



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS PECUARIAS
CARRERA DE INGENIERÍA EN INDUSTRIAS PECUARIAS

**“EVALUACIÓN MEDIANTE LA TÉCNICA DE
FITORREMEDIACIÓN EL CROMO EN EFLUENTES DE LA
INDUSTRIA DEL CUERO UTILIZANDO *Lemna minor* (LENTEJA
ACUATICA)”**

Trabajo de Titulación

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar el grado académico de:

INGENIERA EN INDUSTRIAS PECUARIAS

AUTORA: JAKELINE PAULINA VARGAS PARREÑO

DIRECTOR: Ing. DIEGO IVÁN CAJAMARCA CARRAZCO.Mgs.

Riobamba-Ecuador

2020

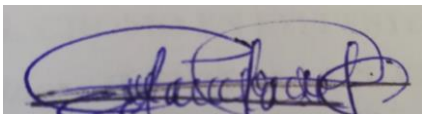
©2020, Jakeline Paulina Vargas Parreño

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, **JAKELINE PAULINA VARGAS PARREÑO**, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos.

Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autora asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
Riobamba, 31 de enero del 2020.


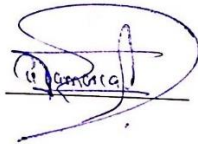



Jakeline Paulina Vargas Parreño

220011621-4

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS PECUARIAS
CARRERA DE INGENIERÍA EN INDUSTRIAS PECUARIAS

El tribunal del trabajo de titulación certifica que: el trabajo de titulación tipo; Proyecto de Investigación, “EVALUACIÓN MEDIANTE LA TÉCNICA DE FITORREMEDIACIÓN EL CROMO EN EFLUENTES DE LA INDUSTRIA DEL CUERO UTILIZANDO *Lemna minor* (LENTEJA ACUATICA)”, realizado por la Señorita: **JAKELINE PAULINA VARGAS PARREÑO**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del trabajo de titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos técnicos, legales en tal virtud el tribunal autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Cristian José Esparza Bonilla. Msc. PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2020-01-31
Ing. Diego Iván Cajamarca Carrasco. Mgs. DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN		2020-01-31
Ing. Luis Eduardo Hidalgo Almeida. Ph.D. MIEMBRO DEL TRIBUNAL		2020-01-31

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a Dios a mis padres y a mis hermanas. A Dios porque ha estado conmigo en cada paso que doy, cuidándome, guiándome dándome fortaleza para continuar y seguir avanzando, a mis padres quienes a lo largo de toda vida han velado por mi bienestar y educación siendo mi apoyo incondicional en todo momento, depositando su entera confianza en cada reto que se me presentaba sin dudar ni un solo momento en mi inteligencia y capacidad para lograrlo. A mis hermanas que han sido mis ángeles, aún en la distancia han estado para darme consejos y diciéndome que podía lograrlo si todo me lo proponía. Es por ello que soy lo que soy ahora. Los amo con mi vida.

Jakeline Paulina Vargas Parreño

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a Dios, y a mis padres por el apoyo que me han brindado en toda mi carrera, porque por ellos soy lo que soy y he logrado superarme. De igual manera expreso mi agradecimiento a los Ingenieros Diego Cajamarca y Luis Hidalgo, por sus esfuerzos paciencia y su dedicación en las tutorías a fin de alcanzar mi anhelo y sueños. Así mismo expreso mi agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, al personal administrativo y docentes. Y en fin a todos quienes me ayudaron de una u otra manera para el cumplimiento de una meta más en mi vida.

Jakeline Paulina Vargas Parreño

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	x
INDICE DE FIGURAS.....	xi
INDICE DE ANEXOS	xii
RESUMEN.....	xiii
SUMMARY	xiv
INTRODUCCIÓN	1

CAPITULO I

1. MARCO TEORICO REFERENCIAL.....	3
1.1. Principales contaminantes en la industria de las curtiembres	3
1.1.1. <i>Residuos Líquidos</i>	5
1.1.2. <i>Residuos Sólidos</i>	7
1.2. Aguas Residuales	7
1.3. Características físico-químicas de las aguas.....	8
1.3.1. <i>Parámetros físicos</i>	8
1.3.2. <i>Parámetros químicos</i>	9
1.4. Métodos de tratamiento de aguas residuales.....	10
1.4.1. <i>Tratamiento preliminar</i>	10
1.4.2. <i>Tratamiento primario</i>	10
1.4.3. <i>Tratamiento secundario</i>	13
1.4.4. <i>Tratamiento terciario y/o avanzado</i>	13
1.4.5. <i>Tratamientos alternativos</i>	14
1.5. Plantas acuáticas.....	14
1.5.1. <i>Características generales de Lemna minor l. (Lenteja de agua)</i>	15
1.5.2. <i>Distribución geográfica</i>	17
1.5.3. <i>Características del hábitat</i>	17

1.5.4.	<i>Aplicaciones de la lenteja de agua</i>	17
1.6.	Contaminación del agua por presencia de cromo.....	19

CAPÍTULO II

2.	MARCO METODOLÓGICO	22
2.1.	Localización y duración del experimento	22
2.2.	Unidades Experimentales.....	22
2.3.	Materiales, insumos y equipos	23
2.3.1.	<i>Materiales e insumos</i>	23
2.3.2.	<i>Equipos</i>	23
2.4.	Tratamiento y diseño experimental	23
2.5.	Mediciones Experimentales	25
2.6.	Análisis estadísticos y pruebas de significancia	25
2.7.	Procedimiento Experimental	26
2.8.	Metodología de evaluación.....	27
2.8.1.	<i>Técnicas para la caracterización del agua residual</i>	27

CAPÍTULO III

3.	RESULTADOS, DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	30
3.1.	Evaluación del pH.....	30
3.2.	Evaluación de la Conductividad Eléctrica	33
3.3.	Evaluación del contenido de cromo hexavalente	37
3.4.	Costos de producción.....	40
	CONCLUSIONES	42
	RECOMENDACIONES	43

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

INDICE DE TABLAS

Tabla 1-1: Esquema de los principales contaminantes del agua residual en la curtiembre de acuerdo a las etapas más representativas de producción.....	5
Tabla 2-2: Condiciones Meteorológicas de la ciudad de Riobamba.	22
Tabla 3-2: Nomenclatura elegida para determinar el nombre para los tratamientos de la investigación.	24
Tabla 4-2: Esquema del experimento.....	24
Tabla 5-2: Esquema del análisis de la varianza.....	25
Tabla 6-2: Determinación de Cromo Hexavalente por el método gravimétrico según la NTE INEN 0983	28
Tabla 7-2: Determinación del pH por el método del potenciómetro norma NTE INEN 0973 ..	29
Tabla 8-3: Resumen de las características físicas del agua residual mediante la técnica de fitorremediación el cromo en efluentes de la industria del cuero utilizando <i>Lemna minor</i> (lenteja acuática).....	30
Tabla 9-3: Costos de producción de la técnica de fitorremediación del cromo en efluentes de la industria del cuero utilizando <i>Lemna minor</i> (lenteja acuática)	41

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-3: Evaluación del pH del agua residual obtenida después de aplicar el tratamiento biológico utilizando <i>lemna minor</i> (lenteja acuática).....	31
Gráfico 2-3: Evaluación de la regresión del pH del agua residual obtenida después de aplicar el tratamiento biológico utilizando <i>lemna minor</i> (lenteja acuática).....	32
Gráfico 3-3: Evaluación del comportamiento de la conductividad eléctrica del agua residual obtenida después de aplicar el tratamiento biológico utilizando <i>lemna minor</i> (lenteja acuática).....	34
Gráfico 4-3: Evaluación de la regresión de la conductividad eléctrica del agua residual obtenida después de aplicar el tratamiento biológico utilizando <i>lemna minor</i> (lenteja acuática).....	36
Gráfico 5-3: Evaluación del comportamiento de la presencia de cromo en el agua residual obtenida después de aplicar el tratamiento biológico utilizando <i>lemna minor</i> (lenteja acuática).....	37

INDICE DE FIGURAS

Figura 1-1: Principales contaminantes de acuerdo a cada etapa de producción de cuero..... 4

Figura 2-1: Ilustración de la lenteja de agua..... 16

INDICE DE ANEXOS

Anexo A. Análisis del pH de los efluentes de la industria del cuero mediante la técnica de fitorremediación utilizando *Lemna minor* (lenteja acuática)

Anexo B. Análisis de la Conductividad Eléctrica de los efluentes de la industria del cuero mediante la técnica de fitorremediación utilizando *Lemna minor* (lenteja acuática)

Anexo C. Análisis de del contenido de cromo de los efluentes de la industria del cuero mediante la técnica de fitorremediación utilizando *Lemna minor* (lenteja acuática)

Anexo D. Evidencia fotográfica del trabajo de campo

Anexo E. Pruebas de Laboratorio

RESUMEN

Este proyecto de investigación se enfocó en evaluar mediante la técnica de Fitorremediación el cromo en los efluentes de la Industria del Cuero utilizando *Lemna minor* (Lenteja Acuática) la investigación inició con la aclimatización de la planta a las condiciones meteorológicas de la Ciudad de Riobambapara que la planta pueda ejercer sus funciones en los efluentes. Las unidades experimentales estuvieron conformadas por 4 tratamientos (semanas en el lecho acuífero) y cada uno con 4 repeticiones a las que se le realizaron los análisis iniciales, fitorremediación y análisis finales. los parámetros analíticos evaluados fueron: conductividad eléctrica, pH, y cromo Hexavalente el cual fue el principal objetivo de la investigación. Para los análisis estadísticos se utilizó ADEVA y la separación de medias se lo realizó a través de la prueba tukey dando como resultado diferencias altamente significativas entre los tratamientos aplicados. Al examinar los resultados obtenidos en la investigación durante las 4 semanas se pudo evidenciar la disminución de la concentración del cromo en los efluentes al momento de aplicar la fitorremediación el resultado de cromo fue de 0.05 mg/L a comparación con los análisis iniciales de los efluentes que fueron de 0.108 mg/L. Se concluye que al estar en contacto la lente acuática con los efluentes ayuda considerablemente a la disminución del cromo Hexavalente. Se recomienda utilizar este material vegetativo “*Lemna minor*”, en el tratamiento de aguas residuales de tenería, que económicamente no representa gastos muy elevados versus los beneficios que representan en favor al ambiente, al atrapar en sus tejidos cromo hexavalente, liberar a los residuos líquidos del proceso de curtido del cromo y convirtiéndose este tratamiento en primario.

Palabras claves: <CONTAMINACIÓN>, <EFLUENTES>, <LENTEJA ACUATICA (*Lemna minor*)>, <TENERIA>, <CROMO>, <TOXICIDAD>.

SUMMARY

This research project focused on evaluating the chromium in the effluents of the Leather Industry using the Phytoremediation technique applying *Lemna minor* (Aquatic Lentil), the investigation began with the acclimatization of the plant to the meteorological conditions of Riobamba city, so that the plant can perform its functions in the effluents. The experimental units were made up of four treatments (weeks in the aquifer riverbed), and each with four repetitions to which the initial analyses, phytoremediation, and final analyses were performed. The analytical parameters evaluated were: electrical conductivity, pH, and hexavalent chromium, which was the main objective of the investigation. For statistical analysis, ADEVA was used, and the separation of means was carried out through the Tukey test, resulting in highly significant differences between the treatments applied. When examining the results obtained in the investigation during the four weeks, the decrease of the concentration of chromium in the effluents at the time of applying phytoremediation, the result of chromium was 0.05 mg/L compared to the initial analyzes of effluents that were 0.108 mg/L. It is concluded that when the aquatic lens is in contact with the effluents, it helps considerably to reduce Hexavalent Chromium. It is recommended to use this vegetative material, *Lemna minor*, in the treatment of sewage water, which economically does not represent very high costs versus the benefits they represent in favor of the environment, by trapping hexavalent chromium in their tissues, releasing liquid waste of the chrome tanning process, and turning this treatment into primary.

Keywords: <CONTAMINATION>, <EFLUENTES>, <AQUATIC LENS (*Lemna minor*)>, <TANNERY>, <CHROMIUM>, <TOXICITY>.



INTRODUCCIÓN

Los ecuatorianos a través de la nueva Carta Magna aprobada por referéndum, instaura una nueva ley ambiental que exige la implementación de nuevas medidas ambientales para reducir la contaminación Agroindustrial en el país. (Aguirre, 2002 pág. 56)

La contaminación del agua por las descargas de efluentes de la Industria del cuero por la utilización de cromo elemento principal de los procesos productivos considerados como desechos peligrosos para el ecosistema y la salud humana. A diferencia de los contaminantes orgánicos, los metales pesados persisten y tienden a acumularse en el ambiente, (Capacidad de las macrofitas Lemna minor y Eichhornia crassipes para eliminar el níquel, 2012 pág. 68)

El uso de cromo constituye actualmente la tecnología más aplicada en las curtiembres de todo el país y es el de mayor consumo a nivel de Latinoamérica en donde no toman en cuenta las técnicas de producción limpia, este fenómeno se da ya que este agente químico es el que mayor porcentaje de eficiencia reporta en la transformación de las pieles; por lo que los productores prefieren este agente mineral sobre otros que no tengan el impacto ambiental.(Jusko, 2016 pág. 58)

El problema con la utilización del cromo radica en las reacciones paralelas que se generan al contacto con el agua y con los demás agentes químicos que se encuentran disueltos de los procesos anteriores; el mayor problema radica en la generación de los iones cromo VI que son altamente tóxicos y que generan daños en la materia orgánica que se encuentra en contacto con el agua residual ocasionando daños en la salud de los animales, personas y cultivos de las zonas circundantes a las curtiembres.(Cantera, 2008 pág. 121)

El cromo VI que se genera en las aguas de curtiembre es muy difícil de tratar; ya que requieren reacciones complejas que logren la eliminación del mismo; por lo general se utilizan agentes quelantes pero estos tienen un alto costo en el mercado; por lo que para las curtiembres no es una tecnología viable ya que se requiere de personal capacitado para poder realizar la dosificación y aplicación del mismo en las aguas residuales, (Rook, 2012 pág. 56)

Dado que el uso del cromo en las curtiembres del país se va a seguir aplicando y no se piensa una transformación de las tecnologías; la contaminación ambiental seguirá aumentando como consecuencia de esto la erosión del suelo y las enfermedades en animales que consumen el agua va a ser cada vez más notoria con lo que si no se corrigen los errores el impacto ambiental que se genere no va a poder ser mitigado. La industria de curtiembre presenta en la actualidad una problemática variada, para su viabilidad son imprescindibles, en cualquier caso, no sólo la

optimización de los procesos y tecnologías de fabricación, sino también un adecuado control de sus impactos ambientales, (Jusko, 2016 pág. 95).

El uso de agentes quelatos u otro tipo de agentes químicos para el tratamiento del agua residual constituye una barrera económica que no logra ser superada por pequeños productores de cuero, lo que conlleva a que no se dé el tratamiento del agua y aunque se hagan los esfuerzos por concientizar a las personas de la contaminación que generan las curtiembres, no se puede corregir los errores si no se busca tecnologías que sean económicamente viables y que puedan ser aplicadas. (Pochteca, 2014)

Para solucionar estos problemas se plantea la búsqueda de nuevas alternativas como la utilización de procesos de Fitorremediación para frenar el desgaste del recurso por la utilización de este metal pesado en el proceso de transformación de piel a cuero. La fitorremediación se basa en el uso de plantas para remover contaminantes del ambiente, estas plantas tienen la capacidad de absorber los metales pesados del agua. (Capacidad de las macrofitas *Lemna minor* y *Eichhornia crassipes* para eliminar el níquel, 2012)

Esta Biotecnología ha demostrado ser una opción viable para purificar el agua contaminada con trazas de elementos (Cromo) debido a su impacto positivo que tiene sobre el ambiente y la relación costo-beneficio; y ya que son plantas endémicas no generan un impacto sobre la flora y fauna de las regiones en las que se aplican. (Capacidad de las macrofitas *Lemna minor* y *Eichhornia crassipes* para eliminar el níquel, 2012)

Una de las plantas que mayor margen de aplicación a tenido es la *Lemna minor* ya que debido a su fácil adaptación y al crecimiento óptimo entre los 15° y 18° se ha comprobado una eficiencia de remoción de los diferentes contaminantes que alcanza más de 97% en los metales pesados y hasta el 98% en sólidos suspendido; por lo que se espera que después del tratamiento el agua residual cumpla con los estándares expuesto en la normativa nacional, Por lo expuesto anteriormente los objetivos fueron: (La lenteja de agua (*Lemna minor* L.): una planta acuática Promisoria, 2004)

- Realizar un diagnóstico inicial de los efluentes residuales de la industria del cuero.
- Lograr el crecimiento, estabilización y desarrollo del material fitorremediador *Lemna minor* en el efluente del laboratorio especializado en curtiembre de pieles de la Facultad de Ciencias Pecuarias-ESPOCH.
- Cuantificar la concentración de cromo absorbida (7, 14, 21, 30, días) por *Lemna minor* (lenteja acuática)
- Determinar los costos de producción de cada uno de los tratamientos

CAPÍTULO I

1. MARCO TEORICO REFERENCIAL

1.1. Principales contaminantes en la industria de las curtiembres

La industria del curtido es conocida por ser uno de los principales sectores económicos de muchos países, como en el caso de Ecuador, pero que tiene su inconveniente de generar grandes cantidades de desechos. El cuero es casi considerado en la actualidad como un artículo de lujo y está siendo reemplazado por materiales que imitan sus características. Sin embargo, antes no era así, el cuero era parte indispensable de la vida diaria. Más aún en los orígenes de la humanidad, el único abrigo era la piel de los animales que el hombre cazaba. (Hardy, 2014 pág. 123)

La necesidad de preservar las pieles dio lugar a los primeros procesos de curtido, con el paso de los años estas técnicas se han ido perfeccionando dando origen a la actual industria curtiembre. Como consecuencia de los grandes problemas de contaminación existentes, el hombre ha tomado conciencia del daño que está generando a su ambiente y en la búsqueda de proteger su entorno ha generado procesos para revertir los daños, (Jaramillo Jumbo, 2012 pág. 45)

En el estudio de los impactos ambientales generados en las curtiembres interpreta que la industria de la curtiembre es un alto foco de contaminación industrial, ya que la composición de sus residuos es muy variada, lo que incluye contaminantes orgánicos, minerales, metales, entre otros, entre los contaminantes que mayormente se desechan en la producción de cuero se tienen: pelo, pequeños trozos de piel y carne, sangre, sales disueltas, sales de cromo, sulfuros, grasas, hidróxido de calcio entre otros, (Aguirre, 2002 pág. 67).

Los contaminantes en los efluentes se presentan en estado líquido, sólido y gaseoso, de estos los más significativos son residuos en estado líquido o de disolución, pero los residuos sólidos y gaseosos se presentan en etapas específicas; el principal problema es el uso excesivo de agua para preparar los baños, los cuales si son tratados producirán lodos altamente tóxicos generándose así un nuevo problema en la disposición final del sólido, (Jusko, 2016 pág. 68)

Los impactos ambientales de la industria curtiembre son tan considerables como los de las industrias minera y del petróleo, en la figura 1-1 se muestra un esquema de los principales contaminantes de acuerdo a cada etapa de transformación de la piel (Hardy, 2014 pág. 123).

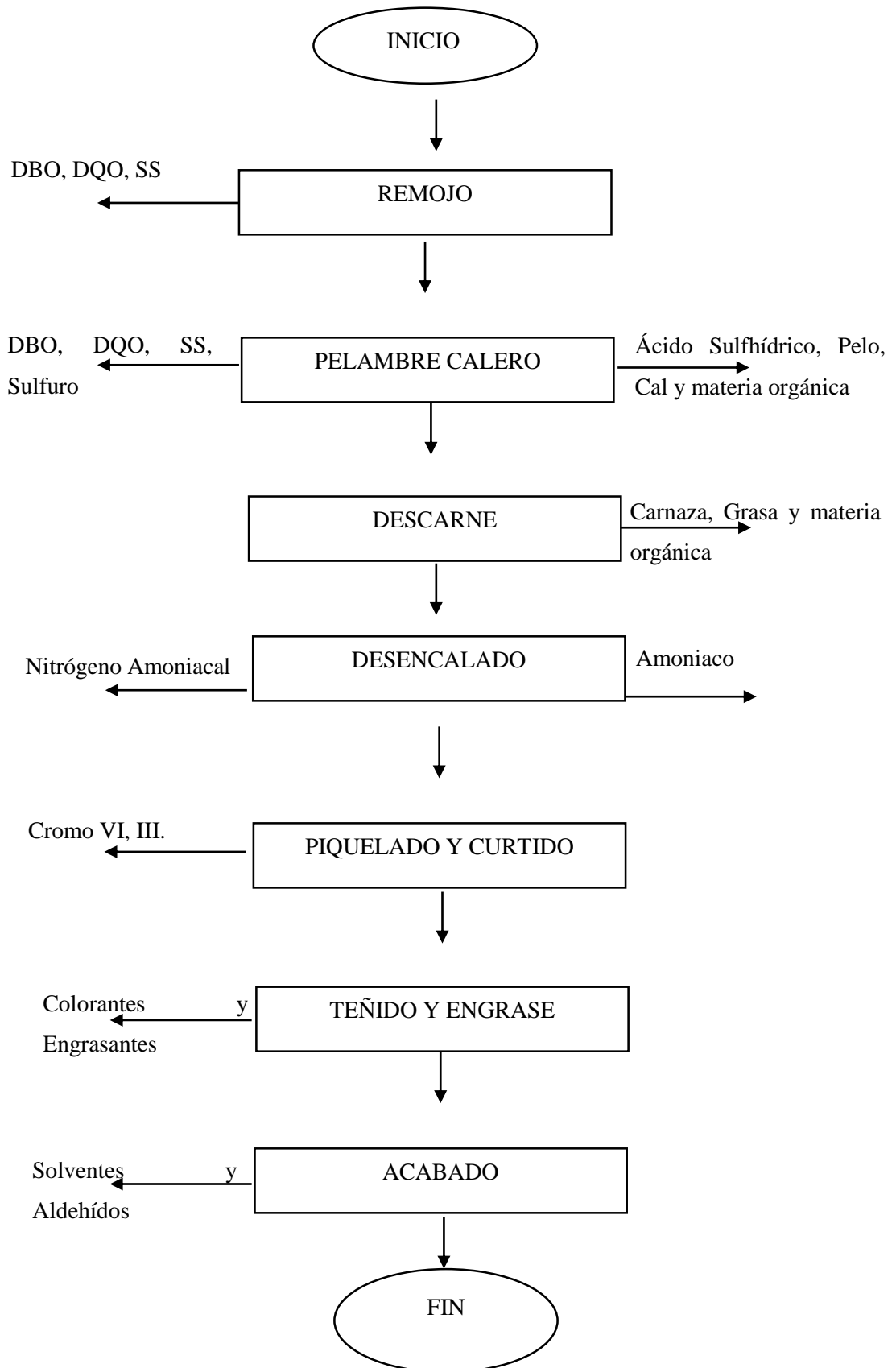


Figura 1-1: Principales contaminantes de acuerdo a cada etapa de producción de cuero.
Fuente: (Hardy, 2014)

1.1.1. Residuos Líquidos

La mayoría de procesos en la transformación de la piel se hace en medio acuoso, lo que hace fundamental el uso de agua, como consecuencia de esto los residuos líquidos son los que más se producen en las curtiembres, estos residuos aumentan de manera considerable la demanda bioquímica de oxígeno y la carga de sólidos disueltos en el agua; en la tabla 1 se muestra los principales componentes del agua residual en las curtiembres, (MYLCHREEAT, 2012 pág. 14).

Tabla 1-1: Esquema de los principales contaminantes del agua residual en la curtiembre de acuerdo a las etapas más representativas de producción.

Parámetros de contaminación	Efluente total	Remojo	Pelambre	Desencalado y Rendido	Curtición	Restantes
DBO ₅ (kg / Tn)	75-90	7-9	52-63	2,5	1	11,5-14,5
DQO (kg / Tn)	200-220	30-33	110-120	6	2	50-58
Material Oxidable (kg / Tn)	110-130	14-17	70-82	-	-	14
Sólidos Suspendidos (kg / Tn)	140	7	77	-	-	56
Salinidad (kg / Tn)	250-350	150-210		20-30	60-90	17-25
Toxicidad (kg / Tn)	2,5	-	1,9	-	0,6	-

Fuente: (MYLCHREEAT, 2012 pág. 14).

Para analizar de una manera más amplia los contaminantes líquidos que se eliminan en la producción de cuero, se debe tener en cuenta tres etapas que son las que mayor contaminación producen: ribera, piquel y curtiembre y post curtiembre (Amangandi, 2016 pág. 67)

1.1.1.1. Ribera

Los contaminantes que se desechan en el agua en esta etapa son (Miller, 2019 pág. 35)

- Residuos sólidos adheridos a la piel que se producen en el remojo, estos generan sólidos suspendidos y DBO₅, además de proteínas y grasas que constituyen la piel y se desechan en el divido.
- Sulfuro: Desprendido en el proceso de pelambre, que por su naturaleza reductora disminuye el oxígeno disuelto en el agua; además puede generar reacciones que produzcan ácido sulfhídrico que en concentraciones elevadas pueden producir daños a la salud de las personas o animales que entren en contacto con esta sustancia.
- Cal: Esto se generan en la etapa de calero, al no ser poco soluble en agua crea el aumento de los sólidos suspendidos por efecto del uso de este reactivo en exceso.
- Salinidad: Se da por la adición de sal común en la etapa de remojo.
- Nitrógeno Amoniacal: Es una característica normal de las aguas residuales desechadas de la curtiembre, y se produce por la adición de sulfato de amonio en el desencalado, además que otra cantidad de este nitrógeno es aportado por la degradación enzimática de los residuos sólidos de la piel (carnazas, grasas).

1.1.1.2. *Curtición*

Los baños desechados de estas etapas influyen en la salinidad y toxicidad del agua residual, esto debido al uso de sales de cromo para la curtiembre, el cromo trivalente reacciona con el agua y forma cromo hexavalente mismo que es considerado como una sustancia de alta toxicidad, este cromo produce enfermedades hepáticas en animales y personas que consuman esta agua, por lo que la presencia de cromo en el agua es el problema mayor de la contaminación generada por las curtiembres, (Miller, 2019 pág. 35).

1.1.1.3. *Post Curtición*

Los procesos de post-curtición que incluyen las etapas de neutralizado, recurtido, teñido y engrase, no son un problema al momento de realizar la curtiembre de las pieles, ya que aportan cantidades relativamente bajas de DBO₅, DQO y sólidos totales en relación a las anteriores etapas, (Rook, 2012 pág. 40)

Los contaminantes que más se producen en esta etapa son los sólidos suspendidos, los que provienen de virutas que se han quedado en el agua después del raspado, los que son fácilmente

eliminados con cribas, la etapa de post curtición aporta únicamente el 5% de la contaminación generada en las curtiembres y no son necesarias realizar un tratamiento de recuperación del agua, (MYLCHREET, 2012 pág. 57)

1.1.2. **Residuos Sólidos**

El proceso de transformación de la piel en cuero representa el 50% de la cantidad de materia prima inicial, los restantes 50% son eliminados como residuos sólidos, los cuales pueden ser residuos sólidos sin curtir (procedentes de la etapa de ribera), residuos sólidos curtidos (procedentes de la curtición) y residuos de las plantas depuradoras de agua (sólidos generados por el tratamiento de agua residual), (Hammer, 2009 pág. 60)

De estos residuos los más importantes son los generados en la etapa de divido, ya que se arranca de la piel el tejido subcutáneo, los principales componentes de la carnaza son: agua (78-82%), proteínas (5-10%), grasas (7-12%) y cenizas (4-5%), estos residuos son fáciles de aprovechar ya que los procesos de degradación enzimática son lentos por efecto del pH alto que presentan y pueden durar sin ningún tratamiento hasta 15 días, (Jaramillo, 2016 pág. 79)

1.2. Aguas Residuales

Se define como agua residual al fluido de disposición diverso que se origina de empleo municipales, industriales, comerciales, agrícolas, pecuarias o de alguna otra condición, estas pueden ser privadas o públicas, estas aguas simbolizan un alto riesgo para la población y por ende deben ser excluidas ya que contienen una considerable dosis de componentes y/o microbios, (Miller, 2019 pág. 12)

Esta definición comprende aguas de diferentes procedencias, citadas a continuación, (Amasa, 2004 pág. 112)

- Aguas residuales domésticas o aguas negras: resultan de los excrementos y micción humana, del lavado individual, la cocina y de la higiene del hogar. Estas pueden englobar una alta porción de elemento orgánico y microorganismos, así como sobrantes de detergentes, etc.
- Aguas blancas: este tipo de agua son de origen atmosférico (lluvia, nieve o hielo) o del regadío y saneamiento de carreteras, jardines y sectores públicos. En aquellas zonas en que precipitaciones atmosféricas son muy cuantiosas, éstas pueden ser vaciadas por disociación para que no llenen los métodos de purificación.

- Aguas residuales industriales: se obtienen de los procesos ejecutados en las empresas y establecimientos industriales pueden incluir óleos, detergentes, antibióticos, ácidos y grasas, productos y subproductos de origen mineral, químico, vegetal o animal. Su estructura es muy variable, en base a las distintas ocupaciones manufacturadas.
- Aguas residuales agrícolas: originadas de la actividad agrícola en los sectores rurales. Este tipo de agua por su procedencia pueden participar en innumerables lugares, para el regadío agrícola con o sin algún tratamiento anticipado

1.3. Características físico-químicas de las aguas

1.3.1. *Parámetros físicos*

Los parámetros físicos de las aguas residuales se escriben a continuación en los siguientes apartados, (Hardy, 2014 pág. 12):

- Color: Es la consecuencia de la existencia de sustancias de procedencia vegetal, disueltos o en suspensión. Comprenden una apariencia significativa en términos de contemplación estético. Los resultados del color en la actividad acuática se centran primordialmente en derivados de la minoración de la claridad, es decir que, no solo dificulta la visibilidad de los peces, induce un efecto barrero a la luz solar, así como una limitación de la zona de crecimiento de las plantas acuáticas (Johnson, 2013 págs. 23-24)
- Olor: Se debe a la presencia de cloro, ácido sulfhídrico, etc. La apreciación de este parámetro no establece una medición, más bien una estimación, y ésta tiene, por lo tanto, un carácter subjetivo. El olor escasamente es indicador de la existencia de materia peligrosa en las aguas, sin embargo, este puede mostrar la existencia de una cuantiosa actividad biológica. Es por ello que, en aguas potables, no debe distinguirse olor determinado
- Turbidez: Se le conoce como una medida de esparcimiento de la luz por el agua como consecuencia de la presencia de material suspendido coloidal y/o partículas. La presencia de material suspendido en el agua logra indicar un cambio en su propiedad (por ejemplo, contaminación por microorganismos) y/o presencia de sustancias inorgánicas finamente divididas (arena, fango, arcilla) o de materiales orgánicos (Johnson, 2013 págs. 23-24)
- Temperatura: Las observaciones de la temperatura de las aguas residuales son útiles para indicar la solubilidad del oxígeno, que afecta la capacidad de transferencia de los equipos de aireación en sistemas aeróbicos, y la tasa de actividad biológica. La temperatura

extremadamente baja afecta negativamente a la eficiencia de Sistemas de tratamiento biológicos y sobre eficiencia de sedimentación. En general las condiciones de la temperatura de las aguas residuales sin tratar se observan entre 15 y 35 °C en diferentes temporadas(Asolekar, 2015 pág. 2)

- **Sólidos:** El término “sólidos” se usa generalmente cuando se refiere a cualquier material suspendido o disuelto en aguas residuales que pueden aislarse físicamente ya sea por filtración o por evaporación, los sólidos pueden afectar adversamente la calidad del agua o del efluente de varias maneras. Las aguas con alto contenido de sólidos disueltos generalmente son de palatabilidad inferior y pueden inducir una reacción fisiológica desfavorable en el consumidor transitorio. Los análisis de sólidos son importantes en el control del tratamiento biológico y físico de las aguas residuales, en los procesos y para evaluar el cumplimiento de las limitaciones de efluentes de aguas residuales del organismo regulador. Los sólidos se pueden clasificar como filtrables o no filtrables: los sólidos filtrables pueden ser sedimentables o no. Los sólidos también pueden clasificarse como orgánicos o inorgánicos(Mccarty, 2013 pág. 2)

1.3.2. *Parámetros químicos*

La contaminación es detrimento no sólo a la salud y al ambiente, sino que, además, la polución representa el producto perdido que resulta en una baja eficiencia y competitividad para el sub-sector industrial, los parámetros químicos de las aguas residuales se describen a continuación (Landazury, 2018 pág. 57).

- **pH:** La concentración de iones de hidrógeno expresada como pH, es un parámetro valioso en la operación de unidades biológicas. El pH de las aguas residuales frescas es ligeramente mayor que el agua suministrada a la comunidad. Sin embargo, la descomposición de la materia orgánica puede disminuir el pH, mientras que la presencia de aguas residuales industriales puede producir fluctuaciones extremas. Generalmente el pH de crudo las aguas residuales están en el rango de 5,5 a 8,0(Asolekar, 2015 pág. 2)
- **Demanda química de oxígeno DQO:** La DQO da la medida del oxígeno requerido para oxidación química. No diferencia entre material biológico oxidable y no oxidable. Sin embargo, la relación de la DQO a la DBO no cambia significativamente en particular residuos y, por lo tanto, esta prueba podría usarse convenientemente para interpretar las eficiencias de rendimiento de las unidades de tratamiento. En general, se informa que la DQO de aguas residuales sin tratar en varios lugares es en el rango de 200 a 700 mg/l (Asolekar, 2015 pág. 4)

- Demanda bioquímica de oxígeno DBO: La DBO de las aguas residuales es la cantidad de oxígeno requerido para la descomposición bioquímica de materia orgánica biodegradable en condiciones aeróbicas. El oxígeno consumido en el proceso está relacionado con la cantidad de materia orgánica en descomposición. El rango general de DBO observado para aguas residuales sin tratar es de 100 a 400 mg / l. Los valores en el rango inferior son comunes en las ciudades indias promedio (Asolekar, 2015 pág. 5).

1.4. Métodos de tratamiento de aguas residuales

Las aguas residuales son resultantes de las actividades humanas, proceden de las ciudades, industrias, etcétera, estas aguas residuales suponen un peligro potencial para el medio ambiente pues cualquier vertido o filtración liberaría sustancias tóxicas al medio y desencadenaría desastres ecológicos. Los tratamientos de las aguas residuales más utilizados son. (Chará, 2012 pág. 12)

1.4.1. Tratamiento preliminar

El objetivo del tratamiento preliminar es la eliminación de sólidos gruesos y otros materiales grandes, que a menudo se encuentran en aguas residuales crudas. El tratamiento preliminar ayuda a eliminar o reducir el tamaño de los sólidos grandes, arrastrados, suspendidos o flotantes. Estos sólidos consisten en trozos de madera, tela, papel, plásticos, basura, etc., junto con algunos materiales fecales, se eliminan los sólidos inorgánicos pesados como la arena y la grava, así como el metal o el vidrio, (Amangandi, 2016 pág. 67).

1.4.2. Tratamiento primario

Los tratamientos primarios son aquellos que eliminan los sólidos en suspensión presentes en el agua residual. Los principales procesos físico-químicos que pueden ser incluidos en el tratamiento primario son los siguientes: sedimentación, flotación, coagulación – floculación y filtración (Antofagasta, 2015 pág. 1)

El tratamiento primario está diseñado para eliminar los sólidos orgánicos e inorgánicos por medio de procesos físicos como la sedimentación, flotación, coagulación-floculación y filtración. Aproximadamente el 25-50% de los bioquímicos entrantes como la Demanda Biológica de Oxígeno (DBO), 50-70% de los sólidos suspendidos totales (SST), y el 65% del petróleo y la grasa se eliminan durante el tratamiento primario, la función del tratamiento primario es que remueva la mayor cantidad posible de sólidos suspendidos, (Galarza, 2009 pág. 69).

1.4.2.1. *Sedimentación*

La sedimentación es una operación unitaria fundamental y ampliamente utilizada en el tratamiento de aguas residuales, implica la colocación gravitacional de partículas pesadas suspendidas en una mezcla. Este proceso se utiliza para la eliminación de grano, material particulado en la cuenca de sedimentación primaria, el flujo biológico en la cuenca de sedimentación de lodos activados, y flujo químico cuando se utiliza el proceso de coagulación química, (Chará, 2012 pág. 78).

La sedimentación tiene lugar en un tanque de sedimentación, también se conoce como un clarificador, hay tres diseños principales, a saber, flujo horizontal, contacto de sólidos y superficie inclinada. Al diseñar una cuenca de sedimentación, es importante tener en cuenta que el sistema debe producir tanto un efluente clarificado como un lodo concentrado, (Galarza, 2009 pág. 79).

Es un proceso físico de separación por gravedad que hace que una partícula más densa que el agua tenga una trayectoria descendente, depositándose en el fondo del sedimentador. Se producen cuatro tipos de sedimentación, dependiendo de la concentración de partículas, a saber, discreta, floculante, con impedimentos y compresión. Es común por más de un tipo de asentamiento que ocurre durante una operación de sedimentación, (Echeveria, 2011 pág. 35).

1.4.2.2. *Aireación*

La aireación es una operación unitaria utilizada para eliminar partículas sólidas o líquidas de una fase líquida mediante la introducción de burbujas de aire. Las burbujas se adhieren al líquido o quedan atrapadas en la estructura de partículas de los sólidos suspendidos, elevan la fuerza de flotación de las partículas combinadas y las partículas de burbujas que tienen, de este modo se puede hacer que aumente la densidad del líquido, (Galarza, 2009 pág. 78).

En el tratamiento de aguas residuales, la aireación se utiliza principalmente para retirar la materia en suspensión y concentrar los lodos biológicos. La principal ventaja de la aireación sobre la sedimentación es que las partículas muy pequeñas o ligeras se pueden eliminar más completamente y en menos tiempo, una vez que las partículas se han flotado a la superficie, se pueden extraer, (Fairchild, 2016 pág. 60).

La aireación practicada en el tratamiento de aguas residuales, utiliza el aire exclusivamente como agente flotante. Además, se pueden introducir varios aditivos químicos para mejorar el proceso de eliminación (Font, 2002 pág. 68)

1.4.2.3. *Coagulación-floculación*

La coagulación química de las aguas residuales sin tratar antes de la sedimentación promueve la floculación de los sólidos que se dividen en flóculos más fáciles de asentar, lo que mejora la eficiencia del sólido suspendido, DBO₅ y la eliminación del fósforo en comparación con la sedimentación simple sin coagulación. La aclaración obtenida depende de la cantidad de productos químicos utilizados y del cuidado con el que se realiza el proceso. La selección de coagulantes para una mejor sedimentación se basa en el rendimiento, la confiabilidad y el costo, (Miller, 2019 pág. 90).

La evaluación del rendimiento utiliza pruebas en jarras de las aguas residuales reales para determinar las dosis y la eficacia. Los coagulantes químicos que se usan comúnmente en el tratamiento de aguas residuales incluyen alumbre ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$) cloruro férrico ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), sulfato férrico ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$), sulfato ferroso ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) y cal ($\text{Ca}(\text{OH})_2$). Los polielectrolitos orgánicos se utilizan a veces como auxiliares de floculación. La eliminación de sólidos en suspensión mediante tratamiento químico implica una serie de tres operaciones unitarias: mezcla rápida, floculación y sedimentación., (Cantera, 2008 pág. 56).

El producto químico se agrega y se dispersa completamente en toda el agua residual mediante una mezcla rápida durante 20-30 segundos en una cubeta con un mezclador de turbina. Las partículas coaguladas se juntan mediante floculación induciendo mecánicamente gradientes de velocidad dentro del líquido.(Zapata, 2002 pág. 45)

1.4.2.4. *Filtración*

La filtración de efluentes de los procesos de tratamiento de aguas residuales implica la eliminación de sólidos suspendidos de efluentes de aguas residuales de procesos de tratamiento biológico y químico, además de la eliminación de fósforo químicamente precipitado. La operación de filtración completa comprende dos fases: filtración y limpieza o lavado a contracorriente. El agua residual que se filtra se pasa a través de un lecho de filtro que consiste en granular material (arena, antracita y/o granate), con o sin productos químicos añadidos. Dentro del lecho filtrante, suspendido, (Capacidad de las macrofitas *Lemna minor* y *Eichhornia crassipes* para eliminar el níquel, 2012 pág. 89).

Los sólidos contenidos en el agua residual se eliminan por medio de un proceso complejo que involucra uno o más mecanismos de eliminación tales como deformación, interceptación, impactación, sedimentación, floculación y adsorción. La fase de limpieza/lavado a contracorriente difiere, dependiendo de si la operación del filtro es continua o semicontinua. En

la filtración semicontinua, las operaciones de filtrado y limpieza se realizan secuencialmente, mientras que en la filtración continua las operaciones de filtrado y limpieza se realizan simultáneamente, (Cantera, 2008 pág. 89).

1.4.3. *Tratamiento secundario*

El objetivo del tratamiento secundario es el tratamiento adicional del efluente del tratamiento primario para eliminar los residuos orgánicos y sólidos suspendidos. En términos del tamaño de los sólidos, la distribución es de aproximadamente el 30% suspendido, 6% coloidal y aproximadamente 65% sólidos disueltos, (Miller, 2019 pág. 90).

El proceso de tratamiento secundario consiste en el tratamiento biológico de las aguas residuales mediante la utilización de muchos tipos diferentes de microorganismos en un ambiente controlado, varios aerobios biológicos. Los procesos que se utilizan para el tratamiento secundario difieren principalmente en la forma en que se suministra oxígeno a los microorganismos y en la velocidad a la que los organismos metabolizan la materia orgánica, (Aguirre, 2002 pág. 46)

1.4.4. *Tratamiento terciario y/o avanzado*

La finalidad de los tratamientos terciarios es eliminar la carga orgánica residual y aquellas otras sustancias contaminantes no eliminadas en los tratamientos secundarios, como, por ejemplo, los nutrientes, fósforo y nitrógeno. Estos procesos son de naturaleza biológica o físico química, siendo el proceso unitario más empleado el tratamiento físico-químico. Este consta de una coagulación – floculación y una decantación, (Hammer, 2009 pág. 1).

Otros procesos empleados como tratamientos terciarios son las resinas de intercambios de iones, la adsorción en carbón activo, la ultrafiltración, la ósmosis inversa, la electrodesinfección, las membranas cerámicas, etc.(Jaramillo, 2016 pág. 89).

El tratamiento terciario y/o avanzado de aguas residuales se emplea cuando deben eliminarse los componentes específicos de aguas residuales que no pueden eliminarse mediante un tratamiento secundario, los procesos de tratamiento individual son necesarios para eliminar nitrógeno, fósforo, sólidos en suspensión adicionales, compuestos orgánicos refractarios, metales pesados y sólidos disueltos, (Zapata, 2002 pág. 89).

Debido a que el tratamiento avanzado generalmente sigue un tratamiento secundario de alta tasa, a veces se lo denomina tratamiento terciario. Sin embargo, los procesos de tratamiento avanzado

a veces se combinan con el tratamiento primario o secundario (por ejemplo, la adición de químicos a los clarificadores primarios o las cuencas de aireación para eliminar el fósforo) o se usan en lugar del tratamiento secundario (por ejemplo, el tratamiento de efluentes primarios en el flujo terrestre),(Buckley, 2008 pág. 56).

1.4.5. *Tratamientos alternativos*

Los tratamientos alternativos para conseguir la remoción del cromo en las aguas residuales son los siguientes, (Hammer, 2009 pág. 67)

- **Bio-absorbentes** El proceso de adsorción consiste en la captación de diversas especies químicas por una biomasa, a través de mecanismos fisicoquímicos como la adsorción o el intercambio iónico (Pinzón-Bedoya y Vera-Villamizar, 2009). El proceso de adsorción implica una fase sólida -biomasa- (sorbente o adsorbente) y una fase líquida (solvente) que contiene las especies disueltas (adsorbatos) que van a ser retenidas por el sólido. Para que este proceso se lleve a cabo debe existir afinidad del adsorbente por los adsorbatos, para que estos últimos sean transportados hacia el sólido donde van a ser retenidos por diferentes mecanismos. Esta operación continúa hasta que se establece un equilibrio entre el adsorbato disuelto y el adsorbato enlazado al sólido.
- **Utilización de sistemas vivos (microorganismos y plantas) en la remoción de Cromo hexavalente** Actualmente se utilizan diferentes sistemas biológicos para contribuir en la remoción del Cromo (VI) en aguas residuales industriales contaminadas con este metal pesado; y de los cuales sobre salen las siguientes investigaciones. A escala de laboratorio aislaron el hongo

1.5. **Plantas acuáticas**

Las plantas acuáticas, denominadas también macrofitas, cumplen un papel muy importante en los ecosistemas acuáticos. Brindan directa o indirectamente alimento, protección y un gran número de hábitats para muchos organismos de estos ecosistemas. Muchas de estas plantas son útiles para el ser humano, puesto que sirven de alimento, son materia prima para la industria y se usan en procesos de biorremediación, ya que pueden absorber algunas sustancias disueltas y brindar oxígeno mediante la fotosíntesis. (Amasa, 2004 pág. 78)

Sin embargo, en algunos cuerpos de agua artificiales podrían crear problemas, porque pueden interferir con el uso que le da el hombre a esa agua al obstruir su flujo o la navegación y al crear

ambientes propicios para plagas, enfermedades y vectores que afectan la salud humana. Las macrofitas ocupan diversas zonas de los ecosistemas acuáticos, (Amangandi, 2016 pág. 78).

Dentro del grupo de plantas flotantes es frecuente observar en lagunas o en las áreas de flujo lento en ríos y quebradas la planta denominada *Lemna minor*, conocida comúnmente como lenteja de agua o duckweed, (Jaramillo Jumbo, 2012 pág. 56).

La *lemna minor* es una planta con hojas oblongas que tiene tres nervios y que necesita sumergirse bajo el agua para reproducirse. Es hermoso verla, parece una moqueta de color verde claro, y no hace mal en pequeñas proporciones, pero realmente es un problema importante cuando esta moqueta cubre grandes superficies del lago en cuestión, (Fairchild, 2016 pág. 80).

Algunas plantas acuáticas tienen una alta capacidad para acumular elementos pesados y tóxicos por diferentes mecanismos (Kara y Kara, 2007; Li, 2003), permitiendo entonces la purificación de aguas altamente contaminadas, debido a las descargas industriales o de agroquímicos. Las especies de “Jacinto de agua” (*Eichhorniacrassipes*) y *Lemna minor* se han usado previamente para la descontaminación o reducción de los niveles de contaminantes en el agua, (Metcalf, 1995 pág. 121).

1.5.1. *Características generales de Lemna minor l. (Lenteja de agua)*

La *Lemna minor* lenteja de agua es una planta angiosperma (plantas con flores), monocotiledónea, perteneciente a la familia Lemnaceae. Su cuerpo vegetativo corresponde a una forma taloide, es decir, en la que no se diferencian el tallo y las hojas. Consiste en una estructura plana y verde y una sola raíz delgada de color blanco, es muy abundante en los lechos de agua que origina que las especies fotosintetizadores no tengan un desarrollo adecuado al no recibir la radiación solar en las zonas más profundas, Por ello se califica a la lenteja de agua como un organismo negativo, que debe ser erradicado.(Evaluación del potencial de *lemna minor* para la remoción de Cr (VI) de aguas residuales., 2001 pág. 76).

La lenteja de agua es una planta monoica, con flores unisexuales. Las flores masculinas están constituidas por un solo estambre y las flores femeninas consisten en un pistilo formado por un solo carpelo. El periantio está ausente. Las flores nacen de una hendidura ubicada en el borde de la hoja, dentro de una bráctea denominada espata, muy común en las especies del orden arales. El fruto contiene de 1 a 4 semillas, (Pedraza, 2007 pág. 89)

El tallo ha sido interpretado de diversas maneras: un tallo modificado, una hoja o como parcialmente tallo y hoja. El tallo corresponde a una hoja modificada que cumple las funciones del tallo, la hoja y el eje florífero, su tamaño es muy reducido, alcanzando de 2 a 4 mm de longitud y 2 mm de ancho. La lenteja de agua requiere mucho más que una iluminación adecuada para que tenga un buen desarrollo en el estanque o acuario, sin embargo, el escaso movimiento de agua en la superficie puede hacer que sea mucho más difícil de controlar, en la figura 2-1, se ilustra una planta de lenteja acuática (Chará, 2012 pág. 78)



Figura 2-1: Ilustración de la lenteja de agua
Fuente:(Rook, 2012 pág. 45)

Es una de las especies de angiospermas más pequeñas que existen en el reino de las plantas. En la misma familia de la lenteja de agua se encuentra *Wolffia*, reportada como la planta con flores de tamaño más reducido que existe en la Tierra; su cuerpo mide sólo 0,6 mm de largo y 0,2 mm de ancho, y su fruto, que es el más pequeño del planeta, mide sólo 0,3 mm de largo y pesa 70 mg (la lenteja de agua (*lemna minor* L.): una planta acuática promisoriosa, 2004 pág. 67).

La lenteja de agua es una planta monoica, con flores unisexuales. Las flores masculinas están constituidas por un solo estambre y las flores femeninas consisten en un pistilo formado por un solo carpelo. El periantio está ausente. Las flores nacen de una hendidura ubicada en el borde de la hoja, dentro de una bráctea denominada espata, muy común en las especies del orden arales. El fruto contiene de 1 a 4 semillas.,(Pedraza, 2007 pág. 70)

La forma más común de reproducción es la asexual por gemación. En los bordes basales se desarrolla una yema pequeña que origina una planta nueva que se separa de la planta progenitora.

Sin embargo, es común encontrar las plantas agregadas formando grupos de 2 a 4 individuos.(Rook, 2012 pág. 45)

La lenteja de agua es una planta flotante, con un máximo de tres hojas las cuales tienen cada una de estas su única raíz que cuelga en el agua. Cada vez que las hojas van creciendo, los especímenes se dividen y se convierten en organismos separados. La lenteja de agua se multiplica velozmente, reproduciéndose gracias a la división, siendo muy raro que produzcan flores y si lo llegan a hacer, las mismas tan solo miden aproximadamente un milímetro de diámetro, Su rápida proliferación en cuerpos de agua naturales hace que estas plantas no sean demasiado apreciadas pues crecen muy rápido, y se convierte en una plaga(Rook, 2012 pág. 59)

1.5.2. *Distribución geográfica*

Es una planta con distribución universal, se ha encontrado en varias regiones de los hemisferios norte y sur, incluyendo América, Europa, Asia, Australia y Nueva Zelanda. Se encuentra principalmente en charcos de agua dulce, ciénagas, lagos y ríos calmados. *L. minor* es una planta acuática flotante de rápido crecimiento y de amplia distribución tropical y subtropical, que se desarrolla principalmente en lagunas(Rook, 2012 pág. 45).

1.5.3. *Características del hábitat*

La planta puede desarrollarse en un rango amplio de temperaturas, que varía entre 5° y 30°C, con un crecimiento óptimo entre los 15° y 18°C. Se adapta bien a cualquier condición de iluminación. Crece rápidamente en partes calmadas y ricas en nutrientes, con altos niveles de nitrógeno y fosfatos. Con frecuencia el hierro es un elemento limitante para su adecuado desarrollo. Pueden además tolerar un rango de pH amplio, siendo el óptimo entre 4,5 y 7,5.(Fairchild, 2016 pág. 56).

1.5.4. *Aplicaciones de la lenteja de agua*

Cada vez se implementan más tecnologías para el tratamiento de aguas residuales, sin embargo, los costos de construcción y operación son muy altos. La Ing. Ecológica implementa sistemas naturales de tratado de M.O, sólidos suspendidos, nutrientes, sales, metales pesados y organismos patógenos, mediante sistemas que utilizan macrófitas acuáticas como filtradoras de estos elementos, resultando efluentes de alta calidad y un buen costo,(Aguirre, 2002 pág. 90).

1.5.4.1. Alimentación para animales

Las plantas acuáticas son un recurso altamente productivo de biomasa con alto valor proteínico y pueden constituirse en un complemento ideal en la alimentación de animales domésticos. Si las plantas acuáticas son cultivadas en aguas residuales, pueden ser utilizadas para la alimentación de animales, siempre y cuando las aguas tratadas no contengan sustancias tóxicas, y si éste es el caso, la biomasa obtenida podría utilizarse para producir metano, por medio de la digestión anaerobia, (La lenteja de agua (*Lemna minor* L.): una planta acuática Promisoria, 2004 pág. 98).

La lenteja de agua alcanza niveles de proteína hasta un 38% de su biomasa. Este contenido proteínico, junto con su alta palatabilidad y su facilidad de suministro, la hace ideal para alimentación de cerdos, aves o ganado. *Lemna minor* se ha ensayado como alimento para patos domésticos (duckweed significa maleza para patos) y los resultados en aumento de peso y producción de huevos fueron comparables al suplemento proteínico usual, con la ventaja de presentarse una disminución de un 25% en los costos de alimentación, (Pedraza, 2007 pág. 54)

1.5.4.2. Tratamiento de aguas residuales y fitorremediación

La actividad industrial y minera supone una preocupación importante para la Salud Pública, por la toxicidad que causa el desarrollo de estas y por la amplia variedad de fuentes de exposición, al arrojar al ambiente metales tóxicos como plomo, mercurio, cadmio, arsénico, cromo, entre otros, dañinos para la salud humana y para la mayoría de formas de vida, (Cantera, 2008 pág. 78)

Las técnicas de fitorremediación se caracterizan por ser una práctica de limpieza pasiva y estéticamente agradable que aprovechan la capacidad de las plantas y la energía solar para el tratamiento de una gran variedad de contaminantes del medio ambiente, En esta técnica las plantas actúan como trampas o filtros biológicos que descomponen los contaminantes y estabilizan las sustancias metálicas presentes en el suelo y agua al fijarlos en sus raíces y tallos. (Hardy, 2014 pág. 52)

Las macrofitas acuáticas han sido consideradas por varios autores como una plaga debido a su rápido crecimiento, ya que en ocasiones llegan a invadir lagunas, represas, canales de riego y generan varios problemas, al interrumpir el flujo del agua, propiciar eutroficación y crear ambientes para la crianza de vectores de enfermedades, (Landazury, 2018 pág. 45).

Sin embargo, si las plantas acuáticas se manejan adecuadamente, su poder de proliferación, capacidad de absorción de nutrientes y bioacumulación de contaminantes del agua las convierten

en una herramienta útil en el tratamiento de aguas residuales. Además, con base en los estudios de remoción de compuestos tóxicos por plantas acuáticas, se pueden considerar estos sistemas de tratamiento como una alternativa ecológica y económicamente viable, tanto para el tratamiento de los efluentes municipales domésticos como industriales, (Hardy, 2014 pág. 80).

Las características que deben contar las plantas acuáticas usadas para el tratamiento de las aguas residuales son las siguientes: alta productividad, alta eficiencia de remoción de nutrientes y contaminantes, alta predominancia en condiciones naturales adversas y fácil cosecha. *Lemna minor* cumple con todas estas características y gracias a esto ha sido empleada en sistemas de descontaminación de aguas, (Landazury, 2018 pág. 45).

En la fitorremediación se identifican varios tipos de procesos de remediación que varían según las partes de la planta que participan o los microorganismos que contribuyen con la degradación de los contaminantes. Las fuentes habituales de aguas residuales que contienen grandes concentraciones de cromo hexavalente; compuesto químico considerado como cancerígeno; proceden principalmente de la industria de limpieza de metales, recubrimiento, curado, refinado de fosfato y bauxita, generación de cloro, fabricación de baterías y curtiembres, (Jaramillo Jumbo, 2012 pág. 76).

1.6. Contaminación del agua por presencia de cromo

El cromo y en general los metales pesados ejercen efectos biológicos que son perjudiciales para la mayoría de organismos; razón por la cual han sido catalogados como una clase emergente de cáncer en humanos. Además de considerarse como un alérgeno, produce irritación cutánea, y daño en el ADN, (Hardy, 2014 pág. 67).

En la industria, el cromo y sus compuestos tienen una gran variedad de aplicaciones que abarcan entre otras: procesos de curtido, pigmentos textiles, aleaciones, catalizadores, agentes anticorrosivos, baterías, fungicidas, recubrimientos metálicos, electrogalvanizados, etc. Las aguas residuales procedentes de estos procesos están contaminadas con este metal, con el gran componente de riesgo medioambiental y para la salud humana que conlleva, (la lenteja de agua (*lemna minor* L.): una planta acuática promisoría, 2004 pág. 54).

El límite exigido en la legislación europea para el vertido de cromo en aguas residuales es actualmente de 2 mg Cr/l. En España, está incluido en la lista de sustancias preferentes del Real Decreto 995/2000 (BOE nº 147, de 20 de junio de 2000), por el que se fijan los objetivos de calidad para determinadas sustancias contaminantes en las aguas superficiales continentales. Esto

obliga a la mayoría de las empresas relacionadas a aplicar tecnologías de prevención de la contaminación y de recuperación del cromo de sus aguas residuales, (Jaramillo, 2016).

Elevadas concentraciones de algunos de estos elementos en el ambiente o en determinados procesos pueden desencadenar una serie de problemáticas que van desde la degradación y pérdida de fertilidad de suelos hasta afectar procesos de tratamiento de aguas residuales. Puesto que inhiben la acción metabólica de los microorganismos utilizados en la descontaminación de los recursos naturales (agua, suelo y aire) degradados por actividades antropogénicas., (Cantera, 2008 pág. 34).

La contaminación por cromo y el impacto en la salud pública, ha conducido al hombre a buscar alternativas para resolver este problema, utilizando métodos tradicionales como son: Osmosis inversa, electrodiálisis, ultrafiltración, intercambio iónico y precipitación química; pero el alto costo de los métodos convencionales llevó al desarrollo de alternativas tecnológicas, las cuales, además de aprovechar y aplicar los procesos naturales que ocurren en un ecosistema para depurar un residuo contaminante, ofrecen la posibilidad de recuperar los recursos presentes en el mismo para su posterior uso, (Pedraza, 2007 pág. 98)

Generándose además, un valor económico que contribuye a la sostenibilidad del sistema, Sobre el proceso de remoción de cromo (VI) existen muchas investigaciones al respecto, sin embargo no se cuenta con una compilación de los diferentes tratamientos (alternativos y convencionales) implementados para eliminación de este metal pesado tan perjudicial para el ambiente y la salud pública, (Hardy, 2014 pág. 61).

En Ecuador se ha estado poniendo cada vez más énfasis en el tratamiento de las aguas residuales, toda vez que el país avanza a mayores grados de desarrollo. En este sentido, se aplican la industria, a la minería y a los centros urbanos, sofisticados sistemas de tratamientos que combinan procesos físicos, químicos y biológicos para tratar los efluentes, (Rook, 2012 pág. 89).

Sin embargo, poco se sabe de los sistemas biológicos de tratamiento de aguas residuales con plantas acuáticas, quizás más por desconocimiento que por su factibilidad. Estos sistemas de purificación pueden ser naturales o bien diseñados y contruidos por el hombre (artificiales), y se han estado utilizando en todo el mundo, especialmente en Europa, (MYLCHREEAT, 2012 pág. 12)

La utilización de plantas acuáticas ha sido desarrollada como un tratamiento secundario o terciario alternativo de aguas residuales, y ha demostrado ser eficiente en la remoción de una amplia gama de sustancias, orgánicas, así como nutrientes y metales pesados, (Antofagasta, 2015 pág. 67)

El mecanismo mediante el cual la planta saca del agua residual el contaminante es el siguiente: las plantas acuáticas, que constituyen la base de la tecnología de los wetland, tienen la propiedad de inyectar grandes cantidades de oxígeno hacia sus raíces. El aire que no es aprovechado por la especie y que ésta expelle es absorbido por microorganismos, como bacterias y hongos, que se asocian a la raíz y se encargan de metabolizar los contaminantes que entran al sistema, (Miller, 2019 pág. 60).

Al igual que las microalgas, estas plantas acuáticas (macrófitas) son usadas para asimilar y descomponer nutrientes, materia orgánica e inorgánica. Presentan, desde luego, una serie de ventajas en su implementación que dependerán del tipo de efluente a tratar y de las condiciones de operación. En general, el procedimiento consiste en establecer sistemas con especies flotantes, con especies sumergidas, o bien con especies enraizada, (Pedraza, 2007 pág. 79).

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

2.1. Localización y duración del experimento

La presente investigación se llevó a cabo en el laboratorio de especializado en Curtiembre de Piel de la Facultad de Ciencias Pecuarias-ESPOCH; ubicada en la provincia de Chimborazo en la ciudad de Riobamba en la Panamericana Sur Km 1 ½ y la duración de la investigación fue de 75 días; los mismos que sirvieron para la evaluación inicial y final de las aguas antes y después de la fitorremediación. Las características ambientales del laboratorio se muestran en el cuadro 2-2.

Tabla 2-2: Condiciones Meteorológicas de la ciudad de Riobamba.

	Valor Promedio
	Año 2018
Altitud, msnm.	2680
Temperatura, °C	12
Precipitación, mm/mes.	421
Humedad relativa, %.	61

Fuente: (Estación Agrometeorológica de la Facultad de Recursos Naturales de la ESPOCH Riobamba 2019)

Realizado por: VARGAS, Jakeline, 2019

2.2. Unidades Experimentales

En la presente investigación las unidades experimentales la constituyeron la cantidad de agua residual a tratar; por lo que se seleccionó para cada tratamiento, es decir 4 litros de agua residual; a la que se le realizó la caracterización inicial; la fitorremediación y la caracterización final para lograr comprobar las hipótesis establecidas. Estas muestras de agua fueron tomadas en el laboratorio especializado de curtiembre luego de las prácticas que se realizaron; ya que así se simuló las condiciones del agua residual en las curtiembres.

2.3. Materiales, insumos y equipos

2.3.1. *Materiales e insumos*

- Probetas
- Tanques de recolección de muestra
- Pizetas
- Guantes de recolección
- Muestra de agua residual
- Agua destilada
- Difenilcarbazida.
- Solución madre de cromo.
- Solución patrón de cromo.
- Ácido sulfúrico.
- Solución tampón de pH4, pH7 y pH9.

2.3.2. *Equipos*

- Espectrofotómetro
- Balanza analítica con precisión de 0,1 mg.
- Medidor de pH.
- Potenciómetro

2.4. Tratamiento y diseño experimental

Las unidades experimentales fueron modeladas bajo un Diseño Completamente al Azar (DCA), considerándose cuatro tratamientos con 4 repeticiones, cada uno que se ajustaron al siguiente modelo lineal aditivo.

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \epsilon_{ij}$$

Dónde

Y_{ij} = Valor del parámetro en determinación.

μ = Efecto de la media por observación.

α_i = Efecto de los tratamientos (Tiempo de permanencia en el lecho acuífero).

ϵ_{ij} = Efecto del error experimental.

En el cuadro 3-2 se describe la nomenclatura que se escogió para identificar cada uno de los tratamientos en los que se dividió la investigación.

Tabla 3-2: Nomenclatura elegida para determinar el código para los tratamientos de la investigación.

TRATAMIENTOS	Tiempo de permanencia en el lecho acuífero
T1	1 semana Con <i>Lemna Minor</i>
T2	2 semanas con <i>Lemna Minor</i>
T3	3 semanas con <i>Lemna Minor</i>
T4	4 semanas con <i>Lemna Minor</i>

Realizado por: VARGAS, Jakeline. 2019.

En el cuadro 4-2, se describe el esquema del experimento que se utilizó para comprobar las hipótesis de la presente investigación.

Tabla 4-2: Esquema del experimento

Tratamiento	Código	Repetición	TUE	Rep/trat
1 semana	T1	4	1	4
2 semanas	T2	4	1	4
3 semanas	T3	4	1	4
4 semanas	T4	4	1	4
TOTAL	16			16

Realizado por: VARGAS, Jakeline. 2019.

2.5. Mediciones Experimentales

Las mediciones experimentales que se aplicó para la caracterización del agua residual en la siguiente investigación fueron:

- Conductividad eléctrica
- pH
- Cromo Hexavalente

2.6. Análisis estadísticos y pruebas de significancia

- Análisis de Varianza (ADEVA) ($p < 0.05$) y ($p < 0.01$)
- Separación de medias ($P < 0,05$) a través de la prueba de Tukey

Para determinar la varianza de la presente investigación se utilizará el siguiente esquema que se muestra en el cuadro 5-2.

Tabla 5-2: Esquema del análisis de la varianza

Fuente de variación	Datos del experimento
Total	15
Tratamientos	3
Error	12

Realizado por: VARGAS, Jakeline 2019

2.7. Procedimiento Experimental

El procedimiento que se ejecutó en el presente trabajo experimental se describe a continuación:

- Recolección de las plantas: Las *Lemna minor* (lenteja acuática) se recolectaron en la Granja piscícola Loreto ubicado en el kilómetro 6 vía al Coca- Loreto- Ecuador se tomaron en cuenta una excelente pigmentación y que no presenten daños visibles por infestación de parásitos.
- Posteriormente se realizó la adaptación de la planta para lo cual se tomó en cuenta que el transporte de la planta, fue recomendable realizarla un mes antes de iniciar el trabajo experimental debido a que las plantas debieron adaptarse al clima de Riobamba que oscila entre temperaturas de 10 a 15°C.
- Ubicación del experimento: El experimento se desarrolló en el laboratorio especializado en Curtiembre de Piel y Fibras Agroindustriales que debió cumplir algunas condiciones necesarias para que la planta *Lemna minor* (lenteja acuática) se adapte más fácilmente entre las que se debió considerar una ventilación adecuada y entrada de rayos solares para que las condiciones ambientales mejoren.
- Análisis inicial de las muestras: Para realizar este proceso se recolectó 200 ml de agua de curtido para analizar en el laboratorio las variables de pH, conductibilidad y presencia de cromo hexavalente presente en las muestras que fueron cada 7 días.
- Una vez que se verificó las condiciones en las que se desarrolló la lenteja de agua se construyeron 4 recipientes de vidrio de 30 cm de largo y ancho, 10 cm de altura y se adquirieron 12 recipientes de plástico transparente con capacidad de 1 litro libre de agentes contaminantes para garantizar la adaptación y desarrollo de las plantas.
- A continuación, se midió el pH de las muestras iniciales, luego se realizó la basificación del agua de curtido para llegar a un pH de (7 a 7.5) pH requerido por la planta en el cual se utilizó el 2% de producto basificante por cada 100ml de agua de curtido.
- Se procedió a basificar 18 litros de agua de curtido y se dejó reposar por un día hasta que el pH suba al requerido por la planta.
- A continuación, se procedió a pesar 900 ml de agua de curtido más 100 gramos de *Lemna minor* (lenteja acuática), se colocó en cada recipiente y se los distribuyó aleatoriamente.

2.8. Metodología de evaluación

2.8.1. Técnicas para la caracterización del agua residual

Las técnicas que se aplicaron para la caracterización del agua al inicio, durante el tiempo escogido para la investigación y la caracterización final de la misma se describen a continuación en los siguientes apartados. Cabe destacar que para recuperar el agua residual se recogió la misma con un recipiente de 5 litros para que se logre realizar las pruebas de laboratorio, fueron transportados con mucho cuidado y debidamente etiquetados, para proceder a realizar las siguientes pruebas que se describen a continuación:

2.8.1.1. Determinación de la conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica es una variable que se controla en muchos sectores, desde la industria química a la agricultura. Esta variable depende de la cantidad de sales disueltas presentes en un líquido y es inversamente proporcional a la resistividad del mismo.

Con los instrumentos convencionales, la medida de la conductividad se obtiene aplicando un voltaje entre dos electrodos y midiendo la resistencia de la solución. Las soluciones con conductividad alta producen corrientes más altas. Para contener la intensidad de la corriente en una solución altamente conductiva, fue necesario disminuir la superficie de la sonda o incrementar la distancia entre los polos. Por esta razón se debían usar sondas diferentes para rangos de medida diferentes.

Sólo el método de 4 anillos pudo medir distintos rangos usando una única sonda. Las ventajas de este método respecto al de dos puntas (método amperímetro) fueron numerosas: lecturas lineales en un amplio rango, sin ninguna polarización, y sin necesidad de limpiezas exhaustivas por las incrustaciones.

2.8.1.2. Determinación del cromo Hexavalente

En las aguas residuales obtenidas después del proceso de curtido, el cromo se encontró en mayor proporción en su forma trivalente que es menos tóxica; sin embargo, puede transformarse a su forma hexavalente en el agua y suelo, según las condiciones existentes

la determinación de cromo (VI) en descargas de aguas residuales de una curtiembre se realizó de acuerdo con el Método EPA # 218.5 para chromium, dissolvedhexavalent (aa, furnacetechnique), el cual se basó en la separación de cromode la muestra por coprecipitación de cromato de plomo con sulfato de plomo en una solución de ácido acético.

Después de la separación, el sobrenadante se retiró y el cromo, precipitado se solubilizó en ácido nítrico que le redujo a cromoy fue cuantificado por absorción atómica. En el Ecuador existe una técnica que se ajustó a nuestras condiciones y es la determinación de Cromo Hexavalente por el método gravimétrico según la NTE INEN 0983, la cual se describe a continuación:

Tabla 6-2:Determinación de Cromo Hexavalente por el método gravimétrico según la NTE INEN 0983

Materiales y Equipos	Reactivos
<p>Equipos</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Espectrofotómetro ✓ Balanza analítica con precisión de 0,1 mg. ✓ Medidor de pH. 	<ul style="list-style-type: none"> • Difenilcarbazida. • Solución madre de cromo. • Solución patrón de cromo. • Ácido sulfúrico. • Agua destilada.
Procedimiento	
<ul style="list-style-type: none"> ✓ La determinación debe efectuarse por duplicado sobre la muestra analizada. ✓ Tomar 50 cm³ de muestra o una alícuota diluida a 50 cm³ y adicionar 2,5 cm³ de solución de difenilcarbazida; mezclar perfectamente. ✓ Determinar la absorbancia a la longitud de onda y la correspondiente concentración mediante la curva de calibración. 	
Cálculos	
<p>El contenido de cromo hexavalente se determina mediante la ecuación siguiente:</p> $\frac{mg}{l} Cr\ hexavalente = \frac{m}{cm^3\ de\ muestra}$ <p>Donde:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ m concentración de cromo establecida en la curva de calibración, en µg. 	

Fuente: (INEN, 2014)

2.8.1.3. Determinación del pH

El principio básico de la determinación electrométrica del pH fue la medida de la actividad de los iones hidrógeno por mediciones potenciométricas utilizando un electrodo patrón de hidrógeno y otro de referencia. En 1909, el químico danés Sorensen definió el potencial hidrógeno (pH) como el logaritmo negativo de la concentración molar (más exactamente de la actividad molar) de los iones hidrógeno. Esto es: $\text{pH} = -\log[\text{H}^+] = \log \frac{1}{[\text{H}^+]}$. Desde entonces, el término pH ha sido universalmente utilizado por la facilidad de su uso, evitando así el manejo de cifras largas y complejas, como se describe en la tabla 3:

Tabla 7-2: Determinación del pH por el método del potenciómetro norma NTE INEN 0973

Materiales	Reactivos
<ul style="list-style-type: none"> • Potenciómetro • Piceta. • Vaso de precipitación. 	<ul style="list-style-type: none"> • Solución tampón de pH4, pH7 y pH9. • Agua destilada.
Procedimiento	
<ul style="list-style-type: none"> • Efectuar la determinación por duplicado sobre la muestra. • Lavar los electrodos con agua destilada y calibrar el aparato a la temperatura de la muestra, utilizando una solución de referencia cuyo pH sea similar al esperado para la muestra. En todo caso, deberán seguirse las instrucciones del fabricante. • Colocar la muestra en el vaso de precipitación; introducir los electrodos y efectuar la determinación del pH. 	
Cálculos	
<ul style="list-style-type: none"> • Como resultado final, debe reportarse la media aritmética de los resultados de la determinación, en unidades de pH hasta la primera cifra decimal. • Debe indicarse la temperatura a la que se realizó la determinación. • En el informe de resultados, debe mencionarse, además, cualquier condición no especificada en esta norma, o considerada como opcional, así como cualquier circunstancia que pueda haber influido sobre el resultado. • Deben incluirse todos los datos necesarios para la completa identificación de la muestra. 	

Fuente:(APHA, 2012).

CAPÍTULO III

3. RESULTADOS, DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.1. Evaluación del pH del agua residual mediante la técnica de fitorremediación el cromo en efluentes de la industria del cuero utilizando *Lemna minor* (lenteja acuática)

Como punto de partida de la investigación se determinó el pH del agua procedente de los baños de curtido que se va a fitorremediar utilizando la lenteja de agua con la finalidad de eliminar el cromo que no ha penetrado en la piel obteniéndose un valor de 3.82, que nos sirvieron para entender el comportamiento de las sustancias que se encuentran disueltas y como estas afectan a su composición normal.

Estableciéndose que las medias de las muestras de agua del curtido luego de aplicar *lemna minor* (lenteja acuática), reportaron diferencias altamente significativas ($P < 0.01^*$), por efecto del tiempo de fitorremediación. Al realizar la separación de medias de acuerdo a Tukey se determinó el pH más bajo al realizar el análisis del agua en la primera semana (T1) con respuestas de 7,26, como se indica en la tabla 8-3

Tabla 8-3: Resumen de las características físicas del agua residual mediante la técnica de fitorremediación el cromo en efluentes de la industria del cuero utilizando *Lemna minor* (lenteja acuática)

VARIABLES	TIEMPO DE FITORREMEDIACION EN SEMANAS				EE	Prob	Sign
	Primer T1	Segunda T2	Tercera T3	Cuarta T4			
pH	7.2575 b	7.6075 a	7.6825 a	7.265 b	0.06	0.0002	**
Conductividad Eléctrica	7.17 b	16.14 ab	17.79 a	7.29 b	0.59	1.5E-08	**
Cromo	0.08 b	0.05 ab	0.04 a	0.04 b	0.002	0.000	**

abc: Promedios con letras diferentes en la misma fila difieren estadísticamente de acuerdo a Tukey $P < 0.01$.

EE: Error estadístico

Prob: Probabilidad

Sign: Significancia

Realizado por: VARGAS, Jakeline, 2020.

A continuación, se reportaron medias de 7,27 al analizar el agua residual en la cuarta semana de remediación con lenteja acuática (T4), así como en la segunda semana (T2), ya que los valores de pH fueron de 7,61, en tanto que a la tercera semana se aprecia el valor más alto de pH en el agua residual (T3) con medias de 7,68, como se ilustra en el gráfico 1-3;

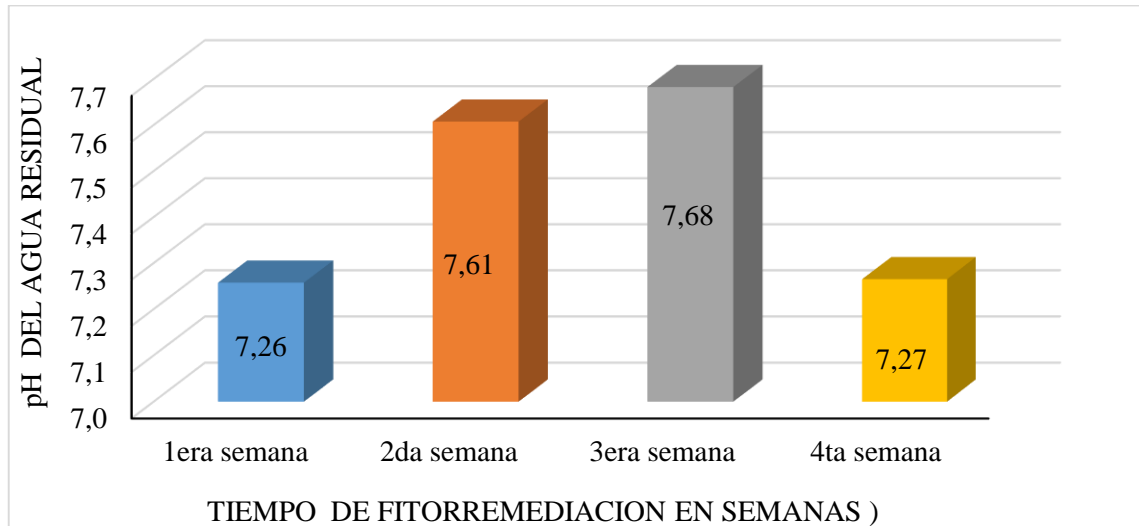


Gráfico 1-3: Evaluación del pH del agua residual obtenida después de aplicar el tratamiento biológico utilizando *lemna minor* (lenteja acuática).

Realizado por: VARGAS, Jakeline, 2020.

De los reportes enunciados en líneas anteriores se aprecia que existió una variación de pH a lo largo del tratamiento biológico del agua, estableciéndose que en la cuarta semana se consiguió el pH adecuado para reutilizar o eliminar el agua residual debido a que se acerca a la neutralidad por lo tanto se afirma que la *Lemna minor* (lenteja acuática) ha consumido un gran porcentaje del cromo presente en el agua residual.

Lo que es corroborado con las apreciaciones de (Buckley, 2008 pág. 45), quien menciona que el pH del agua mide la cantidad de sustancias químicas que se encuentran disueltas en la misma y con esto cambia las características normales de la misma, como se aprecia en la presente investigación debido a que el valor de pH más cercano a 7 se alcanza después del tratamiento del agua residual con la planta bioabsorbente; esto demuestra su capacidad para poder sintetizar los componentes que se encuentran disueltos.

Para evaluar la eficiencia de un sistema de remediación del agua residual es necesario evaluar las características fisicoquímicas de la misma luego de realizar el tratamiento con lo que se puede evaluar en que grado los contaminantes serán reducidos al aplicar las tecnologías de fitorremediación, además de que es necesario conocer estas características para determinar si el agua puede ser desechada luego del tratamiento, (Hidalgo, 2014 pág. 54)

Además (Amasa, 2004 pág. 57), indica que en los tratamientos biológicos del agua es necesario lograr la biosíntesis de los compuestos que se encuentran disueltos; ya que en agua residual obtenida de la curtiembre por lo general las sales que se utilizan son muy solubles en el agua y esto afecta a la reactividad de la misma, esto hace que si no se realiza un tratamiento adecuado el pH del agua puede tener tendencias acidas o básicas que afectaran a la biodegradabilidad de la misma ocasionando esta sea más toxica y que aumente el daño al ambiente que produce

Los elementos inorgánicos comunes en las aguas residuales incluyen cloruro, iones de hidrógeno (que influyen en el pH), y entre los compuestos que causan alcalinidad, nitrógeno, fósforo y azufre. Es necesario mencionar que la descomposición de materia orgánica o de ácidos orgánicos puede también incrementar el nivel de pH en aguas residuales domésticas.

En la evaluación de la regresión de los resultados obtenidos a la prueba pH que se ilustra en el gráfico 2-3, se aprecia que los resultados se ajustan a una tendencia cuadrática altamente significativa ($P < 0.01^*$) entre medias, es así que partiendo de un intercepto de 6,469, el valor de pH aumenta en 0,96 unidades a partir de la segunda semana de desarrollo del proceso de fitorremediación y posteriormente disminuye en 0,19 unidades a partir de la tercera semana.

El coeficiente de determinación fue del 77.60 % mientras tanto que el 22,40 % restante depende del error que está asociado a factores del medio de la investigación y al comportamiento propio de los elementos que participan en la investigación como pueden ser los factores medioambientales que repercuten directamente sobre el desarrollo de la planta que realiza la fitorremediación o la absorción del cromo en el agua residual

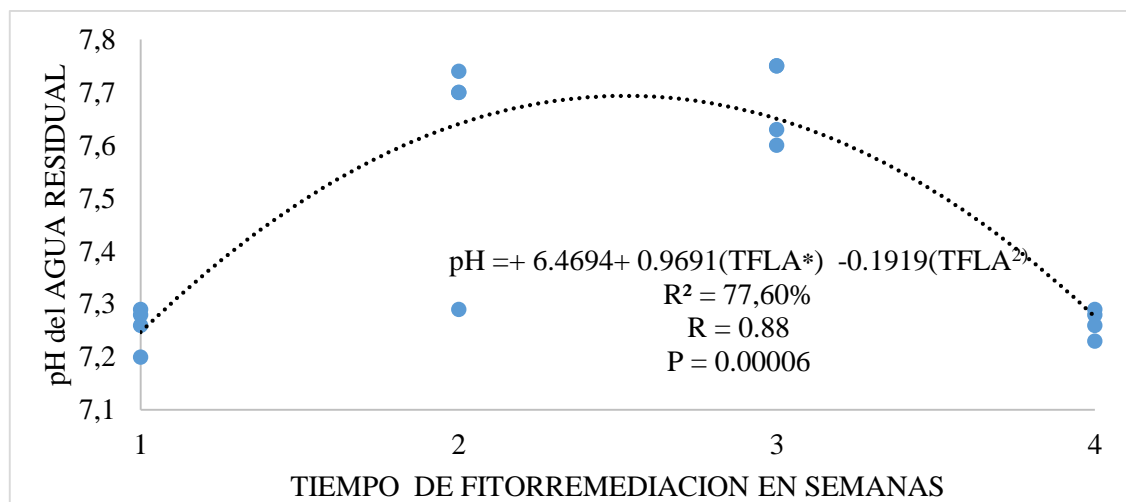


Gráfico 2-3: Evaluación de la regresión del pH del agua residual obtenida después de aplicar el tratamiento biológico utilizando *lemna minor* (lenteja acuática).

*TFLA: tiempo de fitorremediación con lenteja de agua
Realizado por: VARGAS, Jakeline, 2020.

El coeficiente de correlación que reportaron un valor de $r = 0.88$, lo que indica que a medida que se desarrolla el tiempo de crecimiento de la planta, existirá una tendencia a incrementarse el pH y posteriormente a decrecer positiva y altamente significativa.

Los valores reportados en la presente investigación son similares a los expuestos por (Sierra, 2016 pág. 94) quien al realizar la determinación de la tasa relativa de crecimiento de la *Lemna minor* spen el tratamiento de efluentes de un sistema de tratamiento de aguas residuales municipales, indica que el valor inicial del pH oscilaba cerca de 7.35 y con el pasar de los días se vio un aumento gradual, presentándose un pico máximo de pH en el día 15 (en esta fase del experimento los reactores estaban en su mayoría cubiertos por la planta) con valores de 8,44 en el reactor 1, de 8,44 en el reactor 2 de 8,46 en el reactor 3 y 8,65 en el control. Este comportamiento puede deberse a la alta luminosidad como lo establecen.

Así como de (Jaramillo, 2012 pág. 45) quien observó que las *Lemnamaceae* como es la lenteja de agua pueden adaptarse a condiciones en el agua de un amplio rango de pH (3-10). Sin embargo, existen valores óptimos y límites mínimos y máximos de supervivencia para las diferentes especies, expresando que durante los tres primeros días se mantuvo el pH en un rango de 7 a 7,2 que son similares a los expuestos en la presente investigación. Según (Valderrama, 2014), los niveles de pH pueden alterarse durante el tratamiento de aguas residuales domésticas entre 6.5 y 8.5

3.2. Conductividad Eléctrica

Al realizar el análisis de la característica de conductividad eléctrica del agua residual producto del proceso de curtido que ha sido tratada con la planta conocida como lenteja acuática, se presentaron diferencias altamente significativas ($P < 0.01^*$) entre medias por efecto del tiempo de fitorremediación, estableciéndose los valores más bajos de conductividad eléctrica al evaluar el agua después de una semana de fitorremediación (T1) con medias de 7,17 S/m; tomando en consideración que las aguas al inicio de la investigación presentaron un valor de 5.65 S/m, es decir existe un descenso considerable de esta variable.

Posteriormente se observa un aumento hasta alcanzar valores de 7,29 S/m al analizar el agua residual tratada después de 4 semanas (T4), a continuación se reportaron medias de 16,14 S/m al realizar la caracterización del agua tratada a dos semanas de investigación (T2) y las respuestas más altas fueron determinadas al evaluar el agua residual en la tercera semanas de tratamiento (T3) con medias de 17,79 S/m, como se ilustra en el gráfico 3-3.

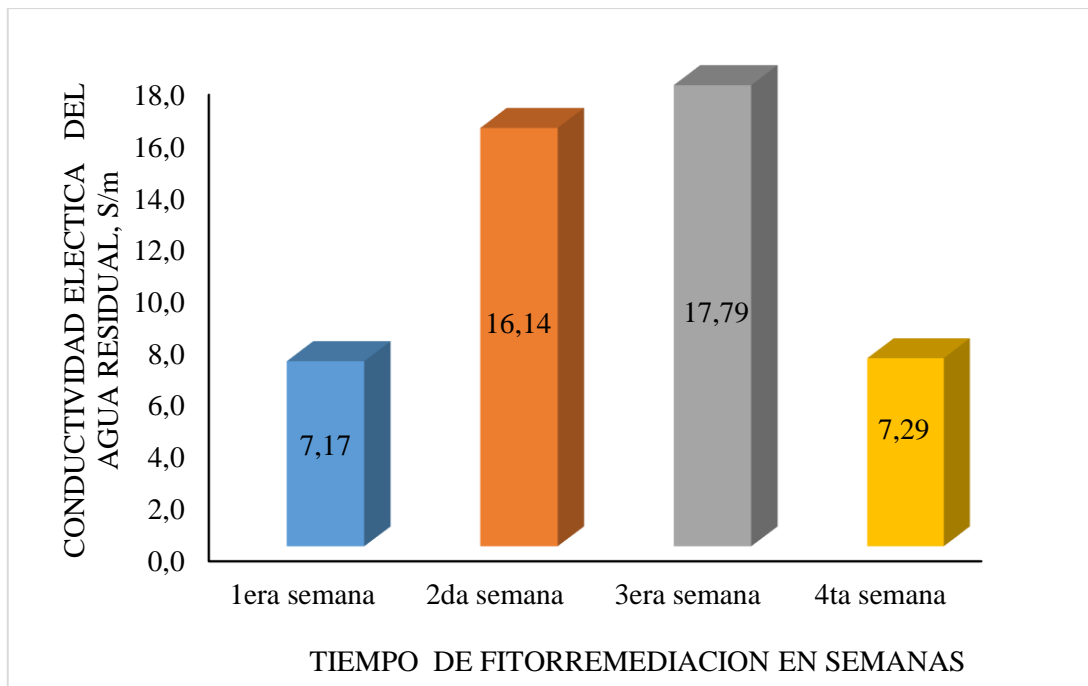


Gráfico 3-3: Evaluación del comportamiento de la conductividad eléctrica del agua residual obtenida después de aplicar el tratamiento biológico utilizando *lemna minor* (lenteja acuática).

Realizado por: VARGAS, Jakeline, 2020.

Como se aprecia en los resultados obtenidos la conductividad del agua es baja al inicio del tratamiento del agua y después aumenta al transcurrir el tiempo de fitorremediación, contrastando esto con el final del tratamiento que alcanza valores menores de conductividad y esto es muestra del proceso de depuración que se da en el tanque, ya que se produce nuevos compuestos que aumentan la conductividad pero que son eliminados más fácil por la planta.

En la presente investigación los valores más bajos de conductividad eléctrica del agua se obtuvieron en la primera semana y en la semana final del tratamiento, esto indica la efectividad del tratamiento, una de las condiciones principales para que se provoque este efecto es que la lenteja acuática para la síntesis de sus alimentos necesita iones sodio, calcio, potasio y sulfatos entre otros, estos los absorbe del agua y disminuye su concentración final en el agua.

Durante las semanas intermedias de la investigación se aprecia un aumento de la conductividad eléctrica esto se da por las reacciones que se llevan a cabo después de que las plantas absorben los iones e inyectan oxígeno que produce la oxidación de otros iones disueltos, estas reacciones se producen en post de lograr un equilibrio de los iones y disminuyen la cantidad de sólidos disueltos en el agua.

Lo que es corroborado con las apreciaciones de (la lenteja de agua (*lemna minor* L.): una planta acuática promisorio, 2004), quien argumenta que la característica del agua que permite entender el contenido de contaminantes disueltos es la conductividad eléctrica, ya que el agua por sus características facilita la disolución de sustancias contaminantes; las que mayor presencia tienen en el agua residual industrial son sales de carácter iónico que liberan los átomos metálicos por su alta afinidad con el agua y son transportadas en la misma lo que aumenta la contaminación. Es fundamental que se tenga valores bajos de conductividad, si se presentan valores elevados se entiende que existe un gran contenido de contaminantes que aumentan la relación de condición en el agua

Así mismo (Buckley, 2008 pág. 34), manifiesta que la conductividad eléctrica mide la cantidad de sólidos disueltos en el agua y esto es indicativo de la calidad final de la misma, por lo que al disminuir la conductividad eléctrica del agua indica una mayor pureza, por lo general disminuir este contenido es una tarea difícil debido a la gran variedad de iones y aniones que aumentan la conductividad eléctrica de la misma, por lo que este proceso es uno de los de mayor costo al momento de realizar el tratamiento del agua residual.

Estas reacciones que se dan por efecto de la bioadsorción emulan el funcionamiento del tratamiento del agua con celdas eléctricas que es una tecnología costosa y difícil de aplicar; con lo que el uso de las plantas llamadas lentejas acuáticas servirán para el tratamiento de industrias que utilicen un contenido elevado de químicos como es el caso específico de la industria curtiembre y que puede ver una opción de tratamiento del agua residual la incorporación de lentejas, (Font, 2002 pág. 56).

El modelo de la regresión reportado para la conductividad eléctrica del agua residual después de la fitorremediación que se reporta en el gráfico 4-3; indica un modelo cúbico altamente significativo ($P < 0.01^*$), en donde las medias parten de un intercepto de $-4,3$ y aumentan en $11,11$ S/m por tiempo lineal que transcurre en la investigación, para luego aumentar en $1,16$ S/m por punto cuadrático al aumentar el tiempo de tratamiento del agua y finalmente disminuye en $-0,80$ S/m por punto cúbico adicionado del factor de estudio (tiempo de análisis).

El modelo presentó un coeficiente de determinación del 95,81% que indica que el modelo se ajustó de manera muy precisa y que los valores esperados se acercaron al valor real y el error se disminuyó representativamente, la única variación que se aprecia se da por efecto de que se trata con organismos vivos que pueden variar su comportamiento sin poder ser totalmente controlados. El modelo matemático que estima los efectos producidos por las variables del estudio se representa con la siguiente ecuación

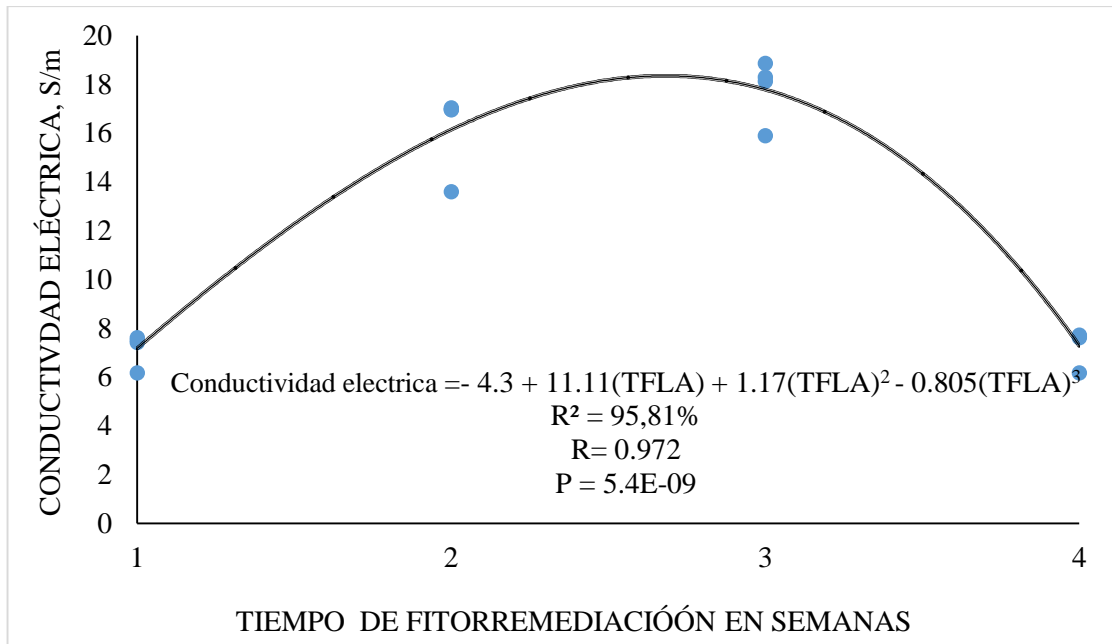


Gráfico 4-3: Evaluación de la regresión de la conductividad eléctrica del agua residual obtenida después de aplicar el tratamiento biológico utilizando *lemna minor* (lenteja acuática).

*TFLA: tiempo de fitorremediación con lenteja de agua
 Realizado por: VARGAS, Jakeline, 2020.

El coeficiente de correlación que fue de $r = 0.972$, identifica que los registros de conductividad eléctrica son positivos y altamente significativos es decir que con el incremento del tiempo en fitorremediación existirá una elevación de inicial de la conductividad eléctrica para posteriormente descender en las últimas semanas de desarrollo de la planta *lemna minor* (lenteja acuática).

Los resultados de la presente investigación son inferiores a los expuestos por (Caracterización de Agua Residual de Curtiduría y Estudio del Lirio Acuático en la Recuperación de Cromo, 2014 pág. 58), quien al realizar la Caracterización de Agua Residual de Curtiduría y Estudio del Lirio Acuático en la Recuperación de Cromo, indica que la conductividad presentó valores muy altos (25,12 S/m), independientemente del efluente analizado con respecto a los requerimientos de norma, esto indica la presencia de iones que impactan en la dureza del agua como: Ca^{++} , Na^{+} , Mg^{++} y provenientes de productos químicos usados en el proceso

Así como de (García, 2012 pág. 12), quien al realizar la comparación y evaluación de tres plantas acuáticas para determinar la eficiencia de remoción de nutrientes en el tratamiento de aguas residuales domésticas menciona que la conductividad versus lo tiempos de muestreo demuestra que las concentraciones de sales en el reactor presenta diferencias marcadas en las diferentes épocas, ingresando concentraciones de 13 $\mu\text{s/cm}$, siendo el más alta debido a los contenidos de

sales en las aguas residuales domésticas y precipitaciones, con una tendencia a aumentar en época de invierno a concentraciones de 19, 2 $\mu\text{s}/\text{cm}$.

Otro autor como (Jaramillo, 2012 pág. 67) menciona que la conductividad en aguas donde las *Lemnaceas*. crecen durante las primeras semanas de tratamiento de fitorremediación reportaron rangos de 269 a 410 al trabajar con enteja de agua, debiendo considerar se debe determinar un medio óptimo para el desarrollo de las plantas, debido a que un pH ácido marchita las mismas, y altos valores de conductividad no soportan las especies vegetales

3.3. Evaluación del contenido de cromo hexavalente

El objetivo principal de la presente investigación fue reducir el cromo hexavalente presente en el agua; ya que es el principal material inorgánico que se produce en las industrias curtiembres y es el que mayor daño ambientales produce si se encuentra disuelto en el agua, ya que tiene un alto índice de toxicidad para plantas, animales y seres humanos que se encuentren en contacto con este metal pesado. Apreciándose que al inicio de la investigación el valor fue de 0.108 mg/l.

En la evaluación del contenido de cromo al tratar el agua residual a lo largo de 4 semanas, las medias reportaron diferencias significativas ($P < 0.01^*$) entre medias, el valor más bajo se reportó a las 4 semanas de aplicar la fitorremediación del agua (T4) con respuestas de 0,04 mg/l, y que son iguales cuando se evaluó el tratamiento del agua residual después de 3 semanas de transcurrida la investigación (T3), determinándose un descenso significativo de este metal en el agua residual del curtido, como se ilustra el el gráfico 5-3.

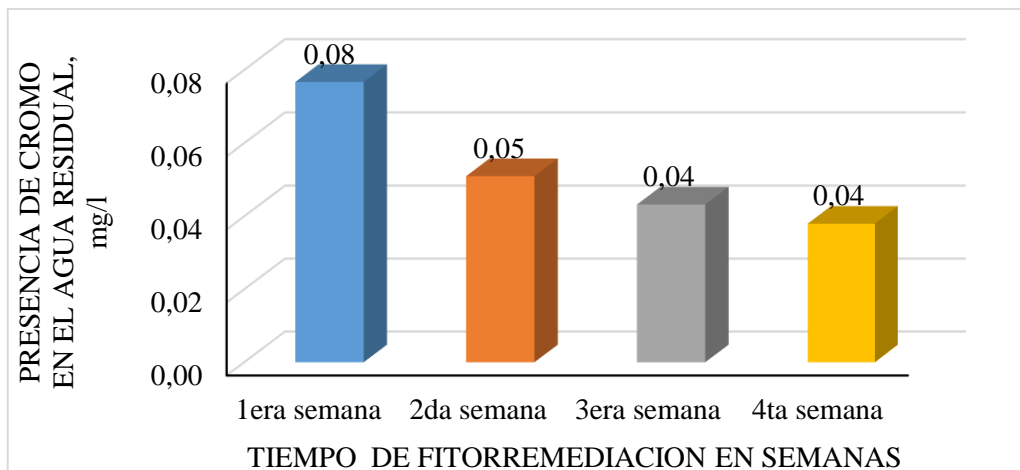


Gráfico 5-3: Evaluación del comportamiento de la presencia de cromo en el agua residual obtenida después de aplicar el tratamiento biológico utilizando *lemna minor* (lenteja acuática).

Realizado por: VARGAS, Jakeline, 2020.

La presencia de cromo en el agua de curtido aumentó al evaluar el agua residual después de transcurrido dos semanas de tratamiento (T2), puesto que las medias fueron de 0,05 mg/L mientras tanto que las respuestas más altas fueron registradas al evaluar el agua del proceso de curtido transcurrido una semana de tratamiento (T1) con medias de 0,08 mg/L, con lo que se aprecia la eficiencia del tratamiento para reducir el nivel de cromo hexavalente presente en el agua de curtido de las pieles.

De acuerdo con (TULSMA, 2015), que en la norma ecuatoriana de calidad ambiental y de descargas de efluentes para el recurso agua 097 –A, indica que para el agua pueda ser depositada en un cuerpo de agua dulce o pueda ser enviada al sistema de alcantarillado público el límite máximo de cromo debe ser de 0.05 mg/l, de otra manera el agua necesitara ser tratada previamente, estos índices se cumplen en los dos tratamientos finales de la presente investigación por lo cual se puede afirmar que la fitorremediación del agua con la planta conocida como lenteja de agua es una técnica viable a implementar, ya que se consume todo el cromo que no ha penetrado en la piel.

El objetivo fundamental de la presente investigación es lograr reducir el contenido de cromo Hexavalente presente en el agua residual después de la curtición de las pieles, ya que este agente químico es el que mayormente se adiciona para la transformación de las pieles además de que este es de alta toxicidad por lo que es necesario que no haya presencia de este metal en el agua residual para lograr cumplir los requisitos establecidos en la norma ambiental vigente en el Ecuador, (TULSMA, 2015).

Lo que es corroborado con las apreciaciones de (Amangandi, 2016), quien indica que el cromo Hexavalente es muy estable debido a su capacidad de formar coloides con agentes químicos disueltos en el agua por su capacidad de almacenar electrones; esto ocasiona que sea difícil su eliminación y que sea fácil de transportar y producir daños ambientales por el efecto negativo que da al contacto con las plantas, los animales, el suelo e incluso afectaciones a la salud de los seres humanos.

La forma de eliminarlo es realizar procesos de absorción o adsorción que logran disminuir su estabilidad; pero el realizar una absorción o adsorción solido-liquido o liquido-liquido son tecnologías con elevado precio y que implican una operación compleja; por lo que hay que buscar alternativas que logren eliminar el cromo del agua, con esto nace una tecnología alternativa como son las lentejas de agua; que para su alimentación utilizan metales pesados y logran sintetizarlo logrando así que no se fijen en el agua, (Hidalgo, 2014 pág. 34).

Esto se demuestra en la presente investigación, en donde se aprecia que después de 4 semanas de tratamiento el contenido de cromo hexavalente en el agua se reduce a niveles aceptables por la norma ecuatoriana que como máximo indica un contenido no mayor a 0.05 mg/l; esto indica que el proceso de bioadsorción del cromo se cumple y que las plantas logran absorber una gran cantidad de este metal evitando así su presencia en el agua, ya que pueden absorber algunas sustancias disueltas y brindar oxígeno mediante la fotosíntesis.

La regresión del contenido de cromo del agua residual tratada con la planta conocida como lenteja de agua presento una tendencia cuadrática altamente significativa ($P < 0.01^*$) que se muestra en el grafico 6-3; esta tendencia partió de un intercepto de 0,1089 mg/L y posteriormente disminuyó en 0,038 mg/l por cada punto lineal adicionado del factor de estudio (tiempo de tratamiento) y finalmente aumento en 0,0051 mg/L por cada punto cuadrático adicionado del factor de estudio (tiempo de tratamiento).

De acuerdo con la gráfica el coeficiente de regresión reporto valores de 91,43% que estima que el error es mínimo al estimar los resultados para posteriores investigaciones, el error que se comete es por efecto de las características inherentes al sistema, ya que se está tratando con elementos vivos dificulta la capacidad de controlar todos los parámetros que afectan a la variación de los resultados.

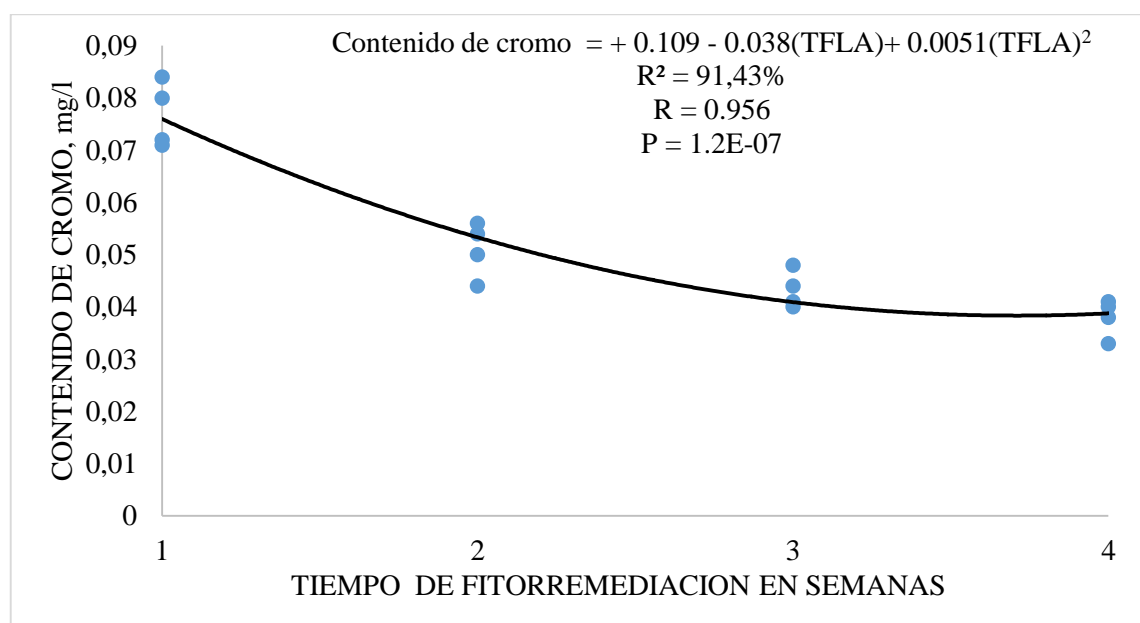


Gráfico 6-3: Evaluación de la regresión del contenido de cromo hexavalente del agua residual obtenida después de aplicar el tratamiento biológico utilizando *lemna minor* (lenteja acuática)

*TFLA: tiempo de fitorremediación con lenteja de agua
Realizado por: VARGAS, Jakeline, 2020.

Los resultados de la presente investigación son inferiores a los reportes de Zayed (1998) quien investigó el potencial de la lenteja de agua para acumular cadmio, cromo, cobre, níquel, plomo y selenio. Los resultados demostraron que, en condiciones experimentales de laboratorio, la planta resultó ser un buen acumulador de Cd, Se y Cu, un acumulador moderado de Cromo, y pobre acumulador de Ni y Pb. Las concentraciones más altas de cada elemento acumulada en los tejidos de la lenteja de agua fueron principalmente de, 2,87 g Cr / kg, 1,79 g Ni / kg y 0,63 g Pb / kg

Además, con base en los estudios de remoción de compuestos tóxicos por plantas acuáticas, se pueden considerar estos sistemas de tratamiento como una alternativa ecológica y económicamente viable, tanto para el tratamiento de los efluentes municipales domésticos como industriales

3.4. Costos de producción

El análisis de los costos de producción del proceso de fitorremediación con lenteja de agua de las aguas residuales producto del proceso de curtido determinó que los egresos producto de la compra de plantas, transporte, análisis entre otro reporto valores de \$195.25 en la primera semana \$185.25 en la segunda \$175.25 en la tercera semana \$ 171.25 en la cuarta semana como lo muestra la tabla 9-3

Por lo tanto, se aprecia que los valores van descendiendo en forma inversamente proporcional en relación a las semanas de crecimiento de la planta puesto que su reproducción que es acelerada permite que no se compre únicamente las que se requiere compensar en cada semana de estudio.

Por lo tanto, se establece que resulta muy económica esta técnica ya que el valor no supera los 200 dólares versus el beneficio que produce ya que por absorción atrapa el cromo que no ha ingresado en el proceso de curtición y convierte al agua en un líquido que puede ser reutilizado.

Solucionando muchos problemas que en la actualidad está cruzando las tenerías como es que la legislación ambiental exige que los residuos líquidos no superen los límites permisibles establecidos en las TULSMA, para no ocasionar un desequilibrio en los componentes del ecosistema.

Por lo tanto, sería incalculable el beneficio económico que los resultados de la presente investigación proporcionen al sector curtiembre, puesto que se logra disminuir ampliamente los niveles de cromo.

Tabla 9-3: Costos de producción de la técnica de fitorremediación del cromo en efluentes de la industria del cuero utilizando *Lemna minor* (lenteja acuática)

ACTIVIDADES	SEMANAS DE FITORREMDIACION			
	PRIMERA T1	SEGUNDA T2	TERCERA T3	CUARTA T4
Agua residual	10	8	7	5
Planta Lenteja de agua	20	18	15	10
Basificante	4	3	2	2
Bandejas de plástico	5	5	5	5
recipientes de vidrio	10	10	10	10
recipientes de 200 ml	2	2	2	2
Transporte	25	20	15	18
Guantes	2	2	2	2
plástico de invernadero	5	5	5	5
manguera	3.25	3.25	3.25	3.25
Mandil	6	6	6	6
balanza gramera	5	5	5	5
Botas	5	5	5	5
Análisis del pH	15	15	15	15
Análisis de la Conductividad	15	15	15	15
tiras para medir el pH	7	7	7	7
tanque de reservorio	6	6	6	6
Análisis de Cromo	50	50	50	50
TOTAL	195.25	185.25	175.25	171.25

Realizado por: VARGAS, Jakeline, 2020.

CONCLUSIONES

- Al realizar el diagnóstico inicial de los efluentes residuales de la industria del cuero, se obtuvo valores de pH de 3.82, una conductibilidad 5.65 mSiems/cm y presencia de cromo hexavalente 0.108 mg/L de agua residual, notándose la elevada carga contaminante al ser su origen del proceso de curtido de la piel.
- El material vegetal fitorremediador utilizado "*Lemna minor*" provinodel cantón Loreto provincia de Orellana, cuyo clima es cálido, por tal motivo se tuvo que hacer una aclimatización de la planta por un lapso de 30 días para que pueda así desarrollar su actividad en contacto con los efluentes residuales de la industria del cuero.
- Al realizar el análisis químico del agua residual se apreció que la valoración de pH de acuerdo a las semanas de fitorremediación indicó un ascenso durante la segunda (7.61), y tercera semana (7.68); en tanto que, a la cuarta semana el valor descendió (7.27), acercándose a la neutralidad. Para la conductividad se apreció un valor inicial a la primera semana (7.17 mSiems/cm), existió un ascenso en la segunda semana (16.14mSiems/cm), y tercera semana (17.79mSiems/cm), para en la última semana disminuir significativamente; lo mismo ocurrió con el cromo que de un valor de 0.08mg/L a la primera semana, descendió a 0,05 mg/L en la tercera y cuarta semana.
- Los costos de producción de cada uno de los tratamientos fueron de 195.25\$, 185.25\$, 175.25\$, 171.25\$ respectivamente con un total de 727 \$, no es posible calcular un beneficio económico a corto plazo debido a que el agua que se liberó de cromo se reutilizó en otros procesos de curtiembre; por lo tanto, el beneficio radicó en la protección ambiental que se proporciona al ecosistema.

RECOMENDACIONES

- Es necesario tomar en cuenta que no se debe exponer los recipientes con la planta y el agua residual directamente al sol ya que puede acelerar el proceso de evaporación del agua y la planta quedaría sin el medio para su desarrollo óptimo.
- Buscar alternativas para el manejo de esta especie contaminada después del proceso de fitorremediación; puesto que, su proliferación es abundante y después de consumir el cromo produce gases en el proceso de fotosíntesis que pueden producir una ligera contaminación.
- Difundir los resultados a los curtidores de los beneficios de la planta lenteja de agua para la fitorremediación de las aguas del curtido; puesto que, libera a los efluentes residuales de tenería de un elemento que resulta un problema ambiental para el ecosistema como es el cromo.
- Utilizar este material vegetativo "*Lemna minor*", en el tratamiento de aguas residuales de tenería, que económicamente no representa gastos muy elevados versus los beneficios que representan en favor del ambiente, al atrapar en sus tejidos cromo hexavalente liberar a los residuos líquidos del proceso de curtido del cromo, convirtiéndose este tratamiento en primario.

BIBLIOGRAFÍA

AGUIRRE, Andres.*Los sistemas de indicadores ambientales y su papel en la información e integración en el medio ambiente.* 1a. Buenos Aires : Lopera, 2002. pp. 1231-1256.

AMANGANDI, Gladys.Rediseño de la planta de tratamientos de aguas residuales de la curtiembre Quisapincha provincia de Tungurahua (Trabajo de Titulación) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba. 2016.pp. 12-24.

AMASA, Hera.*Bioreactor de membranas sumergidas.* 1a. Cataluña : IIPPE, 2004. pp. 112.

ANTOFAGASTA, Petter.*Tratamientos primarios para depuración de aguas residuales.* [en línea] 2015. [citado el: 21 de julio de 2019.] <http://www.cyclucid.com/tecnologias-aguas-residuales/tratamiento-aguas/tratamiento-primario/>.

APHA. *Standard methods for the examination of water and wastewater.* Washintong : Arnold, 2012. ISBN, pp 68.69.

ASOLEKAR. *Characteristics of sewage and overview of treatment methods. module 13.* Canadá: NPTELL, 2015, pp. 13-14

BUCKLEY, Jacangelo.*Microfiltración. tratamiento del agua por procesos de membrana. principios, procesos y aplicaciones.* 2a. Madrid : american water works association research, 2008. pp. 116.

Cancer, international agency for research on.*Chromium.* boston : nickel and welding, 2016.

CANTERA, Angelinett.*Efluentes de curtiembre ji: reutilización de ins licores de pelambre, c.s.* 2a. Buenos Aires : INTI, 2008. pp. 121.

BRES, P; et al."Capacidad de las macrofitas *lemna minor* y *eichhornia crassipes* para eliminar el níquel". *revista de investigaciones agropecuarias* [en línea]. 2012, 38(2).pp.153-157. [fecha de consulta 4 de febrero de 2020]. ISSN0325-8718.Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=86423631010>

ALVAREZ, Merisa;et al."Caracterización de agua residual de curtiduría y estudio del lirio acuático en la recuperación de cromo". *revista de información tecnológica*[en línea],2004,

(México) 15(3),pp. 34-56.[Consulta: 19 agosto 2019]. ISSN 0718-0764. Disponible en: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S071807642004000300012&lng=es&nrm=iso

CHARÁ, Angelino. *El potencial de las excretas porcinas para uso múltiple y los sistemas de descontaminación productiva.* Bogota : CIPAV, 2012. pp. 264.

ECHEVERIA, Oscar. *Creación y producción en diseño y comunicación.* 1a. Buenos Aires : facultad de diseño y comunicación. Universidad de Palermo, 2011 .

OPORTO, Cristhian. & ARCE, Oswaldo. "Evaluación del potencial de *lemna minor* para la remoción de cr (vi)" de aguas residuales. *Revista boliviana de ecología* [en línea], 2001, (Chile) 2(3) pp. 10,17-27.[Consulta: 09 de agosto 2019].ISSN 0718-8706. Disponible:<http://www.cesip.org.bo/rebeca/index.php/rebeca/article/view/110>.

FAIRCHILD, Demith. *Comparative sensitivity to selenastrum capricornutum and lemna minor to sixteen herbicides.* New York : environ. contam.toxicology., 2016. pp. 60.

FONT, Joseph. *Libro de calidad para la producción de piel y cuero libre de cromo (vi).* 1a. igualada : escola d'adoberia d'igualada, 2002. pp. 19-29.

GALARZA, Moises. *Curtiembres, una problemática ignorada.* 1a. Buenos Aires : publicaciones dec, 2009. pp. 12,34,67.

GARCIA, Zarela. *Comparación y evaluación de tres plantas acuáticas para determinar la eficiencia de remoción de nutrientes en el tratamiento de aguas residuales domésticas ingeniero sanitario* [en línea] (Trabajo de titulación) (Ingeniero Sanitario) Universidad Nacional de Ingeniería Facultad de Ingeniería Ambiental, Lima, Perú. 2012. pp. 2-7. Disponible en: http://www.lima-water.de/documents/zgarcia_tesis.pdf

HAMMER, Jannet. *Tratamiento terciario de aguas residuales .* [en línea] 2009. [citado el: 12 de agosto de 2019.] <http://www.cyclucid.com/tecnologias-aguas-residuales/tratamiento-aguas/tratamiento-terciario/>.

HARDY, Jeferson. *Involvement of testicular growth factors in fetal leydig cell aggregation after exposure to phthalate in utero.* usa : proc, 2014. pp. 123. ISBN 4157.

HIDALGO, Luis.*Texto basico de curtiembre de pieles.* tercera. *Riobamba* : ESPOCH, 2014. pp. 24,45,67,78.

INEN 0983.*agua potable. determinación de cromo hexavalente .*

INEN 0973.*agua. determinación del pH.*

JUMBO, Mariuxi del cisne &FLORES, Edison. Fitorremediacion mediante el uso de 2 especies vegetales *lemna minor* (lenteja de agua) *eichornia crassipes* (jacinto de agua) en aguas residuales producto de la actividad minera. cuenca.(Trabajo de Titulación)(Ingeniero Ambiental) Universidad Politécnica Salesiana sede de Cuenca, Ecuador. 2012. pp. 45-46. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/2939>

JARAMILLO, Tomas.*La contaminacion se puede alivianar con plantas acuaticas.* [en línea] 25 de enero de 2016. [citado el: 07 de octubre de 2018.] <https://www.accuweather.com/es/ec/ambato/126320/weather-forecast/126320>. ISBN.

JOHNSON,W. *Handbook of acute toxicity of chemicals to fish and aquatic invertebrales.* united states: publicación de recursos, 2013. pp. 137

JUSKO, Hamilton.*Cadmium.* 1a. Boston : environmental health criteria, 2016. pp. 95.

ARROYAVE,María del pilar."La lenteja de agua (*lemna minor* l.): una planta acuática promisoriosa."*revista de la.escuela de.ingenieria* [en línea], 2004, (Colombia)3(1), pp. 33-38.[consulta: 10 agosto 2019). ISSN 1794-1237. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1794-12372004000100004.

LANDAZURY,Efrain.*Producción limpia en la industria de curtiembre.* [en línea] 12 de agosto de 2018. [citado el: 09 de septiembre de 2019.] <http://www.usc.es/libros/index.php/spic/catalog/book/431>.

MCCARTY.*Chemistry for environmental engineering and science 5.* delhi : Mcgra-Hill, 2013

METCALF, Eddy.*Tratamiento, vertido y reutilización e ingenieria de aguas residuales.* 3ra edición. madrid : Mcgraw-Hill/Interamericana de España, 1995. ISSN 154.

MILLER, Stuart.*Reporte técnico para las industrias curtiembres en peru.* [en línea] 12 de junio de 2019.[citado el: 09 de 09 de 2019.] <http://www.bvsde.paho.org/bvsars/e/fulltext/conam/conam.pdf>.

MYLCHREEST, Michael.*Fetal testosterone insufficiency and abnormal proliferation of leydig cells and gonocytes in rats exposed to di(n-butyl) phthalate.* 1a. boston : PMD, 2012. pp. 19-28. ISSN 2589.

PEDRAZA, German.*Implementación y evaluación de un sistema de descontaminación de aguas servidas con plantas acuáticas.* Universidad Javeriana-Cipavimca., Bogota, Bolombia : 2007.

POCHTECA. pochteca. *Materias primas.* [blog] 24 de diciembre de 2014. [citado el: 01 de 02 de 2020.] <https://www.pochteca.com.mx/secuestrantes-o-agentes-quelantes/>.

ROOK, Philip.*flora, fauna, earth and sky.* 1a. saskatoon : northwoods, 2012. pp 56.

SIERRA, lorena; et al.Determinación de la tasa relativa de crecimiento de la *lemna minor* sp en el tratamiento de efluentes de un sistema de tratamiento de aguas residuales municipales. *I+D revista de investigaciones*[en línea], 2016universidad popular del cesar, valledupar, francisco José de caldas, (Colombia) .pp 91-97. [Consulta: 9 agosto 2019]. Disponible en: udi.edu.co/revistainvestigaciones/index.php/ID/article/view/68/59.

TULSMA.*Revisión y actualización de la norma de calidad ambiental.* Quito : texto unificado de legislacion secundaria, 2015. pp. 326-330.

ZAPATA, Lincoln.*Manual Práctico de curtido natural de cueros y produccion de artesanias.* 1a. Mexico DF : Banagua, 2002. pp. 1-30.

ANEXOS

Anexo A: Análisis del pH de los efluentes de la industria del cuero mediante la técnica de fitorremediación utilizando *Lemna minor* (lenteja acuática)

A. RESULTADOS EXPERIMENTALES

TRATAMIENTO	REPETICIONES				MEDIA
	I	II	III	IV	
Primera semana	7.26	7.2	7.29	7.28	7.26
Segunda semana	7.7	7.74	7.7	7.29	7.61
Tercera semana	7.75	7.75	7.63	7.6	7.68
Cuarta semana	7.26	7.23	7.29	7.28	7.27
				TOTAL	7.45

CV: 1.55

B. ANÁLISIS DE VARIANZA

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado medio	Fisher calculado	Fisher 0.05	Fisher 0.01	Prob	Sign
Total	15	0.76	0.051					
Tratamiento	3	0.60	0.200	14.91	3.49	5.95	0.0002	**
Error	12	0.16	0.013					

C. SEPARACIÓN DE MEDIAS DE ACUERDO A TUKEY

Tratamiento	Media	Rango	EE
Primera semana	7.26	b	0.06
Segunda semana	7.61	a	0.06
Tercera semana	7.68	a	0.06
Cuarta semana	7.27	b	0.06

D. ANÁLISIS DE VARIANZA DE LA REGRESIÓN

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	2	0.59	0.30	22.52	0.00006
Residuos	13	0.17	0.01		
Total	15	0.76			

	Coefficiente s	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%	Inferior 95.0%	Superior 95.0%
Intercepción	6,47	0,159	40,57	4,466E-15	6,1249	6,81	6,1249	6,81
Variable X1	0,97	0,1455	6,6624	1,56E-05	0,655	1,283	0,655	1,283
Variable X2	-0,19	0,029	-6,700	1,470E-05	-0,25	-0,130	-0,254	-0,13

Anexo A. Análisis de la Conductividad Eléctrica de los efluentes de la industria del cuero mediante la técnica de fitorremediación utilizando *Lemna minor* (lenteja acuática),

A. RESULTADOS EXPERIMENTALES

TRATAMIENTO	REPETICIONES				MEDIA
	I	II	III	IV	
Primera semana	6.16	7.41	7.5	7.61	7.17
Segunda semana	13.6	16.96	17.04	16.97	16.14
Tercera semana	18.86	15.89	18.12	18.29	17.79
Cuarta semana	6.16	7.71	7.66	7.61	7.29
				TOTAL	12.10

CV: 9.784

B. ANÁLISIS DE VARIANZA

Fuente de variación	Grados			Cuadrado medio	Fisher calculado	Fisher 0.05	Fisher 0.01	Fisher Prob	Sign
	de libertad	Suma de Cuadrados	de						
Total	15	401.64		26.776					
Tratamiento	3	384.83		128.276	91.57	3.49	5.95	1.55E-08	**
Error	12	16.81		1.401					

C. SEPARACIÓN DE MEDIAS DE ACUERDO A TUKEY

Tratamiento	Media	Rango	EE
Primera semana	7.17	b	0.59
Segunda semana	16.14	ab	0.59
Tercera semana	17.79	a	0.59
Cuarta semana	7.29	b	0.59

D. ANÁLISIS DE VARIANZA DE LA REGRESIÓN

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	3	384.827969	128.27599	91.57460	1.5475E-08
Residuos	12	16.809375	1.40078125		
Total	15	401.637344			

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%	Inferior 95.0%	Superior 95.0%
Intercepción	-4.3	4.91	-0.87	0.39	-15.01	6.41	-15.01	6.41
Variable X 1	11.1	7.51	1.47	0.16	-5.27	27.48	-5.27	27.48
Variable X 2	1.16	3.32	0.35	0.73	-6.07	8.40	-6.07	8.40
Variable X 3	-0.80	0.44	-1.82	0.09	-1.76	0.15	-1.76	0.15

Anexo B. Análisis de del contenido de cromo de los efluentes de la industria del cuero mediante la técnica de fitorremediación utilizando *Lemna minor* (lenteja acuática),

A. RESULTADOS EXPERIMENTALES

TRATAMIENTO	REPETICIONES				MEDIA
	I	II	III	IV	
Primera semana	0.08	0.084	0.072	0.071	0.08
Segunda semana	0.054	0.056	0.05	0.044	0.05
Tercera semana	0.048	0.04	0.044	0.041	0.04
Cuarta semana	0.041	0.04	0.038	0.033	0.04
				TOTAL	0.05

CV: 9.237

B. ANÁLISIS DE VARIANZA

Fuente de variación	Grados de libertad		Suma de Cuadrados	Cuadrado medio	Fisher calculado	Fisher 0.05	Fisher 0.01	Prob	Sign
Total	15		0.00	0.000					
Tratamiento	3		0.00	0.001	50.71	3.49	5.95	4.3E-07	**
Error	12		0.00	0.000					

C. SEPARACIÓN DE MEDIAS DE ACUERDO A TUKEY

Tratamiento	Media	Rango	EE
Primera semana	0.08	b	0.002
Segunda semana	0.05	ab	0.002
Tercera semana	0.04	a	0.002
Cuarta semana	0.04	b	0.002

D. Análisis de varianza de la regresión

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	2	0.003	0.002	69.36	1.2E-07
Residuos	13	0.0003	0.00003		
Total	15	0.004			

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%	Inferior 95.0%	Superior 95.0%
Intercepción	0,11	0,007	15,58	8,61E-10	0,094	0,12	0,09	0,124
Variable X ¹	-0,04	0,01	-5,97	4,70E-05	-0,052	-0,02	-0,052	-0,02
Variable X ²	0,005	0,001	4,08	0,0013	0,002	0,008	0,002	0,008

Anexo C. Evidencia fotográfica del trabajo de campo

<ul style="list-style-type: none">• Recolección de las plantas: Las <i>Lemna minor</i> (lenteja acuática) se recolectaron en la Granja piscícola Loreto ubicado en el kilómetro 6 vía al Coca- Loreto- Ecuador se tomaron en cuenta una excelente pigmentación y que no presenten daños visibles por infestación de parásitos	
<ul style="list-style-type: none">• Posteriormente se realizó la adaptación de la planta para lo cual se tomó en cuenta que el transporte de la planta, fue recomendable realizarla un mes antes de iniciar el trabajo experimental debido a que las plantas debieron adaptarse al clima de Riobamba que oscila entre temperaturas de 10 a 15°C.	

- Análisis inicial de las muestras: Para realizar este proceso se recolectó 200 ml de agua de curtido para analizar en el laboratorio las variables de pH, conductibilidad y presencia de cromo hexavalente presente en las muestras que fueron cada 7 días.



- Una vez que se verificó las condiciones en las que se desarrolló la lenteja de agua se construyó 4 recipientes de vidrio de 30 cm de largo y ancho, 10 cm de altura y se adquirieron 12 recipientes de plástico transparente con capacidad de 1 litro libre de agentes contaminantes para garantizar la adaptación y desarrollo de las plantas.



- A continuación se midió el pH de las muestras iniciales, luego se realizó la basificación del agua de curtido para llegar a un pH de (7 a 7.5) pH requerido por la planta en el cual se utilizó el 2% de producto basificante por cada 100 ml de agua de curtido.



- Se procedió a basificar 18 litros de agua de curtido y se dejó reposar por un día hasta que el pH suba al requerido por la planta.



- A continuación, se procedió a pesar 900 ml de agua de curtido más 100 gramos de *Lemna minor* (lenteja acuática), se colocó en cada recipiente y se los distribuyera aleatoriamente.



Anexo E. Pruebas de laboratorio



Contáctanos: 0998580374 - 032924322
Av. 11 de Noviembre y Milton Reyes Riobamba – Ecuador

INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Fecha: 25 de noviembre del 2019

Análisis solicitado por: Srta. Jacqueline Vargas

Tipo de muestras: Agua proceso de curtiembre

Localidad: Cantón Riobamba

Análisis Químico

<i>Muestras</i>	<i>pH und.</i>	<i>Conductividad mSiems/cm</i>	<i>Cromo VI mg/L</i>
Muestra Inicial Cruda	3.82	5.65	0.108
T ₁ R ₁	7.26	6.16	0.080
T ₁ R ₂	7.20	7.41	0.084
T ₁ R ₃	7.29	7.50	0.072
T ₁ R ₄	7.28	7.61	0.071

**Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF.*

Observaciones:

Atentamente.



Dra. Gina Álvarez R.
RESPONSABLE TECNICO LABORATORIO

Nota: El presente informe afecta solo a la muestra analizada.

INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Fecha: 02 de diciembre del 2019

Análisis solicitado por: Srta. Jacqueline Vargas

Tipo de muestras: Agua proceso de curtiembre

Localidad: Cantón Riobamba

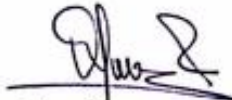
Análisis Químico Segundo Análisis

Muestras	pH und.	Conductividad mSiems/cm	Cromo VI mg/L
T ₂ R ₁	7.70	13.60	0.054
T ₂ R ₂	7.74	16.96	0.056
T ₂ R ₃	7.70	17.04	0.050
T ₂ R ₄	7.29	16.97	0.044

*Métodos Normalizados, APHA, AWWA, WPCF.

Observaciones:

Atentamente.



Dra. Gina Álvarez R.
RESPONSABLE TÉCNICO LABORATORIO

Nota: El presente informe afecta solo a la muestra analizada.

INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS
Fecha: 09 de diciembre del 2019
Análisis solicitado por: Srta. Jacqueline Vargas
Tipo de muestras: Agua proceso de curtiembre
Localidad: Cantón Riobamba

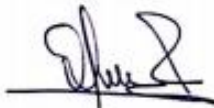
Análisis Químico Tercer Análisis

Muestras	pH und.	Conductividad mSiems/cm	Cromo VI mg/L
T ₃ R ₁	7.75	18.86	0.048
T ₃ R ₂	7.75	15.89	0.040
T ₃ R ₃	7.63	18.12	0.044
T ₃ R ₄	7.60	18.29	0.041

*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF.

Observaciones:

Atentamente.



Dra. Gina Álvarez R.
RESPONSABLE TECNICO LABORATORIO

Nota: El presente informe afecta solo a la muestra analizada.

INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Fecha: 16 de diciembre del 2019
Análisis solicitado por: Srta. Jacqueline Vargas
Tipo de muestras: Agua proceso de curtiembre
Localidad: Cantón Riobamba

Análisis Químico Cuarto Análisis

Muestras	pH und.	Conductividad mSiems/cm	Cromo VI mg/L
T ₃ R ₁	7.26	6.16	0.041
T ₃ R ₂	7.23	7.71	0.040
T ₃ R ₃	7.29	7.66	0.038
T ₃ R ₄	7.28	7.61	0.033

*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF.

Observaciones:

Atentamente.



Dra. Gina Álvarez R.
RESPONSABLE TECNICO LABORATORIO



Nota: El presente informe afecta solo a la muestra analizada.