

**Evaluación del potencial de biosorción de Cromo mediante microalgas nativas aisladas del
Rio Tunjuelito en Bogotá D.C, para descontaminación por cromo hexavalente.**

Crystian David Moreno Jiménez

Elizabeth Téllez Melo

Proyecto aplicado presentado como requisito para optar al título de:

Ingeniería Ambiental

Director:

Carlos Andrés Fajardo Gómez

Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD

Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiental

Ingeniería Ambiental

Bogotá, Colombia

2020

Agradecimientos

Crystian David Moreno Jiménez

Agradezco a Dios y mi familia por el apoyo brindado en esta nueva etapa de la vida profesional, así como compañeros y profesores involucrados en mi proceso de formación profesional y personal.

Doy gracias a mi madre, padre, mis hermanas, sobrino, tíos, tías, primas, abuelos, abuelas y mi por inculcarme el valor por el campo y el medio ambiente, así como amigos y mi mascota Máia que apoyaron mi formación integral, brindarme apoyo en esta etapa de formación, siendo ejemplos de vida, enseñándome que pese a las adversidades podemos cumplir nuestros objetivos.

Elizabeth Téllez Melo

Agradezco primeramente a Dios por la oportunidad que me ha dado de culminar mis estudios satisfactoriamente, y de acompañarme en todo este proceso educativo.

Agradezco a mi abuelo por su apoyo en todo momento, por ser mi bastón y que, aunque ya no me acompañe, dedico este trabajo a él, a mi madre que decidió darme la vida, a mi padre, a mis hermanos y tíos, por estar siempre para mí.

Resumen

Los problemas generados por las curtiembres en el sector de San Benito, donde podemos encontrar la industria de curtido de cuero más grande de Bogotá, dentro de sus procesos para el curtido de cueros se identifica el uso del dicromato de potasio o cromo trivalente, el cual al convertirse en residual produce cromo en estado hexavalente. Los metales pesados presentes en el agua son tóxicos en altas concentraciones y pueden causar afecciones al medio ambiente, biota y salud humana, generando insuficiencias hepáticas y renales, además está asociado a diferentes tipos de cáncer, dependiendo de los niveles de concentración del metal y el tiempo de exposición, dado que se adhieren al tejido adiposo, generando procesos de bioacumulación y biomagnificación, es por esto por lo que resulta ser peligroso para los seres humanos y animales. En este proyecto de investigación fue realizado un estudio de la posibilidad del uso de algas nativas para la descontaminación de aguas contaminadas con cromo hexavalente en un proceso conocido como ficorremediación, Para lo cual fueron tomadas muestras de agua del río Tunjuelito en el sector san Benito.

Se realizaron muestreos de agua residual y toma de muestras de musgo de las rocas ubicadas en la ribera del río, en las cuales se encontraron dos cepas predominantes, además de realizar la evaluación de aspectos e impactos ambientales, utilizando como herramientas para el levantamiento de información encuestas, lo cual dio pie a la identificación de aspectos e impactos ambientales, teniendo potencial de valorarlos mediante la matriz propuesta por la SDA, posterior a ello se desarrollaron informes de resultados y acciones según el componente afectado, los más relevantes fueron el consumo de recursos naturales, inseguridad, contaminación de cuerpos de agua y contaminación atmosférica.

Abstract

The problems generated by tanneries in the San Benito sector, where we can find the largest leather tanning industry in Bogotá, use of potassium dichromate or trivalent chromium, which is one of its processes for leather tanning, which when it becomes residual, it produces chromium in a hexavalent state. The heavy metals present in the water are toxic in high concentrations and can cause affections to the environment, biota and human health, generating liver and kidney failure, it is also associated with different types of cancer, depending on the concentration levels of the metal and the Exposure time, since they adhere to adipose tissue, generating bioaccumulation and biomagnification processes, which is why it turns out to be dangerous for humans and animals. In this research project, a study was made of the possibility of using endemic algae for the decontamination of waters contaminated with hexavalent chromium in a process known as phytoremediation, for which water samples were taken from the Tunjuelito river in the San Benito sector.

Sampling of residual water was carried out, taking a sample of moss from the rocks of the riverbank, in which two predominant strains were found, in addition to evaluating environmental aspects and impacts, using surveys as information gathering tools. which gave rise to the identification of environmental aspects and impacts, having the potential to assess them through the matrix proposed by the SDA, after which reports of results and actions were developed according to the affected component, the most relevant were the consumption of natural resources, insecurity, contamination of bodies of water and atmospheric pollution.

Tabla de contenido

Agradecimientos	2
Resumen	3
Abstract	4
Lista de tablas	8
Glosario	13
Introducción	16
Planteamiento del problema.....	17
Justificación.....	19
Objetivos.....	23
Objetivo general.	23
Objetivos específicos.....	23
Marco teórico.....	24
El Cromo.....	24
Impacto a la salud.	26
Toxicocinética y Toxicodinamia.....	27
Toxicocinética.....	27
Toxicodinamia.	27
Uso de cromo en la industria.	28
Uso del cromo en las curtiembres.....	29
Inicios del curtido de pieles.	29
Inicios del curtido de pieles en Colombia.	30
Proceso de curtido de pieles.....	32
Etapa 1 – Ribera	32
Etapa 2 – Curtido.	33
Etapa 3 – Acabado en húmedo.....	33
Etapa 4 - Acabado en seco.....	34
La biorremediación como solución económica y viable.....	36
Uso de algas en la remediación de metales pesados.	36
Procesos de biosorción para reducción de cromo hexavalente.....	37
Usos nutricionales y medicinales de las algas.	38
Datos nutricionales de la <i>Chlorella S.P.</i>	39

Datos nutricionales <i>Espirulina s.p</i>	40
Datos comerciales de las píldoras de Espirulina.....	42
(Farmacia Institucional, 2018).....	43
Evaluación de impacto ambiental.....	43
Metodología	44
Matriz de evaluación de aspectos e impactos ambientales.	44
Muestreo de aguas.....	45
Determinación de cromo hexavalente en muestras de agua.....	46
Preparación de medio de cultivo.	48
Activación de las muestras en medio de cultivo.	49
Aislamiento de microalgas.	50
Determinación de la capacidad de las algas aisladas como biosorbente de Cromo.	52
Resultados y análisis de resultados	52
Matriz de aspectos e impactos ambientales.....	52
Impactos medios: corresponden al	55
Impactos altos:.....	55
Observación del punto y muestreo de aguas residuales.....	56
Determinación de cromo hexavalente.	57
Preparación del medio, activación y mantenimiento de las muestras.....	58
Aislamiento.....	59
Determinación de remoción de Cromo.....	61
Conclusiones	65
Recomendaciones.....	67
Bibliografía	68

Lista de tablas

Tabla 1 Información química del Cromo.....	24
Tabla 2 Información química de la cromita.....	25
Tabla 3 Procesos adsorción de Cromo hexavalente.....	37
Tabla 4 Datos nutricionales Espirulina S.P.....	41
Tabla 5 Aminoácidos que contiene la Espirulina S.P.	41
Tabla 6 Valor nutricional 10 gramos de Espirulina S.P.....	42
Tabla 7 taxonomía alga Chlorella sp.	49
Tabla 8 Escala de valoración de los impactos	53
Tabla 9 Concentraciones de cromo vs crecimiento Chlorella s.p.....	62
Tabla 10 Investigación bibliográfica	63

Lista de gráficas

Gráfica 1 percepción de la comunidad.....	53
Gráfica 2 Resultados evaluación de impacto ambiental sector curtiembres.....	54
Gráfica 4 Curva de calibración de cromo en muestras de agua.....	57
Gráfica 5 Concentración de Cromo hexavalente en el punto de toma de muestra	58

Lista de imágenes

Imagen 1 Operación unitaria etapa ribera.....	32
Imagen 2 Operaciones unitarias etapa de curtido	33
Imagen 3 Operaciones unitarias en la etapa de acabado húmedo.....	34
Imagen 4 Operaciones unitarias en la etapa de acabado en seco.....	35
Imagen 5 Siembra de microalgas por estría.....	50
Imagen 6 Siembra de algas	51
Imagen 7 Toma muestra algas mediante frotis	56
Imagen 8 Toma de muestra de agua	56
Imagen 9 cultivos de algas medios líquido y sólido	59
Imagen 11 Mosaico morfotipos encontrados en medio sólido	60
Imagen 12 Ejemplo siembra Chlorella	61
Imagen 13 Vista microscópica Chlorella.....	61

Lista de ilustraciones

Ilustración 1 Usos industriales del cromo	28
Ilustración 2 Flujograma aplicación de la evaluación de impacto ambiental	45
Ilustración 3 Flujograma preparación solución difenilcarbazida	47
Ilustración 4 Procedimiento determinación de cromo hexavalente en aguas.....	47
Ilustración 5 Preparación medio de cultivo BG11 con vitamina B12.....	48

Lista de anexos

Anexo 1 Matriz evaluación de impacto ambiental percepción de la comunidad	82
Anexo 2 Matriz de evaluación de impacto ambiental actividad curtiembres	86

Glosario

Absorción: Es el proceso en el cual la sustancia es succionada hasta el interior del sorbente y allí mantenida. Por ejemplo, la disolución de un gas en el volumen de un líquido. (Ochoa, 2005)

Adsorción: Consiste en poner en contacto un fluido con un sólido, el adsorbente. Uno o más componentes del fluido son atraídos a la superficie del solvente. (Philip, 2008)

Biorremediación: “La biorremediación muestra, cómo la actividad de los microorganismos, tanto de los que habitan en vida libre, como de los que se asocian a las raíces de plantas tolerantes a compuestos tóxicos, es una tecnología poderosa para elaborar sistemas que permitan la recuperación de suelos y aguas afectados por contaminación. “ (Alarcón & Ferrara Cerrato, 2015).

“Tecnologías de remediación más eficientes y ambientalmente “amigables”, como los métodos de remediación biológica, los cuales utilizan organismos vivos para reducir, eliminar, contener o transformar los contaminantes en suelo, agua y aire (Gerhardt et al., 2009). Los organismos utilizados en esta tecnología pueden ser bacterias y hongos (biorremediación), algas (ficorremediación) o plantas (fitorremediación). Más recientemente, ha emergido la rizorremediación como una tecnología alternativa que implica la acción conjunta de microorganismos rizosféricos y plantas.” (Paiso, González, Talano, & Agotini, 2012)

Cromo: “Elemento químico, símbolo Cr, número atómico 24, peso atómico 51.996; metal que es de color blanco plateado, duro y quebradizo, El Cromo (VI) es un peligro para la salud de los humanos, mayoritariamente para la gente que trabaja en la industria del acero y textil. La gente que fuma tabaco también puede tener un alto grado de exposición al Cromo. El Cromo (VI) es conocido porque causa varios efectos sobre la salud. El Cromo entra en el aire, agua y suelo en

forma de Cromo (III) y Cromo (VI) a través de procesos naturales y actividades humanas”.

(Cromo, s.f.)

Ficorremediación: “La biotecnología basada en la aplicación de algas para control de contaminación ha sido usada entre otras cosas para la remoción de compuestos inorgánicos, siendo la eliminación de metales pesados de efluentes industriales y aguas residuales domésticas, uno de los principales focos (Oswald, 1988). Respecto de los mecanismos implicados en este proceso, varios autores han descrito que dicha remediación podría ser llevada a cabo por procesos fisicoquímicos de adsorción sobre la pared celular (mecanismos de remoción extracelulares) o bien por mecanismos de transporte y precipitación, en los cuales podrían contribuir algunos compuestos secretados, tales como metabolitos celulares y EPS o bien proteínas a complejantes de iones (Martins et al., 2006) (mecanismos de remoción intracelulares)”. (Paiso, González, Talano, & Agotini, 2012)

Biosorción: “Este término describe la remoción de metales pesados por un enlazamiento pasivo a biomasa no viva, a partir de soluciones acuosas. Esto implica que el mecanismo de remoción no es metabólicamente controlado. La biosorción de metales pesados en soluciones acuosas puede ser considerada como una alternativa tecnológica en el tratamiento de aguas de desecho industrial. Estos procesos de innovación en tecnología de separación usan biomateriales, los cuales son abundantes, tal como algas marinas, desechos provenientes de la producción industrial, procesos biológicos y actividades derivadas de la agricultura”. (Paiso, González, Talano, & Agotini, 2012)

Impacto ambiental: Cambio al medio ambiente ya sea adverso o beneficioso, como resultado total o parcial de los aspectos ambientales. **(14001/15)**

Impactos a la salud: La OMS define la evaluación del impacto en la salud (EIS) como una combinación de procedimientos, métodos y herramientas a través de las cuales se puede juzgar una política, programa o proyecto en relación con sus efectos potenciales sobre la salud de la población y la distribución de tales efectos (Salud, s.f.)

Introducción

La actividad industrial del sector San Benito en la ciudad de Bogotá, corresponde al curtido y recurtido de cueros; recurtido y teñido de pieles (CIU 1511) ubicado entre la Av. 16 y la 12 (Av. Boyacá) y entre el Barrio San Carlos y el río Tunjuelito.

En las actividades predominan el curtido y recurtido de pieles para producción manufacturera, dentro de los procesos tenidos en cuenta para el tratamiento de los cueros para posterior aprovechamiento encontramos 13 procesos generales del tratamiento del cuero para aprovechamiento, desde la recepción de materia prima (cueros crudos) hasta pintura y acabado (producto terminado), procesos en los cuales se utiliza dicromato de potasio $K_2Cr_2O_7$ durante el proceso de curtido y basificado, generando cromo hexavalente en los vertimientos, un metal pesado tóxico con capacidad de bioacumulación en seres vivos, daños a la salud y el medio ambiente, con potencial de daños hepáticos, renales, daños en la cadena trófica, por lo que es necesario su control.

Dada la capacidad de resiliencia del cromo formado por el dicromato de potasio $K_2Cr_2O_7$, permaneciendo en el caudal y lodos del mismo se opta por realizar ensayos para reducción de concentraciones de cromo con algas nativas, lo que fue posible en condiciones de laboratorio con aguas provenientes del río, identificando dos cepas predominantes con potencial de reducción del contaminante vertido hacia el río, por lo que de igual manera se realiza la identificación taxonómica, al igual que la evaluación de impacto ambiental utilizando la metodología propuesta por la SDA.

Planteamiento del problema

Los metales pesados se encuentran de manera natural en el ambiente en concentraciones que, por lo general, no perjudican las diferentes formas de vida. Estos compuestos no pueden ser destruidos, pero sí pueden ser disueltos por agentes físicos, químicos o biológicos. Algunos forman complejos solubles, permitiendo ser transportados y distribuidos a los ecosistemas hasta incorporarse en la cadena trófica (suelo, agua, plantas, semillas y forrajes), primordialmente aquellos procedentes de áreas contaminadas. (Londoño Franco, Londoño Muñoz , & Muñoz García, 2016)

Estos compuestos se incorporan finalmente a los cuerpos de agua, vegetales, animales y alimentos; alterando la sostenibilidad de la cadena trófica, provocando riesgos potenciales en la naturaleza y en la sociedad, debido a que originan serios problemas en la salud humana y animal. (Londoño Franco, Londoño Muñoz , & Muñoz García, 2016)

La contaminación por metales pesados y metaloides en recursos hídricos, suelos y aire plantea una de las más severas problemáticas que comprometen la seguridad alimentaria y salud pública a nivel global y local. (Delgadillo López, González Ramirez, Prieto García, Villagómez Ibarra, & Acevedo Sandoval, 2011) La tasa de contaminación del agua por metales pesados puede ser estimada en 2000 millones de metros cúbicos diarios. (Reyes, Vergara, Torres, Díaz , & González , 2016)

Las principales industrias generadoras de vertimientos con cargas considerables de metales pesados, encontramos las curtiembres, (Londoño Franco, Londoño Muñoz , & Muñoz García, 2016) el tratamiento de pieles de animales para su empleo en la industria marroquinera, del vestido y del calzado, en la cual sus vertimientos tienen altas implicaciones nocivas sobre el

recurso hídrico. (Rivera, 2006)

El cromo es el mayor contaminante en la industria de curtiembres, en el proceso de curtido el cromo se utiliza como una solución de químicos, ácidos y sales (incluyendo sulfato de cromo). Es un proceso muy rápido, y toma un día producir una pieza de cuero curtido. Primero, el cuero se “apelambra” para eliminar el pelo, luego se “píquela” dejándolo en una mezcla de sal y ácidos, antes de colocarla en el sulfato de cromo (Cr III) (Anónimo, Curtición híbrida del cromo, 2018). En este proceso se generan vertimientos con contenidos de cromo (Cr VI).

Este proceso es universal para la mayoría de las curtiembres de San Benito, las cuales disponen sus vertimientos en la cuenca media del río Bogotá, aumentando significativamente la carga contaminante con la que viene el río.

El dato de las curtiembres existentes hasta 2018, es de 254 establecimientos en el sector de San Benito, de las cuales fueron selladas 50 el mismo año por falta del cumplimiento de la normatividad ambiental resolución 631/15 en el artículo 13 se establecen los niveles máximos permisibles de contaminantes en vertimientos según la actividad industrial, identificada por el decreto como: “fabricación de artículos de piel, curtido y adobo de pieles” indicando entre los parámetros a monitorear el cromo, con una carga máxima permisible de $1,5 \frac{mg}{l}$, teniendo como autoridad ambiental la Secretaria distrital de ambiente (SDA) (Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible, 2015), han existido cierres en el sector por incumplimiento de la normatividad 30 sellamientos en 2018. (Estupiñan, 2018)

En consecuencia, en este proyecto de investigación se plantea la siguiente pregunta ¿Pueden los procesos de fitorremediación reducir los niveles de Cr (VI) en el sector de San Benito?

Justificación

Para determinar si las algas nativas del río Tunjuelito, tienen la capacidad de remoción de cromo hexavalente, se debe empezar por definir que es la biorremediación, es una técnica que se utiliza para reducir los niveles de contaminación en los diferentes medios abióticos, esta técnica consiste en el uso de microorganismos, plantas, algas, hongos o bacterias para reducir la toxicidad en el ambiente y la salud humana. Estos organismos pueden ser naturales o alteradas genéticamente.

La biorremediación se clasifica de acuerdo con organismos que efectúan la degradación del compuesto xenobiótico, como la fitoremediación, degradación enzimática o ficorremediación.

En este caso la biorremediación tiene como objetivo reducir la carga contaminante de metales pesados presentes en la cuenca media del río Bogotá por medio de la ficorremediación en la cual se implementan algas. Debido al bajo costo este tratamiento se puede hacer *in situ* como *ex situ*. (Beltrán Pineda & Gómez Rodríguez, 2016)

Las algas despiertan un especial interés en la investigación y desarrollo de nuevos materiales biosorbentes, debido no solamente a su alta capacidad de adsorción sino también a que se encuentran presentes en mares y océanos en cantidades abundantes y de fácil acceso (Kuyicak y Volesky, 1990; Rincón y col., 2005). Sin embargo, hay pocas publicaciones sobre biosorción empleando algas en relación con las existentes usando otros biomateriales (principalmente bacterias y hongos); más aún, hay unas pocas en lo que se refiere a sistemas multimetálicos y sistemas dinámicos. (Cazón, 2012)

En Colombia se han realizado varios estudios sobre la biorremediación. En el Río Magdalena para identificar los niveles de contaminación dentro del río, de los cuales se tuvieron en cuenta moluscos y peces; los metales de interés fueron el Cd, Zn y Cu. (Sanchez & Corredor, 2014)

Los vertimientos con contenidos inorgánicos son descargados por el río, conduciendo su caudal hacia el río Magdalena; dentro de los principales cuerpos de agua que aportan al caudal del río se encuentra el río Bogotá, cuyas concentraciones de metales pesados se encuentran por encima de los límites máximos permisibles siendo uno de los principales focos de contaminación. (Sanchez & Corredor, 2014)

Según estudios realizados en la cuenca alta del río Bogotá (Rodríguez Forero, Suarez, & González, 2007) se evaluaron efectos tóxicos dados a partir de metales pesados en el agua (Cd, Pb, Cu, Fe, Zn, Mg, Mn, Cr), por lo que evaluaron efectos en el pez capitán (*Eremophilus mutisii*) su musculatura, y tejidos mostraron desgastes y alteraciones branquiales; en el tramo correspondiente a Villapinzón y Suesca, donde al momento del estudio las cargas de dichos metales correspondían a niveles nocivos según el autor:

- Cr (0.213 µg/ml y 0.08µg/ml),
- Pb (0.017µg/ml)
- Mg (0.087µg/ml)
- Fe (0.79 µg/ml y 0.93µg/ml)

En Chocontá y Suesca existió una correlación con las concentraciones encontradas de plomo, cromo y cadmio con respecto a la musculatura del pez capitán.

- Pb (3.4 µg/g y 3.1 µg/g)
- Cd (0.35µg/g y 0.48µg/g)
- Cr (1.8µg/g y 2.1µg/g)

El estudio dado por (Rodríguez Forero, Suarez, & González, 2007), contribuye al estudio de los metales pesados presentes en la cuenca alta del río Bogotá, dado que es conveniente encontrar las cargas contaminantes de los metales involucrados diferentes actividades

antropogénicas, en especial los metales pesados por su toxicidad, además de las curtiembres las cuales son 110 en Villapinzón, de las cuales el 70% cumple la normatividad ambiental legal vigente. (Estrategia, 2019).

Los niveles de metales pesados influyen directamente a la biota, afectando procesos biológicos de los organismos aumentando o disminuyendo la capacidad de biodisponibilidad, es por esto por lo que se considera elemental recordar que el agua al igual que el suelo, son elementos claves y de vital importancia, tanto para la vida vegetal, animal y humana.

A nivel nacional se han tenido investigaciones para evaluar la capacidad de biosorción de algas para reducción de Cromo, dentro de los mismos podemos tomar como referencias

- Eficiencia en la reducción de cromo por una bacteria silvestre en un tratamiento tipo batch utilizando como sustrato agua residual del municipio de Pasto, Colombia, donde se identifica un alga-bacteria (*Bostrychia caliptera*). (Guerrero Ceballos, y otros, 2017)
- Reducción del Cromo contenido en efluentes líquidos de la industria del cuero mediante proceso de adsorción-Desorción con algas marinas, Universidad tecnológica de Pereira, donde se evaluó el alga *Sargassum sp* obteniendo un 85% de remoción de Cromo en soluciones sintéticas y 51% de eficiencia en vertimientos provenientes de curtiembres. (Higuera Cobos, Escalante Hernández, & Laverde, 2005)
- Las industrias curtiembres y su incidencia en la contaminación del río Bogotá, Universidad Santo Tomás, Bogotá Colombia. Donde se evalúa la contaminación desde las curtiembres al nacimiento del río Bogotá en el sector de Chocontá y

Villapinzon, las cuales evalúan los aspectos e impactos ambientales por las industrias curtiembres hacia el río Bogotá desde el nacimiento. (Artuz, Martínez, & Morales)

Con base en estas investigaciones se data que, si existen microalgas con la capacidad de remoción de metales pesados, sin embargo, se requiere saber si las algas nativas del río Tunjuelito tienen la capacidad de remoción de cromo (VI), y si pueden ser utilizadas para la descontaminación de este sin alterar su ecosistema.

Objetivos

Objetivo general.

Evaluar el potencial *in vitro* de descontaminación de cromo en aguas por medio del uso de algas nativas como tratamiento biológico

Objetivos específicos.

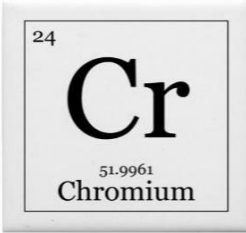
- Determinar los impactos ambientales en relación con la contaminación por metales pesados en la zona de incidencia de las curtiembres.
- Aislar e identificar microalgas de muestras de aguas provenientes del sector San Benito
- Evaluar el potencial de biosorción en algas como sistemas descontaminantes de cromo.

Marco teórico

El Cromo.

El cromo es un elemento metálico de amplia distribución en la naturaleza, ocupa el cuarto lugar entre los 29 elementos biológicamente más importantes de la corteza terrestre; es un metal bastante duro y poco alterable. (Suarez Gil & Albarracín Valderrama, 2008). En la tabla 1 se evidencia la información química del cromo:

Tabla 1 Información química del Cromo

CROMO	
Símbolo	
Número atómico	24
Peso atómico	51,9961
Color y textura	Blanco plateado, duro y quebradizo
Densidad	7,19 g/cm ³ a 20°C
Punto de ebullición	2672 °C
Punto de fusión	1857 °C
Solvólisis	Soluble en ácido sulfúrico y ácido clorhídrico diluidos

Fuente: (Moreno & Tellez, 2020)

El cromo se encuentra en varios estados de oxidación, siendo los más comunes, el cromo (III) y el cromo (VI). Donde el cromo (III) es un oligoelemento, indispensable para procesos bioquímicos y fisiológicos necesarios para la vida, específicamente tiene acciones en el metabolismo de la glucosa, el colesterol y los ácidos grasos, además de desempeñar un papel muy importante en diferentes reacciones enzimáticas. (Suarez Gil & Albarracín Valderrama, 2008)

Por el contrario, el cromo (VI) es un elemento altamente tóxico para el ser humano y está clasificado por la IARC (*International Agency for Research on Cancer*) en el grupo I (cancerígeno comprobado en humanos) ya que en exposición ocupacional produce cáncer en el sistema respiratorio. El cromo hexavalente es un agente oxidante fuerte y, en presencia de materia orgánica, es reducido a cromo (III). Sin embargo, niveles elevados de cromo (VI) pueden superar la capacidad reductora del ambiente y persistir como contaminante. (Suarez Gil & Albarracín Valderrama, 2008)

Para obtener el cromo se debe partir desde lo indispensable, la cromita (tabla2) al igual que la magnesiocromita son las mayores representantes en las menas o yacimientos de cromo, a partir de estos se pueden obtener minerales tales como el ferrocromo, cromo metálico, según se requiera, se puede reducir con silicio o aluminio para generar una reducción aluminotérmica y obtener así cromo puro. Los mayores afloramientos de este mineral se pueden encontrar en Sierra leona, Sudáfrica y Turquía. (Anónimo, Asturnatura, 2004)

Tabla 2 Información química de la cromita

CROMITA	
Elemento	
Fórmula	$Fe_2^+Cr_2^{3+}O_4$
Elementos químicos	Fe, Cr, O
Composición química	Fe (24,95%) O (28,59%) Cr (46,46)
Dureza	5,5 escala de Mohs
Densidad	4,4 y 4,8 g/cm ³
Sistema de cristalización	Cúbico
Color	Negro parduzco o negro

Fuente: (Moreno & Tellez, 2020)

Dentro de la cromita podemos encontrar hasta 46%, hierro 25% y el resto en impurezas tales como el aluminio, manganeso y titanio.

La procedencia de la cromita se asocia con las rocas ultrabásicas, al igual que pueden proceder en rocas sedimentarias, además de ser común en los meteoritos. En Colombia la mayor parte de cromita se encuentra en la región occidental, teniendo en cuenta las rocas máficas y ultramáficas y en el departamento de la Guajira. (Unidad de planeación minero energética, 2016)

Impacto a la salud.

El cromo (VI) genera varias afectaciones al cuerpo humano y se puede absorber por vía oral, respiratoria o dérmica. Se distribuye a nivel de médula ósea, pulmones, ganglios linfáticos, bazo, y tiene potencial de generar daños hepáticos y renales.

El cromo ejerce una acción corrosiva en la piel y las mucosas, produciendo úlceras cutáneas o una dermatitis alérgica por inhalación o por contacto cutáneo, además los vapores generados por el Cromo (VI) puede causar perforaciones en el cartílago del tabique.

La inhalación de polvo o humos con contenido de cromo (VI), puede desencadenar irritación en el tracto respiratorio superior y posterior sensibilización, llegando a ocasionar rinitis crónica, bronquitis crónica y asma de origen ocupacional.

La Secretaria Distrital de Salud de Bogotá reporta valores de referencia para Población General hasta 10 µg/L y para población Expuesta hasta 20 µg/L. (Cuberos, Rodriguez, & Prieto, 2019)

Toxicocinética y Toxicodinamia.

Las acciones toxicocinéticas y toxicodinámicas refieren a la interacción del cromo hexavalente u otro contaminante y sus efectos en el cuerpo humano, mediante ingesta o exposición directa o indirecta.

Toxicocinética.

Se refiere a que generalmente el cromo es absorbido por ingesta oral, respiratoria o por la dérmica. Los órganos más comunes para su distribución son la médula ósea, pulmones, ganglios linfáticos, generando daños hepáticos y renales. (Cuberos, Rodriguez, & Prieto, 2019)

Al hablar de los niveles de concentración y absorción por parte de un tejido vivo, el Cr^{+3} tiene menor índice de absorción en comparación que el Cr^{+6} , esto dado que el Cr^{+3} es incapaz de penetrar las membranas celulares, uniéndose directamente a proteínas generadas a nivel hepático (transferrina), a nivel hexavalente es tomado y transportado por los eritrocitos (glóbulos rojos). Los cuales son los encargados de transportar nutrientes mediante el cuerpo humano y animal. En el cuerpo humano el cromo hexavalente se reduce a cromo (III), de manera exponencial. (Cuberos, Rodriguez, & Prieto, 2019)

Toxicodinamia.

Los síntomas son dados por elementos derivados del cromo hexavalente principalmente, la acción tóxica puede ser dada por acción cáustica directa, sensibilidad epidérmica y dérmica, daño celular y alteración en la formación de neumocitos, los cuales ayudan a la formación de los alveolos pulmonares. (Cuberos, Rodriguez, & Prieto, 2019)

Uso de cromo en la industria.

Actualmente el cromo se utiliza para diferentes actividades industriales, en Colombia y en varios países también, a continuación, se relaciona un gráfico en el cual se mencionan las actividades que requieren cromo en su proceso productivo, para la manufactura de sus productos.

Ilustración 1 Usos industriales del cromo



Fuente: (Moreno & Tellez, 2020)

- Industria textil: Los compuestos del cromo se utilizan en la industria textil como mordientes.
- Industria cementera: En la actualidad, existen cementos con contenido de cromo (VI) que puede llegar a generar algún tipo de alergia dérmica, al estar en contacto prolongado o directo con este cemento.
- Aleación de metales: El cromo se utiliza para endurecer el acero, para fabricar acero inoxidable y como parte de muchas aleaciones útiles.

- **Elaboración de pinturas:** El cromo forma muchos compuestos coloridos que tienen usos industriales. El cromato de plomo ($PbCrO_4$), también conocido como cromo amarillo, se ha utilizado como un pigmento amarillo en las pinturas.
- **Preservación de metales:** El cromo produce una superficie dura, brillante, hermosa y previene la corrosión. El cromado se puede utilizar para dar un acabado de espejo pulido al acero.

Uso del cromo en las curtiembres.

El uso de dicromato de potasio $K_2Cr_2O_7$ es el responsable de la formación de Cromo hexavalente en los vertimientos y lodos dentro de la industria del curtido de cueros, este compuesto es usado para el proceso de curtido y basificado.

Inicios del curtido de pieles.

Desde la prehistoria, el ser humano trataba las pieles de animales que cazaban para evitar su deterioro, que se dañaran o endurecieran; para ello utilizaban los restos grasos y viseras, frotándolas sobre las futuras prendas que le protegerían del frío. Culturas como las hebreas y babilonios utilizaron medios similares para preservar y tratar los cueros, métodos rudimentarios de curtido como el cubrir los cueros con materiales y sustancias astringentes que ayudó a retraer los tejidos, dichos materiales derivados de vegetales (cortezas, raíces, frutos). Curando la piel con sal común en combinación con aceites. (Raisman & Gonzalez, 2015)

En exploraciones en Egipto se han encontrado fragmentos de cuero en un estado más que aceptable, según los expertos de hace aproximadamente 3.000 años, estos cueros y prendas de vestir; se deduce que las prendas encontradas por su grosor y tamaño fueron usadas por

soldados que incorporaban dichas prendas de batalla por su grosor. De igual forma por marines que los usaban dentro de los barcos, incorporándolos como velas y parte de cubierta de algunas embarcaciones, para ello usaban pieles de oveja, cabra y becerros principalmente gracias a su maleabilidad y resistencia, al igual que transformando pieles de estos animales como pergaminos gracias a su versatilidad. (Raisman & Gonzalez, 2015)

En la actualidad, las curtiembres al igual que el comercio del cuero es un pilar industrial de gran importancia ya que constituye comercio como calzado, prendas de vestir, accesorios, elementos de seguridad industrial. Según la piel del animal ya sea mamífero o reptil, constituye procesos diferentes. (Raisman & Gonzalez, 2015)

Inicios del curtido de pieles en Colombia.

Remontándonos a los inicios de la industria de cuero en Colombia se sitúan en los tiempos precolombinos cuando con gran destreza y perspicacia, nuestros aborígenes se protegían de las inclemencias del clima con las pieles de animales, dejando así las semillas de lo que sería la tradición artesanal. Sin embargo, el progreso de las manufacturas con pieles de ganado, ovejas, culebra y conejos despertó el encanto de los consumidores. (Revista Semana, 1985)

Cada piel tiene un propósito, desde las suelas, las correas, bolsos, carteras, sillas de montar, hasta llegar a los delicados guantes con piel de conejo. En los años 70 el tratamiento del cuero vacuno floreció al incrementarse la demanda en el mercado interno y externo. En los años 80 se redujo la demanda por la reducción de los viajes comerciales. (Revista Semana, 1985)

Es por eso por lo que, a mediados de 1977 surge la Asociación Colombiana de Industriales del cuero (Asocueros), surgen como asociación dado que se reduce la calidad, mediante esta asociación buscan aumentar la calidad sin reducir las cantidades de producción.

Mediante lo anterior se crea una familia de empresas que comparten el desarrollo de productos similares, con capacidad de participar en ferias nacionales e internacionales por la calidad de sus productos, lo cual llevo a una mejora continua tanto en los procesos como en los resultados de las curtiembres. (Revista Semana, 1993)

Actualmente a nivel nacional, la industria del curtido y transformación del cuero es una de las más reconocidas por la utilización de compuestos de cromo hexavalente y de las más contaminantes que existen, debido a que la gran mayoría de ellas utilizan métodos y procedimientos rudimentarios en su operación. (Tellez M, Carvajal, & Gaitán, 2004)

Se calcula que en el país existen 800 empresas, que realizan actividades de curtido de pieles. El 60% de estas curtiembres se encuentran ubicadas en la sabana de Bogotá y el 90% de estas en el barrio San Benito, el cual es uno de los centros de producción de cuero más importante del país ubicado en la zona 6 del Sur de Bogotá denominada Tunjuelito, entre la Av. 16 y la 12 (Av. Boyacá) y entre el Barrio San Carlos y el río Tunjuelito. (Tellez M, Carvajal, & Gaitán, 2004)

Las curtiembres ubicadas en el barrio San Benito, vierten sus aguas residuales en la cuenca media del Rio Bogotá, una de las más afectadas por las actividades industriales de la capital, las curtiembres aportan la mayor parte de la gran carga contaminante del sector al recurso hídrico, donde la presencia del cromo (VI), es muy significativa, debido que, para los procesos de curtido al cromo y rebajado del cuero es elemental el uso del cromo. Los

dicromatos se utilizan como agentes oxidantes en el análisis cuantitativo y en el cuero curtido. (Tellez M, Carvajal, & Gaitán, 2004)

Proceso de curtido de pieles

El curtido, consiste en transformar el colágeno de la piel en cuero por la reacción química de los curtientes sintéticos donde las sales de C^{+3} son desde hace más de un siglo uno de los componentes más importantes. Hoy en día mundialmente el 80% de todos los cueros se curten de esta manera. El proceso de curtido al cromo es considerado el más versátil, porque convierte la piel en cuero e impide su pronta degradación. (Raisman & Gonzalez, 2015) El proceso de curtido consta de 4 etapas:

Etapa 1 – Ribera. es el conjunto de operaciones mecánicas y tratamientos químicos que tienen por objeto limpiar las pieles de cuantos componentes no son adecuados para el curtido, aislar la dermis, quitar todas las materias extrañas y dejarla dispuesta para absorber los materiales curtientes. (Tellez M, Carvajal, & Gaitán, 2004). Las operaciones unitarias en la etapa de ribera son:

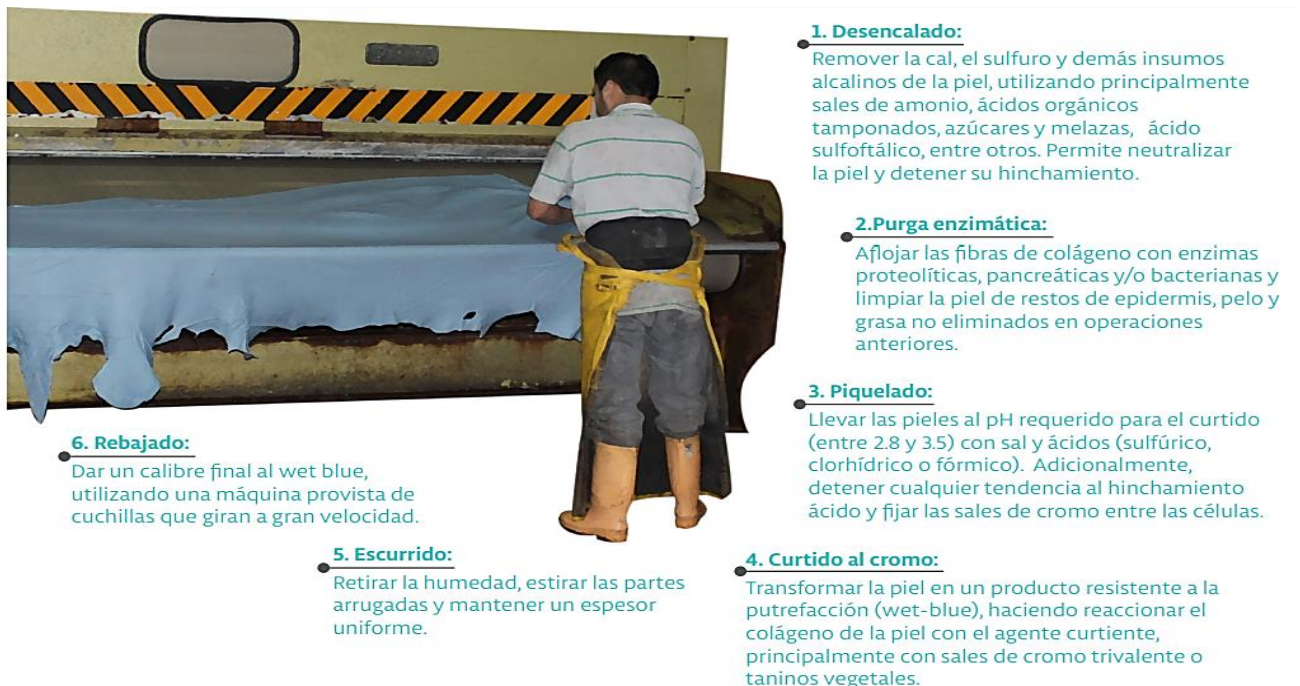
Imagen 1 Operación unitaria etapa ribera



Fuente: Guía de producción más limpia para el sector curtiembres de Bogotá Enfoque en vertimientos y residuos

Etapa 2 – Curtido. las pieles reaccionan con productos químicos, estabilizando su composición orgánica, evitando de esta manera procesos de descomposición y putrefacción. (Tellez M, Carvajal, & Gaitán, 2004). Las operaciones unitarias en el proceso de curtido son:

Imagen 2 Operaciones unitarias etapa de curtido



Fuente: Guía de producción más limpia para el sector curtiembres de Bogotá Enfoque en vertimientos y residuos

Etapa 3 – Acabado en húmedo. Confiere las características de suavidad, color y tacto que son requeridos para cada tipo de cuero, de acuerdo con los requisitos del producto final. (Alcaldía Mayor de Bogotá D.C, 2013). Las operaciones unitarias del acabado en húmedo son las siguientes:

Imagen 3 Operaciones unitarias en la etapa de acabado húmedo

1. Recurtido:

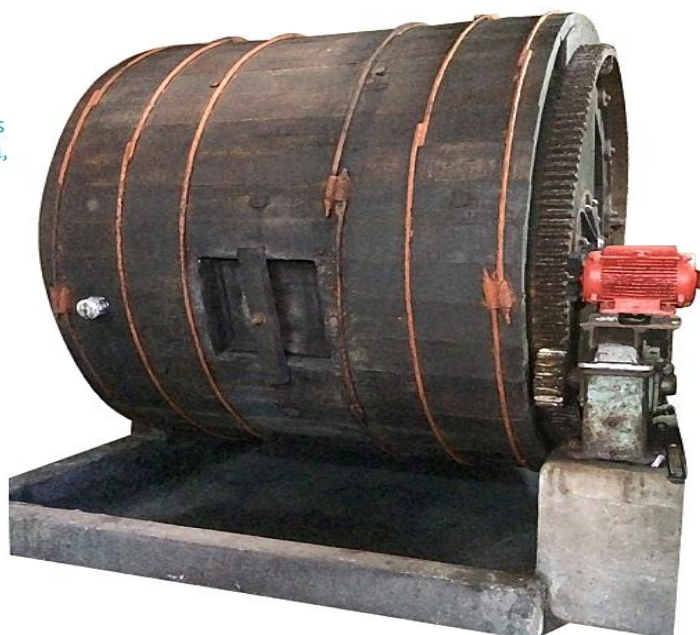
Conceder al wet-blue sus características finales, en cuanto a resistencia y firmeza, dependiendo de su uso final.

2. Teñido y engrase:

Proporcionar un color determinado, dar textura, llenura, suavidad y flexibilidad.

3. Ecurrido:

Retirar la humedad y eliminar las arrugas del lado de la flor mediante rodillos con felpa.



Fuente: Guía de producción más limpia para el sector curtiembres de Bogotá Enfoque en vertimientos y residuos

Etapa 4 - Acabado en seco. Otorga al cuero el aspecto final de color y brillo y permite controlar posibles imperfecciones del producto. Esta etapa se encuentra compuesta en general por las siguientes operaciones y procesos (Alcaldía Mayor de Bogotá D.C, 2013):

Imagen 4 Operaciones unitarias en la etapa de acabado en seco



Fuente: *Guía de producción más limpia para el sector curtiembres de Bogotá Enfoque en vertimientos y residuos*

La mayoría de estas empresas no cuentan con un sistema de tratamiento de aguas residuales y por este motivo, el impacto sobre el río Tunjuelito es muy significativo, porque no tienen en cuenta la peligrosidad de estos vertimientos ni las consecuencias de deterioro para la vida humana y no humana, de las presentes y futuras generaciones. (Daza, 2012)

A raíz de esta problemática es importante buscar alternativas que permitan descontaminar el Río Tunjuelito, sin generar más impactos ambientales negativos, por esto se considera la biorremediación como una posible solución.

La biorremediación como solución económica y viable

La biorremediación consiste en estrategias de remediación biológica, basadas en la capacidad de los microorganismos de realizar procesos degradativos. La biorremediación mejora los ecosistemas dañados, acelerando los procesos naturales de degradación, convirtiendo los desechos en productos menos tóxicos, además de concentrar e inmovilizar sustancias tóxicas, metales pesados; minimizar desechos industriales y rehabilitar áreas afectadas con diversos contaminantes. (Anónimo, Biorremediación, s.f.)

Uso de algas en la remediación de metales pesados.

Las algas son seres planctónicos en su mayoría, productores de oxígeno y biomasa, sin llegar a ser invasivas, su reproducción se da principalmente por división celular (bipartición), sin aumentar el volumen de biomasa, pero si la cantidad de individuos, estas microalgas funcionan como indicadores de calidad del agua y la ecotoxicidad del medio evaluado. (Posada, 2012)

La capacidad de algunos microorganismos como las algas verdes poseen la capacidad de acumular metales pesados, los cuales se consideran de alto riesgo debido a su toxicidad y capacidad de acumulación en tejidos vivos como el cromo hexavalente, el uso de algas para control de la contaminación está limitado a los factores que presente el medio, como el pH, dureza, cloruros, sulfatos entre otros, estos factores pueden limitar los procesos biológicos de las algas, reduciendo la disponibilidad de oxígeno y por ende la presencia de las algas, por la ausencia de un medio adecuado para su desarrollo y propagación. (Posada, 2012)

Las microalgas mediante la biosorción en biomasa viva o muerta tienen alto potencial para reducir los niveles de toxicidad y de transformar los compuestos tóxicos en inocuos.

Procesos de biosorción para reducción de cromo hexavalente.

La sorción de metales pesados mediante procesos de biorremediación como el uso de algas como tratamiento para reducción de cromo hexavalente, presentan ventajas frente a los tratamientos convencionales (físicoquímicos), la investigación consultada se centró en evaluar diferentes medios con propiedades adsorbentes (priorizado medios biológicos) donde las algas son catalogadas como adsorbentes para mejorar la calidad del agua y maximizar la remoción del cromo hexavalente, los sistemas de tratamiento de aguas para la remoción de cromo hexavalente mediante algas se pueden dar en dos fases:

Tabla 3 Procesos adsorción de Cromo hexavalente

BIOADSORCIÓN	BIOACUMULACIÓN
Adsorción pasiva mediante biomasa muerta, dicho proceso dependerá del metabolismo de la biomasa	Uso de biomasa viva para remover metales pesados, lo cual dependerá de procesos metabólicos de las algas y factores físicoquímicos como nutrientes, pH y temperatura.

Dadas las limitantes se prefiere trabajar con la biomasa muerta, respecto a la remoción de cromo hexavalente mediante procesos aerobios o anaerobios, se presenta una reducción en ambos casos a cromo trivalente, procesos realizados por enzimas solubles acopladas a las membranas (reductasas), aportando un electrón, (reduciendo a $Cr_{(VI)}$), aportando posterior dos electrones más (reduciendo a $Cr_{(III)}$), en los medios anaerobios el $Cr_{(VI)}$ es el agente oxidante en la respiración celular.

La bioadsorción de metales pesados con algas dependerá de la taxonomía del alga a utilizar, dado que la pared celular varía según la especie, influyendo también el medio de crecimiento y medio a tratar, aportan cargas a los grupos funcionales de la pared celular.

Según lo anterior se identificaron las algas verdes como la *Chlorella s.p.* como potenciales agentes reductores las cuales son catalogadas dentro de la división *Chlorophyta* (definidas como algas verdes con clorofila de tipo a y b; α , β y γ carotenoides y varios xantófilos, producen amilosa y amilopectina en forma de almidón y su pared celular está constituida de celulosa (b-1,4-gluco-pirosida), grupos hidroxilo, oxo, carboxilo y amino, de la hidroxiprolina, xilanos y manosa, (Guamán Burmeo, 2016)

Para procesos de biorremediación se deben tener en cuenta características fisicoquímicas y microbiológicas del medio a tratar, con lo que podremos evaluar ventajas y limitantes dentro de los procesos de remediación, esto en conjunto con el contaminante y su carga contaminante inicial a reducir lo cual podremos evaluar mediante la ecuación $ER = \frac{CC_{Inicial} - CC_{Final}}{CC_{Inicial}} * 100\%$, dentro de los procesos de biorremediación podemos identificar organismos remediadores como lo son los hongos y levaduras (micorremediación) plantas (fitorremediación) algas (ficorremediación) y bacterias que actúan de manera aerobia o anaerobia para control de contaminantes. (Posada, 2012)

Usos nutricionales y medicinales de las algas.

Valorando las especies más comercializadas las cuales son *Chlorella* y *Spirulina*, usadas en tratamientos para diversas afecciones, para lo cual se han tratado y puesto a manera de capsula por parte de la industria farmacológica, aprovechando sus propiedades.

Datos nutricionales de la *Chlorella S.P.*

La *Chlorella* es un alimento con una alta concentración de nutrientes. Contiene aproximadamente un 60% de proteínas, 18 aminoácidos (incluidos todos los aminoácidos esenciales), vitaminas y minerales.

Su contenido vitamínico se compone de:

Proteínas (50-60%), Vitamina B₁₂ (contenida por algunas especies, pero se requieren mayores estudios) hierro (6-40% del requerimiento diario), vitamina C (ayuda a absorber el hierro), contenidos de otras vitaminas y minerales en pequeñas cantidades (Magnesio, zinc, cobre, potasio, calcio, ácido fólico, vitaminas B, omega-3 (3 gramos de *Chlorella* te da 100 mg de Omega-3), es una fuente considerable de fibra, aunque la mayoría de suplementos no proporcionan 1 gramo de fibra por cápsula. (Ecoinventos, 2020)

Lo más destacado de esta alga, que incluso le da su nombre, es que presenta la mayor concentración de clorofila en un alimento, usada para problemas de intoxicación (usualmente con metales pesados). (Ecoinventos, 2020)

Los beneficios de la ingesta de *Chlorella* incluyen:

- Estimulación del sistema inmunológico (Potencia la actividad inmunológica) y protege el tracto digestivo.
- Regeneración y estimulante celular (estimula la regeneración y desarrollo celular, por lo que es utilizado en cosméticos como cremas corporales)

- Regulador de presión arterial (Ayuda a combatir la hipertensión, donde los estudios en humanos han demostrado su efectividad para reducir la tensión arterial y controlarla)
- Otros estudios indican que ayuda a eliminar metales pesados del cuerpo, junto con otros compuestos tóxicos.

Estudios han demostrado que ayuda a reducir compuestos químicos como dioxinas, que resulta ser un alterador hormonal que se encuentra en productos de origen animal. Además de ayudar en problemas con los niveles de colesterol elevado (Reduce los niveles de colesterol) con la ingesta de 5 a 10 gramos diarios reducirá el nivel de colesterol total y triglicéridos; lo cual resulta un tratamiento óptimo para persona con hipertensión arterial o colesterol ligeramente altos. (Ecoinventos, 2020).

Datos nutricionales *Espirulina s.p*

Las capsulas de *Espirulina* contienen propiedades protectoras del sistema inmunitario, antioxidantes, antivirales; su protección inmunitaria es un combatiente de diferentes tipos de cáncer, tiene la capacidad de retener metales pesados gracias a sus propiedades antitóxicas junto con propiedades como control de azúcar alto (hiperglicemia) y control alto de triglicéridos y grasas (hiperlipidemia). (López E. P., 2013)

Existen lugares que tienen autorización legal para utilizar este producto como complemento alimenticio (Estados Unidos, Japón, cuenca del pacífico), En 1981 la FDA (Departamento para la alimentación y medicamentos estadounidense) autorizó

dicho alimento, indicando que es una fuente de importante valor proteínico, además de contener vitaminas y minerales. (López E. P., 2013)

Según (López E. P., 2013) la absorción de las capsulas oscilan entre un 85 a 95%, siendo rica en vitamina E (antienvjecimiento celular), contiene vitamina B₁ (produce acetilcolina, un neurotransmisor) vitamina B₁₂(necesaria para funcionamiento de tejidos nerviosos, mantiene la mielanina de los axones neuronales) está microalga aporta Fe, Zn, y Cu. Su contenido corresponde a:

Tabla 4 Datos nutricionales Espirulina S.P

Proteínas y aminoácidos	65%
Lípidos	55%
Minerales	7%
Carbohidratos	20%
Humedad	3%

Fuente: Superalimento para un mundo en crisis: Spirulina a bajo costo

Tabla 5 Aminoácidos que contiene la Espirulina S.P.

Isoleucina	5,6%
Leucina	8,7%
Lisina	4,7%
Metionina	2,3%
Fenilamina	4,5%
Treonina	5,2%
Tiptófano	1,5%
Valina	6,5%

Fuente: Superalimento para un mundo en crisis: Spirulina a bajo costo

Tabla 6 Valor nutricional 10 gramos de Spirulina S.P.

Vitamina A (Betacaroteno)	4,60
Vitamina B1 (tiamina)	0,21
Vitamina B2 (riboflavina)	0,21
Vitamina B3 (niacina)	0,0 7
Vitamina B6 (piridoxina)	0,04
Vitamina B12	5,33
Vitamina E (alfa-tocoferol)	0,03

Datos comerciales de las píldoras de Spirulina.

Por su elevado aporte proteínico y su facilidad de asimilación, mantiene el nivel de azúcar en la sangre en niveles adecuados para que no llegue al cerebro la señal que desencadena la sensación de hambre, cuenta con minerales y oligoelementos (Fe,Mg,,K, P, Ca pro vitamina A, Vitaminas B₁, B₂, B₆, B₁₂). (Farmacia Institucional, 2018)

Haciendo de este un suplemento adecuado para el control de peso, control en la carencia de vitaminas y ácidos grasos esenciales, mejor asimilado que vitaminas o productos sintéticos.

Se han descubierto nutrientes dentro de la *Spirulina* como los gilcolípidos, sulfolípidos y una variedad de pigmentos naturales (arcoiris de pigmentos naturales) dando a la *Spirulina* color verde oscuro:

- Clorofila (verde)
- Ficociamina (Azul)
- Caroteno (Naranja)

Beneficios de el consumo de capsulas de *Espirulina*:

- Fortalece el sistema inmunológico
- Aumenta el bienestar general
- Promueve la vitalidad
- Mejora la digestión
- Reduce la fatiga
- Desintoxicante natural
- Aumenta los niveles e energía
- Ayuda a controlar el apetito
- Mantiene la funcion cardiovascular saludable
- Ayuda en el funcionamiento hepatico y renal
- Reduce las inflamaciones

(Farmacia Institucional, 2018)

Evaluación de impacto ambiental.

Generada a partir de herramientas tales como encuestas nos permitieron realizar una identificación de aspectos e impactos ambientales, los cuales fueron evaluados mediante una matriz de evaluación de impacto ambiental (SDA) dándonos a conocer la relevancia y acciones a tomar por cada impacto en específico, priorizando impactos extremos y altos como acciones inmediatas.

Con lo que se generaron los anexos del documento:

Anexo 1 Matriz de evaluación de impacto ambiental (percepción de la comunidad), **Anexo 2**
Matriz de evaluación de impacto ambiental (actividad curtiembre)

Metodología

Matriz de evaluación de aspectos e impactos ambientales.

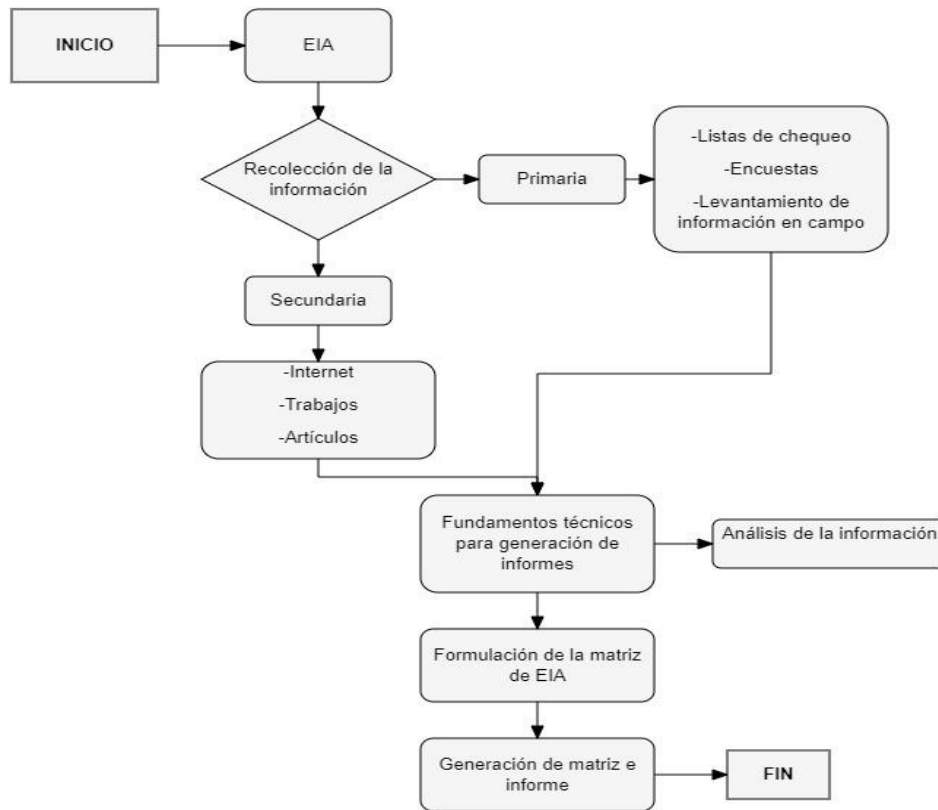
Para dar cumplimiento al primer objetivo específico, se realizó la evaluación de aspectos e impactos en el Barrio San Benito, al sur de Bogotá en la localidad de Tunjuelito, un barrio afectado por su cercanía con las curtiembres. Se seleccionó la matriz de aspectos e impactos ambientales suministrada por la Secretaría Distrital de Ambiente (SDA), la cual es un mecanismo que facilita la identificación de los diferentes aspectos e impactos ambientales generados por un proceso productivo o servicios.

Esta herramienta permitió identificar y valorar la significancia total de cada uno de los aspectos ambientales implicados, de una manera sencilla. En primera instancia se debe iniciar con la identificación de cada uno de los aspectos e impactos de cada actividad del proceso, haciendo una pequeña descripción.

Posteriormente, se definirá la significancia, asignando un valor numérico a cada uno de los impactos, precisando si representa una importancia menor, moderada o alta, teniendo en cuenta una serie de criterios como la incidencia, frecuencia, severidad, alcance y otros de tipo legales.

A continuación, se presenta el paso a paso que se tuvo en cuenta para la aplicación de la evaluación de impacto ambiental en sus diferentes etapas:

Ilustración 2 Flujo de aplicación de la evaluación de impacto ambiental



Fuente: (Moreno & Tellez, 2020)

Muestreo de aguas.

Una vez se estipuló el uso de esta matriz, se inició con un muestro, teniendo en cuenta la proximidad a los focos de contaminación por cromo, el muestreo se realizó en el Río Tunjuelito, sobre la calle 60^A Sur con carrera 19, en el barrio San Benito de Bogotá, una vez se escogieron los puntos de muestreo, se tomaron las muestras siguiendo el protocolo descrito por la Norma Técnica Colombiana NTC-ISO 5667-1 (ICONTEC, 2004), que trata respectivamente de las técnicas de muestreo, la preservación y el manejo de muestras ambientales de agua, teniendo en cuenta de igual forma las versiones NTC-ISO 5667-2 (ICONTEC, 2004), muestreo y técnicas generales de muestreo, NTC-ISO 5667-3

(ICONTEC, 2004), directrices para preservación y manejo de muestras; de la misma manera tenemos en cuenta la norma GTC 100 (ICONTEC,2004) estableciendo la guía para los procedimientos de cadena de custodia de muestras.

Del área se tomaron 6 muestras de microalgas, en isopos de algodón estériles y un litro de agua residual de la cuenca.

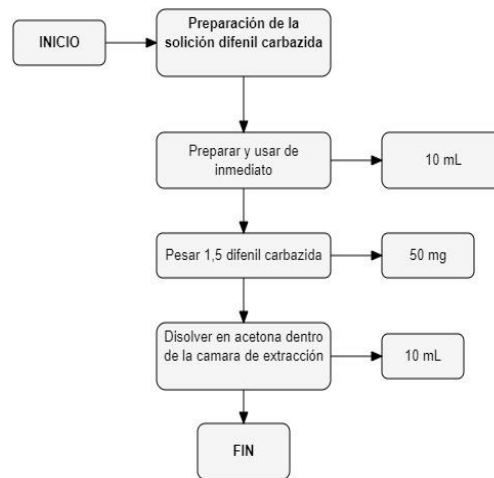
Se tomaron los datos de conductividad y pH en los puntos de muestreo seleccionados. De igual forma se verificó la presencia de contaminación por cromo en las muestras tomadas.

Determinación de cromo hexavalente en muestras de agua.

Realizado el muestreo era indispensable determinar el cromo hexavalente en la muestra, esta determinación se hizo colorimétricamente por una reacción con un reactivo llamado difenilcarbazida [$C_{13}H_{14}N_4O$], que se usó en solución ácida, este reactivo produce una reacción de color directamente proporcional a la concentración de cromo dando como resultado un color rojo violeta de composición desconocida. (Díaz de Santos, Siaka, & Owens, 2001).

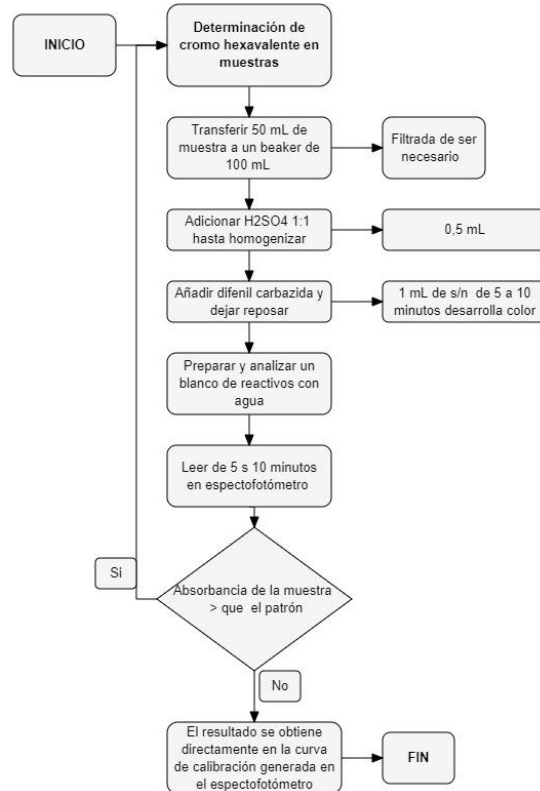
La preparación de la difenilcarbazida fue de la siguiente manera:

Ilustración 3 Flujograma preparación solución difenilcarbazida



Fuente: (Moreno & Tellez, 2020)

Ilustración 4 Procedimiento determinación de cromo hexavalente en aguas

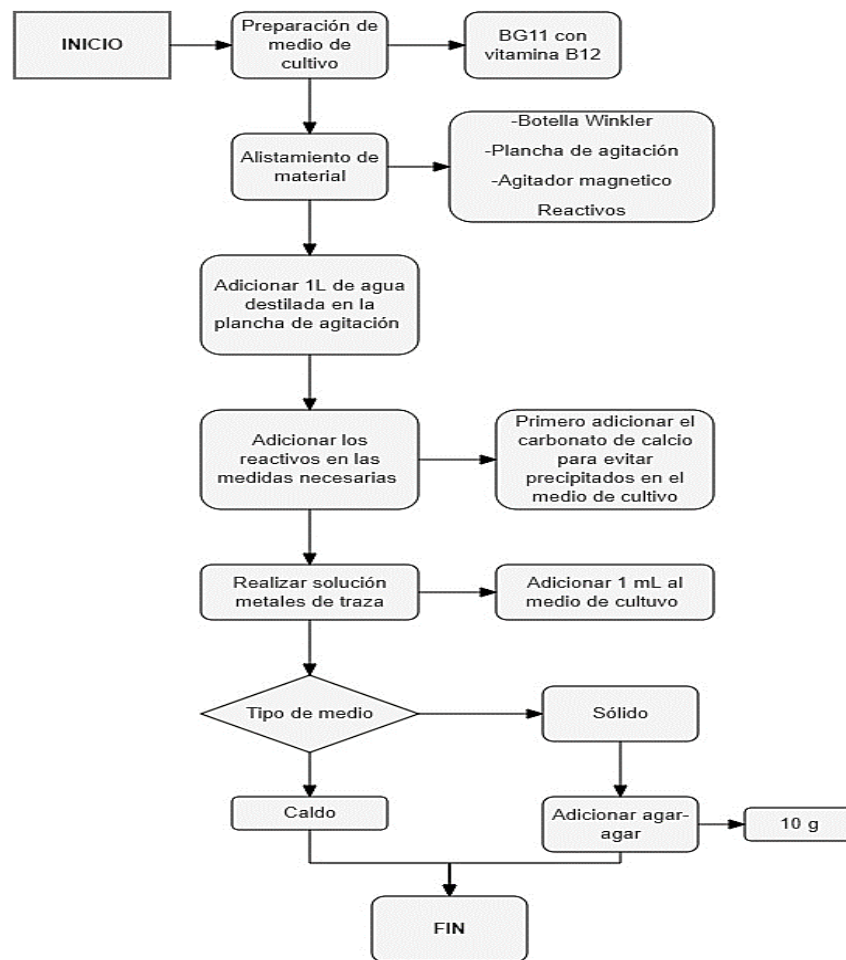


Fuente: (Moreno & Tellez, 2020)

Preparación de medio de cultivo.

Para la manutención y reproducción de las algas, fue necesario hacer un medio de cultivo nutritivo, el medio de cultivo que se escogió es el BG11 con vitamina B12, es uno de los medios de cultivo más eficiente para la proliferación de microalgas donde el procedimiento de preparación es el siguiente:

Ilustración 5 Preparación medio de cultivo BG11 con vitamina B12

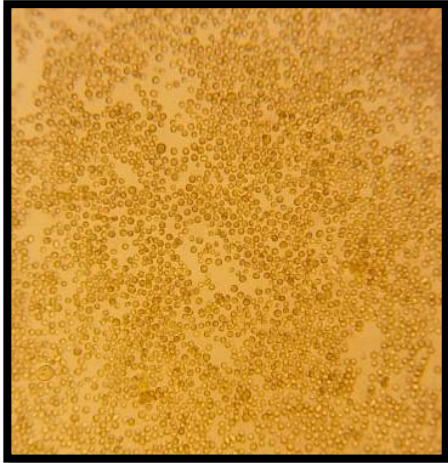


Fuente: (Moreno & Tellez, 2020)

Activación de las muestras en medio de cultivo.

Una vez preparado el medio de cultivo, se realizó el traspaso de 100ml de medio líquido, a botellas, teniendo en cuenta todas medidas técnicas y de asepsia que requiere el aislamiento, evitando así alteración en los resultados del cultivo. En cada una de las botellas se agregó el copo de algodón inoculado, los copos fueron incubados a temperatura ambiente (23 Celsius), durante 10 días, con un fotoperiodo 16/8. Pasado el tiempo de incubación, se realizó una observación microscópica que permitiera la identificación de los morfotipos presentes por medio de una comparación con las claves taxonómicas. Según el catálogo de algas y cianobacterias de agua dulce del Ecuador (Guamán Burneo & Gonzalez Romero, 2016), dan claves taxonómicas, morfológicas, al igual que sus métodos de reproducción y su habitad y distribución:

Tabla 7 taxonomía alga Chlorella sp.

TAXONOMÍA DE LA <i>Chlorella sp.</i>	
Orden	Chlorellales
Familia	Chlorellaceae
Imagen	
Morfología	Células con formas redondeadas que forman colonias hasta de 64 células, con el cloroplasto en forma de plato o copia con presencia o ausencia tanto de pirenoides (encargados de la fijación de CO_2 para los procesos fotosintéticos) rodeados de

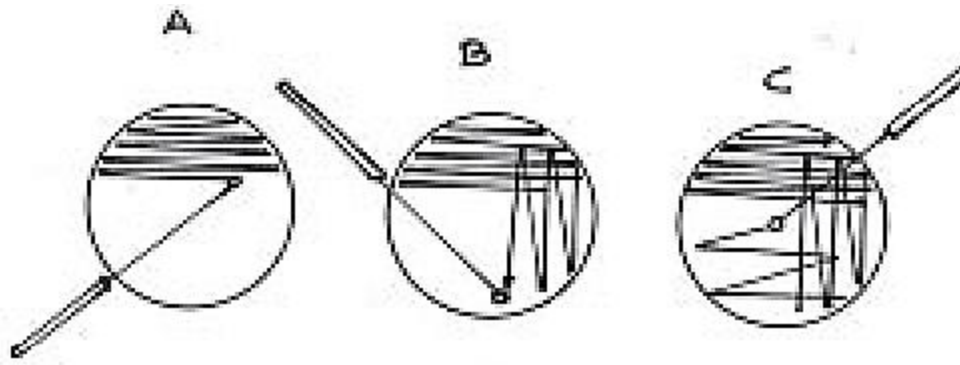
	almidón con o sin mucílago al igual que flagelados o no. Gracias a su alta concentración de clorofila su color es verde y color intenso a hierba (estas poseen mayor concentración de clorofila que cualquier otra planta) algunas especies son cosechadas para consumo humano o alimentación animal.
Tipo de reproducción	Reproducción por autosporas (espora no móvil producida dentro de la célula madre con su misma forma y composición) para reproducirse y diseminarse de manera asexual, esto gracias al rompimiento de la pared celular de la madre con lo que se pueden formar colonias con ayuda de los restos de mucílago.
Habitad y distribución	Se encuentran en medios líquidos (aguas dulces y saldas), suelos, hábitats subterráneos ecosistemas edáficos mediante procesos de endosimbiosis (paso de células procariotas a eucariotas) mediante incorporaciones simbiogénicas de las bacterias. Proponiendo orígenes simbióticos de los cloroplastos y eucariontes.
Fuente: (Guamán Burneo & Gonzalez Romero, 2016)	

Aislamiento de microalgas.

Para realizar el aislamiento de las algas se utilizó método de siembra por estrías en caja Petri con medio BG11 con vitamina B12 sólido. El aislamiento de las microalgas se realizó de la siguiente manera:

1. Limpieza y desinfección del lugar donde se realiza la siembra.
2. Encender el mechero más cercano, con el fin de eliminar todos los microorganismos que se encuentren en el entorno cercano al mechero con un radio aproximado de 30 cm de la llama.
3. Tomar la muestra de agua y destaparla cerca de la llama para evitar el ingreso de agentes externos.
4. Tomar una alícuota de la muestra en un asa redonda esterilizada con calor.
5. Realizar la siembra de la siguiente manera:

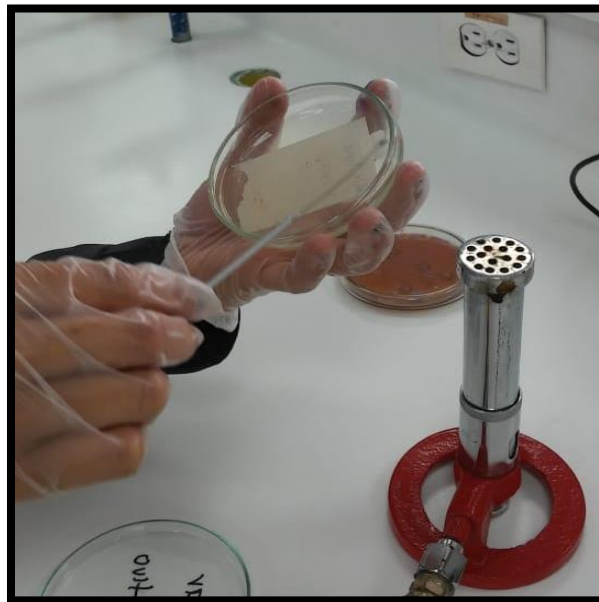
Imagen 5 Siembra de microalgas por estría



Fuente: Microbiología: Técnicas y métodos de estriado en caja Petri y tubo

6. Esta siembra se realizó lo más cercano posible al mechero, para evitar contaminación del medio, y alteración en el aislamiento.

Imagen 6 Siembra de algas



Fuente: (Moreno & Tellez, 2020)

Después de varios meses de trabajo y de una identificación macroscópica y microscópica de los diferentes fenotipos de algas presentes en las muestras, se procedió a analizar su cinética de

crecimiento estableciendo cultivos puros de 15 días, tomando muestras cada 8 días, para verificar la inocuidad del cultivo y corroborar que solo esté presente un fenotipo de microalga en el medio.

Determinación de la capacidad de las algas aisladas como biosorbente de Cromo.

Con base en la literatura, se establecerá la concentración de dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$) con la cual se harán los ensayos de acumulación del metal. A partir de esta concentración se establecieron cultivos líquidos por triplicado para cada uno de los fenotipos aislados y ajustados a una concentración celular definida, en donde se incubarán durante 10 días sacando muestras diarias para la verificación de la concentración de cromo. Se comparará la eficiencia de cada alga en cuanto a la reducción de la concentración de cromo.

Resultados y análisis de resultados

Según los tres objetivos específicos los cuales permitieron dar respuesta al objetivo general, mediante la evaluación de impactos ambientales, observación del punto y muestreo de agua residual, determinación de cromo hexavalente y preparación del medio, activación y manutención de las muestras.

Matriz de aspectos e impactos ambientales.

Con la matriz de evaluación de aspectos e impactos ambientales de la Secretaría Distrital de Ambiente SDA, se hizo una identificación de cada uno de los procesos que conforman la producción de cuero curtido, y otras actividades económicas del barrio San Benito, en las cuales se dieron a conocer los aspectos e impactos más relevantes que se asocian a esta comunidad donde en la matriz se evaluaron los criterios de probabilidad, consecuencia, cumplimiento normativo y estrategia ambiental; dando como resultado la significancia donde: se multiplican

los criterios dando el total de la significancia del impacto evaluado, dando un nivel de intervención dependiendo el resultado:

Tabla 8 Escala de valoración de los impactos

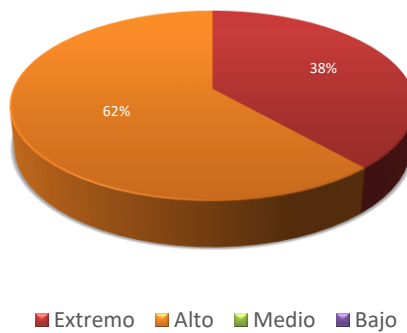
Escala de valoración de significancia	1 a 25	26 a 50	51 a 75	Más de 75
Intervención	Bajo	Medio	Alto	Extremo

Fuente: (Moreno & Tellez, 2020)

Para el diligenciamiento de la matriz, se realizaron veinte seis encuestas a los habitantes del sector, estas encuestas estaban dirigidas a conocer exactamente la problemática que está sufriendo la población aledaña a la zona y al río Tunjuelito, una vez se obtuvo esta información se indagó un sobre el proceso de las curtiembres para poder diligenciar la matriz, teniendo en cuenta una serie de criterios como la incidencia, frecuencia, severidad, alcance y otros de tipo legales arrojando los siguientes resultados que se muestran en la gráfica 1:

Gráfica 1 Evaluación de impacto ambiental percepción de la comunidad.

Evaluación de impacto ambiental en la comunidad



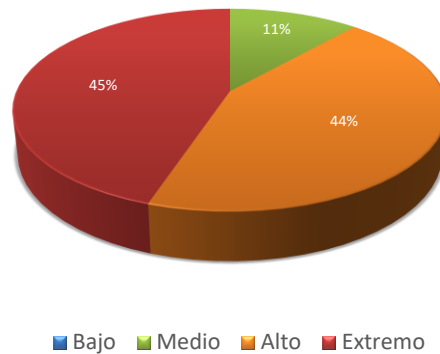
Fuente: (Moreno & Tellez, 2020)

A partir de los resultados de las encuestas se determinaron que los impactos ambientales altos dentro de la EIA de la comunidad corresponden a la inadecuada disposición de los residuos sólidos (RESOL), y residuos peligrosos (RESPEL), vertimientos y lodos, permitiendo así la atracción de vectores. Los impactos ambientales extremos van ligados a la disposición inadecuada de residuos en cuerpos de agua, falta de jornadas apoyadas por la Junta de acción local, la alcaldía local y distrital, al igual que la inseguridad del sector. Se catalogaron 16 impactos como altos y 10 impactos como extremos. Finalmente, esos fueron los resultados obtenidos en la evaluación de impacto ambiental en la comunidad.

Para la evaluación de impacto ambiental de las actividades de curtido de cueros se tuvieron en cuenta 234 criterios de evaluación, donde se analizó la información suministrada por la curtiembre **Cueros Pinillarbe**, obteniendo información respecto a los procesos de las curtiembres y de esta manera se logró diligenciar la matriz, los resultados arrojados por la matriz de evaluación de impactos sobre las actividades de curtido, se evidencia en la gráfica 2:

Gráfica 2 Resultados evaluación de impacto ambiental actividades de curtido

Evaluación de impacto ambiental en las actividades de curtido



Fuente: (Moreno & Tellez, 2020)

Impactos medios: corresponden al uso de sustancias químicas para control de vectores, además de los requeridos para procesamiento del cuero, usados en procesos de acondicionamiento, pelambre, teñido, la generación de RESPEL y RESOL.

También corresponde al uso de recursos naturales de carácter hídrico y eléctrico junto con la generación de lodos dentro de la PTAR, el cual es tratado como RESPEL.

Impactos altos: Están dados por las emisiones atmosféricas con contenido de gases SO_x, NO_x, CO, CO₂, MP, los cuales son precursores del O₃ troposférico, también se forman los compuestos hidrocarbonados (HC), por las combustiones de motores que utilizan combustibles fósiles como la gasolina corriente y el aceite combustible para motores (ACPM), a este impacto se agregan los olores molestos y ofensivos, dado que muchos de ellos son a partir de los gases como los SO_x y la materia orgánica en descomposición.

Los impactos mencionados con anterioridad afectan así a parte de la fauna y flora del sector, el inicio de los procesos de curtido redujo la cantidad de biodiversidad, afectando los ciclos reproductivos y de alimentación de las especies nativas.

El uso de recursos naturales como lo son los combustibles fósiles, agua y energía en procesos de curtido, fomentan el agotamiento de recursos naturales, junto con la generación de RESOL, RESPEL y lodos.

Dado que no todas las empresas cuentan con PTAR o planes de manejo ambiental, existen vertimientos sin aparente tratamiento que vierten sus residuos líquidos en el caudal del río el cual contiene residuos sólidos, olores y colores dados por las partículas coloidales.

Observación del punto y muestreo de aguas residuales.

En el punto de muestreo se observaron plantas con tonos amarillos, lo que indican una falta de nutrientes, específicamente de nitrógeno que da el tono verde a las hojas de las plantas, esto dado a que al encontrarse en contacto con el tramo río Tunjuelito, el cual tiene un potencial de estar saturado con otros compuestos como el cromo VI, el cual no puede ser degradado fácilmente, esto principalmente por el uso de dicromato de potasio en los procesos de curtido, además de residuos sólidos que en contacto con el compuesto tiene potencial de formar nuevos compuestos y precipitados en el cuerpo de agua.

Las muestras que se tomaron fueron 6 isopos impregnados de las algas superficiales adheridas a los costados del río (Imagen 7) y la muestra de agua (Imagen 8) fue tomada directamente del caudal del río.

Imagen 7 Toma muestra algas mediante frotis



Imagen 8 Toma de muestra de agua

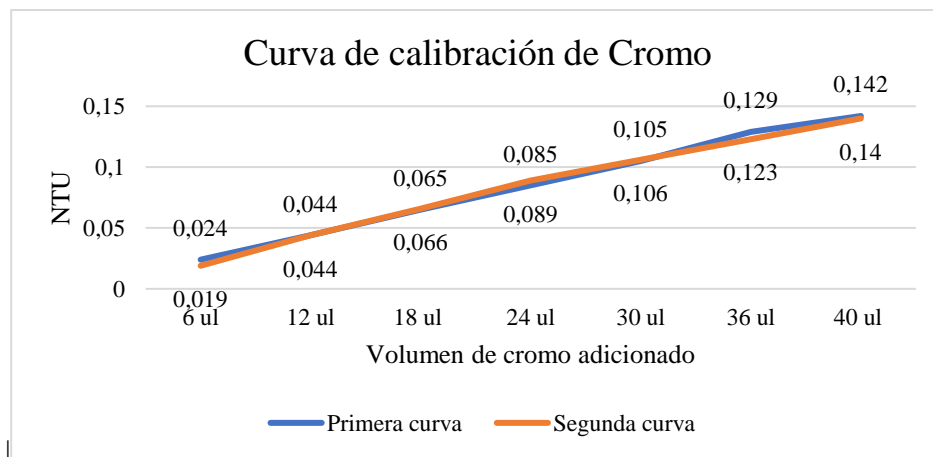


Fuente: (Moreno & Tellez, 2020)

Determinación de cromo hexavalente.

Al terminar el muestreo, se llevaron las muestras al laboratorio donde primero se realizó por duplicado una curva de calibración de cromo con diferentes concentraciones, teniendo en cuenta la determinación del cromo hexavalente por método colorimétrico en espectrofotómetro a 540 nm, en este ensayo se midieron 6 concentraciones de Cr_{+6} (de 6 μl a 40 μl), las cuales permitieron establecer el rango de absorbancia comprendido de 0 a 0,2 mg/L, (Guatibonza Hernandez & Torrinjos Gómez, 2018), el cual arrojó los siguientes resultados para las diferentes concentraciones de cromo:

Gráfica 3 Curva de calibración de cromo en muestras de agua

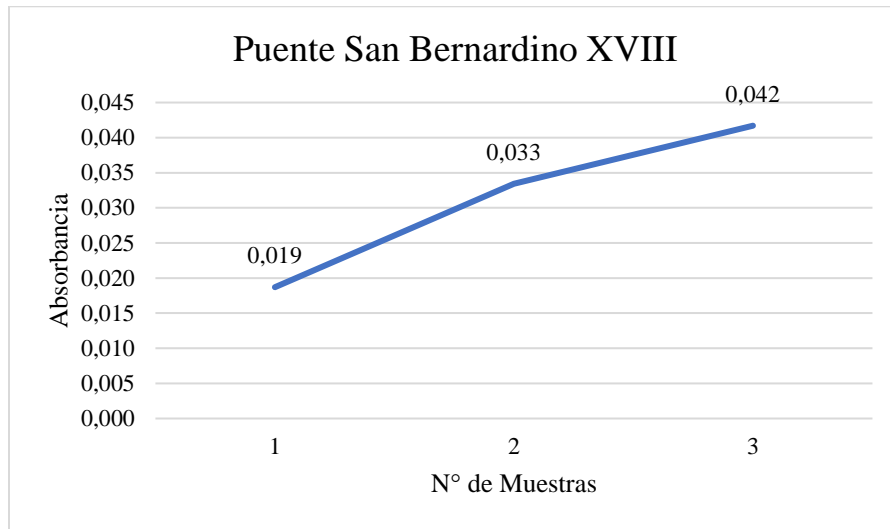


Fuente: (Moreno & Tellez, 2020)

Esta curva es directamente proporcional, lo que quiere decir que a medida que aumenta la concentración de cromo, también aumenta la medida de absorbancia en la muestra.

La muestra tomada del río Tunjuelito arrojó los siguientes resultados lo que indica que este río tiene una gran carga contaminante por cromo. Así como se evidencia en la siguiente gráfica:

Gráfica 4 Concentración de Cromo hexavalente en el punto de toma de muestra



Preparación del medio, activación y manutención de las muestras.

Ya definida la carga contaminante en el río, se realizó la preparación del medio de cultivo, en la primera preparación del medio se observó que uno de los compuestos que conformaban el medio, el ($CaCl_2$) formaba un precipitado, generando opacidad e impidiendo la recepción de luz por parte de las algas. En las preparaciones posteriores se determinó que, para evitar el precipitado, este compuesto se debía incorporar de primeras en la preparación del medio de cultivo, diluyéndolo por completo. Este medio se preparó en diferentes estados, unos sólidos y otros líquidos, como se muestra a continuación:

Imagen 9 cultivos de algas medios líquido y sólido



Fuente: (Moreno & Tellez, 2020)

Los diferentes estados del medio de cultivo son muy importantes, porque, el estado sólido permite realizar una identificación morfológica mucho más eficiente que el estado líquido, sin embargo, en el estado líquido las algas tienen un crecimiento mucho más rápido.

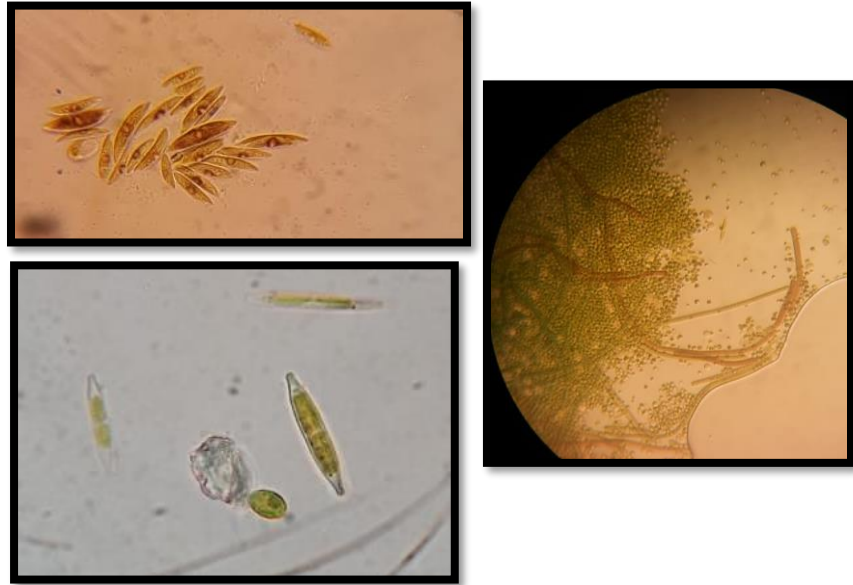
En primera instancia las algas son cultivadas en medio líquido y posteriormente se pasan al medio sólido. Las condiciones de manutención e incubación en el medio líquido fueron de 10 días con una temperatura ambiente de (23° Celsius), con un fotoperiodo de 24h y con una agitación de 100 rpm para mantener una homogeneidad entre el medio y la temperatura. El medio sólido permaneció en incubación a temperatura ambiente con un fotoperiodo de 24h durante 15 días.

Aislamiento.

Para el primer aislamiento de las algas, se realizaron aproximadamente 12 pases del medio líquido a las cajas de Petri, de cada muestra líquida se extrajeron 3 muestras,

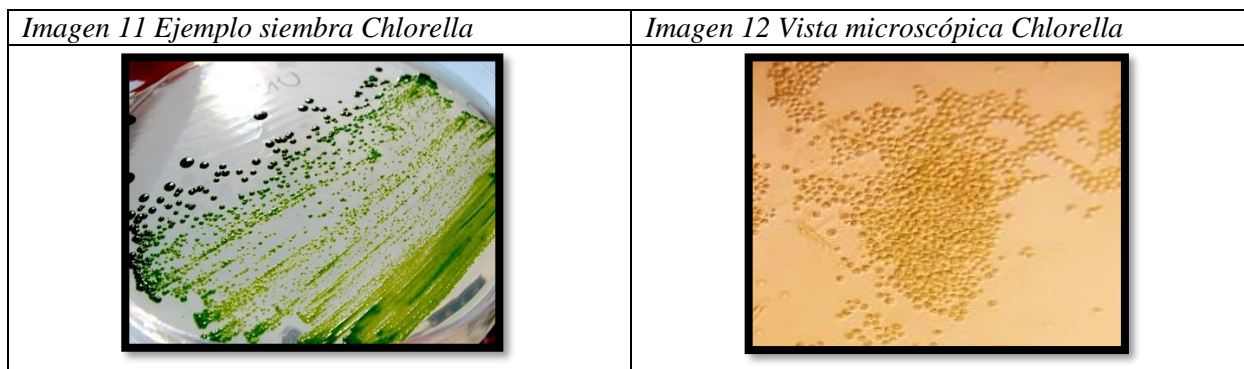
inicialmente los resultados eran confusos debido a que había presencia de muchos morfotipos:

Imagen 10 Mosaico morfotipos encontrados en medio sólido



Fuente: (Moreno & Tellez, 2020)

Debido a que había muchos morfotipos se empezó a realizar una identificación macroscópica de las cajas de Petri que se habían inoculado, uno de los mayores morfotipos presentes era este (Imagen 11), que crecía de manera circular, un color verde muy fuerte, una vez se reconoció este género de algas en las cajas, se procedió a realizar un reconocimiento microscópicamente (Imagen 12) teniendo en cuenta las claves taxonómicas, determinando que estas características corresponden aparentemente al género de algas verdes unicelulares de la familia *Chlorophyta*, comúnmente llamada *Chlorella*.



Sin embargo, otro morfotipo presente en las cajas y muy invasivo era el género de las *Oscillatoria*, una cianobacteria con características similares a las de las algas, por su color verde azulado y a su capacidad de realizar fotosíntesis se confundía con un alga. Se consultaron varios documentos para poder continuar con su aislamiento, pero debido a las pocas propiedades que tienen para reducir metales pesados en el recurso hídrico, este proceso se suspendió y se continuó con la aparentemente *Chlorella sp.*

Después de haber realizado el aislamiento de la *Chlorella* en medio sólido se procedió nuevamente a pasar las algas a medio líquido para obtener un cultivo más puro, con un mayor crecimiento y en un menor tiempo de incubación.

Determinación de remoción de Cromo.

Una vez identificada la posible presencia de *Chlorella sp.* uno de los géneros de algas presente durante el aislamiento y el que se escogió para determinar la capacidad de remoción de cromo como especie nativas del río Tunjuelito; se realizó un ensayo el cual arrojó los resultados que se evidencian en la tabla 9, pero este ensayo no fue eficiente debido a que hubo alteraciones en los resultados a causa de error procedimental, en el

cual la adición de cromo en las muestras fue desproporcional alterando los resultados esperados.

Tabla 9 Concentraciones de cromo vs crecimiento *Chlorella s.p.*

Concentración	Resultado
0,3 ppm	Presenta crecimiento optimo
15 ppm	No se evidencio crecimiento
30 ppm	Se evidencia crecimiento en menor densidad
Control	Blanco (medio de cultivo sin algas)

Fuente: (Moreno & Tellez, 2020)

Se esperaba continuar con los ensayos para concluir finalmente cual era la capacidad de remoción de cromo (VI), que poseían las especies nativas del Rio Tunjuelito, sin embargo, no fue posible continuar, debido a que las instalaciones de la universidad no iban a estar disponibles al público a causa de la emergencia sanitaria producida por el Coronavirus SARCOVID -19.

Teniendo en cuenta este problema, y con el interés de suplir la información faltante del objetivo propuesto (Evaluar el potencial *in vitro* de descontaminación de cromo en aguas por medio del uso algas nativas como tratamiento biológico), se determinó la búsqueda de esta información por medio de una investigación bibliográfica, sobre biorremediación por medio de *Chlorella sp.* u otras microalgas en aguas contaminadas con Cromo, a continuación en la tabla 10 se muestran los resultados que obtuvieron diferentes investigadores:

Tabla 10 Investigación bibliográfica

TITULO	AUTOR	AÑO	FOTOPERIODO	TEMPERATURA °C	MÉTODO DE AGITACIÓN	pH	ORGANISMOS	RESULTADOS
Medición de la capacidad de <i>Chlorella vulgaris</i> y <i>Scenedesmus acutus</i> para la remoción de cromo de aguas de curtiembre	Liliana Ardila Forero	2012	16 - 08 h	25° C ± 1	Se empleó un sistema de aireación compuesto por un compresor, filtros de aire de PTFE de 0,22 micrómetros y conductos plásticos hasta cada botella; la aireación tuvo como fin dar agitación al medio de cultivo y proporcionar el CO2 requerido por las microalgas para su proceso fotosintético	6.6	<i>C. vulgaris</i>	Esta alga es capaz de bioadsorber entre un 88,2% de cromo en agua sintética y en agua residual su potencial de bioadsorción puede llegar alcanzar 30.01%.
Evaluación del uso de la <i>Chlorella vulgaris</i> en la remoción de cromo hexavalente, demanda química del oxígeno en aguas residuales de industrias papeleras a nivel de laboratorio	Bobadilla Abarca & Álvarez Castillo	2018	12 - 12 h	25 °C	Flujo de oxígeno de 6 l/min	8.4	<i>C. vulgaris</i>	Se concluyó que el uso de la <i>Chlorella vulgaris</i> en tratamientos de aguas residuales cumple con la capacidad de remover contaminantes presentes y obtener excelentes resultados.
Análisis de remoción de cromo por acción de la microalga <i>Chlorella sp. Inmovilizada con perlas de alginato</i>	Andrea Mshell Arias Vinueza	2017	12 - 12 h	24° C	Sistema de aireación con bombas de pecera para cada botellón 3L/min	7.8 a 8.0	<i>Chlorella sp.</i>	En el tratamiento de perlas de alginato con <i>Chlorella sp.</i> con una concentración inicial de 10ppm de Cr se dio una remoción de cromo del 61% siendo un porcentaje mayor que el tratamiento control. En los ensayos con una concentración inicial de 50 ppm se removió 51% de cromo obteniendo un mayor porcentaje de remoción en el tratamiento control y con una concentración inicial de 100 ppm una remoción de 60% tanto en el tratamiento control como en el tratamiento con <i>Chlorella sp.</i>
Evaluación de la respuesta fisiológica de la microalga <i>Chlorella sp.</i> a la presencia de metal cromo (vi) en aguas sintéticas.	Daniel Victoria Mena Bolaños	2019	12 - 12 h	25° C	Agitación manual 3 veces al día, la duración total del ensayo fueron 96h	7 a 9	<i>Chlorella sp.</i>	Para que exista un correcto desarrollo de las actividades de <i>Chlorella sp.</i> en presencia de cromo hexavalente sin que se presentes daños a los sistemas fotosintéticos comprometiendo la viabilidad y producción de pigmentos es necesario que esta se encuentre en pH alcalinos y en concentraciones de metal menores a 15 mg/L de metal.
Uso de microalgas (<i>Chlorella sp.</i> y <i>Scenedesmus sp.</i>) inmovilizadas con esferas de alginato para la remoción de cromo.	Fernanda Elizabeth Vega Jimenez	2019	12 - 12 h	16 y 24°C.	Agitación mecánica por medio de biorreactores	9.7	<i>Chlorella sp.</i>	En cuanto a la biorremediación se presentó mayor eficiencia en la remoción de cromo total presente en la solución sintética con la especie <i>Chlorella sp.</i> , teniendo una efectividad de remoción del metal del 86%.
Remediación natural para completar la depuración del cromo (VI) en efluentes de curtiembres.	Eliana Valera Romina Quezada	No registra	12 - 12 h	29,4°C y 34 °C,	No registra	4 a 8.9	<i>Scenedesmus obliquus</i>	Se logró una eficiencia del 92,40 % en remoción del metal partiendo de una concentración inicial de 85,6 mg/L
Biosorción de cromo total en soluciones ideales utilizando una matriz de microalgas nativas inmovilizadas en alginato cálcico	Armas Jara Erick Steve Guevara Lezam Annie Geraldine	2017	12 - 12 h	5°C - 40 °C	Las soluciones fueron agitadas a revolución constante por 24 horas.	4	<i>Chlorella sp.</i>	Las microalgas inmovilizadas (especie <i>Chlorella sp.</i>) ejerce influencia en la biosorción de cromo total, siendo los máximos porcentajes de remoción cercanos al 58% y 40% por la matriz y el blanco respectivamente; indicando que las microalgas mejoran la biosorción de cromo total. El pH y el tiempo de contacto si influyen en el porcentaje de remoción de cromo total, siendo pH 4 el más efectivo con porcentajes de remoción máximos cercanos al 58% y alcanzando el equilibrio a las 6 horas.
Empleo de microalga <i>scenedesmus obliquus</i> en la eliminación de cromo presente en aguas residuales galvánicas ^A	A. Pellón, E Benitez*, J. Frades*, L. García**, A. Cerpa** y E.J. Alguacil****	2003	12 - 12 h	20° C	No registra	4 a 9,5	<i>Scenedesmus obliquus</i>	Se obtuvo una eficiencia de eliminación de Cr (VI) del 12 % y del 27 % para el Cr (II), y en condiciones de inmovilización del alga fue del 95 % para el Cr (III).
Optimización del proceso de remoción del ión cromo en un medio acuoso utilizando el alga <i>Codium santamariae</i> .	Arreaga Quiñonez Lilibeth Pamela Maya Cedeño Suany Michelle	2019	No registra	14°C - 27°C	Agitación a una rapidez de 700 rpm	5 a 9	<i>Codium santamariae</i>	Se determinó la efectividad de remoción realizando lecturas espectrofotométricas y se aplicó cálculos para hallar el porcentaje de remoción el cual tuvo un 34,27% que dieron, con una concentración de 211,8 mg/L, con un tiempo de 60 minutos, con una cantidad de biomasa de 1 g, encontrándose mayor remoción a un pH de 9 y a temperatura ambiente.

Fuente: (Moreno & Tellez, 2020)

Se identifica que este tipo de investigación entrega información totalmente verídica que sirve para la conclusión relacionada con el objetivo general, en el cual la *Chlorella sp* es una de las microalgas con capacidad de remoción de metales pesados, en especial del Cromo, donde el

umbral de remoción para aguas residuales se encuentra desde 30,01% hasta un 88,2 % en aguas sintéticas.

También se logra concluir a partir de la investigación bibliográfica la variación en el pH juega un papel muy importante, ya que de eso depende en que proporción el alga logre reducir la cantidad de cromo. En algunas microalgas se requiere un pH alcalino para lograr una mayor remoción, sin embargo, otras microalgas su remoción es mucho más efectiva cuando su medio es ácido.

El tiempo de permanencia de los microorganismos en presencia de cromo, en algunas ocasiones y dependiendo del tipo de microalga, puede generar una mayor remoción de metales pesados como lo es el caso de la microalga *scenedesmus obliquus* donde en condiciones de inmovilización se logran mejores resultados, por ejemplo 95% de eliminación de Cr (III) en 30 h y 99,8 % en 64 h.

Aunque existen más de 30.000 especies de microalgas cada ecosistema tienen unas que lo caracterizan como en el caso del río Tunjuelito la aparente *Chlorella sp*, la cual contiene propiedades de remoción que pueden ser utilizadas para remover la cantidad de cromo presente en estas aguas residuales cercanas a las curtiembres de San Benito.

Conclusiones

- Para identificar los impactos ambientales del punto de muestreo y lugares aledaños se utilizaron herramientas como listas de verificación y encuestas, mediante las cuales obtuvieron 27 repuestas de las personas de la localidad, con ello se identificaron los aspectos e impactos mediante dos encuestas según correspondiera (comunidad, industria) generando dos matrices de evaluación de impacto ambiental utilizando la metodología propuesta por la SDA donde se pudo evidenciar el descontento de las personas por falta de control en los vertimientos, residuos y olores por parte de la industria curtiembre y los problemas sociales y ambientales generados, se generaron además de las dos matrices informe de resultados e informe de acciones según la significancia del impacto.
- Se aislaron e identificaron dos cepas predominantes en muestras de agua y musgo proveniente del punto de muestreo *Chlorella s.p* y *Oscillatoria*, las cuales se aislaron de las muestras y cultivaron en medio semisólido (agar) y medio líquido(caldo) con el medio de cultivo BG11 con vitamina B12.
- La *Chlorella sp* es una de las microalgas con capacidad de remoción de metales pesados, en especial del Cromo, donde el umbral de remoción para aguas residuales se encuentra desde 30,01% hasta un 88,2 % en aguas sintéticas.
- El pH, juega un papel muy importante ya que de eso depende en que proporción el alga logre reducir la cantidad de cromo. En algunas microalgas se requiere un pH alcalino para lograr una mayor remoción, sin embargo, otras microalgas su remoción es mucho más efectiva cuando su medio es ácido.
- El tiempo de permanencia de los microorganismos en presencia de cromo, en algunas ocasiones y dependiendo del tipo de microalga, puede generar una mayor remoción de

metales pesados como lo es el caso de la microalga *scenedesmus obliquus* donde en condiciones de inmovilización se logran mejores resultados, por ejemplo 95% de eliminación de Cr (III) en 30 h y 99,8 % en 64 h.

Recomendaciones

Al momento de preparar el medio de cultivo es conveniente adicionar primero el carbonato de calcio CaCO_3 para evitar la formación de precipitados que impidan los procesos metabólicos para el crecimiento del cultivo.

Se recomienda el uso de luces led, dado que la luz amarilla a pesar de que sea similar a la luz solar, con una intensidad como la que manejamos en el fotoperiodo 12/12 las algas no se reprodujeron de igual manera que con la luz led.

Bibliografía

- Agencia de Noticias UN , U. (23 de Octubre de 2013). Cuencas de Cali requieren urgente atención ambiental y política. *Agencia de Noticias UN*, pág. 423.
- Agudelo , L., Macías , K., & Suárez , A. (2015). Fitorremediación: la alternativa para absorber metales pesados de los biosólidos. *Revista Lasallista de Investigación*, vol. 2, núm. 1, 57-65. Obtenido de <http://www.redalyc.org/pdf/695/69520110.pdf>
- Alarcón, A., & Ferrara Cerrato. (2015). Biorremediación de suelos y aguas. *Internacional de contaminación ambiental*, 31(2), 211-212. Recuperado el 10 de Mayo de 2019, de <http://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v31n2/v31n2a10.pdf>
- Alfonso , D. (2018). *Emisiones de material particulado de los vehículos en Bogotá. Estrategias de gestión ambiental para su mitigación* . Bogotá D.C : <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/38114/DOCUMENTO%20DIANA%20MELISA%20ALFONSO.pdf?sequence=2&isAllowed=y>.
- Anónimo. (2004). *Asturnatura*. Recuperado el 12 de Junio de 2020, de <https://www.asturnatura.com/mineral/cromita/890.html>
- Anónimo. (2018). Curtición híbrida del cromo. Recuperado el 10 de Mayo de 2019, de <https://www.silvateam.com/es/productos-y-servicios/productos-para-curtiembre/procesos-de-curtido-ecotan/curtici-n-h-brid-a-al-cromo.html>
- Anónimo. (s.f.). *Biorremediación*. Recuperado el 12 de Junio de 2020, de http://www3.uah.es/bioquimica/Tejedor/bioquimica_ambiental/biorremediacion.pdf

- Arana , J., González , S., Navarrete , L., & Caicedo , O. (2017). *Luffa Cylindrica* as a natural adsorbent of cyanide ion in aqueous médium. *Bdigital Portal de revistas UN* , 210 - 215 .
- Arenas , C., Jaramillo , M., & Rincón , A. (2015). *Planteamiento y evaluación de un tratamiento biológico para agua residual proveniente de proceso de minería aurífera* . Manizales : <http://repositorio.ucm.edu.co:8080/jspui/bitstream/handle/10839/1322/Mateo%20Alejandro%20Jaramillo%20Londo%20C3%B1o.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- Argumedo, R., Alarcon, A., Frerrera , R., & Peña, J. (2009). *El género fúngico Trichoderma y su relación con los contaminantes orgánicos e inorgánicos*. Obtenido de Scielo: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992009000400006
- Arias Vinuesa, A. M. (2017). Análisis de remoción de cromo por acción de la microalga *Chlorella* s.p INMOVILIZADA EN PERLAS DE ALGINATO. Quito. Recuperado el 13 de Junio de 2020, de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/13639/1/UPS-QT11400.pdf>
- Ayala, E. (2015). *MICROALGAS: APLICACIONES E INNOVACIONES EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS CONTAMINADAS Y LA PRODUCCIÓN DE BIOCOMBUSTIBLES*. Obtenido de Uniandes: https://www.researchgate.net/publication/278676397_MICROALGAS_APLICACIONES_E_INNOVACIONES_EN_EL_TRATAMIENTO_DE_AGUAS_CONTAMINADAS_Y_LA_PRODUCCION_DE_BIOCOMBUSTIBLES
- Bell , L., DiGangi , J., & Weinberg , J. (2014). *Introducción a la contaminación por mercurio y al convenio de minamata sobre mercurio para las ONG*. América Latina y el Caribe : https://ipen.org/sites/default/files/documents/ipen-booklet-hg-update-v1_6a-es-web.pdf.

- Beltrán Pineda, M. E., & Gómez Rodríguez, A. M. (2016). Biorremediación de metales pesados Cadmio (Cd), Cromo (Cr), y mercurio (Hg). Mecanismos bioquímicos e ingeniería genética: una revisión. *Facultad de ciencias básicas*, 12(2), 172-197. doi:<http://dx.doi.org/10.18359/rfcb.2027>
- Bischoff, H. W., & Bold, H. C. (s.f.). BBM-Medium (Bold's Basal Medium + soil extract + vitamins). Recuperado el 10 de Mayo de 2019, de <http://cccryo.fraunhofer.de/sources/files/medien/BBM.pdf>
- Bobadilla Abarca, A. P., & Álvarez Castillo, P. S. (2018). Evaluación del uso de la *Chlorella vulgaris* en la remoción de cromo hexavalente, demanda química del oxígeno en aguas residuales de industrias papeleras a nivel de laboratorio. Guayaquil. Recuperado el 13 de Junio de 2020, de <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/33203/1/401-1320%20-%20Uso%20de%20la%20Chlorella%20vulgaris%20en%20remocion%20cromo.pdf>
- Cardona, E. (2015). *Microorganismos Potenciales degradadores de Cianuro en residuos de minería de oro*. Obtenido de Bdigital: <http://www.bdigital.unal.edu.co/51440/1/75108346.2016.pdf>
- Carmona Gallardo, M. I. (2016). *Estudio del papel de los genes cio en la resistencia al cianuro de "Pseudomonas pseudoalcaligenes" CECT5344 Pseudomonas*. Obtenido de http://dehesa.unex.es/bitstream/handle/10662/3836/TDUEX_2016_Carmona_Gallardo.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Castillón , F. (2015). DOSificación de cloro y peróxido de hidrógeno en el tratamiento de aguas cianuradas en minera LAYTARUMA S.A. En F. Castillón . Lima, Perú: http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/3963/1/castillon_hf.pdf.
- Cazón, J. P. (2012). Remoción de metales pesados empleando algas. Recuperado el 10 de Mayo de 2019, de http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/2770/Documento_completo_.pdf?sequence=17

CORANTIOQUIA , C. (2016). *Manual de producción y consumo sostenible. Minería de oro*. Antioquia:

<http://www.corantioquia.gov.co/SitePages/girh.aspx>.

Cromo, P. q.-E.-E. (s.f.). *Lenntech*. Recuperado el 10 de Mayo de 2019, de

<https://www.lenntech.es/periodica/elementos/cr.htm>

Cuberos, E., Rodriguez, A. I., & Prieto, E. (2019). Niveles de Cromo y Alteraciones de Salud en una

Población Expuesta a las Actividades de Curtiembres en Bogotá, Colombia. *Revista de salud pública*, 278-289. Recuperado el 20 de 05 de 2020, de

<http://www.scielo.org.co/pdf/rsap/v11n2/v11n2a12.pdf>

Daza, L. V. (2012). Las curtiembres en el barrio san benito de bogotá. Un análisis bioético en la

perspectiva de Hans Jonas. Bogotá. Recuperado el 12 de Junio de 2020, de

<https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/2144/VasquezDazaLucinio2012.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Delgadillo López, A. E., González Ramirez, C. A., Prieto García, F., Villagómez Ibarra, J. R., & Acevedo

Sandoval, O. (2011). Fitorremediación: Una alternativa para eliminar la contaminación. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 14, 591-612. Recuperado el 10 de Mayo de 2019, de

http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1870-04622011000200002&script=sci_arttext

Depci , T., Onal , Y., & Prisbey , K. (2014). Apricot stone activated carbons adsorption of cyanide as

revealed from computational chemistry analysis and experimental study. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 2511 - 2517.

Díaz , I., & Suárez , L. (2016). *Una estrategia pedagógica y didáctica, basada en el trabajo práctico del*

análisis bromatológico y toxicológico de la farriña, alimento obtenido a partir de la manihot sculenta krantz "yuca brava". Bogotá D.C :

<http://repositorio.pedagogica.edu.co/bitstream/handle/20.500.12209/9133/TE-06356.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

Dreckmann , K., Sentías , A., & Núñez , M. (2013). Manual de prácticas de laboratorio Biología de algas . En *Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa* (págs. 13 - 15). Mexico : <http://publicacionescbs.izt.uam.mx/DOCS/biologiadealgas.pdf>.

Dreyfus , G. (2009). El mundo de los microbios. En *El mundo de los microbios 4a ed.* (págs. 44 - 62). México.

Ecoinventos. (07 de Abril de 2020). *Ecoinventos*. Recuperado el 12 de Junio de 2020, de <https://ecoinventos.com/chlorella/>

Estrategia. (16 de Noviembre de 2019). Apenas el 30% de las curtiembres que operan en Villapinzón y Chocontá están en la legalidad. *Estrategia*. Recuperado el 12 de Junio de 2020, de <http://www.extrategiamedios.com/noticias/medio-ambiente/5498-apenas-el-30-de-las-curtiembres-que-operan-en-villapinzon-y-choconta-estan-en-la-legalidad>

Estupiñan, K. (2018 de Septiembre de 2018). *Bogotá*. Recuperado el 12 de Junio de 2020, de Selladas 50 curtiembres en San Benito por contaminación ambiental: <https://bogota.gov.co/mi-ciudad/ambiente/curtiembres-selladas-en-san-benito>

Farmacia Institucional. (2018). *Farmacia Institucional*. Recuperado el 12 de Junio de 2020, de <https://www.farmacaiainstitucional.com/millenium-spirulina-800-mg-suplemento-dietario-100-cap-848723293xJM>

Fernández , B. (2007). *Desarrollo de un nuevo método para la eliminación de cianuro de aguas residuales de mina* . España : https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/31849/UOV0080TBFP_1.pdf?sequence=1.

- Forero, L. A. (2012). Medición de la capacidad de *Chlorella vulgaris* y *Scenedesmus acutus* para la remoción de cromo de aguas de curtiembre. Bogotá. Recuperado el 13 de Junio de 2020, de <http://bdigital.unal.edu.co/10276/1/299936.2012.pdf>
- Gallardo , J. (2014). *Procesos fotográficos artesanales y libro de artista* . España : http://art2investigacion-en.weebly.com/uploads/2/1/1/7/21177240/gallard_js.pdf.
- Garzón , J., Hernández , C., & Rodríguez , J. (2017). Aporte de la biorremediación para solucionar problemas de contaminación y su relación con el desarrollo sostenible. *Universidad y Salud*, 309 - 318.
- Garzón , Jennifer; Rodriguez , Juan; Hernández , Catalina. (2017). En *Revisión del aporte de la biorremediación para solucionar problemas de contaminación y su relación con el desarrollo sostenible* (págs. 309 - 318). Bogotá: https://www.researchgate.net/publication/319414604_Aporte_de_la_biorremediacion_para_solucionar_problemas_de_contaminacion_y_su_relacion_con_el_desarrollo_sostenible.
- Gebresematia, M., Gabbiye, N., & Omprakash, S. (2017). Sorption of cyanide from aqueous medium by coffe husk: Response surface methodolody . *Journal of Applied Research and Technology* , 27 - 35.
- Gómez , C. (2013). *Determinacion de la tolerancia a plomo (pb),cadmio (cd) y mercurio (hg) de Pistia stratiotes "HU AMA", Eichhornia crassipes "PUTU. PUTU" Y Lemna minor "LENTEJIT A"*. Iquito - Perú : <http://repositorio.unapiquitos.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/2949/T%20615.9%20G68.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

Gómez , P. (2012). Degradación de cianuros mediante oxidación química en efluentes industriales. En P. Gómez . España:

http://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/10651/3986/6/TFM_PatriciaGomezLeiva.pdf.

Gonzalez, R., Perez, V., & Martinez, N. (2016). *Humedales subsuperficiales horizontales en la depuración de aguas oleosas. Cinética de remoción de DQO*. Obtenido de Mendeley, Afinidad: Revista de Química Teórica y Aplicada, 73(573), 50–54.:

<https://www.mendeley.com/catalogue/humedales-subsuperficiales-horizontales-en-la-depuraci%C3%B3n-aguas-oleosas-cin%C3%A9tica-remoci%C3%B3n-dqo/>

Grotiuz, G., & Varela , G. (2008). *fisiología y metabolismo microbiano*. Obtenido de

<http://www.higiene.edu.uy/bacvir/materiales/cefa/2008/FisiologiyMetabolismoBacteriano.pdf>

Guamán Burneo , M. C., & Gonzalez Romero, N. P. (2016). Catálogo de microalgas y cianobacterias de agua dulce de ecuador. Ecuador. Recuperado el 25 de Junio de 2020, de

<http://energia.org.ec/cie/wp-content/uploads/2017/09/Catlogo-de-Microalgas-y-Cianobacterias-del-Ecuador.pdf>

Guatibonza Hernandez, B. R., & Torrinjos Gómez, D. M. (Abril de 2018). Aislamiento, Evaluación y Selección de Microorganismos con Capacidad de Detoxificación de Cromo a Partir de Muestras de Agua Contaminadas con Metales Pesados. Recuperado el 25 de Junio de 2020, de

<https://repository.unad.edu.co/handle/10596/17781>

Guerrero , J. (2015). Cianuro: Toxicidad y destrucción biológica. *Biotecnología*, 22.

Guevara Granja, M., & Ramirez, L. J. (2015). *Eichhornia crassipes, SU INVASIVIDAD Y POTENCIAL*.

Obtenido de Redalyc: <http://www.redalyc.org/pdf/4760/476047267001.pdf>

Hampel , C., & Hawley , G. (1985). Diccionario Tecnológico de Química. Barcelona.

- INGALSA. (2009). *Ingalsa industria galvanizadora* . Obtenido de <http://www.ingalsa.net/galvanizacion.html>
- Jaramillo, M., & Arenas , C. (2016). *Planteamiento y evaluación de un tratamiento biológico para el agua residual proveniente de procesos de minería aurífera*. Manizales : <http://repositorio.ucm.edu.co:8080/jspui/handle/10839/1322?locale-attribute=es>.
- Jaszczak, E., Polkowska, Ż., Narkowicz, S., & Namieśnik, J. (2017). Cyanides in the environment—analysis—problems and challenges . *Environmental Science Pollut* , 15929-15948.
- Junco Diaz, R., & Rodriguez, C. (s.f.). *Metabolismo Microbiano*. Obtenido de https://www.researchgate.net/profile/Raquel_Junco_Diaz/publication/288670427_Metabolismo_microbiano/links/5682ef7908ae19758391be87/Metabolismo-microbiano.pdf
- Landford , M. (2004). *Manual del laboratorio fotográfico* . Barcelona .
- Londoño Franco, L. F., Londoño Muñoz , P. T., & Muñoz García, F. G. (2016). Los riesgo de los metales pesados en la salud humana y animal. *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 14(2), 145-153. Recuperado el 10 de Mayo de 2019, de <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v14n2/v14n2a17.pdf>
- López , N., & Lozada , R. (2011). Uso de la biorremediación para el saneamiento de sustratos contaminados por petróleo en el oriente de Venezuela . *Ecodiseño y Sostenibilidad* , 227 - 236.
- López, E. P. (2013). Superalimento para un mundo en crisis: Spirulina a bajo costo. (F. d. Tarapacá., Ed.) *Scielo*, 31(1), 135-139. Recuperado el 12 de Junio de 2020, de <https://scielo.conicyt.cl/pdf/idesia/v31n1/art16.pdf>

- Macías, A. J., & Zambrano, C. J. (2017). *Recuperación de muestras de aguas mediante microorganismos y plantas acuáticas del acuífero salino del sitio Correagua-Manabí*. Bogotá: Bachelor's thesis, Calceta: ESPAM.
- Medina , J. (2018). En *Evaluación del porcentaje de remoción de colorante negro reactivo 5 en aguas residuales del curtido de pieles utilizando 2 hongos lignolíticos* (págs. 56-78). Riobamba, Ecuador: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/10547/1/236T0406.pdf>.
- Medina, S., Torres, M., Duran , Y., Ramirez, R., Herrera, J., & Ramirez, P. (2012). *Degradación de tiocianato por hongos aislados de ambientes mineros y evaluación de su capacidad degradativa*. Obtenido de Scielo: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1727-99332012000100010
- MERCK , S. (2014). *Ficha técnica de cianuro de potasio*. Bogotá: https://www.javeriana.edu.co/documents/4486808/5015300/CIANURO+DE+POTASIO_MERCK.pdf/aac35440-1b82-4ba8-a316-1ce6d9f63a29?version=1.0.
- Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible. (17 de Marzo de 2015). Resolución 0631 de 2015 por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones. Colombia. Recuperado el 12 de Junio de 2020, de https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/d1-res_631_marz_2015.pdf
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible . (2016). *Sentencia T-622/16 Principio de precaución ambiental y aplicación para proteger el derecho a la salud de las personas*. Chocó: http://www.minambiente.gov.co/images/Atencion_y_participacion_al_ciudadano/sentencia_rio_atrato/Sentencia_T-622-16._Rio_Atrato.pdf.

- Ochoa, E. P. (13 de Mayo de 2005). Diseño de un tren de potabilización para una planta generadora de agua embotellada. Cholula, Puebla, México: Departamento de Ingeniería Civil. Escuela de Ingeniería, Universidad de las Américas Puebla. Recuperado el 11 de Junio de 2020, de http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lic/ponce_o_e/capitulo4.pdf
- Ome , O. (2017). *Bioestimulación de microorganismos como estrategia sustentable de pretratamiento para guas residuales industriales del procesamiento de aceite de palma: un estudio de caso en Bogotá D.C.* Bogotá : <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/13928/3/OmeBarreraOscarDanilo2018.pdf>.
- Paiso, C., González, P. S., Talano, M. A., & Agotini, E. (2012). Remediación biológica de Mercurio: Recientes avances. *Rev Latinoam Biotecnol Amb Algal*, 3(2), 119-146. Recuperado el 10 de Mayo de 2019, de <http://eca-suelo.com.pe/wp-content/uploads/2018/08/32.-Remediaci%C3%B3n-biol%C3%B3gica-de-Mercurio-Recientes-avances.pdf>
- Pedregosa, J. (2016). *Dialnet*. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=63906>
- Philip, W. (2008). Ingeniería De Procesos De Separacion (2 Edicion). *Ingeniería De Procesos De Separacion (2 Edicion)*. Recuperado el 12 de Junio de 2020, de <http://saber.ucv.ve/bitstream/123456789/11793/1/2015-I%20-%20Absorci%C3%B3n%20-%20clase%201%20-%20Introducci%C3%B3n.pdf>
- Pontificia Bolivariana , U. (2003). Guía de producción más limpia para el sector de recubrimientos electrolíticos en Colombia. Antioquia: <http://www.cnpml.org/archivospublicaciones/guiapmlelectroliticos/GuiaDePMLParaSectorRecubrimientoElectroliticos.pdf>.
- Posada, R. H. (2012). Procesos de biorremediación. Colombia. Recuperado el 12 de Junio de 2020

- Poveda , R. (2014). “*EVALUACIÓN DE ESPECIES ACUÁTICAS FLOTANTES PARA LA FITORREMEDIACIÓN DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES Y DE USO AGRICOLA PREVIAMENTE CARACTERIZADAS EN EL CANTÓN AMBATO , PROVINCIA DE TUNGURAHUA*. Ecuador : <http://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/8455>.
- Quiroga , P., & Olmos , V. (2009). *Revisión de la toxicocinética y la toxicodinamia del ácidocianhídrico y los cianuros* . Buenos Aires:
https://www.researchgate.net/publication/262441449_Revision_de_la_toxicocinetica_y_la_toxicodinamia_del_acido_cianhidrico_y_los_cianuros.
- Raisman, J. S., & Gonzalez, A. M. (2015). *Hipertextos del área de la biología*. Recuperado el 12 de Junio de 2020, de http://www.biologia.edu.ar/tesis/forcillo/pdf/Curtido_al_cromo.pdf
- Ramirez, A. (2010). *Toxicidad del cianuro. Investigación bibliográfica de sus efectos en animales y en el hombre*. Obtenido de Redalyc: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=37919769011>
- Restrepo , O., Montoya , C., & Muñoz , N. (2016). DEGRADACIÓN MICROBIANA DE CIANURO PROCEDENTE DE PLANTA DE BENEFICIO DE ORO MEDIANTE CEPA NATIVA DE P. Fluorecens. *DYNA*, 45-51.
- Revista Semana. (1985). Industria del cuero. *Semana*. Recuperado el 12 de Junio de 2020, de <https://www.semana.com/especiales/articulo/industria-del-cuero/6760-3>
- Revista Semana. (1993). La industria del cuero. *Revista Semana*. Recuperado el 12 de Junio de 2020, de <https://www.semana.com/especiales/articulo/la-industria-del-cuero/20462-3>
- Reyes, Y. C., Vergara, I., Torres, O., Díaz , M., & González , E. (2016). Contaminación por metales pesados: Implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria. *Revista Ingeniería, Investigación y desarrollo*, 16(2), 66-77. Recuperado el 10 de Mayo de 2019

- Rivera, J. L. (2006). El resfuo líquido de las curtiembres estudio de caso: Cuenca alta del Río Bogotá. *Ciencia e ingeniería Neogranadina*, 16(2), 14-28. Recuperado el 10 de Mayo de 2019, de <https://revistas.unimilitar.edu.co/index.php/rcin/article/view/1230/960>
- Rizzotto , M. (2009). Diccionario de química general e inorgánica . En 2a ed. *CORPUS* (págs. 62 - 64). Rosario, Argentina : <https://ebookcentral-proquest-com.bdigital.sena.edu.co/lib/senavirtualsp/reader.action?docID=3217352>.
- Rodriguez, A. (2017). *Biorremediación de aguas contaminadas con HAP's y cianuro mediante sistemas biosorbentes*. Obtenido de <https://hera.ugr.es/tesisugr/2844369x.pdf>
- Rojas , N. (2004). Revisión de las emisiones de material particulado por la combustión de diésel y biodiesel. *Revista de Ingeniería Universidad de los Andes* , 58 - 68.
- Roma Paumgarten, F., Gomes-Carneiro , M., & Amado Xavier de Oliveira, A. (2017). O impacto dos aditivos do tabaco na toxicidade da da fumaça do cigarro : uma avaliação crítica dos estudos patrocinados pela indústria do fumo . *CSP Cadernos de saúde pública* , 14 - 15.
- Romero , L. (2016). *Diseño de un sistema de biofiltros para el tratamiento de aguas residuales que llegan de manera directa al humedal Neuta en el municipio de Soacha* . Bogotá : <https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/8906/PROYECTO%20DE%20GRADO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- Ruiz, J. (2010). Viaje al asombroso mundo de los hongos. En *Colección La ciencia para todos 2da. Ed.* (págs. 50 - 58). México.
- Salud, O. M. (s.f.). *Organización Mundial de la Salud (OMS)*. Recuperado el 10 de Mayo de 2019, de Evaluación del impacto de salud: https://www.who.int/water_sanitation_health/resources/hia/es/

- Sánchez , L., & Andrade , A. (2009). *Determinación de la concentración letal media (CL 50-96) del cianuro, por medio de bioensayos sobre alevinos de trucha arco iris (Oncorhynchus mykiss)*. Bogotá : <http://repository.lasalle.edu.co/handle/10185/14081>.
- Sanchez, F., & Corredor, S. (2014). Metales tóxicos en Colombia: Presencia, origen, distribución y contaminación en componentes bióticos y abióticos. Recuperado el 10 de Mayo de 2019, de <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2939/CAP%C3%8DTULO%20II%20Metales%20Pesados.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- Sigma-Aldrich. (2014). *Ficha técnica cianuro de sodio* . Estados Unidos : https://www.javeriana.edu.co/documents/4486808/5015300/CIANURO+DE+SODIO_SIGMA.pdf/c3f8ded8-24c6-4848-be28-95ef34fa47f8?version=1.0.
- Suárez , R. (2013). *Guía de métodos de biorremediación para la recuperación de suelos contaminados por hidrocarburos* . Bogotá : <https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/10607/TRABAJO%20FINAL%20cd.pdf?sequence=1>.
- Superintendencia de Industria y Comercio. (2014). *Boletín tecnológico. Tratamiento de aguas residuales*. Bogotá : http://www.sic.gov.co/sites/default/files/files/Propiedad%20Industrial/Boletines_Tecnologicos/Boletin_Tratamiento_aguas_20140624.pdf.
- Unidad de Planeación Minero Energética. (2015). *Guía de orientación para el minero sobre el correcto manejo de vertimientos para la minería de metales preciosos y de carbón* . Córdoba, Montería : http://www1.upme.gov.co/simco/Cifras-Sectoriales/EstudiosPublicaciones/Guia_orientacion_correcto_manejo_vertimientos.pdf.

Unidad de planeación minero energética. (2016). Cromo Balance 2012 - 2016. *Productividad en la minería: ahora viene la parte difícil*. Colombia. Recuperado el 12 de Junio de 2020, de http://www1.upme.gov.co/simco/Cifras-Sectoriales/Datos/mercado-nal/MNAL_CROMO.pdf

Valencia, U. P. (2012). *Servicio Integrado de Prevención y Salud Laboral* . Obtenido de https://www.sprl.upv.es/D7_7_14_1_b.htm

Vásquez , M., Guerrero , J., & Quintero , A. (2010). Biorremediación de lodos contaminados con aceites lubricantes usados . *Revista Colombiana de Biotecnología* , 141 - 157.Obtenido de : <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=77617786014>.

Velasquez, J. (2016). *Contaminación de suelos y aguas por hidrocarburos en Colombia. Fitorremediación como estrategia biotecnológica de recuperación*. Obtenido de UNAD: <http://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/riaa>

Verma, R., Fulekar, M. H., & Pathak, B. (2016). Effect of different culture media formulations on growth and biodiesel production potential. *Journal of Algal Biomass Utilization*, 6(3), 7-15. Recuperado el 10 de Mayo de 2019, de <https://pdfs.semanticscholar.org/ca66/2e3bf1dc9ae46a957c2bce77f3c2404ed3de.pdf>

Anexos

Anexo 1 Matriz evaluación de impacto ambiental percepción de la comunidad

Etapa del proceso	Actividad	Aspecto ambiental	Impacto ambiental	Situación	Incidencia	Evaluación				Significancia (PxCxCN xE)	Escala de valoración significancia
						Estrategia ambiental (E)	Cumplimiento normativo (CN)	Consecuencia (C)	Probabilidad (P)		
Disposición final de residuos	Desecho de materiales residuales	Generación de RESOL	Contaminación de suelos y cuerpos de agua	(A)	(I)	3	3	3	4	108	Extremo
		Generación de RESPEL	Contaminación de suelos y cuerpos de agua con materiales peligrosos	(A)	(I)	3	3	3	2	54	Alto
		Generación de lodos	Contaminación de fuentes hídricas y	(A)	(I)	2	3	3	3	54	Alto
		Generación de vertimientos	suelos	(N)	(I)	3	2	4	4	96	Extremo

		Disposición de vertimientos	Contaminación en red de acueducto	(A)	(I)	3	2	4	3	72	Alto
			Desborde del río	(A)	(D)	3	2	4	3	72	Alto
			Contaminación de agua potable	(A)	(D)	3	2	4	3	72	Alto
Inclusión de la comunidad	Acción popular por parte de la comunidad para resolución de problemas	Olores molestos y ofensivos	Enfermedades cardiorrespiratorias	(N)	(I)	3	3	4	4	144	Extremo
		Atracción de vectores	Enfermedades de carácter vírico y bacteriano	(A)	(I)	2	2	4	4	64	Alto
		Falta de mantenimiento	Hierba alta	(N)	(D)	3	2	4	4	96	Extremo
			Inseguridad	(N)	(I)	3	3	4	3	108	Extremo
Reducción de la contaminación	Planes de recuperación	Generación de planes y programas ambientales	Reducción de la contaminación	(A)	(D)	3	3	4	2	72	Alto
Planes de recuperación	Recuperación de biota	Inclusión de flora y fauna nativa	Aumento de flora y fauna	(N)	(D)	3	3	3	2	54	Alto

	Reducción de la contaminación en suelos	Tratamiento de suelos	Reducción de la contaminación por lodos RESOL y RESPEL	(N)	(D)	3	3	4	2	72	Alto
	Reducción de la contaminación atmosférica	Reducción de emisiones	Reducción de la contaminación atmosférica por gases y material particulado	(N)	(D)	3	3	4	2	72	Alto
	Reducción de la contaminación hídrica	Aumento de PTAR en las curtiembres	Reducción de la carga contaminante vertida en el río	(N)	(D)	3	3	4	2	72	Alto
Microorganismos descomponedores	Descomposición de materia orgánica	Generación de olores molestos y ofensivos	Enfermedades cardiorrespiratorias	(N)	(I)	3	3	4	2	72	Alto
		Atracción de vectores	Enfermedades de carácter vírico	(A)	(I)	3	2	4	4	96	Extremo
		Desborde del río	Emergencia sanitaria	(A)	(D)	3	3	4	4	144	Extremo

		Inundaciones	(A)	(I)	3	3	4	3	108	Extremo	
		Generación de olores molestos y ofensivos	Enfermedades cardiorrespiratorias	(N)	(I)	2	3	4	4	96	Extremo
		Atracción de vectores	Proliferación de enfermedades	(N)	(I)	3	3	4	3	108	Extremo
	Generación, transmisión y proliferación de enfermedades	Desborde del río	Exceso de RESOL tapando desagües	(N)	(D)	3	3	4	2	72	Alto
		Descarga de emisiones	Contaminación atmosférica	(N)	(D)	3	2	3	3	54	Alto
		Generación de olores molestos y ofensivos	Emergencia sanitaria	(A)	(D)	3	3	4	2	72	Alto
		Generación de olores molestos y ofensivos	Enfermedades cardiorrespiratorias	(A)	(I)	3	2	3	4	72	Alto

Fuente: (Moreno & Tellez, 2020)

Anexo 2 Matriz de evaluación de impacto ambiental actividad curtiembres

Etapa del proceso	Actividad	Aspecto ambiental	Impacto ambiental	Situación	Incidencia	Evaluación				Significancia (PxCxCNxE)	Escala de valoración significancia
						Estrategia ambiental	Cumplimiento	Consecuencia (C)	Probabilidad (P)		
RECEPCIÓN DE MATERIAS PRIMAS	Transporte y recepción de materias primas	Derrame de sustancias químicas	Contaminación del suelo	(A)	(I)	3	3	3	3	81	Extremo
		Emisiones atmosféricas	Contaminación atmosférica	(N)	(D)	3	2	4	3	72	Alto
		Uso de combustible (gasolina)	Agotamiento de recursos naturales	(N)	(I)	3	2	4	3	72	Extremo

REMOJO	Transporte y recepción de materias primas	Derrame de sustancias químicas	Contaminación del suelo	(A)	(I)	2	3	4	4	96	Extremo
		Emisiones atmosféricas	Contaminación atmosférica	(N)	(D)	2	3	4	3	72	Alto
		Uso de combustible (gasolina)	Agotamiento de recursos naturales	(N)	(I)	2	3	3	4	72	Alto
	Lavado de pieles	Uso de agua	Agotamiento de recursos naturales	(N)	(I)	3	2	4	4	96	Extremo
		Uso de energía	Agotamiento de recursos naturales	(N)	(I)	3	3	3	4	108	Extremo
		Uso de sustancias químicas	de materia primas	(N)	(I)	2	2	3	4	48	Medio
			Contaminación de cuerpos	(N)	(D)	3	2	3	4	72	Alto

			de agua por vertimientos								
		Generación de lodos	Alteración de hábitats acuáticos	(A)	(I)	3	3	3	4	108	Extremo
		Generación de RESOL	Contaminación atmosférica	(N)	(I)	2	2	4	3	48	Medio
			Contaminación del agua	(A)	(I)	2	2	3	4	48	Medio
			Contaminación del suelo	(N)	(I)	3	3	3	4	108	Extremo
		Generación de RESPEL	Afectación de hábitat de especies acuáticas	(N)	(D)	3	3	4	4	144	Extremo
			Contaminación del suelo	(N)	(D)	3	3	4	2	72	Alto
			Alteración de la calidad del aire	(N)	(I)	2	2	4	3	48	Medio

			Contaminación de cuerpos de agua	(N)	(D)	3	3	4	4	144	Extremo
			Pérdida de especies	(A)	(I)	3	3	4	2	72	Alto
		Generación de vibraciones y ruidos	Molestias en la comunidad y visitantes	(A)	(I)	3	2	3	4	72	Alto
			Contaminación auditiva	(N)	(D)	3	2	4	4	96	Extremo
		Reutilización del agua	Minimización del uso de agua	(N)	(D)	2	3	4	4	96	Extremo
			Preservación del recurso hídrico	(N)	(I)	3	2	3	4	72	Alto
		Reducción de grasas en las pieles lavadas	Reducción de grasas aceites y sólidos en	(N)	(D)	3	3	3	4	108	Extremo

			los vertimientos									
		Uso de maquinaria industrial	Agotamiento de combustibles fósiles	(N)	(D)	3	2	4	4	96	Extremo	
			Molestias en la comunidad y visitantes	(N)	(I)	3	3	4	3	108	Extremo	
		Vertimiento de agua con sólidos suspendidos	Afectación de hábitat de especies	(A)	(I)	3	3	4	4	144	Extremo	
			Contaminació n de cuerpos de agua	(A)	(I)	3	3	4	4	144	Extremo	
			Pérdida de especies acuáticas	(A)	(I)	3	3	4	3	108	Extremo	

		Vertimiento de agua industrial	Afectación de hábitat de especies	(A)	(I)	3	3	4	4	144	Extremo
			Contaminación de cuerpos de agua	(N)	(D)	3	3	4	4	144	Extremo
			Olores ofensivos	(N)	(I)	2	3	4	3	72	Alto
			Pérdida de especies acuáticas	(A)	(I)	3	3	3	3	81	Extremo
			Uso de agua	Agotamiento de R. N	(N)	(I)	3	3	3	4	108
PELAMBRE Y CALERO	Llenado de bombos	Uso de sustancias químicas	Agotamiento de materias primas	(N)	(I)	2	3	4	4	96	Extremo
			Contaminación de aguas	(A)	(I)	3	3	3	4	108	Extremo
		Generación de lodos	Contaminación de aguas	(N)	(I)	3	3	4	4	144	Extremo

			Alteración de la calidad del aire	(A)	(I)	2	3	3	3	54	Alto
			Contaminación del suelo	(N)	(D)	3	3	4	3	108	Extremo
			Olores ofensivos	(N)	(I)	2	3	4	4	96	Extremo
			Contaminación de cuerpos de agua	(N)	(D)	2	3	4	3	72	Alto
		Mezcla de residuos	Contaminación de cuerpos de agua	(A)	(I)	2	3	4	3	72	Alto
			Contaminación del suelo	(N)	(D)	3	3	4	3	108	Extremo
			Contaminación de cuerpos de agua subterráneas	(A)	(I)	3	3	3	3	81	Extremo

		Vertimientos	Afectación de hábitat de especies	(N)	(I)	3	3	4	3	108	Extremo
	Vaciado de bombos	de agua con sólidos suspendidos	Pérdida de especies acuáticas	(N)	(I)	2	3	4	4	96	Extremo
			Contaminación de aguas	(N)	(I)	2	3	3	4	72	Alto
		Vertimiento de agua industrial	Afectación de hábitat de especies acuáticas	(N)	(I)	3	2	4	2	48	Medio
			Contaminación de aguas	(N)	(D)	3	3	4	3	108	Extremo
			Olores ofensivos	(N)	(I)	2	3	3	4	72	Alto
			Pérdida de especies	(N)	(I)	2	3	4	3	72	Alto

		Derrame de sustancias químicas	Contaminación de aguas	(A)	(D)	3	3	4	3	108	Extremo
	Transporte y recepción de materias	Emisión de gases	Contaminación atmosférica	(N)	(D)	3	2	4	3	72	Alto
		Uso de combustible	Agotamiento de combustible	(N)	(D)	3	2	3	3	54	Alto
		Uso de energía	Agotamiento de R.N	(N)	(D)	3	2	4	2	48	Medio
DESCARNADO	Eliminación de carne y grasa	Generación de residuos peligrosos (envases contaminados)	Alteración de la calidad del aire	(A)	(I)	2	3	3	3	54	Alto
			Contaminación de aguas	(A)	(I)	3	3	3	3	81	Extremo
			Contaminación del suelo	(N)	(I)	3	3	4	3	108	Extremo
			Olores ofensivos	(N)	(D)	3	3	3	4	108	Extremo

			Contaminación de aguas	(A)	(D)	3	3	4	3	108	Extremo
		Generación de vibraciones y ruidos	Contaminación auditiva	(N)	(D)	2	3	3	4	72	Alto
		Generación de ruidos y vibraciones	Molestias en la comunidad y visitantes	(N)	(D)	3	3	3	4	108	Extremo
		Uso de maquinaria industrial	Agotamiento de combustible	(N)	(D)	3	1	4	3	36	Medio
			Molestias en la comunidad y visitantes	(N)	(D)	3	2	4	3	72	Alto
		Derrame de sustancias químicas	Contaminación de aguas	(A)	(D)	3	3	4	3	108	Extremo
		Emisión de gases	Contaminación atmosférica	(N)	(D)	3	2	4	3	72	Alto

	Transporte y recepción de materias	Uso de combustible	Agotamiento de combustible	(N)	(D)	3	2	3	4	72	Alto
		Uso de agua	Agotamiento de R. N	(N)	(D)	3	3	4	4	144	Extremo
RENDIDO Y PURGA	Llenado de bombos	Uso de sustancias químicas	Alteración de hábitat de especies	(A)	(I)	3	3	4	3	108	Extremo
			Contaminación de aguas	(A)	(D)	3	3	4	3	108	Extremo
		Contaminación del suelo	(A)	(I)	2	3	4	3	72	Alto	
	Rendido y Purga	Generación de residuos peligrosos	Alteración de la calidad del aire	(A)	(I)	3	1	4	3	36	Medio
			Contaminación de cuerpos de agua	(A)	(I)	3	1	4	4	48	Medio
			Olores ofensivos	(N)	(I)	3	3	3	4	108	Extremo

			Contaminación de cuerpos de agua	(A)	(I)	3	3	4	4	144	Extremo
			Alteración de hábitat de especies	(N)	(I)	3	3	4	4	144	Extremo
	Vaciado de bombos	Vertimiento de agua industrial	Contaminación de aguas	(N)	(D)	2	3	4	3	72	Alto
Olores ofensivos			(N)	(I)	3	3	4	4	144	Extremo	
Pérdida de especies acuáticas			(N)	(I)	3	3	4	4	144	Extremo	
Derrame de sustancias químicas			(N)	(D)	3	3	4	3	108	Extremo	
Transporte y recepción de materias	Emisión de gases	Contaminación atmosférica	(N)	(I)	3	3	4	3	108	Extremo	
	Uso de combustible	Agotamiento de R. N	(N)	(D)	3	3	3	4	108	Extremo	

		Uso de agua	Agotamiento de R. N	(N)	(D)	3	1	4	4	48	Medio
DESENCALADO Y LAVADO	Llenado de bombos	Uso de sustancias químicas	Agotamiento de materias primas	(N)	(D)	3	2	4	2	48	Medio
			Contaminación de cuerpos de agua	(A)	(D)	3	3	4	2	72	Alto
		Generación de Lodos	Alteración de hábitat de especies acuáticas	(N)	(I)	3	3	4	3	108	Extremo
	Contaminación del aire		(N)	(I)	3	3	3	3	81	Extremo	
	Contaminación del suelo		(N)	(D)	3	3	3	2	54	Alto	
	Contaminación de cuerpos de agua		(N)	(D)	3	3	2	4	72	Alto	
	Desencalado y Lavado										

			Pérdida de especies	(N)	(I)	2	3	4	3	72	Alto	
			Alteración de la calidad del aire	(A)	(I)	2	3	4	3	72	Alto	
		Generación de residuos peligrosos (envases contaminados)	Contaminación de cuerpos de agua	(N)	(D)	3	2	4	3	72	Alto	
			Contaminación del suelo	(A)	(I)	2	3	4	3	72	Alto	
			Olores ofensivos	(N)	(D)	3	3	3	3	81	Extremo	
			Contaminación de cuerpos de agua	(A)	(I)	3	3	4	2	72	Alto	
			Vertimiento de agua con sólidos suspendidos	Afectación de hábitat de especies	(N)	(I)	2	3	4	3	72	Alto
	Vaciado de bombos			Contaminación de aguas	(N)	(I)	2	3	4	4	96	Extremo

			Pérdida de especies	(A)	(I)	2	3	4	3	72	Alto
		Vertimiento de agua industrial	Afectación de hábitat de especies acuáticas	(N)	(I)	2	3	4	4	96	Extremo
			Contaminación de aguas	(N)	(D)	2	3	4	3	72	Alto
			Olores ofensivos	(A)	(D)	3	3	3	4	108	Extremo
			Pérdida de especies acuáticas	(A)	(I)	3	3	3	3	81	Extremo
			Derrame de sustancias químicas	Contaminación de aguas	(A)	(D)	3	3	4	3	108
		Emisión de gases	Contaminación atmosférica	(N)	(I)	3	2	4	4	96	Extremo

	Transporte y recepción de materias	Uso de combustible	Agotamiento de combustible	(N)	(I)	3	2	4	3	72	Alto
		Uso de agua	Agotamiento de R. N	(N)	(D)	3	3	4	3	108	Extremo
PIQUELADO	Llenado de bombos	Reutilización del agua	Minimización del uso de agua	(N)	(I)	3	2	3	4	72	Alto
		Uso de energía	Agotamiento de R. N	(N)	(I)	3	3	4	4	144	Extremo
		Uso de sustancias	Agotamiento de materias primas	(N)	(I)	3	2	4	3	72	Alto
		Químicas	Contaminación de aguas	(A)	(I)	2	3	4	3	72	Alto
		Generación de RESPEL	Contaminación de aguas	(A)	(I)	2	3	3	3	54	Alto
		Desencalado y Lavado	(envases)	Contaminación del suelo	(A)	(I)	2	3	4	3	72

		contaminados)	Olores ofensivos	(A)	(I)	3	2	4	4	96	Extremo	
			Contaminación de aguas	(A)	(I)	2	3	4	3	72	Alto	
		Generación de vibraciones y ruidos	Contaminación auditiva	(N)	(D)	2	3	4	3	72	Alto	
			Molestias en la comunidad y visitantes	(N)	(D)	3	2	4	4	96	Extremo	
		Uso de maquinaria industrial	Agotamiento de combustible	(N)	(I)	3	3	3	4	108	Extremo	
			Molestias en la comunidad y visitantes	(N)	(D)	3	3	4	3	108	Extremo	
		Vertimiento de agua industrial	Afectación del hábitat de especies	(N)	(I)	3	2	4	3	72	Alto	
			Afectación en la fauna	(N)	(D)	3	3	3	4	108	Extremo	
		Vaciado de bombos										

			Contaminación de aguas.	(N)	(D)	3	3	4	4	144	Extremo
			Pérdida de especies	(N)	(I)	3	2	3	4	72	Alto
		Derrame de sustancias químicas	Contaminación de aguas	(A)	(D)	3	3	3	4	108	Extremo
	Transporte y recepción de materias	Emisión de gases	Contaminación atmosférica	(N)	(I)	3	3	4	4	144	Extremo
		Uso de combustible	Agotamiento de combustible	(N)	(D)	3	3	4	3	108	Extremo
		Uso de agua	Agotamiento de R. N	(N)	(I)	3	3	3	4	108	Extremo
CURTIDO Y BASIFICADO	Llenado de bombos	Uso de energía	Agotamiento de R. N	(N)	(I)	3	2	3	4	72	Alto
		Uso de sustancias Químicas	Agotamiento de materias primas	(N)	(I)	2	3	3	4	72	Alto

			Contaminación de aguas	(A)	(D)	2	3	4	4	96	Extremo
			Contaminación del aire	(N)	(I)	2	2	3	4	48	Medio
	Curtido y basificado	Disposición inadecuada de residuos	Contaminación del agua	(N)	(D)	3	3	4	3	108	Extremo
			Contaminación del suelo	(N)	(I)	2	3	4	3	72	Alto
			Aumento de demanda en rellenos sanitarios	(N)	(I)	2	3	4	3	72	Alto
			Afectación de hábitat de especies	(N)	(I)	2	3	3	3	54	Alto
			Contaminación del aire	(A)	(I)	2	3	2	3	36	Medio
		Generación de Lodos	Contaminación del suelo	(N)	(I)	2	3	4	3	72	Alto

			Contaminación de aguas	(N)	(I)	3	2	4	4	96	Extremo
			Pérdida de especies	(N)	(I)	2	3	4	3	72	Alto
		Generación de residuos peligrosos (envases contaminados)	Alteración de la calidad del aire	(A)	(I)	3	3	3	4	108	Extremo
			Contaminación de aguas	(A)	(I)	2	3	3	4	72	Alto
			Contaminación del suelo	(A)	(D)	3	3	3	3	81	Extremo
			Olores ofensivos	(N)	(D)	2	3	3	4	72	Alto
			Contaminación de aguas	(A)	(I)	3	3	4	4	144	Extremo
		Generación de vibraciones y ruidos	Contaminación auditiva	(N)	(D)	3	2	3	4	72	Alto
			Molestias en la comunidad y visitantes	(A)	(D)	3	3	4	3	108	Extremo

		Uso de maquinaria industrial	Agotamiento de combustible	(N)	(D)	3	1	4	4	48	Medio
			Molestias en la comunidad y visitantes	(N)	(D)	3	2	3	4	72	Alto
		Vertimiento de agua industrial	Afectación del hábitat de especies	(N)	(D)	3	3	4	2	72	Alto
	Afectación en la fauna		(A)	(D)	2	3	4	3	72	Alto	
	Contaminación de aguas		(N)	(D)	3	3	4	3	108	Extremo	
	Pérdida de especies acuáticas		(A)	(I)	3	3	4	4	144	Extremo	
	Derrame de sustancias químicas		(A)	(I)	3	3	4	3	108	Extremo	
	Vaciado de bombos										

	Transporte y recepción de materias	Emisión de gases	Contaminación atmosférica	(N)	(D)	3	2	3	3	54	Alto
		Uso de combustible	Agotamiento de combustible	(N)	(D)	3	2	3	3	54	Alto
		Uso de agua	Agotamiento de R. N	(N)	(I)	2	2	4	3	48	Medio
NEUTRALIZADO	Llenado de bombos	Uso de sustancias Químicas	Agotamiento de materias primas	(N)	(D)	3	2	3	4	72	Alto
			Contaminación de aguas	(A)	(D)	3	3	3	3	81	Extremo
		Uso de energía	Agotamiento de R. N	(N)	(D)	3	2	2	4	48	Medio
	Neutralizado	Generación de vibraciones y ruidos	Contaminación auditiva	(N)	(D)	3	3	3	4	108	Extremo
			Molestias en la comunidad y visitantes	(N)	(D)	3	3	4	2	72	Alto

		Uso de maquinaria industrial	Agotamiento de combustible	(N)	(D)	3	2	3	4	72	Alto
			Molestias en la comunidad y visitantes	(N)	(D)	2	2	4	4	64	Alto
		Vertimiento de agua industrial	Afectación del hábitat de especies	(N)	(I)	3	2	4	3	72	Alto
	Afectación en la fauna		(N)	(I)	2	3	4	3	72	Alto	
	Contaminación de aguas		(N)	(I)	3	3	3	4	108	Extremo	
	Pérdida de especies		(N)	(I)	3	3	4	4	144	Extremo	
	Vaciado de bombos	Derrame de sustancias químicas	Contaminación de aguas	(A)	(I)	3	3	4	3	108	Extremo
		Emisión de gases	Contaminación atmosférica	(N)	(D)	3	2	3	3	54	Alto

	Transporte y recepción de materias	Uso de combustible	Agotamiento de combustible	(N)	(D)	2	3	4	3	72	Alto
		Uso de agua	Agotamiento de R. N	(N)	(D)	3	2	3	3	54	Alto
RECURTIDO	Llenado de bombos	Uso de sustancias Químicas	Agotamiento de materias primas	(N)	(D)	3	3	3	4	108	Extremo
			Contaminación de aguas	(A)	(I)	2	3	4	3	72	Alto
		Uso de energía	Agotamiento de R. N	(N)	(I)	2	3	3	4	72	Alto
	Recurtido	Generación de vibraciones y ruidos	Contaminación auditiva	(N)	(D)	3	2	3	4	72	Alto
			Molestias en la comunidad y visitantes	(N)	(D)	2	3	4	3	72	Alto
		Generación de residuos peligrosos	Alteración de la calidad del aire	(N)	(I)	3	3	4	3	108	Extremo

	(envases contaminados)	Contaminación de aguas	(A)	(I)	3	3	3	2	54	Alto
		Contaminación del suelo	(A)	(I)	3	3	3	2	54	Alto
		Olores ofensivos	(N)	(D)	2	3	3	4	72	Alto
		Contaminación de aguas	(A)	(I)	3	2	3	2	36	Medio
	Uso de maquinaria industrial	Agotamiento de combustible	(N)	(D)	3	3	3	4	108	Extremo
		Molestias en la comunidad y visitantes	(N)	(D)	2	3	2	4	48	Medio
	Vertimiento de agua industrial	Afectación del hábitat de especies	(N)	(I)	3	3	4	3	108	Extremo
		Afectación en la fauna y flora.	(N)	(I)	3	3	3	2	54	Alto
	Vaciado de bombos									

			Contaminación de cuerpos de agua	(N)	(D)	3	3	3	3	81	Extremo
			Pérdida de especies	(N)	(I)	3	3	3	2	54	Alto
		Uso de agua	Agotamiento de R. N	(N)	(D)	2	2	3	4	48	Medio
	Llenado de bombos	Uso de sustancias Químicas	Agotamiento de materias primas	(N)	(D)	3	2	4	4	96	Extremo
			Contaminación de cuerpos de agua	(A)	(I)	3	3	2	3	54	Alto
		Uso de energía	Agotamiento de R. N	(N)	(D)	3	2	3	4	72	Alto
	TEÑIDO.	Teñido	Vertimiento de agua industrial	Afectación del hábitat de especies	(N)	(D)	3	3	3	4	108

	Vaciado de bombos	Afectación en la fauna y flora	(N)	(I)	3	2	3	3	54	Alto	
		Contaminación de cuerpos de agua	(N)	(D)	2	3	3	4	72	Alto	
		Pérdida de especies acuáticas	(N)	(D)	2	3	4	4	96	Extremo	
		Derrame de sustancias químicas	Contaminación de aguas	(A)	(I)	2	3	3	4	72	Alto
	Transporte y recepción de materias	Emisión de gases	Contaminación atmosférica	(N)	(D)	3	3	3	4	108	Extremo
		Uso de combustible	Agotamiento de combustible	(N)	(D)	2	2	3	4	48	Medio
		Uso de agua	Agotamiento de R. N	(N)	(D)	3	2	3	4	72	Alto

ENGRASE	Transporte y recepción de materias	Derrame de sustancias químicas	Contaminación de cuerpos de aguas	(A)	(I)	2	3	4	4	96	Extremo
		Emisión de gases	Contaminación atmosférica	(N)	(D)	3	2	3	3	54	Alto
		Uso de combustible	Agotamiento de combustible	(N)	(D)	3	2	3	4	72	Alto
	Engrase	Uso de agua	Agotamiento de R. N	(N)	(D)	3	3	3	4	108	Extremo
		Uso de energía	Agotamiento de R. N	(N)	(D)	3	2	3	4	72	Alto
		Generación de grasas animales y vegetales	Contaminación de cuerpos de agua	(N)	(I)	3	3	3	4	108	Extremo
		Vertimiento de agua industrial	Afectación del hábitat de especies acuáticas	(N)	(I)	2	3	2	4	48	Medio

			Afectación en la fauna	(N)	(I)	3	3	4	3	108	Extremo
			Contaminación de cuerpos de agua	(N)	(D)	3	3	4	4	144	Extremo
			Pérdida de especies acuáticas	(N)	(I)	2	3	4	4	96	Extremo
PINTURA Y ACABADO	Pintura y Acabado	Uso de energía	Agotamiento de R. N	(N)	(D)	3	3	2	4	72	Alto
		Uso de sustancias Químicas.	Agotamiento de materias primas	(N)	(I)	3	2	3	4	72	Alto
			Contaminación de cuerpos de agua	(A)	(I)	3	3	3	4	108	Extremo
		Emisión de vapores	Contaminación atmosférica	(N)	(D)	2	3	3	4	72	Alto

		Generación de residuos peligrosos (envases contaminados y hojalata)	Alteración de la calidad del aire	(N)	(D)	2	3	4	2	48	Medio
			Contaminación de cuerpos de agua	(N)	(I)	2	3	3	2	36	Medio
			Contaminación del suelo	(A)	(I)	3	2	3	4	72	Alto
			Olores ofensivos	(A)	(I)	2	2	4	4	64	Alto
			Contaminación de cuerpos de agua	(A)	(I)	2	3	3	2	36	Medio
		Uso de maquinaria industrial	Agotamiento de combustible	(N)	(I)	2	3	3	3	54	Alto
			Molestias en la comunidad y visitantes	(N)	(D)	3	1	4	4	48	Medio

DISPOSICIÓN INTERNA DE RESIDUOS	Enlonar residuos	Mezcla de residuos (plástico, papel, residuos orgánicos, peligrosos y lodos)	Contaminación de cuerpos de agua	(A)	(I)	3	3	2	3	54	Alto	
			Contaminación del suelo	(A)	(I)	2	2	3	3	36	Medio	
			Contaminación de aguas	(A)	(I)	2	3	4	3	72	Alto	
	Almacenamiento temporal de residuos sólidos	Generación de olores ofensivos	Generación de lixiviados	Contaminación de cuerpos de agua	(A)	(I)	3	3	4	3	108	Extremo
			Molestias en la comunidad y visitantes	(N)	(D)	3	2	3	4	72	Alto	
			Alteración de la calidad del aire	(N)	(D)	3	3	2	3	54	Alto	
	Lavado de las instalaciones	Uso de agua	Agotamiento de R. N	(N)	(D)	3	3	4	4	144	Extremo	

		Vertimiento de agua industrial	Afectación de hábitat de especies	(N)	(D)	3	2	3	3	54	Alto
			Afectación en la fauna	(N)	(I)	3	3	3	2	54	Alto
			Contaminación de cuerpos de agua	(N)	(I)	3	2	4	3	72	Alto
			Pérdida de especies	(N)	(I)	3	3	4	3	108	Extremo
DISPOSICIÓN EXTERNA DE RESIDUOS	Disposición en el relleno sanitario	Disposición inadecuada de residuos (plástico, papel, residuos orgánicos y peligrosos, lodos)	Contaminación del aire	(N)	(I)	3	3	4	2	72	Alto
			Contaminación de cuerpos de agua	(A)	(D)	3	3	3	2	54	Alto
			Contaminación del suelo	(N)	(D)	3	3	4	3	108	Extremo
			Aumento de demanda en	(N)	(I)	2	2	4	3	48	Medio

			rellenos sanitarios									
--	--	--	------------------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Fuente: (Moreno & Tellez, 2020)

