

# FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Ambiental

“INFLUENCIA DEL TIEMPO DE RESIDENCIA EN LA  
REMOCIÓN DE CROMO HEXAVALENTE CON  
*Chlorophyta sensu lato* EN DRENAJE ÁCIDO DE MINA”

Tesis para optar el título profesional de:

INGENIERO AMBIENTAL

Autores:

Jorge Huaman Ramos

Luis Alberto Martínez Mendoza

Asesor:

M. Cs. Juan Carlos Flores Cerna

Cajamarca - Perú

2019



## DEDICATORIA

Dedico esta investigación a mi querida esposa quien me apoyo en todo momento a concluir este gran reto, siempre apoyando incondicionalmente y a mis hijos queridos Anthony Daniel y Marycielo, motores incondicionales de mi vida.

También a mis padres por darme la vida y hermanos que también son parte de esto, y en especial a la señora Edita Muñoz Epiquien, quien me apoyo cien por ciento siempre sin ninguna conveniencia personal.

**Jorge**

Dedico este trabajo a mi esposa que fue motivándome día a día para continuar creciendo profesionalmente.

A mis pequeños Yohan Jairo y Luis Edric, quienes a su corta edad me han hecho experimentar lo maravilloso de vivir y han colmado mi vida de un inexplicable e inigualable amor.

**Luis Alberto**

## AGRADECIMIENTO

Doy gracias a Dios por permitirme vivir una maravillosa e inolvidable experiencia dentro de mi universidad, gracias a cada maestro que hizo posible este gran reto, quienes fueron parte principal para lograr un objetivo más en la vida.

Como no agradecer a mis padres por darme la vida, y brindarme la educación que en sus posibilidades y alcances tuvieron; como también a y mis hermanos Luis y Celina, y como no compartir este trabajo con mi recordado hermano menor, Guillermin que goza en la presencia de Dios.

Agradezco de corazón a mi esposa por ser mi compañera en esta etapa de mi vida, juntamente con mis queridos hijo, como también a la señora Edita.

Quiero agradecer al Ing. Juan Carlos Flores Cerna, por su valioso apoyo y colaboración profesional, para presentar este trabajo de investigación.

**Jorge**

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a la Universidad Privada del Norte, por ser nuestra casa superior de estudio, por darme la oportunidad de estudiar y convertirme en un gran profesional; a nuestros profesores, quienes con su aporte han contribuido con mi formación personal, proporcionándome todos los conocimientos necesarios.

A nuestro profesor asesor Ing. Juan Carlos Flores Cerna. quien con esfuerzo, dedicación, conocimiento y experiencia ha permitido la culminación de este trabajo a través de sus comentarios, correcciones y sugerencias.

Finalmente extendemos nuestro agradecimiento a todas aquellas personas que, de una u otra forma, colaboraron en la realización de este trabajo.

**Luis Alberto**

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>DEDICATORIA</b> .....	2
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	3
<b>ÍNDICE DE CONTENIDOS</b> .....	4
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	5
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	6
<b>RESUMEN</b> .....	7
<b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN</b> .....	8
1.1 Realidad problemática .....	8
1.2 Formulación del problema .....	44
Objetivos .....	44
1.3.1. Objetivo general .....	44
1.3.2. Objetivos específicos .....	44
Hipótesis .....	44
1.1.1. Hipótesis general .....	44
1.1.2. Hipótesis específicas .....	44
<b>CAPÍTULO II. METODOLOGÍA</b> .....	45
2.1. Tipo de investigación .....	45
2.2. Materiales, instrumentos y métodos .....	45
2.3. Procedimiento .....	46
<b>CAPÍTULO III. RESULTADOS</b> .....	52
<b>CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES</b> .....	56
<b>REFERENCIAS</b> .....	59
<b>ANEXOS</b> .....	62

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Tipos de adsorción según las fuerzas de interacción entre adsorbato y absorbente....	36
Tabla 2 Fuerzas de interacción para enlaces de adsorción.....	37
Tabla 3 Valores de Cromo hexavalente remanente después del tratamiento de Biosorción en tiempos determinados.....	52
Tabla 4 Valores promedio de porcentaje de remoción de cromo hexavalente después del tratamiento por Biosorción.....	54
Tabla 5 Valores de pH de muestras analizadas antes y después del tratamiento de Biosorción.....	55

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de especiación de complejos de Cr <sup>3+</sup> presentes en solución acuosa. ....	17
Figura 2. Hidróxido de sodio (NaOH) .....	18
Figura 3. Ácido clorhídrico .....	20
Figura 4. Chlorophyta sensu lato.....	22
Figura 5. Formación de las algas.....	23
Figura 6. Esquema de adsorción en monocapa (izquierda) y multicapa (derecha).....	39
Figura 7. Estructura de la anhidroglucosa. ....	40
Figura 8. Estructura molecular del monómero de la lignina. ....	41
Figura 9. Algas marinas. ....	47
Figura 10. Lavado y Secado de algas. ....	47
Figura 11. Preparación de reactivos químicos. ....	48
Figura 12. Secado de algas marinas. ....	48
Figura 13. Adsorción del filtro biológico (nylon). ....	49
Figura 14. Esquema de las etapas principales. ....	50
Figura 15. Sistema completo de bombeo. ....	51
Figura 16. Grafica representativa del Cromo hexavalente remanente después de filtrar el agua contaminada con este metal.....	53
Figura 17. Porcentaje de remoción de cromo hexavalente por biosorción, respecto al tiempo. ....	54
Figura 18. Valores de pH, de muestras analizadas después del tratamiento de biosorción. ....	55

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación lleva como título "Influencia del tiempo de residencia en la remoción de cromo hexavalente con *Chlorophyta sensu lato* en drenaje ácido de mina", el cual tiene como objetivo el tratamiento de aguas contaminadas con metales pesados, en el presente caso es con iones de cromo. Para ello se recolectaron algas marinas de la especie *Chlorophyta sensu lato*, para su activación de estas se utilizó hidróxido de sodio y ácido clorhídrico al 5% en peso y volumen respectivamente. Por último, la cantidad de algas por filtro fue de 200 g, para todos los tiempos de tratamiento.

Se diseñó y construyó un sistema donde el agua contaminada estaría en constante movimiento para que el tratamiento se lleve a cabo. Del tratamiento en cuestión se obtuvo una eficiencia del 86.02% en la remoción de cromo hexavalente, en un tiempo máximo de 8 horas, y así mismo a esto contribuyó el incremento del pH en un valor promedio de 6.71.

De esto podemos concluir que el proceso si es efectivo, rentable y posible de realizar, de la misma manera se concluye que el tiempo es uno de los parámetros para el proceso de biosorción y con ello el aumento de pH.

**Palabras clave:** Influencia, Remoción, Cromo hexavalente, Drenaje ácido de mina.

## CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

### 1.1 Realidad Problemática

La problemática de la contaminación ambiental es una realidad delicada y compleja que es importante abordarla, para informar a la sociedad en el desequilibrio ambiental en el que nos encontramos. La contaminación del agua se debe a la incorporación de materias extrañas como microorganismos, productos químicos, residuos industriales, cloacales y residuos arrojados por particulares. Estas materias y subproductos deterioran la calidad del agua haciéndola no útil para los usos pretendidos (consumo e higiene), perjudicando el medio acuoso y ser causante de males o enfermedades para la salud humana.

La contaminación del agua puede afectar de dos formas al ser humano: por consumo directo de agua y consumo indirecto a través de productos ya contaminados. (Vilchez, 2009)

El impacto ambiental creciente, producto de las actividades humanas y de las empresas, principalmente del vertido de sustancias químicas liberadas al ambiente por procesos productivos, ha favorecido el desarrollo de una disciplina basada en la toxicología y la ecología, siendo a eco toxicología, recomendada como herramienta indispensable en las evaluaciones de impacto ambiental y en la obtención de autorizaciones gubernamentales para realizar actividades productivas, por los expertos del programa de las Naciones Unidas para el medio ambiente, así como por la Organización Mundial de la Salud.

El cromo consta como un elemento de la tabla periódica que pertenece a los metales pesados. En concentraciones normales es un nutriente esencial para los seres humanos y la naturaleza, se le encuentra en rocas, plantas, suelos, animales, humus y gases

volcánicos; sin embargo, en concentraciones elevadas que puede provocar efectos adversos a la salud (Sherameti & Varma, 2011). Este metal es altamente utilizado en procesos industriales como en la metalurgia, en la limpieza de material de vidrio de laboratorio, como agente valorante en análisis volumétricos, en la producción de acero inoxidable, para preservar la madera, en el curtido de cuero, entre otros (Khasim, Kumar, & Hussain, 1989; Fernández & Guzman, 2000; Alloway, 2013) Existiendo comúnmente el cromo trivalente (III), que es a veces requerido en cantidades traza por el metabolismo de los seres humanos y el cromo hexavalente (VI) conocido como sustancia tóxica y carcinogénica (Krishna & Philip, 2005).

La Organización Mundial de la Salud (OMS) ha establecido que la calidad del agua se puede evaluar a través de diversos microorganismos que son indicadores de contaminación fecal debido a que estos conservan una relación directa con microorganismos patógenos que se pueden encontrar en aguas residuales difíciles de identificar y cuantificar. *Escherichia coli* es una de las bacterias claves para establecer parámetros microbiológicos de calidad de agua, siendo un indicador de contaminación fecal, ya que cumple con diferentes características, como hacer parte de la carga intestinal de organismos sanos, estar presente cuando hay patógenos intestinales lo están y siendo un agente es fácil de cuantificar (Campos, Cardenas, & Guerrero, 2008). Dentro de las alternativas en tratamientos para la desinfección de agua se encuentran los procesos de oxidación avanzada (POAs), los cuales representan una opción novedosa para la eliminación de compuestos orgánicos e inorgánicos de una manera eficiente. Así mismo presentan características que favorecen la descontaminación tales como: el tiempo reducido en la inactivación de microorganismos, la menor generación de lodos, menor efecto residual toxicológico, mineralización completa de compuestos,

tratamiento de contaminantes en baja concentración, la mínima formación de subproductos que permiten el uso de luz solar como fuente de energía. (Glover, Gomez, Reyes, & Teresa, 2010)

En Perú, organizaciones no gubernamentales, estudiantes e instituciones federales buscan revertir la alarmante contaminación de sus aguas, cuya calidad se ha visto alterada por las actividades de la población y de la industria, que vierten sus aguas residuales y desperdicios sólidos a los ríos y los mares.

El río Rímac, la principal fuente de suministro de agua para la población de Lima y que abastece a 10 millones de ciudadanos, recibe desde su nacimiento hasta su desembocadura en el mar cientos de descargas de aguas residuales, mayoritariamente domésticas y, en menor proporción, industrial y minera. Para combatir la contaminación en este río, la Autoridad Nacional del Agua (ANA) promovió un plan de 10 años, que cuenta con la participación del Gobierno de Corea del Sur y cuyo presupuesto es de varios centenares de millones de dólares. Juan Carlos Castro, el director de la ANA, comenta que ese proyecto "tiene que ser el ejemplo a seguir" en todas cuencas del país. Entre 2013 y 2014 se registraron 4.147 fuentes de afectación en las tres principales vertientes hidrográficas del país y eso provocó que algunos sectores de la población tomaran cartas en el asunto. Así, los estudiantes de la Universidad Nacional de Ingeniería crearon Waposat, una empresa que desarrolla productos tecnológicos para la medición de la calidad del agua en tiempo real. (Autoridad Nacional del Agua (ANA), 2016)

**a) Antecedentes empíricos**

(Pellon, Benitez, Frades, & Cerpa, 2013), en la Habana – Cuba se presentó como problema el vertido de aguas residuales con alto contenido de cromo, procedentes de las industrias galvanoplásticas, es un peligro potencial que se le presenta a la población y al medio ambiente. Se conoce que algunos metales, incluyendo los pesados, a concentraciones bajas participan en diferentes rutas metabólicas, pero en altas concentraciones pueden ser tóxicos para muchos organismos vivos. Algunos microorganismos toman los metales pesados del medio ambiente, siendo capaces de concentrar y acumular grandes cantidades de los mismos en diferentes estructuras citoplasmáticas, sin que lleguen a ocasionar efectos tóxicos en los mismos.

Las microalgas son un ejemplo de este comportamiento, ya que tienen afinidad por los metales polivalentes, de ahí la posibilidad de su aplicación como agentes descontaminantes en aguas que contengan iones metálicos disueltos como método alternativo cuando no se pueda utilizar otro método de recuperación. En este trabajo se realizó un estudio de eliminación de cromo presente en las aguas residuales galvánicas, empleando un cultivo de *scenedesmus obliquus*. Se obtuvo una eficiencia de eliminación de Cr (VI) del 12 % y del 27 % para el Cr (III), y en condiciones de inmovilización del alga fue del 95 % para el Cr (III).

(Parvaze AhmadWani, ShaziaWahid, RuchiSingh, & Ajijolaiya MorufatKehinde, 2017), en Madrid – España, describe al Cr (VI) que se utiliza en diversas industrias y su tratamiento inadecuado conduce a la contaminación del medio ambiente con cromo hexavalente. Los microbios convierten el Cr (VI) tóxico en Cr (III) menos soluble, por lo que pueden usarse para la reducción del Cr (VI) del medio ambiente contaminado. Sobre la base de los hechos anteriores, el estudio fue diseñado para ver el efecto de las

reductasas de cromo y los antioxidantes producidos por *Bacillus subtilis* MAI3 para la desintoxicación del cromo hexavalente y el aumento del crecimiento de la soja.

Se encontró que el pH óptimo para la reducción de Cr (VI) por la especie *Bacillus* MAI3 era 7. El máximo de cromo hexavalente se redujo significativamente a 50, 100  $\mu\text{g} / \text{ml}$  de cromo hexavalente, 25 y 35°C de temperatura, pero mostró menos reducción a 45°C. Se encontró que la presencia de Cr (III) reducido en solución (sobrenadante) y sedimento era  $30 \pm 1,0$  y  $57 \pm 2,5$   $\mu\text{g} / \text{ml}$  después de la reducción de Cr (VI) por la cepa MAI3 de *Bacillus*. Esto indica que una mayoría del Cr (III) reducido se inmoviliza por la cepa *Bacillus* MAI3. El cromo reductasa encontrada en el extracto libre de células redujo casi todo el Cromo hexavalente en comparación con los desechos celulares que no han mostrado reducción de Cromo hexavalente. A medida que aumentaba la concentración del metal, la MDA también aumentaba. Hubo un aumento en los niveles de antioxidantes al exponerse al Cromo hexavalente. La cepa de *Bacillus* MAI3 inoculada a la soja confirmó el papel de los antioxidantes y las reductasas para aumentar el crecimiento y los pigmentos fotosintéticos de la soja bajo Cromo hexavalente. La cepa de *Bacillus* MAI3 redujo casi todo el Cr (VI) a Cr (III) en el suelo, la mayoría de los cuales fueron inmovilizados por la planta. Por lo tanto, tanto los antioxidantes como la inmovilización de Cr (III) fueron la razón del aumento del crecimiento de soja bajo estrés metálico.

(Lopez, Lodeiro, Herrero, & Sastre de Vicente, 2012), en la ciudad de Buenos Aires – Argentina, hicieron uso de macroalga *Sargassum muticum* para el tratamiento de soluciones que contienen Cr (VI). Lo establecieron como óptimos para la reducción de Cr (VI). La modificación química que producen las algas, redujo el cromo en un tiempo de 4 h. Se utilizó un modelo cinético de primer orden para describir la cinética

de reducción de Cr (VI). Un experimento de columna permitió distinguir los procesos que ocurren durante la eliminación de Cr (VI): su reducción a Cr (III) y la subsiguiente adsorción de esta especie formada. Bajo las condiciones seleccionadas, la biomasa fue capaz de reducir todo el Cr (VI) entrante durante 77 h. Las aguas residuales industriales de la industria del cromado también se probaron para la eliminación de cromo.

## b) Definiciones conceptuales

- **¿Qué es el cromo hexavalente?**

El cromo hexavalente, también conocido como cromo  $\text{Cr}^{6+}$ , es la forma tóxica del metal cromo. Mientras que algunas formas menos tóxicas del cromo ocurren naturalmente en el ambiente (suelo, rocas, polvo, plantas, y animales), el  $\text{Cr}^{6+}$  se produce principalmente por procesos industriales. El  $\text{Cr}^{6+}$  se utiliza en (OEHHA, 2016):

- ✓ Galvanoplastia
- ✓ Fabricación y soldadura de acero inoxidable
- ✓ Pigmentos y colorantes
- ✓ Revestimientos de superficies
- ✓ Curtido de cuero

- **¿Cómo se exponen las personas al Cromo hexavalente?**

Los seres humanos se exponen al Cromo hexavalente por:

- ✓ Inhalación de aerosoles o partículas.
- ✓ Ingestión (comer y beber).
- ✓ Contacto con la piel.

El Cromo hexavalente puede ocurrir como aerosoles o partículas en el aire. Estos pueden ser inhalados directamente o ingeridos después de caer en el suelo o el agua.

El contacto con el suelo que contiene Cromo hexavalente puede transferirse a las manos y luego a la boca. Los niños pequeños ponen sus manos en la boca con más frecuencia que los adultos. Por esta razón, los niños pequeños son más propensos a consumir el suelo contaminado. Los niños también son más activos al aire libre y pueden tener más contacto con el suelo contaminado. Una forma de Cromo hexavalente, el ácido crómico, se crea como una niebla durante la galvanoplastia. Los trabajadores y los transeúntes pueden inhalar la niebla. El ácido crómico también puede ser absorbido a través de la piel. Además, el ácido crómico depositado sobre la piel puede ser ingerido a través de actividades de mano a boca, tales como comer (OEHHA, 2016).

- **¿Cuáles son los efectos sobre la salud de respirar el Cromo hexavalente?**

La inhalación de Cromo hexavalente puede causar cáncer y efectos no cancerígenos sobre la salud. Efectos de cáncer:

Respirar Cromo hexavalente durante un largo período de tiempo aumenta el riesgo de cáncer de pulmón y cánceres nasales.

Efectos no cancerígenos:

Respirar Cromo hexavalente a niveles altos con el tiempo puede causar o empeorar ciertas condiciones de salud, incluyendo (OEHHA, 2016):

- ✓ Irritación de la nariz, la garganta y los pulmones (secreción nasal, tos)
- ✓ Síntomas alérgicos (sibilancias, dificultad para respirar)
- ✓ Llagas nasales y perforación de la membrana que separa las fosas nasales (a niveles muy altos de aire en los lugares de trabajo).

- **¿Cuáles son los efectos sobre la salud de comer, beber o tocar el Cromo hexavalente?**

Comer o beber Cromo hexavalente también puede ser dañino para los seres humanos. Los estudios demuestran que el Cromo hexavalente en el agua potable puede causar un mayor riesgo de cáncer del estómago y daño reproductivo. El contacto directo con Cromo hexavalente puede causar erupciones de la piel alérgicas en algunas personas (OEHHA, 2016).

**¿A qué nivel podrían ocurrir los efectos sobre la salud?**

OEHHA ha calculado un riesgo de cáncer asociado con la exposición a Cromo hexavalente si esa exposición continúa durante toda una vida. La exposición continua a 0.045 nanogramos por metro cúbico ( $\text{ng}/\text{m}^3$ ) de Cromo hexavalente de todas las fuentes combinadas durante 30 años podría aumentar el riesgo de cáncer a 25 en un millón. La exposición durante períodos más cortos de tiempo se asociaría con riesgos de cáncer mucho más bajos. OEHHA también ha desarrollado un Nivel de Referencia de Exposición crónico (REL, por sus siglas en inglés) para el Cromo hexavalente. Un REL crónico es un punto de referencia basado en la salud que se fija en un nivel al cual o por debajo del cual no es probable que ocurran efectos adversos no cancerosos para la salud en la población humana general cuando se exponen continuamente durante la vida. Los niveles por encima del REL no indican que los efectos sobre la salud ocurrirán, sino más bien, que las posibilidades de que estos efectos sobre la salud ocurran aumentan a niveles por encima del REL. Los efectos no cancerígenos para la salud asociados con el Cromo hexavalente incluyen irritación o alergias nasales, de la garganta o respiratorias. El REL crónico para el Cromo hexavalente es de  $200 \text{ ng}/\text{m}^3$  en el aire ( $0.2 \text{ } \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) (OEHHA, 2016).

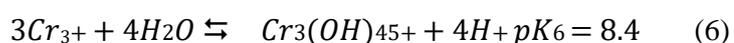
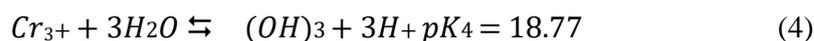
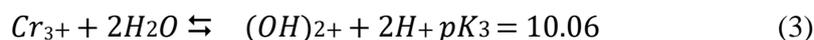
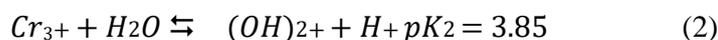
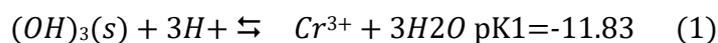
## Química del cromo en medio acuoso

El cromo es un elemento metálico que pertenece al primer periodo de los elementos de transición de la tabla periódica. En medio acuoso puede encontrarse en varios estados de oxidación desde 0 hasta 6+. Sin embargo, las formas más comunes son  $\text{Cr}^{3+}$  y Cromo hexavalente<sup>+</sup>, por lo que estas especies son las de principal interés.

El cromo trivalente es un elemento esencial en el metabolismo de los mamíferos pues, junto a la insulina, es capaz de reducir los niveles de glucosa en la sangre y controlar, en ciertos casos, la diabetes. También es responsable de reducir los niveles de colesterol en la sangre y disminuir la concentración de lipoproteínas de baja densidad (LDLs) en la sangre. (Andeson 1989; Mohan & Pittman, 2006)

El  $\text{Cr}^{3+}$  es un ácido fuerte que exhibe una fuerte tendencia a formar complejos octaédricos hexacoordinados con ligantes como agua, amonio, úrea, etilendiamina y otros ligandos orgánicos que contengan átomos donadores de electrones como oxígeno, nitrógeno o azufre. Esta característica produce que sea mucho menos soluble en agua, menos móvil, cien veces menos tóxico y mil veces menos mutagénico comparado con el cromo hexavalente. (Acosta-Rodríguez, et al., 2013)

El cromo trivalente en medio acuoso forma los siguientes complejos:



A partir de estos valores de equilibrio de las especies de cromo, se puede observar de manera más gráfica la abundancia en la siguiente figura. Este gráfico permite conocer qué especie está presente dependiendo del pH. Por ejemplo, a pH 2 el diagrama de especiación indica que la principal especie es  $\text{Cr}^{3+}$ ; a pH 4 las especies principales son  $\text{Cr}^{3+}$  y  $\text{Cr}(\text{OH})^{2+}$  en 40 y 60% aproximadamente; a pH 6 se encuentran presentes las especies  $\text{Cr}(\text{OH})_2^+$ ,  $\text{Cr}(\text{OH})_2^+$   $\text{Cr}_3(\text{OH})_4^{5+}$  en 40, 35 y 25% respectivamente. Como se puede observar, el pH juega un papel importante en el control de la especiación del metal en solución acuosa, grado de ionización y por ende controla la biosorción de los metales, ya que de la misma manera el pH afecta a las cargas y grupos funcionales presentes en la superficie de los bioadsorbentes. Todo lo anterior está directamente ligado a la disponibilidad de los sitios activos y del adsorbato para que ocurra la adsorción. (Nguyen, et al., 2013)

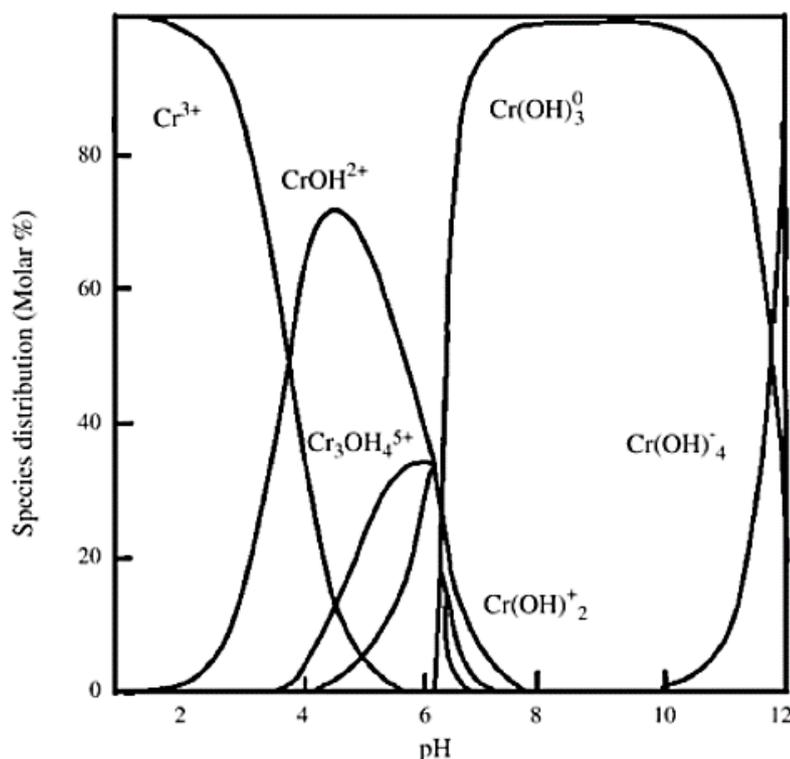


Figura 1. Diagrama de especiación de complejos de  $\text{Cr}^{3+}$  presentes en solución acuosa.

El cromo hexavalente es un agente oxidante fuerte que muestra efectos negativos a la salud, lo cual la hace una especie peligrosa. Las especies principales de cromo hexavalente en medio acuoso son principalmente cinco:  $H_2CrO_4/HCrO_4^-$ ;  $CrO_4^{2-}$ ;  $HCr_2O_7^-/Cr_2O_7^{2-}$ ; su presencia depende del pH.

Por otro lado, conforme el pH aumenta, el grado de protonación de los materiales lignocelulósicos decrece, y los grupos funciones se cargan negativamente ( $pH > pK_a$ ).

Por esta razón muchos estudios han reportado que no hay adsorción a Cr (VI) a pH mayores a 6 debido a la competencia de los iones  $HCrO_4^-$ ,  $Cr_2O_7^{2-}$  y OH por los sitios activos. (Miretzky & Cirelli, 2010)

- **Hidróxido**

Según: Shriver & Atkins. (2008). En el ámbito de la química, un hidróxido es un compuesto químico, formado por un metal y diversos aniones hidroxilos, en vez de oxígeno como ocurre con los metales varios, como el nitrógeno y el sodio, ya que éstos se asemejan en sus formas. Se caracteriza por su grupo funcional Hidroxilo (OH-1). A los hidróxidos también se les conoce como “base” o “álcali”.



Figura 2. Hidróxido de sodio (NaOH)

La fórmula básica de los hidróxidos es del tipo  $X(OH)_n$ , en donde el número de iones equivale al número de oxidación del catión metálico, de tal manera que la suma total de

las cargas, sea igual a cero. La fórmula general de los hidróxidos es: óxido básico + agua = hidróxido, siendo su símbolo OH-

En cuanto a su nomenclatura, primero se toma el símbolo del metal, para luego escribir el del radical oxidrilo (OH). Luego se cambian las valencias, tomando el número de oxidación. El radical oxidrilo es puesto entre paréntesis. Para nombrar con ambas nomenclaturas, se debe utilizar la misma regla de la formulación de los óxidos, pero con la diferencia de que se cambia el término óxido por hidróxido. Ejemplo:  $\text{Na}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O} = \text{NaOH}$  (hidróxido sódico).

- **Ácido Clorhídrico**

El ácido clorhídrico (HCl) es un ácido inorgánico altamente corrosivo, que se disocia completamente en agua, el cual es transparente o levemente amarilloso (Merck, 2010). En solución, el HCl presenta una composición azeotrópica del 23%w. Es empleado en el decapado y limpieza de metales en la industria metalúrgica, en la remoción de depósitos e incrustaciones en los sistemas de intercambio de calor, en los procesos de obtención de sílice activada, cloruros metálicos, cloruro de amonio, dióxido de cloro, colorantes nitrogenados, en la acidulación de pozos petroleros, en la neutralización de aguas residuales, en la producción de agua desmineralizada, y para control del pH. Se emplea también en la producción de glucosa a partir de harina de maíz y de glutamato de sodio, y en la preparación de limpiadores domésticos, como el ácido muriático para la limpieza de pisos, baldosas, azulejos, granitos y paredes. En la elaboración de polímeros, encurtido de cueros, en la industria metalúrgica en general, en la industria alimenticia, en la elaboración de medicamentos y cosméticos, además de muchos otros usos. Es clasificado como un ácido altamente irritante.



Figura 3. Ácido clorhídrico

### Riesgos del ácido clorhídrico

El ácido clorhídrico ingerido puede producir gastritis, quemaduras, gastritis hemorrágica, edema, necrosis. Se recomienda beber agua o leche y no inducir el vómito.

Inhalado puede producir irritación, edema y corrosión del tracto respiratorio, bronquitis crónica. Se recomienda llevar a la persona a un lugar con aire fresco, mantenerla caliente y quieta. Si se detiene la respiración practicar reanimación cardio pulmonar.

Si se pone en contacto con la piel puede producir quemaduras, úlceras, irritación. Retirar de la zona afectada toda la vestimenta y calzados y lavar con agua abundante durante al menos 20 minutos.

En contacto con los ojos puede producir necrosis en la córnea, inflamación en el ojo, irritación ocular y nasal, úlcera nasal. Lavar el ojo o los ojos expuestos con abundante agua durante al menos 15 minutos.

- **Algas**

Linda E. Graham, James M. Graham, Lee Warren Wilcox (2009). Las algas abarcan un gran número de organismos, pueden ser de tamaños microscópicos hasta especies que miden sobre los 50 metros. De manera general, existen algas unicelulares y multicelulares. Las unicelulares pueden formar agregados celulares que se comportan como un solo organismo. La obtención de energía es de tipo autótrofa, por lo cual absorben la radiación lumínica a partir de pigmentos fotosintéticos, aunque algunas, dependiendo de las condiciones, pueden comportarse como heterótrofas. En cuanto a los pigmentos, las macroalgas que forman grandes bosques marinos en las profundidades de océanos templados y polares, no reciben la intensidad lumínica normal, debido a que al vivir en grandes profundidades los rayos de luz son filtrados, por lo tanto, cuentan con pigmentos accesorios que les permiten realizar la fotosíntesis.

#### *Chlorophyta sensu lato*

(Linda E, *et al.*,2009). Alga verde que crece en los peñascos y que se descubre durante la marea baja. Sus largas hojas le dan un aspecto similar al de la lechuga. Es diez veces más rica en vitamina C que la naranja y dos veces más rica en vitamina A que la col. La industria cosmética la utiliza en la elaboración de productos por sus propiedades hidratantes, remodelantes, relajantes y antiestres. Miden hasta 50cm. Se trata de una lámina verde, casi transparente que es más estrecha en la base formando un disco de fijación. Vive en aguas pocos profundos, hasta 20 m de profundidad. Posee excelentes propiedades mineralizantes. Destaca su alto contenido en hierro (10g de lechuga de mar equivalen a 500 g de espinacas), yodo y vitamina C. Esta alga se asemeja a la lechuga y su sabor es idéntico a esta. Se puede comer cruda o cocida. Pero hay que tener cuidado, ya que es importante recolectarla en aguas limpias, y nunca en

desembocaduras de desagües. Es muy fácilmente localizable con la bajamar al quedar estas al descubierto. Se deben dejar secar al sol hasta que crujan y puedan conservarse durante mucho tiempo hasta su utilización. Se utiliza en ensaladas, usando sus hojas frescas y crudas pudiéndose mezclar con otras hierbas o para acompañar platos de pescado a la plancha, o en sopas añadiendo polvo de estas a los caldos.



Figura 4. *Chlorophyta sensu lato*.

- **Colección**

(Linda E, *et al.*, 2009). Se entiende que para coleccionar algas marinas debemos ir a la playa, pero no siempre este hecho es tan simple como parece. En las zonas de la marea de naturaleza rocosa, con abundantes algas y expuestas a un fuerte oleaje es difícil realizar colecciones, para lograr tal objetivo debe aprovecharse la marea baja. Es conveniente por tal razón, averiguar el tiempo adecuado sobre el estado y horas de la marea baja anotadas en tablas especiales para cada región. El colector debe anticiparse una o dos horas antes en la zona de colección fijada a la hora indicada para la marea

baja y de ese modo tener tiempo suficiente para elegir el ambiente adecuado para el trabajo y seleccionar el material que le interesa desde el nivel superior al inferior.

En los niveles superiores se puede encontrar un gran número de especies pequeñas, sobre las superficies expuestas de las rocas, incluyendo numerosas formas costrosas como la especie de *Ralfsia verrucosa*. El número de variedad de las especies aumenta hacia los niveles inferiores, no es suficiente coleccionar las especies más visibles por su tamaño o coloración, sino, debe aprovecharse la oportunidad para otros menos perceptibles y presentes en determinados hábitats: hendiduras rocosas, protegidas o en las superficies libres expuestas a la acción de las olas. Muchas especies las encontramos como epifitas o parásitas de otras algas generalmente grandes, en estos casos, es necesario seleccionar las porciones más adecuadas del hospedante. En los niveles inferiores el coleccionador debe estar atento a la observación de las algas que se exponen solo momentáneamente.



*Figura 5.* Formación de las algas.

Cuando la marea vuelve a subir, el trabajo en las partes inferiores debe darse como concluido y retornar hacia los niveles superiores que fueron dejados de lado como: piletas de mareas, rendijas protegidas, cavidades expuestas al salpicón de las olas, cavernas, superficies libres de rocas, piletas con aguas estancadas y turbinas por la

acumulación de sustancia orgánica arrojadas por el mar o excrementos de las aves marinas, restos de conchillas de moluscos, etc. Diversos habitats donde es posible coleccionar especímenes diferentes y muy interesantes.

La masa de las algas colectadas en conjunto, debe ser reexaminada en el lugar de colección o en el laboratorio. Cada especie debe ser colocada independientemente en una bolsa de polietileno o en los frascos respectivos, sin olvidar de poner una ficha numerada en cada caso y que guarda relación con la anotación que se realiza en la libreta de campo.

Al concluir la colección en la zona rocosa de las mareas y cuando las condiciones son desfavorables debemos completar la colección eligiendo los especímenes varados y depositados en las pozas o en la playa arenosa. Muchos de los ejemplares proceden de mayores profundidades, de aguas de sublitoral, así podemos seleccionar los ejemplares más fácilmente que si efectuáramos un dragado o empleáramos una embarcación. Por otro lado, si después de cada tormenta visitamos las playas la cantidad y variedad de algas arrojadas resultan sorprendentes. En estas situaciones podemos elegir los mejores especímenes en condiciones frescas.

A parte de las zonas rocosas de las mareas, el colector de las algas puede encontrar más especímenes en los estuarios y bahías de aguas tranquilas, donde la arena fina o lodo se ha sedimentado ofreciendo un substrato casi estable para la permanencia de numerosos géneros. Por otro lado, algunas especies particulares pueden colectarse en condición epizoótica, es decir, de la superficie externa del cuerpo de los animales marinos de desplazamiento lento como: cangrejos, isópodos, moluscos otros invertebrados.

Las algas sublitoral, pueden colectarse empleando algún tipo de dragas o por medio del buceo. Cuando la zona elegida es de aguas tranquilas, claras y no muy profundas, el colector puede efectuar inmersiones momentáneas y provistas de una máscara observar el fondo donde la vegetación es generalmente abundante y variada. Si la profundidad es mayor de 2 o 3 metros, el colector experto en buceo debe disponer de un tanque de oxígeno o "aqua lung" para inmersiones más prolongadas y provisto del material adecuado realizar la selección de los mejores especímenes. Este último método es el más satisfactorio y requiere d ciertas condiciones personales por parte del selector.

### **Preservación de *Chlorophyta sensu lato***

Después de concluir la colección, las muestras halladas deben ser fijadas inmediatamente en una solución de formol al 10% en agua de mar o agua dulce individualmente en cada bolsa de polietileno. El conjunto de muestras con sus etiquetas respectivas se coloca en el cilindro, después de 24 horas de fijación el exceso de la solución fijadora puede ser extraído, disminuyéndose así el volumen total de la colección y facilitando de este modo su condición cuando la distancia es considerable. Los especímenes pequeños e interesantes deben conservarse en la solución fijadora en sus mismos frascos de vidrios o plástico con tapas de rosca o corcho y protegidos de la luz para evitar su decoloración.

En toda colección es muy importante, la abundancia de datos que acompañan a cada muestra y cuyos números correspondientes se anota en la libreta de colección y al final servirán para la preparación de las etiquetas definidas. Se recomienda por esta razón, la adecuada observación de los caracteres del habitat, tamaño y aspecto de los especímenes dominantes, las asociaciones, la elaboración y consistencia, temperatura

del agua, tipo de substrato, exposición, etc., todos estos datos contribuyen a la mejor interpretación general de la vegetación y su distribución local o geográfica.

De acuerdo a los especímenes y el propósito, el método de conservación definitiva es diferente.

Prensado y desecado. La mayor parte de las muestras de las algas se conservan desecadas sobre cartulinas blancas de tamaños estándar o diferentes. El procedimiento que se sigue es el siguiente:

Las muestras a secarse deben ser colocadas en una bandeja con cierta cantidad de solución fijadora que facilita la mejor extensión del espécimen.

Sobre la cartulina elegida se disponen uno o más ejemplares según su tamaño, con ayuda de la solución fijadora, estiletes y pinzas se logra la extensión total sin que exista superposición de sus partes.

Se recomienda trabajar con la mayor velocidad posible evitando así que la cartulina se moje demasiado y se dañe. Una vez extendida la muestra.

La muestra sobre la cartulina se lleva sobre los secantes de la prensa y se cubre con un pedazo de lienzo de tocuyo para impedir que los ejemplares masivos y mucilaginosos, filamentosos o laminares delicados, se adhieran a los secantes con los que se van cubriendo.

Si los ejemplares son grandes, pueden doblarse tantas veces sea necesario en el perímetro de la cartulina estándar cubriéndose cada doble con un pedazo de lienzo para individualizar sus partes y mantenerlas al final libres constituyendo un todo natural.

Cada cartulina con la planta respectiva se separa una de la otra con secantes y cartones en forma intercaladas. Al concluir la extensión de todos los especímenes se coloca el grupo en una prensa de madera y se presiona moderadamente por medio de dos

soguillas o correas con el fin de que las muestras se mantengan adheridas a las cartulinas y no se arruguen al secarse.

El desecado final se logra exponiendo dicha prensa al sol, después de sucesivos cambios de secantes y cartones húmedos, excepto los lienzos, por otros secos y no dejando en ningún momento de mantenerlos atados para no dar lugar a que se arruguen. Es preferible usar el calor del sol y no artificial de estufas o primus, por este muy intenso y podría reseca las muestras haciéndolas quebradizas. El secado demorara generalmente varios días y depende de la consistencia de cada muestra; cuando son pequeñas y delicadas, 2 o 3 días son suficientes y no así cuando son grandes y macizas, las cuales se secan después de 4 a 8 días. Cuando están secas se retira el lienzo suavemente y se agrupa todo lo preparado. En todos los casos, debe anotarse sobre el extremo derecho inferior de la cartulina el número de colector, la fecha y el lugar para evitar confusiones posteriores.

Muchas especies de algas de consistencia suave, mucilaginosas se adhieren en su integridad a la cartulina sobre la cual se ha extendido, en estas condiciones las muestras están listas para ser distribuidas en el herbario. En cambio, si los especímenes pequeños se han secado en cartulinas igualmente pequeñas, es necesario usar una goma en pasta para pegar los pedazos de la cartulina sobre las cartulinas de tamaño estándar.

Cuando los ejemplares son grandes y duros y no se han adherido a la cartulina durante el secado, se usa una gota de goma u otro pegamento para fijarlos sobre las cartulinas definitivas. Cuando los especímenes son demasiados pequeños, se pueden montar íntegros en un portaobjetos y conservarlos en una colección aparte, pero siempre debe conservarse una cartulina con su respectivo número en el sobre que le correspondiente.

Es mejor aún, si está representado por una micrografía, referencia bibliográfica, descripción y el número de colector.

Todas las algas preparadas para el herbario, deben llevar una etiqueta definitiva en el extremo derecho inferior. Esta varía en formato y tamaño según las instituciones o incluyen en general los datos siguientes: provincia y departamento donde se ubica la localidad de colección, nombre científico del espécimen colectado, hábitat, fecha de colección, nombre y número de colector y nombre de la persona que ha determinado la especie. Finalmente, los especímenes identificados a nivel genérico o específico, son agrupados en un folder común que lleva impreso externamente el nombre genérico. Estos son distribuidos alfabéticamente en los muebles respectivos, como correspondientes a las distintas divisiones de las algas reconocidas para un área geográfica o país determinado. En los herbarios de alga, no existen sistemas definidos de distribución de las especies herborizadas, tal cual se conocen para las plantas superiores, que en la mayoría de los herbarios siguen por ejemplo el sistema filogenético de G. DALLA TORRE y HARM.

- **Uso de algas**

(Linda E, *et al.*, 2009). Desde tiempos pasados, el hombre ha usado las algas con distintos fines. En china desde el año 2700 a.C, los griegos y romanos las usaban como alimentación, para el forraje, como plantas medicinales y cosméticos. Los aztecas empleaban las cianobacterias *Sipurilina*, que recolectaban del lago Texcoco, como complemento proteico. Actualmente tienen usos industriales, agropecuarios, alimenticios, medico- farmacológicos y en restauración medioambiental.

La cantidad de algas formadas en todo el mundo es del orden de 7 billones de toneladas de peso fresco, siendo los países asiáticos los productores de casi el 80% de las

materias primas. En España, cuentan con industrias de extracción de agar- agar muy importantes a nivel mundial.

- **Adsorción**

El proceso de adsorción es el resultado de la remoción de un adsorbato de una solución y su concentración en la superficie de un adsorbente; cuando el adsorbente está en contacto con la molécula específica adsorbida se alcanza, luego de un tiempo, un estado de equilibrio entre la solución y el material adsorbente. En este punto de equilibrio, existe una distribución definida del soluto entre las fases sólida y líquida (López, 2009) citado por Hidalgo, 2010).

- **Modelos teóricos de adsorción**

Según Hidalgo V, AR, (2010). La cantidad de adsorbato que puede retener un adsorbente es función de las características y de la concentración del adsorbato y de la temperatura.

En general, la cantidad de materia adsorbida se determina como función de la concentración a temperatura constante y la función resultante se conoce con el nombre de isoterma de adsorción. Los modelos más frecuentemente empleados para el tratamiento de los datos experimentales de las isotermas son el de Langmuir. Este modelo se desarrolló originariamente para representar la adsorción gas-sólido con carbón activo. En este modelo la atracción entre los iones de metal y la superficie del sorbente se basa principalmente en fuerzas físicas y no tienen en cuenta las agrupaciones moleculares ni las variaciones de energía de la interacción con el material.

La principal hipótesis del modelo es que la superficie de adsorción es uniforme y el de Freundlich (1939). Este modelo tiene un origen empírico y, al igual que la isoterma de

Langmuir, la sorción es función de la concentración de equilibrio, sin tener en cuenta la presentación de otros iones en disolución o variaciones del pH. En este caso, la superficie se supone heterogénea.

- **Biosorción**

La necesidad de métodos de eliminación de metales, económicos y efectivos, ha llevado al desarrollo de nuevas tecnologías de separación. Los métodos tradicionales de tratamiento de efluentes industriales suelen tener una aplicación restringida por razones técnicas o económicas.

Algunos de estos métodos, como la osmosis o los tratamientos electroquímicos, pierden efectividad cuando las concentraciones son bajas. En estos casos, se suele utilizar el intercambio iónico o la adsorción.

La Biosorción, basada en la capacidad de varios materiales de origen biológico de retener metales, se presenta un bajo coste de proceso y una buena capacidad de sorción. El desarrollo de esta tecnología no empezó hasta la década de los 90. Las primeras publicaciones describían la cantidad de materiales biológicos que podían emplearse para eliminar, a muy bajo coste, incluso a concentraciones bajas, metales tóxicos de efluentes industriales.

El término Biosorción, también se utiliza para referirse a la captación de metales que lleva a cabo una biomasa completa (viva o muerta), a través de mecanismos fisicoquímicos como la adsorción o el intercambio iónico.

Cuando se utiliza biomasa viva, los mecanismos metabólicos de captación también pueden contribuir en el proceso. El proceso de Biosorción involucra una fase sólida (sorbente) y una fase líquida (solvente, que es normalmente el agua) que contiene las especies disueltas que van a ser sorbidas (sorbato, iones metálicos). Debido a la gran

afinidad del sorbente por las especies del sorbato, este último es atraído hacia el sólido (a una concentración final o en el equilibrio). La afinidad del sorbente por el sorbato está dada por la cantidad del sorbato que puede atraer y retener en forma inmovilizada. En la última década, el potencial para la Biosorción de metales por biomasa ha quedado bien establecido. Por razones económicas, resultan de particular interés los tipos de biomasa abundante, como los desechos generados por fermentaciones industriales de gran escala o de ciertas algas que enlazan metales y se encuentran en grandes cantidades elevadas, sirven como base para los procesos de Biosorción de metales, previendo su uso particularmente como medios muy competitivos para la destoxificación de efluentes industriales que contienen metales y para la recuperación de metales preciosos. Los sistemas que utilizan células vivas pueden emplear tanto una mezcla de microorganismos como de plantas superiores. (Parvaze, *et. al.*, 2017).

Por lo tanto, si se considera el uso de células vivas para un sistema de eliminación de metales, la toxicidad puede conducir a un avenamiento e inactivación. El uso de biomasa muerta o productos derivados de ella elimina el problema de la toxicidad, no solo de la provocada por metales disueltos, sino también por condiciones adversas de operación, además del componente económico de mantenimiento incluyendo el suplemento de nutrientes. Sin embargo, las células vivas pueden presentar una variedad más amplia de mecanismos para la acumulación de metales como el transporte, la formación de complejos extracelulares y la precipitación.

La capacidad de Biosorción de las biomasas se debe a la potencial cantidad de compuestos orgánicos capaces de secuestrar o intercambiar iones metálicos, entre los cuales destacan, polialginatos, peptidoglucanos, polisacáridos, glicoproteínas,

fucanoides, compuestos heterocíclicos, flavonoides, etc., en los cuales los centros atrayentes de cationes son los grupos funcionales amino, hidroxilo, carboxilato, fosfato, sulfhídricos, etc., conocidos por su potencial necrófilo (Glover, Gomez, Reyes, & Teresa, 2010).

Las macroalgas ligan únicamente los iones metálicos libres, mediante dos procesos físico-químicos. El primer proceso es rápido y reversible e involucra la adsorción del ion metálico sobre la superficie externa de la pared celular.

Este proceso puede ser iónico o por formación de complejos con los ligados de la pared celular. Los polímeros que componen la pared celular son ricos en grupos carboxílicos, fosforílicos, hidroxilos que pueden ligar cationes o producir complejos orgánicos que pueden influir la absorción de metales. El segundo mecanismo de incorporación de metales se almacena en el citoplasma en vacuolas ricas en polifenoles. Como producto de esta acumulación las algas pueden alcanzar contenidos de elementos traza varios órdenes de magnitud más elevados respecto a las aguas. Este proceso ha sido empleado desde los años 60 para monitorear presencia y disponibilidad de metales en aguas dulces y marinas en todas partes de mundo. La presencia de partículas sobre la superficie externa de las macroalgas ha sido considerada una de las mayores limitantes para el empleo de macroalgas como biomonitores de metales (Glover, *et. al.*, 2010).

El proceso que realiza el alga para incorporar los metales a sus células consiste, a grandes rasgos, en dos etapas. La primera de ellas, denominada Biosorción, transcurre en muy poco tiempo y es similar tanto en la pared celular como en toda la célula, es decir que ambas estructuras introducen, en un tiempo similar, mediante un intercambio de iones en el que el sodio y el hierro resultan desplazados a favor de los metales pesados.

A continuación, uno de los factores que contribuye a la eficacia de este sistema es la composición de la pared celular, que posee una mezcla compleja de azúcares, glucosamina, proteínas y ácido irónico.

La segunda fase, llamada bioacumulación requiere un periodo de tiempo mayor y a diferencia de la primera etapa, se trata de un proceso activo en el que se piensa que interviene el metabolismo de la célula. Por esta razón, aparecen diferencias significativas entre la cantidad de metales acumulados por las diferentes partes de la célula que puede ser debido a las biomoléculas presentes en la membrana que pueden unirse a los metales (Parvaze, *et. al.*, 2017).

Normalmente, la integración de metales por parte de las algas comprende dos fases distintas: introducción de grupos cargados negativamente en la superficie de la célula, y la posterior internalización dependiendo del metabolismo (activo).

El proceso pasivo es rápido, ocurriendo en la exposición del alga al metal y en cambio, el proceso dependiente del metabolismo es mucho más lento.

La diferencia entre bioacumulación y Biosorción es que la primera es un proceso activo de eliminación de metales pesados mediante mecanismos metabólicos involucrando biomasa viviente y la Biosorción es un proceso pasivo con un mecanismo netamente fisicoquímico, por medio de biomasa no viviente. Por ende, la Biosorción es un área de investigación con muchos aportes a la comunidad industrial, por brindar una alternativa ética y económicamente viable y por ser considerada una tecnología limpia en la eliminación de metales tóxicos de aguas artificiales (Lopez, Lodeiro, Herrero, & Sastre de Vicente, 2012).

Por razones económicas, la biotecnología ha prestado mucha atención a las algas marinas, porque son producidas naturalmente en grandes cantidades, yaciendo en las

orillas de las playas y siendo algunas de ellas consideradas material de desecho. Su aplicación como biosorbentes para la eliminación de contaminantes, podría interpretarse como el uso de desechos para eliminar desechos. La efectividad de las algas para adsorber selectivamente contaminantes ambientales en presencia de otras sustancias, se debe a la presencia de grupos funcionales ácidos, los cuales, al ionizarse, exhiben alta densidad electrónica, tales como alginatos y fucoïdanos (Parvaze, et al., 2017).

Numerosos estudios han mostrado que el pH es un factor preponderante en la Biosorción de contaminantes por biomateriales. Se ha observado una importante relación entre la adsorción de contaminantes y la magnitud de la carga negativa en la superficie del adsorbente, la cual está vinculada a la superficie de sus grupos funcionales. La forma iónica del metal en disolución y la carga eléctrica en la superficie del adsorbente, dependen fuertemente del pH de la disolución. A valores de pH más altos del pKa de estos grupos ácidos, los sitios activos están principalmente en su forma disociada y pueden intercambiar fácilmente iones hidronio con contaminantes polares o iones metálicos en disolución. A valores de pH menores del pKa de estos grupos, se podría presentar un fenómeno de acomplejamiento, especialmente mediante grupos carboxilo. El pH es un factor ambiental que no afecta únicamente a la disociación de sitios activos del adsorbente, sino también a química acuosa de los contaminantes mediante hidrólisis, acomplejamiento por ligandos orgánicos e inorgánicos, reacciones redox y precipitación (Parvaze, *et al.*, 2017).

- **Biosorbentes**

Se puede distinguir, según su origen:

- ✓ **Biomasa microbial:** Engloba algas, bacterias, hongos y levaduras. Fácilmente disponibles y en grandes cantidades en la naturaleza. La inmovilización de la biomasa en estructuras solidas crea un material con el tamaño, resistencia mecánica, rigidez y porosidad necesarios para su uso en columnas.
- ✓ **Residuos vegetales procedentes de procesos industriales o agrícolas:** Deberían obtenerse gratuitamente o a muy bajo costo. Dentro de este grupo se encuentra la rapa de uva, que es un residuo de la industria vinícola.

- **Modificación química de los biosorbentes:**

Reticulación con Glutaraldehído. El grupo amino de las diferentes cadenas de poliglucosamina se unen covalentemente a los dos grupos aldehído del reticulante, catalizado por el medio ácido de la solución.

Reticulación con cloruro de calcio. La capacidad de los polialginatos de la superficie de las algas de intercambio iónico cálcico por medio de la liberación de iones de sodio, potasio e hidronio, permiten mejorar sus propiedades físicas y mecánicas mediante el entrecruzamiento de cadenas de polialginato.

- **Tipos de bioadsorción**

Los tipos de adsorción se pueden clasificar de varias maneras. Una de ellas es por la naturaleza de las fuerzas de atracción entre el adsorbato y el adsorbente. Cuando esta es física se le llama fisisorción y cuando la adsorción es química es quimisorción. La fisisorción es cuando el adsorbato se adhiere a la superficie a través de interacciones intermoleculares débiles de van der Waals. Por otro lado, en la quimisorción la

adsorción ocurre cuando una molécula se adhiere a la superficie a través de la formación de enlaces químicos (GGRH, 2015).

**Tabla 1**

*Tipos de adsorción según las fuerzas de interacción entre adsorbato y absorbente.*

Tipos de adsorción	Características
Adsorción física (fisisorción)	No selectiva. Baja energía de adsorción. No es específica. Se pueden formar multicapas. Apreciable solo a bajas temperaturas. Las moléculas adsorbidas no se alteran.
Adsorción química (quimisorción)	Existen dos tipos: asociativa y disociativa. Este tipo de adsorción es selectiva. Mayor energía de adsorción que la fisisorción. Específica y selectiva. Formación de monocapa. También ocurre a alta temperatura. Puede ser lenta o rápida. Moléculas cambian totalmente.

Existen diferentes tipos de fuerzas intermoleculares que determinan el tipo de adsorción que ocurre en una superficie.

**Tabla 2**

***Fuerzas de interacción para enlaces de adsorción.***

<b>Tipo de interacción</b>	<b>Energía molar de la interacción</b>
van der Waals	Muy débil (usualmente menor a 50 kJ/mol)
Iónica	Fuerte (origen coulombico) >100 kJ/mol
Covalente	Fuerte (origen cuántico-químico) > 50 kJ/mol
Metálica	Fuerte (origen cuántico-químico), > 50kJ/mol

Los modelos de adsorción se estudian para predecir la habilidad de cierto adsorbente para remover un contaminante, para cierto valor de descarga de un efluente. De esta manera se logra determinar el tiempo de contacto suficiente en el que se alcanza el equilibrio entre el contaminante adsorbido y el remanente en la solución. Se puede calcular la cantidad de material adsorbido en el equilibrio en un medio mediante el siguiente balance de masa.

$$q_e = \frac{X}{M} = (C_0 - C_e) \frac{V}{M} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde  $XM$  es la cantidad de contaminante en un medio (mg contaminante/g adsorbente),  $C_0$  concentración inicial del contaminante en solución,  $C_e$  es la concentración luego que el equilibrio se ha alcanzado,  $V$  es el volumen de la solución en donde está el contaminante y  $M$  es la masa del adsorbente. (Demirbas, 2008)

- **Isotermas de adsorción**

La adsorción se describe principalmente a través de isotermas. Las isotermas muestran cuánto material se adsorberá a ciertas condiciones (temperatura, concentración, etc.).

Estas son funciones que relacionan a la cantidad adsorbida, bajo condiciones de

equilibrio y a temperatura fija, respecto a la cantidad expuesta en la fase precursora, bien sea en forma de concentración para fases líquidas, o de presión de vapor para fases gaseosas. Existen varias isotermas que describen el proceso de adsorción como las isotermas de Langmuir, de Freundlich, Brunauer-Emmet-Teller (BET), etc. Estas solo difieren en las suposiciones que derivan la expresión, en particular, en cómo tratan la dependencia de la superficie del adsorbente frente a la entalpía de adsorción.

- **Isoterma de Langmuir**

Cuando un gas o una solución entran en contacto con un adsorbente se establece un equilibrio entre la unión de las moléculas y el adsorbente. El equilibrio dependerá de la estabilidad relativa de la fase adsorbida, la temperatura del sistema y la presión (si es gas) o concentración (si es solución) del medio.

Esta isoterma describe la dependencia de una superficie y requiere tres supuestos. (Negi, A.S. 1985)

La superficie del adsorbente está en contacto con una solución que contiene un adsorbato que es fuertemente atraído a la superficie.

- La superficie tiene un número específico de sitios donde las moléculas pueden ser adsorbidas.
- La adsorción involucra la unión de una sola capa de moléculas a la superficie (adsorción de monocapa).

La reacción química de adsorción de monocapa se representa:



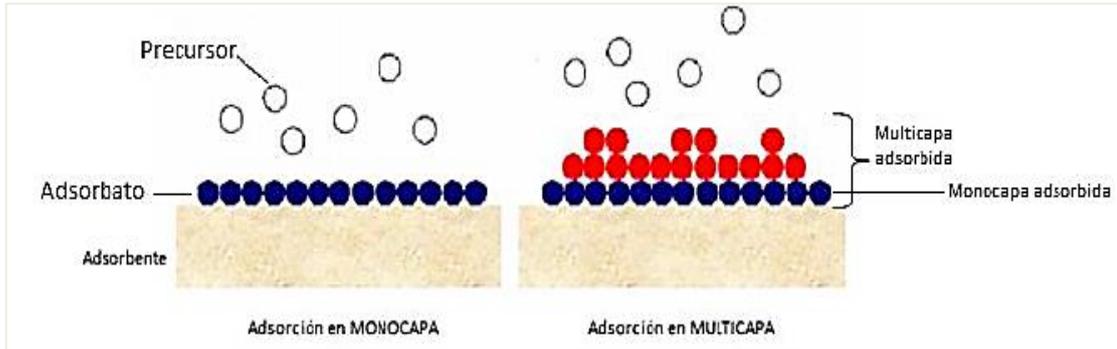


Figura 6. Esquema de adsorción en monocapa (izquierda) y multicapa (derecha).

Donde AS representa la molécula A adsorbida en la superficie en el sitio S.

La ecuación que describe este modelo se expresa en la ecuación.

$$q_e = \frac{q_m C_e}{1 + K_L C_e} \quad \text{Ecuación 2}$$

La forma linealizada se expresa en la ecuación anterior.

$$1/q_e = K_L/q_m + 1/q_m C_e \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde  $q_e$  es la cantidad de soluto retenido en el adsorbente en el equilibrio (mg/g),  $C_e$  es la concentración de soluto en equilibrio (mg/L),  $q_m$  (mg/L) y  $K_L$  (L/mg) son los parámetros de Langmuir relacionados a la máxima capacidad de adsorción y la energía de enlace de la adsorción.

- **Isoterma de Freundlich**

Esta isoterma describe mejor los datos a bajas concentraciones. En esta isoterma se asume que la superficie del adsorbente es heterogénea, es decir, los sitios de adsorción con la misma energía se encuentran agrupados las cuales son independientes y no equivalentes. No asume capacidad de monocapa (Mohan, 2006). Se define por la siguiente ecuación.

$$q_e = k_f C_e^{1/n} \quad \text{Ecuación 4}$$

Y en su forma linealizada se encuentra en la siguiente ecuación.

$$\log q_e = \log k_f + \frac{1}{n} \log C_e \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde  $k_f$  ( $\text{mg}^{1-1/n} \cdot \text{L}^{1/n} \cdot \text{g}^{-1}$ ) es la constante de capacidad de adsorción y  $n$  es la constante de intensidad de adsorción y  $q_e$  es la cantidad de soluto retenido en el adsorbente en el equilibrio ( $\text{mg/g}$ ).

- **Propiedades químicas de los bioadsorbentes**

Bioadsorbentes son aquellos materiales que provienen de fuentes vegetales (biomasa). En este material existen dos cadenas largas de hidrocarburos - polímeros naturales - de gran importancia que le atribuyen la característica adsorbente. Estos son celulosa y hemicelulosa, la fracción de lignina presente consiste en moléculas que no son azúcares. La celulosa es un polímero orgánico importante que consiste en solamente unidades de anhidroglucosa unida en una molécula de cadena recta y grande. Es una cadena linear de polímero de D-glucosa, las cuales están unidas por enlace glucosídico  $\beta$  (1-4). La celulosa está dispuesta en forma de microfibras las cuales pueden tener zonas altamente ordenadas (cristalinas) como con menos ordenamiento (amorfos). (Demirbas, 2008)

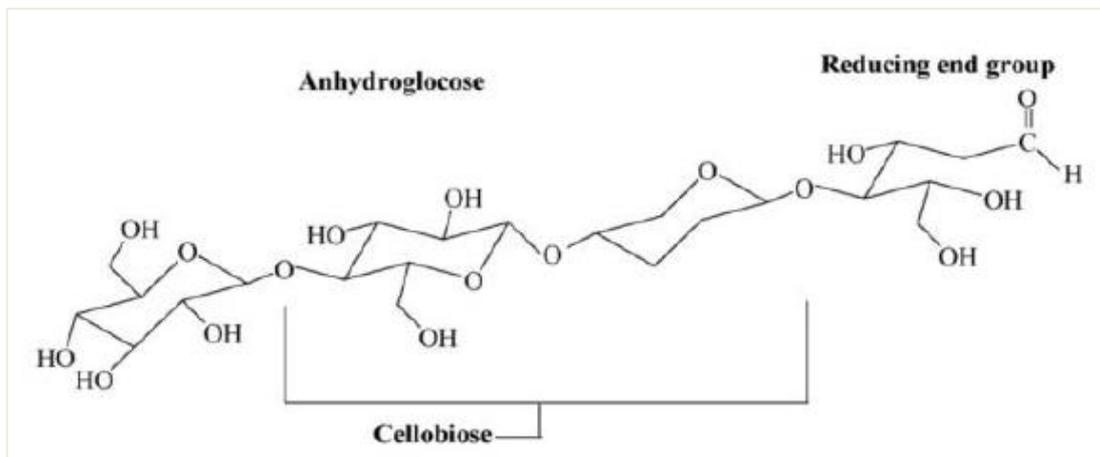


Figura 7. Estructura de la anhidroglucosa.

La hemicelulosa (20% de la composición en la mayoría de las plantas) es un polímero orgánico compuesto por largas cadenas de anhidroglucosa unidas por un enlace 1,4 glucosídico. Esta macromolécula forma enlaces inter- e intramoleculares, las cadenas

tienden a tener un rearrreglo paralelo formando una estructura supramolecular (aprox. de 200 unidades). (Demirbas, 2008)

La lignina es un polímero tridimensional y está compuesta de tres monómeros monolignoles metoxilados: 4-[(E)-3-Hidroxi-1-enil]fenol, 4-(3-hidroxi-1-propenil)-2-metoxifenol y 4-(3-hidroxi-1-enil)-2,6-dimethoxyphenol (Figura 9), los cuales están incorporados en la lignina en forma de unidades de fenilpropano: p-hidroxifenil, guaiacil y sirinfal (respectivamente). Existen muchos tipos de materiales lignocelulósicos, los cuales difieren en el sustituyente metoxilo y el grado de enlace C-C entre los grupos fenilos. La lignina está conformada por grupos funcionales alifáticos, hidroxilfenólicos (9 - 11%), grupos metoxilos (13 - 26%) y grupos carbonilo, todos ellos presentan la habilidad de enlazar a metales pesados por donación de los pares libres del oxígeno de estos grupos para formar complejos con iones metálicos en solución. Los tres precursores de la lignina se encuentran representados en la Figura 7.

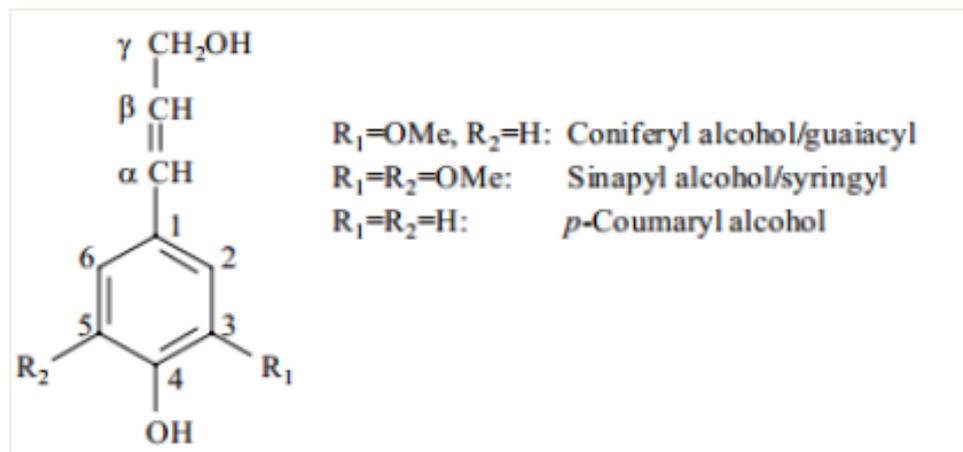


Figura 8. Estructura molecular del monómero de la lignina.

Los grupos funcionales como hidroxilo, carboxilo, fosfato, grupos amino y tiol presentes en la biomasa juegan un papel fundamental en su rol como adsorbente. Estos

cambian su ion hidronio por el ion metálico o cediendo el par de electrones no enlazantes para la formación de complejos metálicos. Por otro lado, es necesario considerar que la bioadsorción también depende de otros factores como número de sitios activos, accesibilidad de sitios, química del estado de los sitios activos y la afinidad entre los sitios y los iones metálicos. (Mohan & Pittman, 2006)

Otro factor importante en la **adsorción** es el grado de acidez o basicidad de la solución. El pH de una solución acuosa influencia en la disociación de grupos funcionales activos en el bioadsorbente (-OH, -COOH, -NH<sub>2</sub>). A bajos valores de pH, los grupos funcionales superficiales de los materiales lignocelulósicos son protonados y restringen acercamiento de especies catiónicas como resultados de la repulsión. A medida que el pH aumenta, el grado de protonación decrece y los grupos funcionales se cargan negativamente ( $\text{pH} > \text{pKa}$ ) (Parvaze AhmadWani, ShaziaWahid, RuchiSingh, & Ajijolaiya MorufatKehinde, 2017).

- **Parámetros que afectan la bioadsorción**

Existen factores tanto físicos como químicos que afectan el proceso de bioadsorción como el potencial de hidrógeno, la temperatura, la concentración inicial del metal pesado, la cantidad de bioadsorbente, tamaño de bioadsorbente, fuerza iónica, co-iones, etc.

- ✓ Influencia del pH

El potencial afecta a la bioadsorción tanto en la especiación del adsorbato como en la disponibilidad de los posibles puntos de enlace en el adsorbente.

- ✓ Influencia de temperatura

La adsorción se incrementa a bajas temperaturas ya que generalmente el proceso de adsorción es de naturaleza exotérmica, por lo tanto, de acuerdo al principio de Le Chatelier a bajas temperaturas el equilibrio de adsorción se verá favorecido.

✓ Efecto de la concentración inicial

La concentración del adsorbato influye en la especiación del adsorbato y, de esta manera, en su disponibilidad para ser captado por el adsorbente.

✓ Efecto de cantidad de adsorbente

La cantidad de adsorbente está directamente relacionada a la superficie disponible para la adsorción y a la cantidad de posibles grupos funcionales superficiales disponibles para captar al adsorbato.

• **Drenaje ácido de mina**

El proceso de formación de los Drenajes Ácidos de Mina, inicia cuando los minerales sulfurados como la pirita se exponen a los efectos del oxígeno y el agua. Esto sucede cuando se hace remoción de material como apertura de tajos, túneles, se acopian estériles de mina, se disponen los relaves sin ningún tipo de control civil. En la reacción (1) se muestra el proceso de oxidación de la pirita, en este paso el oxígeno actúa como agente oxidante principal y los sulfuros se oxidan a sulfatos. (Chaparro, 2015)

## 1.2 Formulación del Problema

¿En qué medida influye el tiempo de residencia en la remoción de cromo hexavalente con *Chlorophyta sensu lato* en drenaje ácido de mina?

### Objetivos

#### 1.3.1. Objetivo General

Determinar el tiempo de residencia en la remoción de cromo hexavalente con *Chlorophyta sensu lato* en drenaje ácido de mina.

#### 1.3.2. Objetivos Específicos

- Determinar la concentración del cromo hexavalente antes y después del tratamiento con la *Chlorophyta sensu lato* en el drenaje ácido de mina.
- Determinar el porcentaje de la remoción del cromo hexavalente con la *Chlorophyta sensu lato* en el drenaje ácido de mina.
- Determinar el pH después de la remoción del cromo hexavalente, utilizando *Chlorophyta sensu lato*.

### Hipótesis

#### 1.1.1. Hipótesis General

- A medida que se incrementa el tiempo de residencia del proceso de bioabsorción, mayor será la eficiencia en la remoción de cromo hexavalente.

#### 1.1.2. Hipótesis Específicas

- La concentración de cromo hexavalente disminuye después del tratamiento con la *Chlorophyta sensu lato* en el drenaje ácido de mina,
- El porcentaje de remoción del cromo hexavalente aumenta, a medida que aumenta el tiempo de residencia.
- A medida que se incrementa el tiempo de residencia del proceso de Biosorción, se incrementa el pH.

## CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

### 2.1. Tipo de Investigación

La presente investigación es experimental ya que se tiene como variables independientes al tiempo de residencia en el proceso de Biosorción y como variables dependientes el porcentaje de remoción de Cromo hexavalente.

### 2.2. Materiales, Instrumentos y Métodos

#### a) Materiales

- Algas marinas
- Agua de drenaje ácido de mina.
- Malla de nylon.

#### b) Instrumentos

- Balanza analítica (0.0001 g)
- pH-metro (1-14)
- Termómetro digital (0.01 °C)
- Bomba sumergible.

#### c) Métodos.

- Proceso de Biosorción.
- Análisis de Agua
- Dispersión con líneas rectas y marcadores con Excel 2016.

## 2.3. Procedimiento

### A. Armado de sistema

Se elaboró un esquema gráfico a mano del sistema y una lista de insumos a emplear, donde el plástico fue el material predominante para poder realizar este proyecto.

Lo primero fue taladrar dos agujeros en el balde base de 20 litros para poder adaptar los acoples de media, luego realizamos las medidas de largo y altura para poder cortar los tubos de media, después limpiamos las rebabas que quedaron del corte de los tubos con una lija número 80. Siguiendo con la elaboración del sistema, con los tubos de 4 pulgadas se hizo un corte de 20 centímetros y las tapas de 4 pulgadas fueron perforadas para que sea conectada con los tubos de media, con este procedimiento se elaboró el sistema donde va nuestro filtro. Por último, ejecutamos la unión de los tubos mediante codos de media, niples, válvulas, adaptadores y la bomba de pecera.

### B. Recolección de algas

Para recolectar las algas verdes de tipo *Chlorophyta sensu lato* tuvimos que viajar a la playa de Puerto Malabrigo ubicado al norte de la ciudad de Trujillo, donde llevamos 3 baldes de 20 litros. Para la recolección de algas se obtuvo el dato de la hora apropiada donde la marea baja; con la ayuda de una red tuvimos que ingresar a la orilla de la playa donde esta se comenzó a retirar promediado de las 10 a.m., momento en el cual comenzamos la recolección. Para lograr este objetivo se tuvo mucho cuidado con la extracción de las algas ya que estas se encuentran adheridas a las piedras, razón por la cual si se aplica mucha fuerza se maltrataban. Al final de la recolección se llenaron los tres baldes con agua de mar.



Figura 9. Algas marinas.

### C. Preparación de filtros biológicos

Para este proceso, primero se tuvieron que lavar las algas extraídas con abundante agua, repitiendo el proceso 6 veces en una malla de 2.5 micras. El segundo paso fue el secado de las algas mediante la exposición al sol por 30 minutos.



Figura 10. Lavado y Secado de algas.

El tercer paso fue la preparación de 5 litros de hidróxido sodio y ácido clorhídrico cada uno para lavar las algas. La primera lavada fue en ácido clorhídrico y se dejó remojando una hora; luego se pasó al balde lleno de hidróxido para después solo lavarlo con agua.



Figura 11. Preparación de reactivos químicos.

El cuarto paso es exponer a la radiación del sol por segunda vez, para quitar la humedad restante de lo que fue lavado con agua. Para el quinto paso, con las algas ya secas, se procedió al corte en trozos usando tijeras. Finalmente, se colocó el material en tres bandejas para posteriormente colocarlas en el horno.



Figura 12. Secado de algas marinas.

Después de estar 24 horas las algas en la estufa, se pesó para elaborar un filtro. El filtro consistía de una malla de nylon de 2.5 micras las cuales fueron selladas herméticamente mediante calor, para posteriormente rellenar con las algas previamente activadas, en una cantidad de 200 gr.

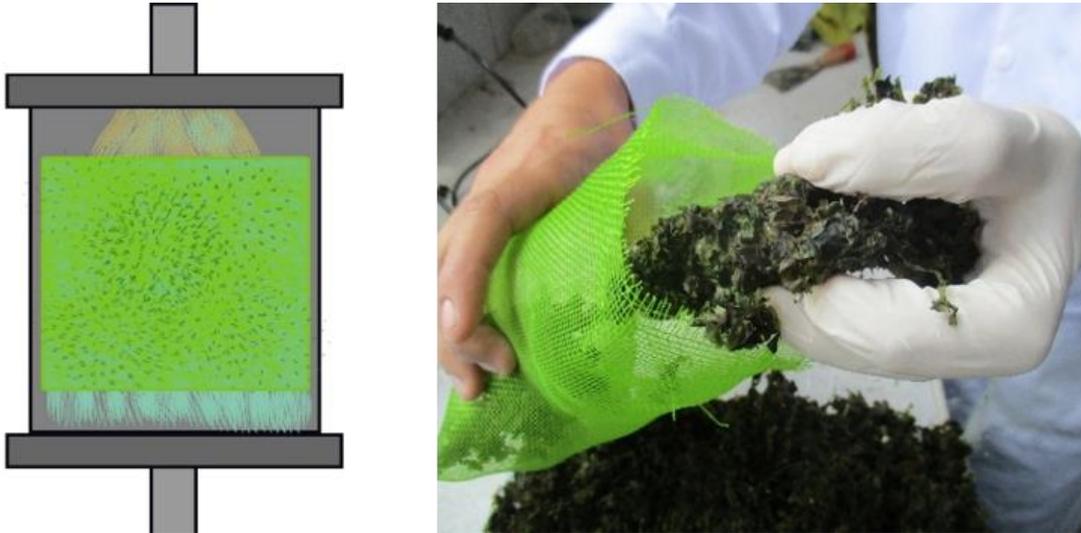


Figura 13. Adsorción del filtro biológico (nylon).

#### **D. Realización de sistema de recirculación**

Primero, se puso el filtro biológico de nylon de 2.5 micras, en el sistema reservado para este. Segundo, en el balde base se añadió 5 litros de agua contaminada con cromo hexavalente, para luego agregar los 15 litros restantes. Tercero, para iniciar la recirculación, se abrieron las válvulas, la de caída por completo y la de retorno a la mitad. Para finalizar, se conectó la bomba de pecera a un interruptor para el inicio de la recirculación, en el cual se trabajó con tres tiempos (4, 6 y 8 horas) y obtener un óptimo resultado de remoción de Cromo hexavalente.

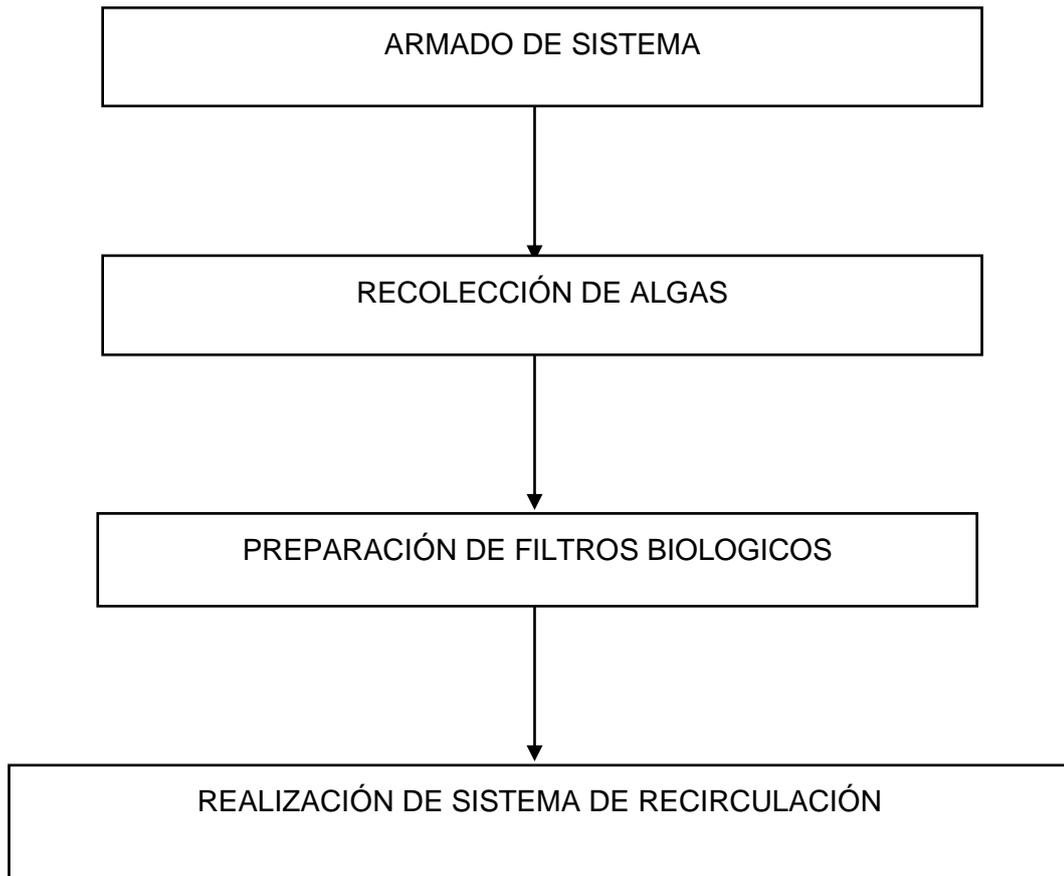


Figura 14. Esquema de las etapas principales.

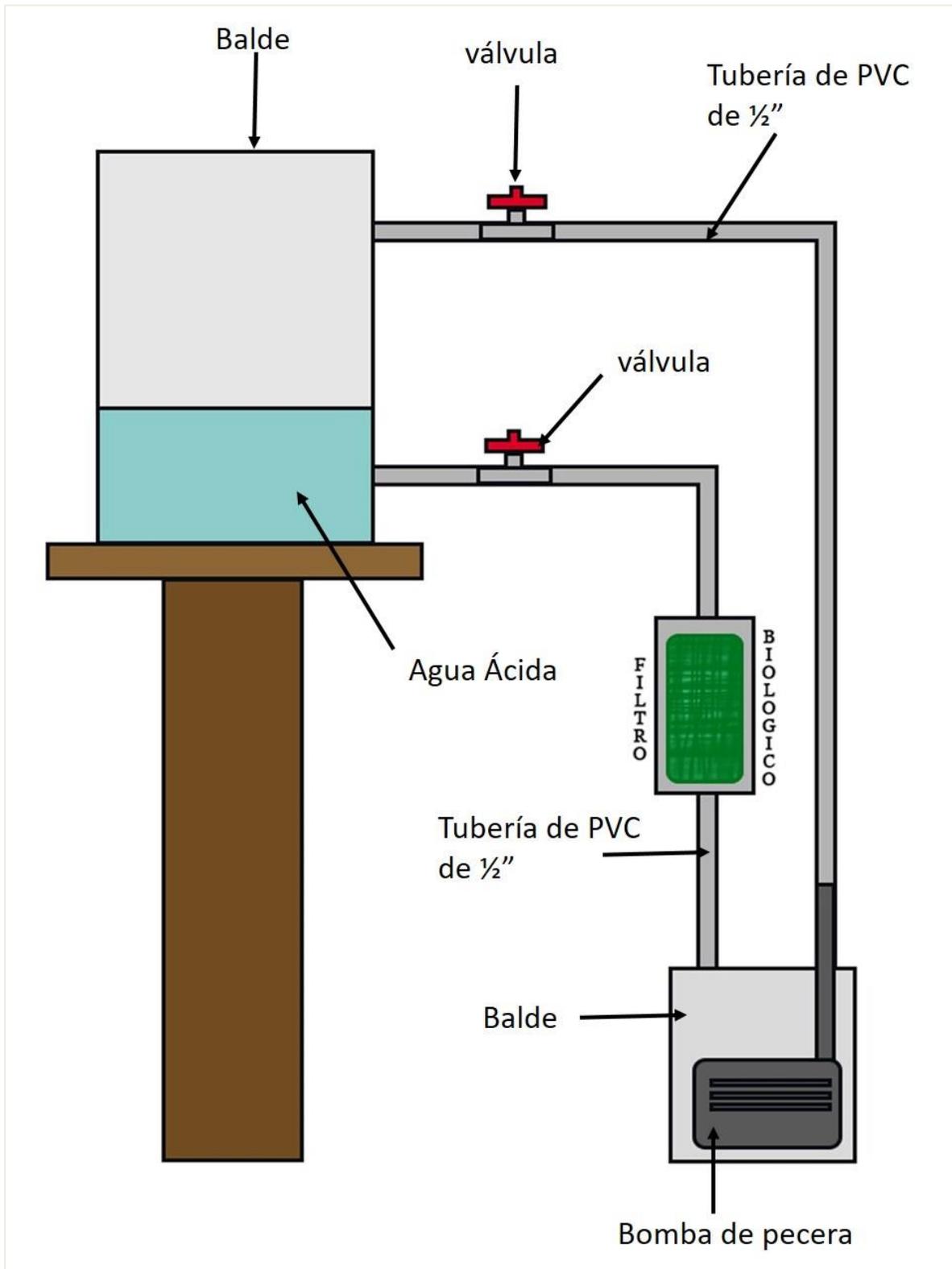


Figura 15. Sistema completo de bombeo.

### CAPÍTULO III. RESULTADOS

**Tabla 3**

*Valores de Cromo hexavalente remanente después del tratamiento de Biosorción en tiempos determinados.*

Tiempo de tratamiento (horas)	Remanente Cromo hexavalente(mg/L)	Remanente Cromo hexavalente promedio (mg/L)
0	1000	1008.3
	1015	
	1010	
4	876	875.7
	881	
	870	
6	386	386
	380	
	392	
8	138	141
	146	
	139	

Un resultado notable en la figura 16, se presentan el gráfico con los valores del Cromo hexavalente remanente. El valor inicial promedio de cromo presente al inicio fue de 1008.3 mg/L, y en un tiempo de 8 horas de tratamiento es de 141.0 mg/L de Cromo hexavalente, este último valor es menor en un 86% aproximadamente que es lo mismo a decir el porcentaje de eliminación o remoción de iones de cromo hexavalente.

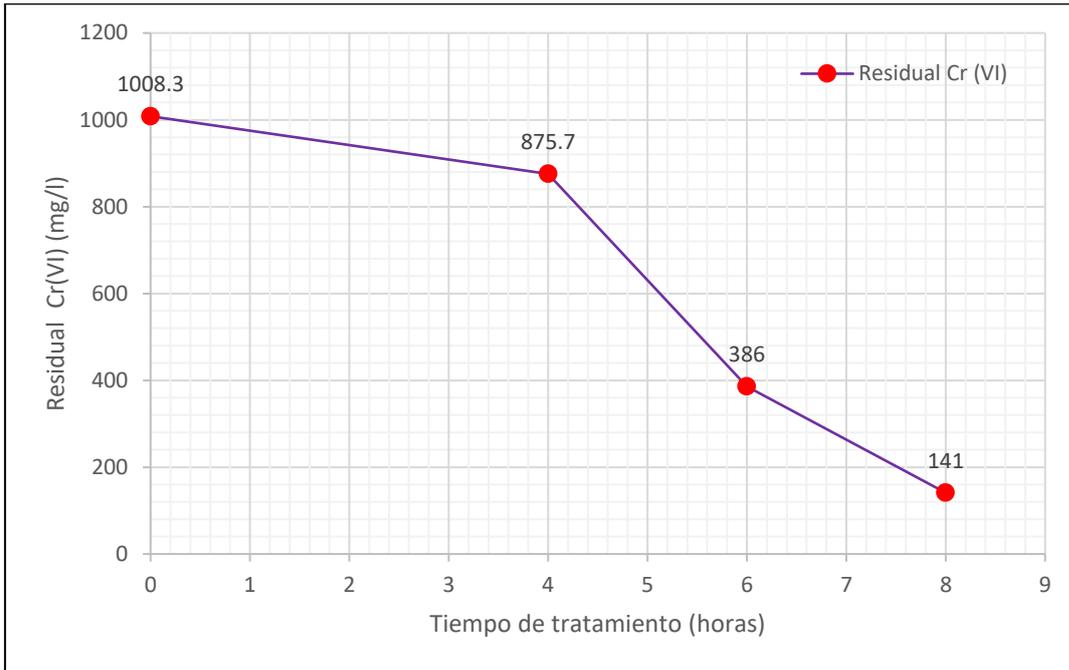


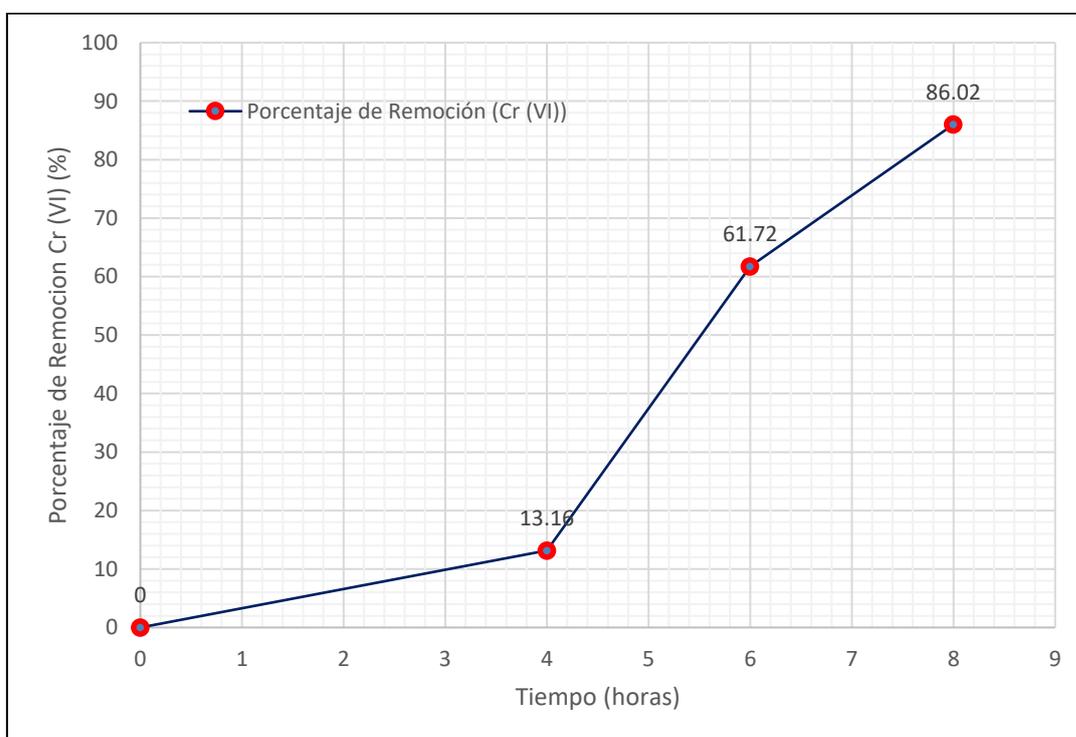
Figura 16. Grafica representativa del Cromo hexavalente remanente después de filtrar el agua contaminada con este metal.

**Tabla 4**

**Valores promedio de porcentaje de remoción de cromo hexavalente después del tratamiento por Biosorción.**

Tiempo (horas)	% remoción
0	0
4	13.16
6	61.72
8	86.02

A continuación, se presenta los valores de porcentaje de remoción del metal de cromo hexavalente, después del tratamiento de Biosorción a tiempos de 4, 6 y 8 horas.



*Figura 17.* Porcentaje de remoción de cromo hexavalente por biosorción, respecto al tiempo.

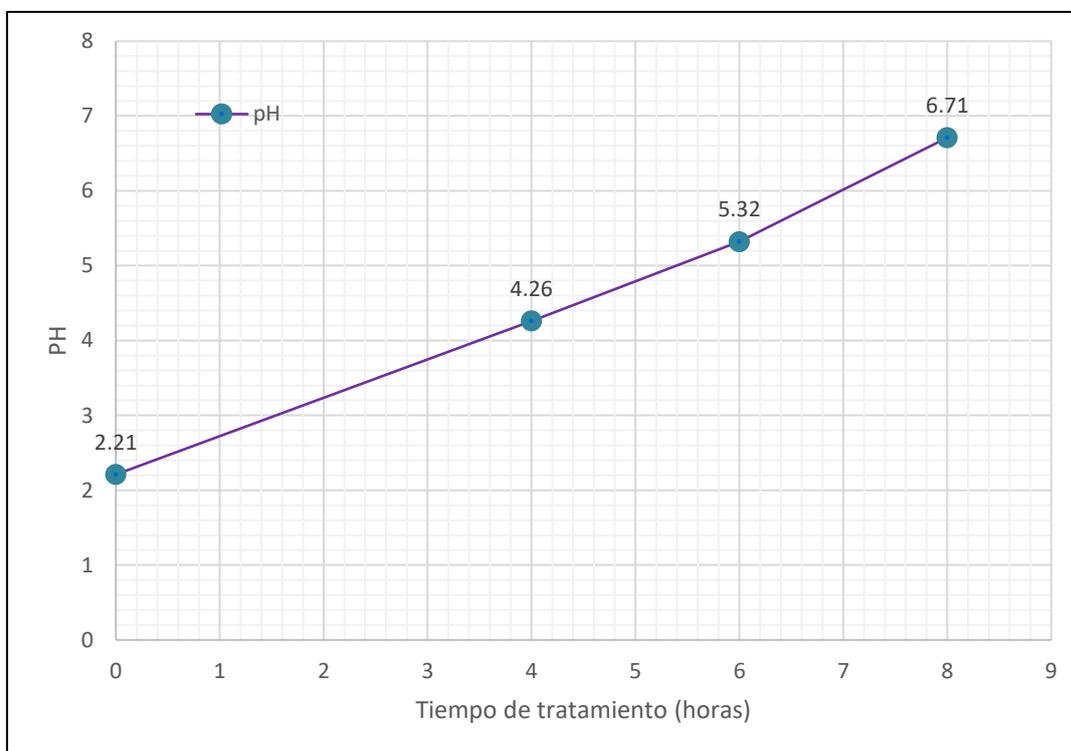
En la figura 17 podemos observar el gráfico del porcentaje de remoción de iones de cromo con un 86.02% como porcentaje máximo con un tiempo de 8 horas y el mínimo porcentaje de 13.16% en un tiempo de 4 horas.

**Tabla 5**

**Valores de pH de muestras analizadas antes y después del tratamiento de Biosorción.**

Tiempo de tratamiento (horas)	pH	pH promedio
0	2.24	2.21
	2.2	
	2.18	
4	4.22	4.26
	4.15	
	4.4	
6	5.33	5.32
	5.17	
	5.45	
8	6.75	6.71
	6.82	
	6.57	

Para la figura 18 tenemos el gráfico del pH, al inicio se tenía un pH ácido en promedio de 2.21 en un tiempo inicial 0, al cabo de 8 horas el pH promedio cambió a 6.71, siendo este valor mayor en un 67% con respecto al pH inicial.



*Figura 18.* Valores de pH, de muestras analizadas después del tratamiento de biosorción.

## CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

### 4.1 Discusión

En las figuras 16 y 17 se presentaron la cantidad remanente de iones cromo y porcentaje de remoción de estos iones respectivamente, la eficiencia de la remoción de estos iones, lo podemos atribuir al pH, pues este valor cambia con respecto al tiempo, según autores expresan que existen valores de pH, específicos para la formación y/o remoción de iones de cromo (Cr(III), Cr(V), Cr(VI)), pero en el caso del presente trabajo se trata solo del Cr(VI), donde expresan lo siguiente (Pellon, Benitez, Frades, & Cerpa, 2013) "El cromo hexavalente es un agente oxidante fuerte que muestra efectos negativos a la salud, lo cual la hace una especie peligrosa. Las especies principales de cromo hexavalente en medio acuoso son principalmente cinco:  $H_2CrO_4/HCrO_4^-$ ;  $CrO_4^{2-}$ ;  $HCr_2O_7^-/Cr_2O_7^{2-}$ ; su presencia depende del pH. Por esta razón muchos estudios han reportado que no hay adsorción a Cr(VI) a pH mayores a 6 debido a la competencia de los iones  $HCrO_4^-$ ,  $Cr_2O_7^{2-}$  y OH por los sitios activos", es por ello que se atribuye como factor esencial el pH en función del tiempo de tratamiento. De la misma manera (Parvaze AhmadWani, ShaziaWahid, RuchiSingh, & Ajijolaiya MorufatKehinde, 2017), expresa lo siguiente con respecto al valor del pH, "Los grupos funcionales como hidroxilo, carboxilo, fosfato, grupos amino y tiol presentes en la biomasa juegan un papel fundamental en su rol como adsorbente. Estos cambian su ion hidronio por el ion metálico o cediendo el par de electrones no enlazantes para la formación de complejos metálicos. Por otro lado, es necesario considerar que la bioadsorción también depende de otros factores como número de sitios activos, accesibilidad de sitios, química del estado de los sitios activos y la afinidad entre los sitios y los iones metálicos. Otro factor importante en la adsorción es el

grado de acidez o basicidad de la solución. El pH de una solución acuosa influencia en la disociación de grupos funcionales activos en el bioadsorbente (-OH, -COOH, -NH<sub>2</sub>)."

## 4.2 Conclusiones

- ✓ Se pudo determinar la influencia del tiempo de residencia en la remoción de cromo hexavalente con *Chlorophyta sensu lato*, mientras más tiempo de residencia mayor será el porcentaje de remoción.
- ✓ La concentración de cromo hexavalente antes del tratamiento fue de 1008.3 mg/L y después del tratamiento fue de 141 mg/L
- ✓ El porcentaje de remoción del cromo hexavalente utilizando a la *Chlorophyta sensu lato* fue de 86.02 %.
- ✓ El pH después de la remoción del cromo hexavalente, con *Chlorophyta sensu lato* se logró incrementar a 6.71 unidades de pH.

## REFERENCIAS

- Acosta-Rodríguez, I., Cárdenas González, J., Moctezuma-Zárate, M., & Martínez-Juárez, V. (2013). Removal of hexavalent chromium from solutions and contaminated sites by different natural biomasses. In *Bioremediation – Active and Passive Approaches*. (pp. 209-216). In Tech.
- Alloway, B. J. (2013). *Heavy Metals in Soils*. Netherlands: Springer Netherlands. Retrieved 08 1, 2019, from Cromo
- Autoridad Nacional del Agua (ANA). (2016, Julio 4). *Perú busca revertir la alarmante contaminación de sus aguas*. Retrieved from <https://actualidad.rt.com/actualidad/212174-peru-revertir-contaminacion-aguas>
- Campos, C., Cardenas, M., & Guerrero, A. (2008). Comportamiento de los indicadores de contaminación fecal en diferentes tipos de aguas en la sabana de Bogotá. *Scientiarum*, 103-108. Retrieved septiembre 25, 2017
- Chaparro, L. (2015). Drenaje ácido de mina formación y manejo. *Revista ESAICA*, 53.
- Demirbas, A. (2008). Heavy Metal Adsorption onto Agro-Based Waste Materials: A Review. *Journal of Hazardous Materials*. , pp. 220-229.
- Fernández, G., & Guzman, A. (2000). *Presencia Antropogénica de cromo (Cr) en el ambiente y su impacto en la salud de los pobladores de las Toscas*. Santa Fe, Argentina: Ambiente Ecologico.
- Glover, G., Gomez, L., Reyes, K., & Teresa, M. (2010). A practical demonstration of water disinfection using TiO<sub>2</sub> films and sunlight. *Water research*, 32-80.
- Hidalgo V, AR. 2010. Biosorción de plomo y cadmio mediante el aprovechamiento de residuos de madera (aserrín de pino) y extractos de algas marinas (alginato de calcio). Tesis para obtener el título profesional de Biólogo. México. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. 83 p.
- Hídricos, G.-G. d. (2015, Julio 14). Procesos de adsorción. *Gestión de Recursos Hídricos*. Universidad Jaume I de Castellón, Castellón de Plana, España. Retrieved Octubre 12, 2018, from <http://www.agua.uji.es/>
- Khasim, I. D., Kumar, N. N., & Hussain, R. C. (1989). Environmental contamination of chromium in agricultural and animal products near a chromate industry. *Environmental Contamination and Toxicology*, 742 - 745. Retrieved from ambientales., Los metales pesados y sus efectos.

Krishna, K. R., & Philip, L. (2005). Bioremediation of Cr(VI) in contaminated soils. *Journal of Hazardous Materials*, 121 (1), pp. 109 - 117.

Linda E. Graham , James M. Graham , Lee Warren Wilcox (2009) alga segunda edición.

Lopez, M., Lodeiro, P., Herrero, R., & Sastre de Vicente, S. (2012, Julio 15). Cr(VI) removal from synthetic and real wastewaters: The use of the invasive biomass *Sargassum muticum* in batch and column experiments. *ElSevier*, 1370-1376. Retrieved Abril 20, 2018

Merck, 2010. Merck Colombia. HYPERLINK "<http://www.merck-chemicals.com/colombia/>" <http://www.merck-chemicals.com/colombia/>

Miretzky, P., & Cirelli, A. (2010). Cr(VI) and Cr(III) Removal from Aqueous Solution by Raw and Modified Lignocellulosic Materials: A Review. *Journal of Hazardous Materials.*, pp. 1-19.

Mohan, D., & Pittman, J. (2006). Activated carbons and low cost adsorbents for remediation of tri- and hexavalent. *Journal of Hazardous Materials*, pp. B137, pp.762-811.

Negi, A.S.; Anand, S.C. (2004). *A Textbook of Physical Chemistry*. NMT-New Mexico Tech: New Age International. Retrieved Noviembre 16, 2018, from <http://infohost.nmt.edu/~jaltig/Langmuir.pdf>

Nguyen, T.A.H., & otros. (28 de Agosto de 2013). Applicability of Agricultural Waste and by-Products for Adsorptive Removal of. *Bioresource Technology.*, págs. 574-585.

OEHHA. (2016, Noviembre 09). *Efectos del Cromo Hexavalente Sobre la Salud*. Retrieved Abril 19, 2018, from <https://oehha.ca.gov/media/downloads/faqs/sphexchromiumairfact111616.pdf>

Parvaze AhmadWani, ShaziaWahid, RuchiSingh, & Ajijolaiya MorufatKehinde. (2017). Antioxidant and chromium reductase assisted chromium (VI) reduction and Cr (III) immobilization by the rhizospheric *Bacillus* helps in the remediation of Cr (VI) and growth promotion of soybean crop. *El Sevier*, 23-30. Retrieved Abril 16, 2018

Pellon, A., Benitez, F., Frades, P., & Cerpa, G. (2013). Empleo de microalga *scenedesmus obliquas* en la eliminación de cromo (III) presente en aguas residuales galvánicas. *ElSevier*, 15-26. Retrieved Abril 22, 2018

Sherameti, I., & Varma, A. (2011). *Detoxification of Heavy Metals*. Berlin: Heidelberg: Springer. Retrieved 08 1, 2019, from <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-642-21408-0#about>

Shriver & Atkins. (2008). *Química Inorgánica*. (Cuarta edición). Mc Graw Hill.

Vilches, A. G. (2009). Nueva cultura del agua. (*Tesis*). Universidad Privada del Norte ,  
Cajamarca. Retrieved agosto 01, 2019, from <http://www.oei.es/decada/accion06.htm>

## ANEXOS

ANEXO N° 1. Reporte de análisis de efluentes contaminantes.

<i>Muestras</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Unidad</i>
01	20	Litros

<i>Tiempo de tratamiento (horas)</i>	<i>Cr(VI) (mg/l)</i>	<i>Cr(VI) (mg/l) - Promedio</i>
0	1000	1008.3
	1015	
	1010	
4	876	875.7
	881	
	870	
6	386	386.0
	380	
	392	
8	138	141.0
	146	
	139	

**LEYENDA:**  
 20 litros de drenaje de mina  
 12 muestras de agua residual, sin y con tratamiento por Biosorción con *CHLOROPHYTA SENSU LATO* (algas) y tiempos de tratamiento de 4, 6 y 8 horas.

Av. Juan Pablo II s/n- Teléfono: (044) 203510  
 Pabellón de Ingeniería de Materiales  
 Ciudad Universitaria.



ANEXO N° 2. Reporte de valores de pH.



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA DE MATERIALES**  
LABORATORIO DE MATERIALES COMPUESTOS



---

Valores de pH

Tiempo de tratamiento (horas)	pH	pH promedio
0	2.24	2.21
	2.2	
	2.18	
4	4.22	4.26
	4.15	
	4.4	
6	5.33	5.32
	5.17	
	5.45	
8	6.75	6.71
	6.82	
	6.57	

**LEYENDA:**  
 20 litros de drenaje de mina  
 12 muestras de agua residual, sin y con tratamiento por Biosorción con *CHLOROPHYTA SENSU LATO* (algas) y tiempos de tratamiento de 4, 6 y 8 horas.



---

Av. Juan Pablo II s/n- Teléfono: (044) 203510  
 Pabellón de Ingeniería de Materiales  
 Ciudad Universitaria.

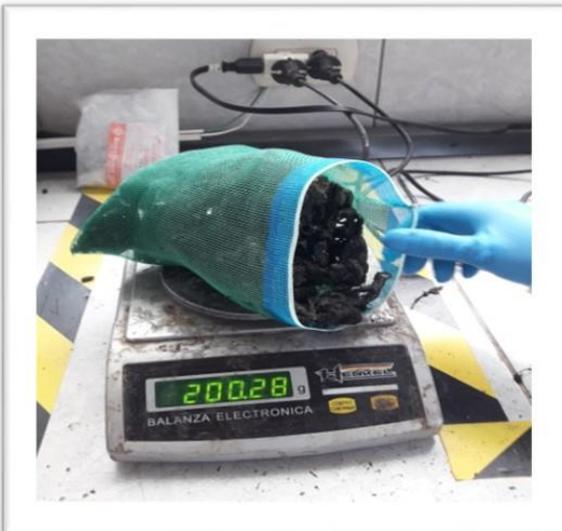
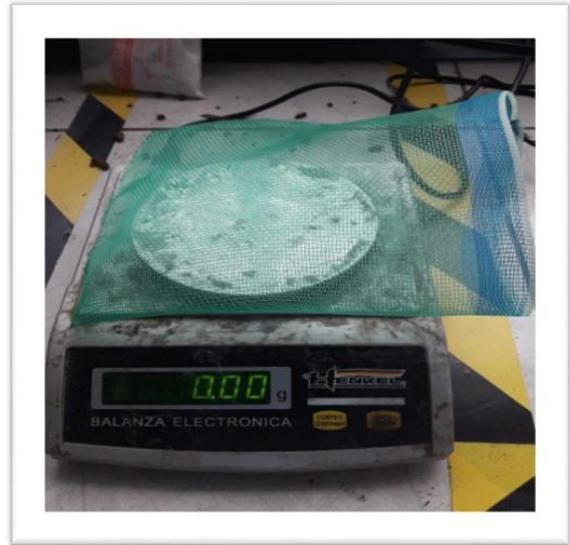
ANEXO N° 3. Limpieza de las Algas.



ANEXO N° 4. Secado y Limpieza de las Algas.



ANEXO N° 5. Pesado de las Algas en su malla Filtro.



ANEXO N° 6. Efluente contaminado.



ANEXO N° 7. Montaje del filtro dentro de la cámara, para el proceso de biosorción y funcionamiento.



ANEXO N° 8. Integrantes del proyecto “Influencia del tiempo de residencia en la remoción de Cromo hexavalente con *Chlorophyta sensu lato* en drenaje ácido de mina”, Jorge y Luis Alberto, en el laboratorio de materiales de la Universidad Nacional de Trujillo.

