	1,06820	,000	63,8820	71,0580
		T1 C40	34,21667*	1,06820	,000	30,6287	37,8047
		T1 C60	18,66000*	1,06820	,000	15,0720	22,2480
		T2 C40	-3,39667	1,06820	,067	-6,9847	,1913
		T2 C60	-4,28000*	1,06820	,017	-7,8680	-,6920
	T2 C40	T1 C20	70,86667*	1,06820	,000	67,2787	74,4547
		T1 C40	37,61333*	1,06820	,000	34,0253	41,2013
		T1 C60	22,05667*	1,06820	,000	18,4687	25,6447
		T2 C20	3,39667	1,06820	,067	-,1913	6,9847
		T2 C60	-,88333	1,06820	,957	-4,4713	2,7047
	T2 C60	T1 C20	71,75000*	1,06820	,000	68,1620	75,3380
		T1 C40	38,49667*	1,06820	,000	34,9087	42,0847
		T1 C60	22,94000*	1,06820	,000	19,3520	26,5280
		T2 C20	4,28000*	1,06820	,017	,6920	7,8680
		T2 C40	,88333	1,06820	,957	-2,7047	4,4713
T1 C20	T1 C40	-33,25333*	1,84523	,011	-48,5416	-17,9651	
	T1 C60	-48,81000*	1,84499	,005	-64,1056	-33,5144	

	T2 C20	-67,47000*	1,84557	,003	-82,7481	-52,1919
	T2 C40	-70,86667*	1,84644	,002	-86,1186	-55,6147
	T2 C60	-71,75000*	1,84657	,002	-86,9979	-56,5021
T1 C40	T1 C20	33,25333*	1,84523	,011	17,9651	48,5416
	T1 C60	-15,55667*	,05812	,000	-15,8427	-15,2706
	T2 C20	-34,21667*	,07424	,000	-34,5785	-33,8549
	T2 C40	-37,61333*	,09333	,000	-38,1229	-37,1038
	T2 C60	-38,49667*	,09597	,000	-39,0287	-37,9646
T1 C60	T1 C20	48,81000*	1,84499	,005	33,5144	64,1056
	T1 C40	15,55667*	,05812	,000	15,2706	15,8427
	T2 C20	-18,66000*	,06799	,000	-19,0217	-18,2983
	T2 C40	-22,05667*	,08844	,000	-22,5974	-21,5160
	T2 C60	-22,94000*	,09123	,000	-23,5060	-22,3740
T2 C20	T1 C20	67,47000*	1,84557	,003	52,1919	82,7481
	T1 C40	34,21667*	,07424	,000	33,8549	34,5785
	T1 C60	18,66000*	,06799	,000	18,2983	19,0217
	T2 C40	-3,39667*	,09978	,000	-3,8968	-2,8965
	T2 C60	-4,28000*	,10225	,000	-4,7987	-3,7613
T2 C40	T1 C20	70,86667*	1,84644	,002	55,6147	86,1186
	T1 C40	37,61333*	,09333	,000	37,1038	38,1229
	T1 C60	22,05667*	,08844	,000	21,5160	22,5974
	T2 C20	3,39667*	,09978	,000	2,8965	3,8968
	T2 C60	-,88333*	,11686	,010	-1,4379	-,3288
T2 C60	T1 C20	71,75000*	1,84657	,002	56,5021	86,9979
	T1 C40	38,49667*	,09597	,000	37,9646	39,0287
	T1 C60	22,94000*	,09123	,000	22,3740	23,5060
	T2 C20	4,28000*	,10225	,000	3,7613	4,7987
	T2 C40	,88333*	,11686	,010	,3288	1,4379

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

ANEXO 5: Valores Máximos Admisibles DS N° 021-2009 - VIVIENDA

<b>ANEXO N° 02</b>			
<b>Valores Máximos Admisibles <sup>(1)</sup></b>			
PARÁMETRO	UNIDAD	EXPRESIÓN	VMA PARA DESCARGAS AL SISTEMA DE ALCANTARILLADO
Aluminio	mg/L	Al	10
Arsénico	mg/L	As	0.5
Boro	mg/L	B	4
Cadmio	mg/L	Cd	0.2
Cianuro	mg/L	CN	1
Cobre	mg/L	Cu	3
Cromo hexavalente	mg/L	Cr <sup>+6</sup>	0.5
<b>Cromo total</b>	<b>mg/L</b>	<b>Cr</b>	<b>10</b>
Manganeso	mg/L	Mn	4
Mercurio	mg/L	Hg	0.02
Niquel	mg/L	Ni	4
Plomo	mg/L	Pb	0.5
Sulfatos	mg/L	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	500
Sulfuros	mg/L	S <sup>-2</sup>	5
Zinc	mg/L	Zn	10
Nitrógeno Amoniacal	mg/L	NH <sup>+4</sup>	80
pH <sup>(2)</sup>		pH	6-9
Sólidos Sedimentables <sup>(2)</sup>	mL/L/h	S.S.	8.5
Temperatura <sup>(2)</sup>	°C	T	<35

ANEXO 6: Límites Máximos Permisibles D.S N° 003-2002-PRODUCE

**ANEXO 2**

**VALORES REFERENCIALES DE EFLUENTES PARA ALCANTARILLADO Y AGUAS SUPERFICIALES DE LAS ACTIVIDADES EN CURSO DE LOS SUBSECTORES CURTIEMBRE Y PAPEL**

PARÁMETROS	CURTIEMBRE (Alcantarillado)	PAPEL	
		Aguas Superficiales	Alcantarillado
Grado de Acidez o Alcalinidad (pH)	6.5 - 9.5		
Demanda Química de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> ), mg/l	1000	250	1000
Demanda Química de Oxígeno 2500 (DQO) mg/l	2500	1000	3000
Sólidos Suspendidos Totales (SST), 1000 mg/l			
Sulfuro, (mg/l)	10		
Cromo + 6 (mg/l)	0.5		
Cromo Total (mg/l)	5		
Nitrógeno Amoniacal (N - NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ), mg/l	50		

\* En curso: Se refiere a las actividades de las empresas de los subsectores curtiembre y papel que a la fecha de vigencia del presente Decreto Supremo se encuentran operando.



ANEXO 7: IMÁGENES



Imagen N° 01: Reproducción de *Lemna minor*.



Imagen N° 02: Muestra de agua de curtido

## Análisis volumétrico de Cromo



Imagen N° 03: Agregar 50 ml de muestra filtrada



Imagen N° 04: Agregar 10 ml de ácido sulfúrico y ácido perclórico, luego llevar a digerir.



Imagen N° 05: Luego de digestar la muestra, agregar 300 ml de agua destilada



Imagen N° 06: Agregar 15 ml de ácido fosfórico



Imagen N° 07: Agregar yoduro de potasio al 30%



Imagen N° 08: Agregar almidón



Imagen N° 09: Titular con Tiosulfato de sodio 0.1N hasta que cambie de color



Imagen N° 10: Con el volumen gastado, calcular concentración (ppm) de cromo.



Imagen N° 11: Regulando el pH, agregar Hidróxido de sodio hasta llegar a  $9 \pm 0.2$ .



Imagen N° 12: Muestras con Hidróxido de sodio filtradas



Imagen N° 13: Sistemas de tratamiento.