



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA
AMBIENTAL

**Efecto del pH y el tamaño de partícula de *Chondracanthus chamissoi* en
adsorción de cromo del efluente de curtiembre “Chimú SAC”-Trujillo 2016**

TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AMBIENTAL

AUTOR

RAMIREZ CABANILLAS, Juan José

ASESOR

Dr. RIVERO MENDEZ, José Félix

LINEA DE INVESTIGACIÓN

CALIDAD Y GESTIÓN DE LOS RECURSOS NATURALES

TRUJILLO – PERÚ

2016

Título de Tesis:

Efecto del pH y el tamaño de partícula de *chondracanthus chamissoi* en adsorción de cromo del efluente de curtiembre “Chimú SAC”-Trujillo 2016

Juan José Ramírez Cabanillas
Autor

Presentada a la Escuela de Ingeniería Ambiental de la Universidad Cesar Vallejo,
para su aprobación.

Ing. Medardo Alberto Quezada
Presidente

Ing. Misael Ydilbrando Villacorta
Secretario

Ing. José Félix Rivero
Vocal

DEDICATORIA

Dedico principalmente este trabajo al creador, de igual forma está dedicado a Jesi Cabanillas Pairazamán, la persona que me dio la vida; quien tomando doble rol de padre y madre en mi crianza, ha sabido formarme con buenos valores y me ha guiado en el proceso de mi vida personal y profesional.

A mis Abuelos Juan y Nelly; a mis tíos Víctor, Juan Carlos, Nancy y Johnny, por su apoyo y consejos; ya que siempre estuvieron allí para ayudarme. Y a mis hermanos para que vean en mi un ejemplo de superación y puedan seguir con sus sueños profesionales.

A mis amigos con los que nos apoyarnos mutuamente durante nuestra formación profesional y que hasta hoy seguimos siendo grandes amigos: Enma, Keevin, Luz y Tamara.

AGRADECIMIENTO

A Dios por haber puesto en mí camino durante estos años de estudio, a las personas correctas y estar en cada paso que doy.

A mi madre por poder brindarme una carrera profesional, es el mejor regalo que me puede dejar.

A mi Asesor, el Dr. José Félix Rivero Méndez por su apoyo, sugerencias y aportes durante el proceso de la elaboración de la tesis. Así mismo, a todos los docentes que pusieron un poco de su conocimiento en mí, para poder llegar hasta esta etapa de mi vida académica.

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, RAMIREZ CABANILLAS, JUAN JOSÉ con DNI N° 72205098, a efecto de cumplir con las disposiciones vigentes consideradas en el reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Cesar Vallejo, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería ambiental, declaro bajo juramento que toda la documentación que acompaño es veraz y auténtica.

Así mismo, declaro también bajo juramento que todos los datos e información que se presenta en la presente tesis son auténticos y veraces.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas de la Universidad César Vallejo.

Trujillo, Diciembre del 2016

RAMIREZ CABANILLAS, JUAN JOSÉ

PRESENTACIÓN

Sres. Miembros del jurado:

En cumplimiento con las disposiciones vigentes del reglamento de grado y títulos de la facultad de ingeniería de la universidad Cesar Vallejo de Trujillo, someto a su consideración y elevado criterio el presente informe de tesis titulado:

Efecto del pH y el tamaño de partícula de *chondracanthus chamissoi* en adsorción de cromo del efluente de curtiembre “Chimú SAC”-Trujillo 2016

Es propicia esta oportunidad para brindar nuestro sincero reconocimiento a nuestra alma mater y toda su plana docente, que con su capacidad y buena voluntad contribuyeron a nuestra formación profesional.

ÍNDICE

DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD	v
PRESENTACIÓN	vi
ÍNDICE	vii
RESUMEN	ix
ABSTRACT	x
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Realidad Problemática	1
1.2. Trabajos Previos	2
1.3. Teorías relacionadas al tema.	4
1.3.1. Marco teórico.....	4
1.3.2. Marco conceptual.....	10
1.4. Formulación del problema.....	12
1.5. Justificación del estudio	12
1.6. Hipótesis	12
1.7. Objetivos.....	13
1.7.1. General.....	13
1.7.2. Específicos.....	13
II. METODOLOGIA	14
2.1. Diseño de investigación	14
2.1.1. Diseño Experimental Bifactorial	14
2.2. Variables y operacionalización.	15
2.2.1. Operacionalización de las variables	15
2.3. Población y muestra	16
2.3.1. Población	16
2.3.2. Muestra	16
2.3.3. Unidad de análisis.....	16
2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y calibración.....	16
2.4.1. Técnicas.....	16
2.4.2. Instrumentos y materiales de recolección de datos	17

2.5. Método de análisis de datos	18
2.6. Aspectos éticos	18
III. RESULTADOS	19
IV. DISCUSIONES	24
V. CONCLUSIÓN.....	27
VI. RECOMENDACIONES	28
VII. REFERENCIAS	29
VIII. ANEXOS	32

TABLAS

Tabla 1: Diseño bifactorial del pH y el tamaño de partícula del alga <i>Chondracantus chamissoi</i>	14
Tabla 2: Equipos utilizados y su calibración	18
Tabla 3: Valores iniciales de parámetros evaluados de la curtiembre Chimu SAC.	19
Tabla 4: Promedios de las concentraciones finales de cromo (ppm) de las 3 repeticiones de los ensayos.....	19
Tabla 5: Prueba de igualdad de Levene de varianzas de error	21
Tabla 6: Análisis de varianza (ANOVA).....	22
Tabla 7: Pruebas de Post hoc para pH y Tamaño de partícula	23

FIGURAS

Figura 1: Ciclo ambiental del cromo. (IPCS, 2015).....	9
Figura 2: Enlaces glucosídicos- β y enlaces glucosídicos- α	11
Figura 3: Variación del Porcentaje de adsorción de cromo en función del número de Tamiz para los diferentes valores de pH	20
Figura 4: Variación del Porcentaje de adsorción de cromo en función del pH, para los diferentes números de Tamiz.....	20
Figura 5: Normalidad y autocorrelación de adsorción de cromo	22

RESUMEN

El presente trabajo investigó la influencia del pH y el tamaño de la partícula del alga *Chondracanthus chamissoi* en la adsorción de cromo del efluente de la curtiembre Chimu SAC Trujillo 2016.

La materia prima se sometió a un proceso de lavado, secado, triturado, tamizado y luego envasado en frascos de vidrio para su posterior uso en las pruebas de ensayo con el efluente de curtiembre.

Se estableció un diseño experimental bifactorial teniendo dos variables independientes: pH (3, 4, 5, 6) y tamaño de partícula del alga (0.850, 0.430, 0.250 y 0.150) en milímetros. Se mantuvieron fijas la velocidad de agitación (200 rpm), el tiempo de agitación (1 hora), la concentración (40 gr/L), el volumen de muestra (100 mL) y la temperatura de trabajo ($23 \pm 1^\circ\text{C}$). Se estudiaron las interacciones entre los dos factores a ser evaluados y su efecto en la adsorción de cromo del agua residual de la curtiembre "Chimu SAC".

Se logró determinar que el pH y tamaño de partícula de *Chondracanthus chamissoi* influyen en la adsorción de cromo, encontrándose las variables óptimas de pH 3 y un tamaño de partícula del alga de 0.250mm; de esta manera se logró obtener un 56.33 % de adsorción de cromo.

PALABRAS CLAVES: *Chondracanthus chamissoi*, adsorción, pH, tamaño de partícula, cromo.

ABSTRACT

This study investigated pH and *Chondracanthus chamissoi* particle size influence on chromium adsorption in Chimu S.A.C. tannery effluent.

Raw material was washed, dried, crushed, sifted and packed in glass jars for later use in tests.

A bifactorial experimental design was established with two independent variables: pH (3, 4, 5 and 6) and particle size of algae (0.850, 0.430, 0.250 and 0.150) in millimeters. Speed (200 rpm), stirring time (1 hour), concentration (40 gr/L), sample volume (100 mL) and working temperature ($3\pm 1^{\circ}\text{C}$) were kept fixed. Interactions between factors and their effect on Chromium adsorption from Chimu S.A.C. tannery effluent was studied.

It was established that pH and particle size of *Chondracanthus chamissoi* influenced on chromium adsorption having optimal results at pH 3 and 0.250mm of algal particle size. A 56.33% chromium adsorption was achieved.

Key words: *Chondracanthus chamissoi*, adsorption, pH, particle size, chromium

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad Problemática

En los Estados Unidos de América (USA), en lo que concierne a la Agencia Estadounidense de Protección Ambiental (EPA) y todos los estados elaboraron e implementaron de forma rigurosa sus estándares para los efluentes de los residuos de las curtiembres, los curtidores tuvieron tres opciones: Cumplir con los estándares en las plantas existentes, trasladar las operaciones en húmedo a nuevas plantas con controles de contaminación o cerrar.

Esta es la razón por la cual la situación haya cambiado tanto; hace veintiocho años en los Estados Unidos existían más de 300 curtiembres, hoy en día existen menos de 90, diez de estas curtiembres producen el 50% del cuero acabado en los EE.UU. (MERA R. et al, 2010)

La industria del cuero en el Perú se encuentra en estado crítico debido a la presencia de fuerzas internas y externas. Muchas curtiembres formales han cerrado. Frecuentemente, los operadores y empleados de una curtiembre formal que cierra han reaparecido como curtiembres informales. Muchas curtiembres formales inclusive alquilan sus servicios a curtidores informales. Estas curtiembres informales en el Perú implican menos impuestos, menos protección y seguridad para el trabajador, y una mayor, contaminación con serias consecuencias ambientales y sobre todo para la salud pública. (MERA R. et al 2010).

La industria formal e informal de la manufactura del calzado en Trujillo, data desde la década del 90. Las curtiembres antes se encontraban lejos de la ciudad, ahora prácticamente son parte del continuo urbano de Trujillo. Muchos curtidores informales operan dentro de sus propias casas, rodeados de sus vecinos que sufren las consecuencias, así como los pobladores de la gran ciudad en general, pues los residuos tóxicos que producen las curtiembres en su procesamiento utilizan sustancias químicas, e incluyen pelo, pedazos de piel y carne, sangre, estiércol, sales, sal común, sales de cromo y sulfuros entre otros. Después del proceso de curtido, se generan lodos si es que la curtiembre cuenta con planta de tratamiento, pero en caso de Trujillo “capital del cuero y calzado” sus efluentes líquidos trasladan gran

cantidad de agua residual (mezcla de todos los componentes utilizados), que son vertidos directamente a las alcantarillas y tienen como destino final el mar del litoral de Trujillo. Se sabe que durante el proceso de curtido por lo menos 450Kg de insumos químicos son adicionados por tonelada de piel. Por lo que una gran cantidad de contaminantes son descargados inescrupulosamente a nuestras playas, no olvidemos que el cromo hexavalente es un metal potencialmente tóxico para los organismos acuáticos, cancerígeno para los mamíferos incluyendo al ser humano, está demostrada su toxicidad por ser cáustico para la piel y las mucosas, daño cutáneo, pulmonar, renal, hemático, hepático y cardiovascular; carcinógeno (pulmón). Ni el Gobierno Central, Regional ni Local, han tomado hasta la fecha medidas para poner fin a esta contaminación, permitiendo se viole las normas que protegen la salud de las personas y el medio ambiente. (MERA R. et al, 2010)

Es por ello que se pretende tratar los efluentes de la industria del cuero, con el alga seca *Chondracanthus Chamiso* por procesos de adsorción; haciendo que el cromo se adhiera a las paredes externas del alga, haciendo que los efluentes que se disponen al servicio de alcantarillado y posteriormente a la planta de tratamiento de agua residual de Trujillo, salgan menos cargados con este metal pesado (cromo), y si es posible recuperar y hacer recircular este metal usado en la industria del cuero, siendo más amigables con el ambiente.

1.2. Trabajos Previos

La realización de este estudio de investigación se basó en los siguientes antecedentes.

VISCAÍNO (2014). Diseñó un sistema para evaluar la remoción de Cd, Pb y Zn empleando biomasa de algas rojas, cáscaras de naranja (*Citrus sp.*) y tuna guajira (*Opuntia sp.*). Obtuvo como resultado una mayor capacidad de sorción de las algas modificadas con NaOH 0.1 N y de la naranja y la tuna con modificación sucesiva con NaOH y CaCl₂ 0.2 M. La eficiencia de remoción se determinó mediante un reactor de flujo continuo de columna fija con un volumen líquido de 400 mL, 75 g de biomasa y tiempos de

retención promedio de 1 y 2 h. Los resultados mostraron una eficiencia similar de las tres biomásas para remover Cd y Pb, con promedios superiores al 95%, mientras que el Zn se removió con mejor eficiencia (62%) al emplear tuna modificada como sorbente. Finalmente, el material se calcinó a 700 °C con lo que se obtuvo una ceniza estable frente a soluciones ácidas, lo cual garantiza la captura de los metales removidos.

TEJADA, et al (2014). Estudió las generalidades de la adsorción como proceso alternativo para la remoción de contaminantes en solución y las biomásas comúnmente usadas en estos procesos, además de algunas de las modificaciones realizadas para la mejora de la eficiencia de adsorción de las mismas. Se concluye que el uso de la adsorción en la remoción de contaminantes en solución acuosa mediante el uso de biomasa residual es aplicable a estos procesos de descontaminación evitando problemas subsecuentes como la generación de lodos químicos, y generando un uso alternativo a materiales considerados como desechos. Se identifica además que factores como el pH de la solución, tamaño de partícula, temperatura y la concentración del metal influye en el proceso.

CUIZANO, et al (2010). Evaluó la adsorción de los iones metálicos de plomo, zinc, cobre, cadmio y oro con las algas marinas pardas *Lessonia nigrescens* Bory (L13) y *Macrocystis integrifolia* Bory (S12). Los resultados muestran un fuerte efecto del pH en la química acuosa del ion metálico. Experimentalmente se comprueba la preferencia de ambas algas por el ion Pb (II) y Cd (II). El ion $AuCl_4^-$ mostro una lenta cinética de formación de cloro e hidroxí-complejos que depende fuertemente del pH, lo que sugiere un peculiar mecanismo por intercambio de ligandos en comparación del conocido intercambio iónico que fue observado para los cationes divalentes estudiados.

GUTIERREZ (2015). Seleccionó la cepa de *Serratia marcescens* M8A-2T para optimizar los parámetros físico químicos de remoción de cadmio. La biomasa logró remover 99,97 % de cadmio a pH 3, después de 60 minutos de enfrentamiento con 100 ppm del metal y operó muy bien con biomasa de granulometría menor a 50 μ m y 1 mg/ml de concentración.

MARTÍN (2008). Utilizando hueso de aceituna como materia prima, Los resultados obtenidos indican que el pH es uno de los factores que más afectan al proceso de biosorción y respecto al efecto del tamaño de partícula, observó que a medida que éste aumenta disminuye el porcentaje de plomo retirado. Respecto al efecto del tamaño de partícula observó que a medida que éste aumenta disminuye el porcentaje de plomo retirado, el porcentaje de plomo retirado varía de un 82 % para tamaños de partícula <0.250 mm a un 67 % para tamaños >1.000 mm, lo que indica que en este biosorbente la adsorción superficial es importante, ya que un aumento en la superficie específica favorece el proceso.

MONGE (2009). Investigó que a pH menores a 4 la biosorción se ve afectada pues se reduce la atracción entre biomasa y metal, ejecutó un proceso de biosorción de cobre con un consorcio microbiano en un reactor continuo que a pH entre 3-4 removió el 94% durante 6 días, pero entre pH 4 - 5 el proceso remueve el 97% del cobre.

RIOS (2014). Investigó la capacidad de biosorción de Arsénico realizado por biomasa de harina de cáscara de banano maduro con dos variables independientes: tamaño de partícula de la biomasa (0,400 mm y 841 μ m) y cantidad de biomasa absorbente (4, 8, 12 y 16 g/L); para la eliminación de metales pesados, obteniendo un porcentaje de remoción del 95.5 %. El pH ácido, favorece la adsorción, ya que el grado de protonación de la superficie aumenta y en consecuencia también aumenta la adsorción de los metales pesados.

1.3. Teorías relacionadas al tema.

1.3.1. Marco teórico

1.3.1.1. Proceso de Curtiembre

El proceso de curtiembre tiene como finalidad transformar la piel de un animal en un producto imputrescible y con mejores propiedades. Para esto, la piel pasa por una serie de etapas que la acondicionan y transforman hasta obtener el producto final. Existe un procedimiento general para el proceso que las curtidurías suelen modificar, ya sea

alterando la secuencia de etapas a seguir o utilizando diferentes reactivos, para poder diferenciar su producto. Este hecho es muy importante pues, si la diferenciación es efectiva y produce un cuero de alta calidad y buenas propiedades, la curtiduría será más competitiva frente a las demás. Pero, al no existir un proceso estandarizado, no se puede generalizar las propiedades de los efluentes y habrá gran variabilidad en la matriz del efluente de cada empresa de curtido. El proceso general consta de cuatro etapas principales: ribera; curtido; recurtido, teñido y engrase; y, secado y acabado. (REY DEL CASTRO, 2013).

1.3.1.2. Efecto del pH en la adsorción

El pH de la solución acuosa es un parámetro principal que controla los procesos de adsorción de metales en distintos adsorbentes, debido al hecho, de que los iones hidrógeno se constituyen en un adsorbato fuertemente competitivo. La adsorción de iones metálicos obedece tanto a la naturaleza de la superficie adsorbente como a la distribución de las especies químicas del metal en una solución acuosa. El valor del pH de la fase acuosa es el factor más resaltante tanto en la adsorción de cationes como de aniones, siendo el efecto diferente para ambos casos. Así es que mientras que la adsorción de cationes suele estar favorecida para valores de pH superiores a 4,5, la adsorción de aniones prefiere un valor bajo de pH, entre 1,5 y 4. (TEJADA 2014).

1.3.1.3. Efecto del tamaño de la partícula

La adsorción tiene lugar fundamentalmente en el interior de las partículas, sobre las paredes de los poros en puntos específicos. La cantidad de adsorbato (solute) que se puede adsorber es directamente proporcional al volumen, y es bien conocido que este volumen es directamente proporcional al área externa y también que una partícula pequeña tiene mayor área superficial, o sea mayor área de la superficie interna por su cantidad de poros por unidad de masa. (TEJADA 2014).

1.3.1.4. Mecanismos de retención de Metales pesados

Se ha recomendado una secuencia de mecanismos que explican el secuestro o retención del metal en varias partes del biosorbente. Así, esto puede ocurrir gracias a:

- Complejación o quelación: el metal es atraído a los centros activos de la pared celular mediante enlaces químicos formando complejos.
- Adsorción física: se incorporan aquí los fenómenos que se vinculan a las fuerzas de Van der Waals. En este caso la adsorción es veloz y reversible.
- Intercambio iónico: le corresponde a los iones metálicos que se intercambian con iones propios de los polisacáridos que se encuentran en la biomasa. El proceso también es veloz y reversible.
- Precipitación: el mecanismo está vinculado a la formación de un complejo en la pared celular que posteriormente es hidrolizado.

Normalmente se considera que la adsorción puede aparecer en más de uno de los mecanismos designados, siendo muy complicado de explicar el o los mecanismos que tienen lugar dentro de un proceso de adsorción determinado (PLAZA 2012).

1.3.1.5. Tipo de biomasa empleada para la adsorción.

Los biosorbentes pueden clasificarse en sorbentes de bajo o alto costo. El primer grupo está formado por materiales recolectados directamente de la naturaleza (por ejemplo algas marinas) y por residuos o productos de diferentes industrias (por ejemplo de la fermentación del vino y del pan). El otro grupo incluye a los materiales que son cultivados, preparados o sintetizados especialmente para ser usados en los procesos de adsorción.

Todos los materiales biológicos se caracterizan por la estructura y composición química de su pared celular. La estructura de la misma hace referencia a la rigidez, porosidad, flexibilidad, al efecto de hinchazón (dilatación y contracción por incorporación de agua durante el proceso

de adsorción). Desde el punto de vista de la adsorción, tanto la composición química como la estructura influyen en la capacidad del material para la remoción de metales pesados. Asimismo determinan las modificaciones químicas o fisicoquímicas que podrían aplicarse (pre-tratamiento o tratamiento) para inducir o mejorar la capacidad de adsorción del material biológico. (PLAZA 2012)

1.3.1.6. Composición de algas.

La pared típica consiste en un esqueleto fibrilar embebido de una matriz amorfa mucilaginosa. El componente fibrilar más común es la celulosa.

Existen pocas publicaciones sobre adsorción empleando algas en relación a 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. El tema es relativamente nuevo pero ha despertado el interés en la comunidad científica en los últimos años. De acuerdo a la bibliografía, las algas marrones tienen mayor capacidad de adsorción de metales que las algas rojas y verdes. Muchos investigadores emplearon algas marrones tratadas de diferentes formas con el objetivo de mejorar su capacidad de adsorción. (PLAZA 2012).

1.3.1.7. Centros de adsorción de las algas marinas

La efectividad de las algas para adsorber selectivamente cationes metálicos pesados se debe a la presencia de grupos funcionales con elevada densidad electrónica: alginatos y fucoidanos. Siendo los alginatos los mayoritariamente responsables de la adsorción.

La formación de geles de los alginatos es favorecida por la dimerización de cadenas de alginato en solución, formando el llamado "egg box". Donde los cationes divalentes se quedan "atrapados" dentro de la estructura dimérica del alginato. (CUIZANO, 2008)

Los segundos grupos funcionales son los fucoidanos, los cuales son polisacáridos con grupos sulfato esterificados con pKa alrededor de 1 a 2.5. Si bien su capacidad de adsorción es relativamente baja, su efectividad se manifiesta a bajo pH mediante la desprotonación de

sus grupos ácidos. Es por ello que si bien muchos adsorbentes como quitosano, quitina y hongos poseen capacidades de adsorción casi nula a pH menor que 3, las algas marinas, aún mantienen cierta capacidad adsorbente de metales pesados bajo estas condiciones, incluso a valores cercanos a 2. Los fucanoides podrían constituir una poderosa herramienta frente a condiciones extremas de las aguas residuales (fuertemente ácidas) ya que adsorben metales tóxicos bajo esas condiciones. (CUIZANO, 2008)

1.3.1.8. Cromo en las fuentes Hídricas

La existencia de cromo en el agua es producto de los procesos de precipitaciones, mineralización de las rocas, arrastre de material particulado en la atmósfera o el vertido de desechos industriales que comprenden el metal. La concentración de cromo en los lagos, ríos y mares es mínima. Las industrias como la metalurgia, el cromado, producción de textiles y cuero o la producción de cemento, son las principales causantes del incremento en la concentración de cromo trivalente y hexavalente en el agua. Su distribución y la relación entre estos estados del metal dependen directamente de las condiciones hidrológicas de los cuerpos de agua como pH y temperatura o de los procesos químicos de oxidación por la presencia de óxidos de manganeso y disminución por existencia de iones de hierro o procesos fotoquímicos que se lleven a cabo (ARDILA 2012).

1.3.1.9. Ciclo del cromo en el Ambiente

En general, los efluentes industriales que contienen cromo se incorporan a los recursos hídricos, y eventualmente, llegan a lo océano. La forma química dependerá de la presencia de materia orgánica en las aguas, ya que si se encuentra presente en grandes cantidades, el Cr (VI) será reducido a Cr (III), el cual se podrá absorber en las partículas o formar complejos insolubles. De esta manera, se mantendrán en suspensión cerca del sitio de entrada al ambiente, ser transportados al océano, o bien, precipitar y ser incorporados a los sedimentos. En los océanos ocurre un proceso similar. La proporción de Cr (III) es directamente

proporcional a la profundidad de los sedimentos. La Figura 1 mostrará a fondo como puede el cromo ser arrastrado por las diferentes participaciones del medio ambiente (IPCS, 2015).

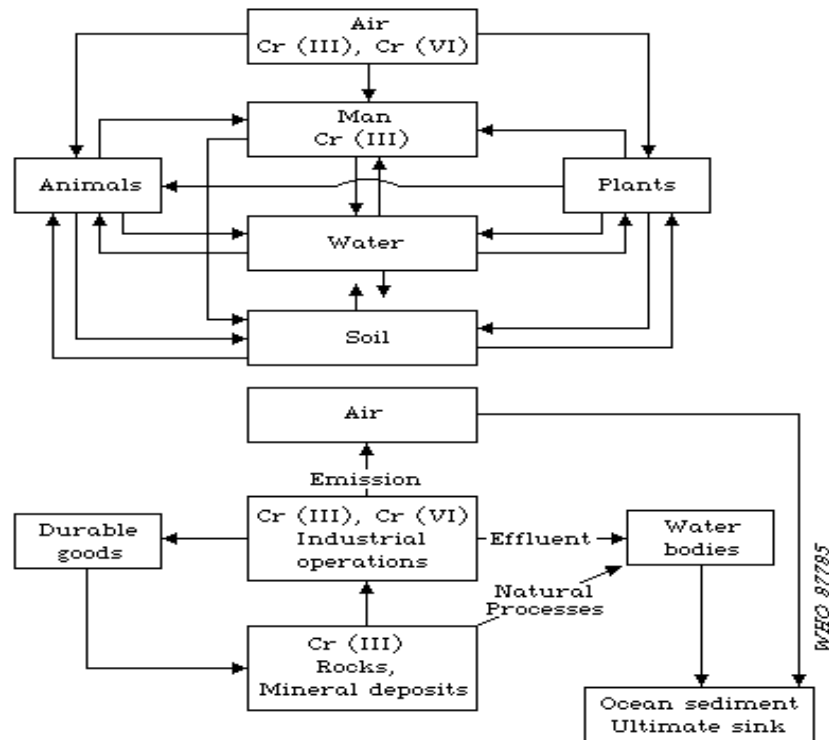


Figura 1: Ciclo ambiental del cromo. (IPCS, 2015).

1.3.1.10. Toxicidad del cromo

A pesar de que el cromo es esencial en cantidades del orden de los miligramos para los seres humanos en su estado de oxidación (III), el cromo (VI) es tóxico y un carcinógeno reconocido. Aun cuando se clasifica al cromo (VI) como el principal agente tóxico, muchas lesiones celulares no son causadas directamente por este sino por los estados de oxidación intermedios (V) y (IV), y el cromo reducido, cromo (III), producido intracelularmente. La toxicidad del cromo (VI) se da por la acumulación de lesiones genéticas de diversos tipos cuando las diferentes formas de cromo intracelular interactúan con el material genético. Debido a las lesiones que afectan la estructura y/o secuencia del ADN, el cromo (VI) ha sido clasificado como un agente genotóxico. (REY DEL CASTRO 2013).

1.3.2. Marco conceptual

1.3.1.2.1. Adsorción

Es un proceso que radica en la captación de diversas especies químicas por una biomasa (viva o muerta), a través de mecanismos fisicoquímicos como el intercambio iónico. El procedimiento de adsorción tiene una fase sólida: biomasa (adsorbente) y una fase líquida (solvente) que contiene las especies disueltas (adsorbatos) que van a ser capturadas por el sólido, por consiguiente para que este proceso se lleve a cabo debe hallarse afinidad del adsorbente por los adsorbatos, para que estos últimos sean transportados hacia el sólido donde se van a quedar retenidos debido a diferentes mecanismos. (QUIÑONES, 2014)

1.3.1.2.2. *Chondracanthus Chamissoi*

El “cochayuyo” *Chondracanthus chamissoi* es una especie endémica de la costa templada del Pacífico Sur, que se distribuye desde Paita, Perú hasta Chiloé, Chile, y habita en las zonas rocosas del intermareal y submareal; es considerada una de las algas rojas más abundantes de la costa peruana.

1.3.1.2.3. Ácido Algínico

El ácido algínico es el principal constituyente de la matriz amorfa de las algas y es el responsable de la ligación de los metales pesados mediante sus grupos carboxilos. El ácido algínico es un polisacárido compuesto por los ácidos β 1,4 D- manurónico (M) y α 1,4 gulurónico (G). (GUPTA 2009, CUIZANO 2008).

1.3.1.2.4. Alginato

El contenido de alginato (que proviene del ácido algínico) representa un 10 % - 40 % del peso seco del alga, dependiendo de las condiciones ambientales donde crecen, del ciclo de vida en el que se encuentra y del estado sanitario. Los alginatos son las sales del ácido algínico, polisacárido lineal constituido por dos unidades monoméricas, el ácido β -D-manurónico (M) y el ácido α -L-gulurónico (G). Estos se agrupan en bloques de

secuencias MM, MG, unidos por enlaces glucosídicos β (1-4); y bloques GG, GM, unidos por enlaces glucosídicos α (1-4). (CAMPO 2013).

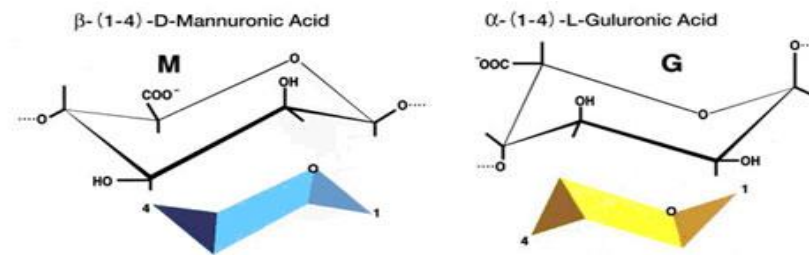


Figura 2: Enlaces glucosídicos- β y enlaces glucosídicos- α

1.3.1.2.5. pH

Coeficiente que indica el grado de acidez o basicidad del efluente de la curtiembre. El pH neutro es 7; si el número es mayor, la solución, es básica, y si es menor, es ácida. (ARDILA, 2012).

1.3.1.2.6. Tamaño de Partícula

Son los fragmentos pequeño del alga seca que mantiene las propiedades químicas. Para clasificar partículas de una muestra, se utiliza un tamiz en términos de su capacidad o incapacidad que presentan para pasar a través de una maya o tela metálica interior con agujeros de dimensiones regulares. (GUTIERREZ, 2014).

1.3.1.2.7. Cromo

El cromo es un elemento redox activo, pudiendo encontrarse como Cr (III) o Cr (VI). El Cr (VI) es un poderoso carcinógeno, ya que puede modificar los procesos de transcripción del ADN causando importantes aberraciones cromosómicas. Sin embargo, el Cr (III) es reconocido como un nutriente esencial requerido en el metabolismo de azúcares y grasas, que puede ejercer efectos genotóxicos bajo condiciones de alta exposición. (REY DEL CASTRO 2013).

1.4. Formulación del problema

¿Cuál es el efecto del pH y el tamaño de la partícula del alga *Chondracanthus Chamissoi* en la adsorción de cromo del efluente de la curtiembre “Chimú SAC”-Trujillo 2016?

1.5. Justificación del estudio

El proceso de curtiembre da inicio a grandes volúmenes de efluentes con una variedad de carga contaminante. El agente curtiente utilizado es el $\text{Cr}(\text{OH})\text{SO}_4$, el cual produce grandes concentraciones de cromo en los efluentes. Puesto que las pieles sólo logran absorber un 60 – 70% de cromo, el 30% - 40% restante es perdido y, al ser excluido con los efluentes, da lugar a un grave problema ambiental. (REY DEL CASTRO, 2013).

Considerando el concepto de sustentabilidad, resulta importante investigar diferentes matrices de biomasa para adsorción de metales pesados, matrices que tengan precios más bajos y ocasionen el menor impacto ecológico posible. Hoy en día existe una gran variedad de estudios sobre el tema, sin embargo en el ámbito local son muy pocas las implementaciones reales que se han aplicado en cuanto a la bioremediación; por lo que el presente trabajo pretende investigar la capacidad de adsorción del alga *Chondracanthus chamissoi*, para su uso en bioremediación de aguas contaminadas de cromo del efluente de la curtiembre Chimú SAC.

1.6. Hipótesis

El pH y el tamaño de partícula de *Chondracanthus chamissoi* tienen efecto significativo en la adsorción de cromo del efluente de la curtiembre Chimú SAC-Trujillo 2016.

1.7. Objetivos

1.7.1. General

Determinar la influencia del pH y el tamaño de la partícula del alga *Chondracanthus Chamissoi* en la adsorción de cromo del efluente de la curtiembre Chimú SAC Trujillo 2016

1.7.2. Específicos

- a. Evaluar el pH a tamaño de partícula constante, en función de la adsorción de cromo del efluente de la curtiembre Chimú SAC Trujillo 2016.
- b. Evaluar el tamaño de partícula del alga *Chondracanthus Chamissoi* a pH constante, en función de la adsorción de cromo del efluente de la curtiembre Chimú SAC Trujillo 2016.

II. METODOLOGIA

2.1. Diseño de investigación

2.1.1. Diseño Experimental Bifactorial

Para el desarrollo del presente proyecto se estableció un diseño experimental bifactorial teniendo dos variables independientes: pH (3, 4, 5, 6) y tamaño de partícula del alga (0.850, 0.430, 0.250, 150) en milímetros (mm); con tres (3) repetición haciendo un total de 48 experimentos.

Se mantuvieron fijas la velocidad de agitación (200 rpm), el tiempo de agitación (1 horas), la dosis, (40 gr/L), el volumen de muestra (100 mL) y la temperatura de trabajo ($23 \pm 1^\circ\text{C}$).

Se estudiaron las interacciones entre los dos factores a ser evaluados y su efecto en la adsorción de cromo del agua residual de la curtiembre “Chimu S.A.C.”

Variable independiente 1: Tamaño de partícula (T)



Variable independiente 2: Niveles de pH (PH)



Tabla 1: Diseño bifactorial del pH y el tamaño de partícula del alga *Chondracantus chamissoi*

N° de TAMIZ	pH			
	3	4	5	6
Tamiz 20	T20-PH3	T20-PH4	T20-PH5	T20-PH6
Tamiz 40	T40-PH3	T40-PH4	T40-PH5	T40-PH6
Tamiz 60	T60-PH3	T60-PH4	T60-PH5	T60-PH6
Tamiz 80	T80-PH3	T80-PH4	T80-PH5	T80-PH6

Fuente: Elaboración Propia

2.2. Variables y operacionalización.

2.2.1. Operacionalización de las variables

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	INDICADORES	ESCALA
Independiente: pH de solución	El pH de la solución acuosa es un importante parámetro que controla los procesos de adsorción de metales en diferentes adsorbentes, debido al hecho, de que los iones hidrógeno se constituyen en un adsorbato fuertemente competitivo. (GARCES, 2012)	El pH, en cada prueba, se midió con un potenciómetro marca HANNA INSTRUMENTS. Al inicio de cada experimento fue calibrado de acuerdo a las recomendaciones descritas en el Protocolo de monitoreo de calidad de los recursos hídricos superficiales de la Autoridad Nacional del Agua (ANA, 2016).	Unidad de pH	De Intervalo
Independiente: Tamaño de Partícula del alga	Son los fragmentos pequeño del alga seca que mantiene las propiedades químicas. Para clasificar partículas de una muestra. (MUÑOZ, 2007)	Se realizó la molienda del material en un molino rotatorio centrífugo, velocidad de 10000 r/min y tiempo de molienda de 1 minuto. Posteriormente se realizó el tamizado de la biomasa, utilizando tamices C.I.S.A. ISO 3310.1 con número de malla 20, 40, 60, 80. Se utilizará como biosorbente las fracciones con tamaño de partículas de 0.850mm, 0.430mm, 0.250mm y 0.150mm	Cribas n° 20, 40, 60, 80 Tamaño de la partícula (mm)	De Intervalo
Dependiente: Adsorción de cromo	La adsorción es un proceso que permite la captación activa o pasiva de iones metálicos en aguas residuales provenientes del sector industrial, usando como sorvente diversas biomazas vivas o muertas. (LEZCANO, 2008)	Sé realizo la medida por método volumétrico, luego de realizar los cálculos, se reporta la concentración final de cromo	Concentración de cromo adsorbido ppm mg/L % eficiencia	De intervalo

2.3. Población y muestra

2.3.1. Población

La población es el efluente de la curtiembre Chimú SAC

2.3.2. Muestra

De acuerdo con el modelo bifactorial elegido, se tiene el siguiente cálculo de tamaño de muestra:

$$N = A \times B \times R$$

Donde:

- A: Lectura registrada en pH-metro (4 niveles)
- B: tamaño de partícula del alga *Chondracantus c.*(4 niveles)
- R: 3 repeticiones o replicas.

Por lo tanto: $N = 4 \times 4 \times 3 = 48$

La muestra del agua residual industrial del efluente de la curtiembre , se obtuvo tomando como base el tamaño de muestra que es 48, multiplicado por los 100 ml de agua residual que sería la unidad experimental; obteniéndose aproximadamente 5 *Litros* que vendría a hacer la muestra.

2.3.3. Unidad de análisis

La unidad de análisis es de 100 ml del efluente de la curtiembre Chimú SAC por cada muestra

2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y calibración

2.4.1. Técnicas

2.4.1.1. Toma de muestra del efluente

Se realizó un muestreo manual, del agua residual de la curtiembre “Chimu SAC”, de las descargas del día. La toma se realizó, de acuerdo a las recomendaciones descritas en Protocolo de monitoreo de calidad de los recursos hídricos superficiales de la Autoridad Nacional del Agua (ANA, 2016).

2.4.1.2. Determinación de pH

El pH, en cada prueba, se midió con un potenciómetro marca Merck. Al inicio de cada experimento será calibrado de acuerdo a

las recomendaciones descritas en los métodos normalizados para el análisis de aguas del Protocolo de monitoreo de calidad de los recursos hídricos superficiales de la Autoridad Nacional del Agua (ANA, 2016).

2.4.1.3. Ensayo de adsorción

Se llevaron a cabo experimentos *batch* con el efluente de la curtiembre “Chimu SAC”; para lo cual se contó con un agitador magnético, un pH-metro y un vaso de precipitación de 250 mL.

Para la realización de los experimentos, se tomaron 100 mL de efluente en el vaso de precipitación de 250 mL, se agregó la cantidad de biosorbente deseada, luego se conectó la agitación. A continuación se ajustó el pH al valor deseado, controlándose cada instante. Transcurrido el tiempo de agitación, se filtró la disolución sobrenadante.

Finalmente, se tomó la muestra filtrada, para determinar la concentración final del cromo y por tanto, obtener el porcentaje de remoción del mismo. El cromo se determinó por método volumétrico (ANEXO 7).

2.4.2. Instrumentos y materiales de recolección de datos

2.4.2.1. Instrumentos

- ✓ Balanza electrónica marca SARTORIUS
- ✓ pH-metro marca HANNA INSTRUMENTS
- ✓ Termómetro
- ✓ Agitador magnético marca MRC modelo HM-4
- ✓ Estufa marca THERMO SCIENTIFIC

2.4.2.2. Materiales

- ✓ Vasos de precipitación 250 ml
- ✓ Papel filtro Whatman 40
- ✓ Embudos de vidrio
- ✓ Matraces Erlenmeyer 50 ml
- ✓ Tamices (Nº: 20, 40, 60, 80)

✓ Pipetas (5ml, 10ml)

✓ Bureta (25 ml)

2.4.2.3. Reactivos

✓ Ácido perclórico

✓ Ácido sulfúrico

✓ Ácido fosfórico

✓ Almidón 1%

✓ Yoduro de potasio

✓ Tiosulfato de sodio

2.4.2.4. Calibración

Tabla 2: Equipos utilizados y su calibración

EQUIPO	CALIBRACIÓN
Balanza	Norma Metrológica Peruana 003: 2009
pH-metro	Norma Metrológica Peruana 009: 1999
Termómetro	Norma Metrológica Peruana 020: 2014
Estufa	Sistema Nacional de Metrología–INDECOPI. PC-018

2.4.2.5. Validación

PROCEDIMIENTO	VALIDACIÓN
Obtención de Cromo	Método estándar APHA – AWWA- WIAR 3500 – Cr

2.5. Método de análisis de datos

Para el análisis de los datos se utilizó el método ANOVA, con medidas repetidas (WALPOLE, 2012). Los datos se procesaron con software estadístico SPSS v.23

2.6. Aspectos éticos

Para la realización de este proyecto de investigación se tuvo presente la veracidad de los resultados, el respeto por la propiedad intelectual y el respeto por el medio ambiente y la biodiversidad.

III. RESULTADOS

En la tabla 3 se muestran tres repeticiones de un análisis de cromo y pH inicial, del agua residual, con el objeto de determinar el pH y la concentración de cromo en la descarga. Así mismo, se determinaron las condiciones iniciales, con los valores promedios (pH= 8.73 y Cr total=1 209ppm), para el desarrollo de las pruebas experimentales.

Tabla 3: Valores iniciales de parámetros evaluados de la curtiembre Chimu SAC.

MUESTRA	pH	Cr total (ppm)
1	8.67	1 204
2	8.73	1 213
3	8.79	1 210
Promedio	8.73	1 209

Fuente: Propia - laboratorio de química de la UCV

Se realizaron experimentos para comprobar el efecto del pH y tamaños de partículas del biosorbente de *Chondracanthus chamissoi*, en la adsorción de este ión metálico, por triplicado. Es así que los resultados promedios se presentan en la Tabla 4, donde se observa la menor concentración de cromo (641.74 ppm) a un pH3 y a un tamiz N° 60 (0.250mm) de tamaño de partícula.

Tabla 4: Promedios de las concentraciones finales de cromo (ppm) de las 3 repeticiones de los ensayos.

Tamiz	pH			
	3	4	5	6
Tamiz 20	676.53	736.64	831.09	880.18
Tamiz 40	653.93	716.20	829.01	857.43
Tamiz 60	641.74	705.45	814.99	843.33
Tamiz 80	686.12	751.79	841.69	892.31

Fuente: Propia - laboratorio de química de la UCV

En la figura 3 se observa la interacción que existe entre el pH y porcentaje de cromo adsorbido por el alga *Chondracanthus chamissoi* a diferentes valores tamaños de partículas representados por números de Tamiz. Además se observa que se obtuvieron mejores resultados a un pH 3, los cuales están presentados en la polinómica amarilla.

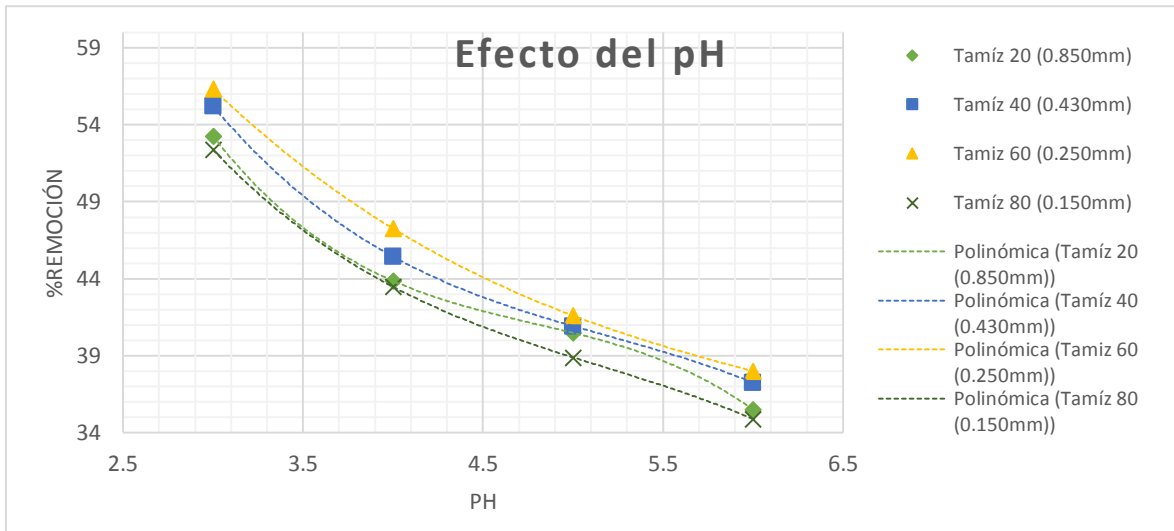


Figura 3: Variación del Porcentaje de adsorción de cromo en función del número de Tamiz para los diferentes valores de pH

Fuente: Propia – Excel 2013.

En la figura 4 se observa la interacción que existe entre el tamaño de la partícula y porcentaje de cromo adsorbido por el alga *Chondracanthus chamissoi* a diferentes valores de pH. Además se observa que se obtuvieron mejores resultados a un tamiz N°60 (0.250mm), los cuales están presentados en la polinómica verde.

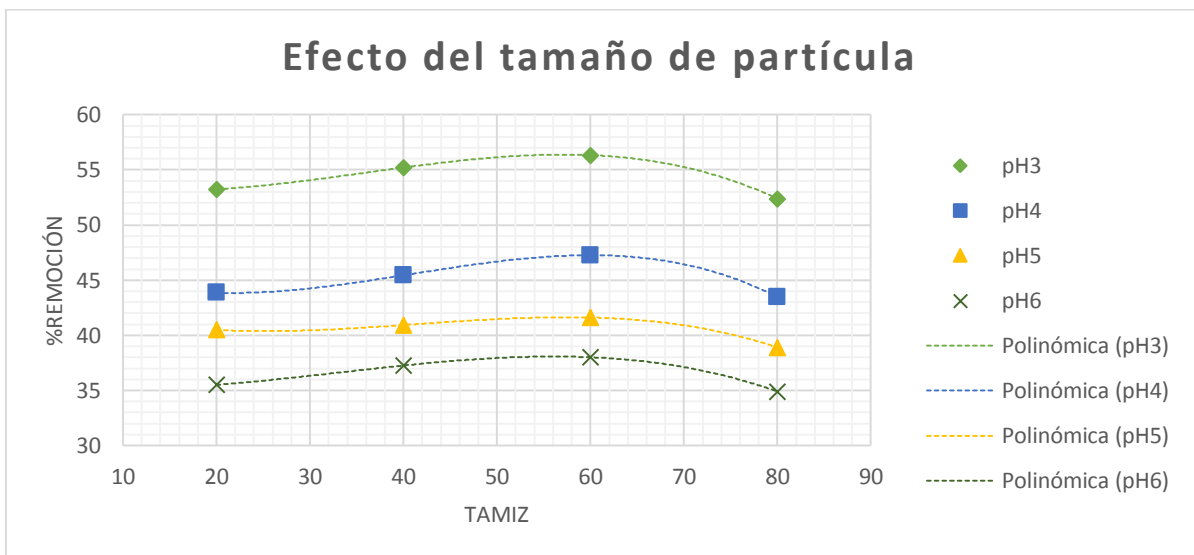


Figura 4: Variación del Porcentaje de adsorción de cromo en función del pH, para los diferentes números de Tamiz.

Fuente: Propia – Excel 2013.

Para analizar los datos obtenidos se utilizó el programa estadístico IBM SPSS statistic v23; pero, previo a este análisis de varianza (ANOVA) se tuvieron que tener en cuenta tres principios, los cuales fueron:

a. Homogeneidad de varianza.

En la tabla 5 se observa que la probabilidad (sig.) resultante de la prueba de Levene fue mayor que el nivel de significancia (0.05) afirmando que existe homogeneidad de varianzas entre el pH y el tamaño de partícula en la adsorción de cromo, con una significancia del 5%. Así, los resultados fueron obtenidos de un muestreo aleatorio de una población con varianzas iguales, cumpliéndose la primera condición.

Tabla 5: Prueba de igualdad de Levene de varianzas de error

F	df1	df2	Sig.
1.752	15	32	.090

Fuente: IBM SPSS v.23

b. Distribución normal

Si la nube de puntos se localiza muy cerca de la línea, siguen una distribución normal. La figura 5 se presenta esta característica, específicamente en el cuadrante 2 se observa el pronosticado (eje Y) y observado (eje x) y en el cuadrante 4 se observa el observado (eje Y) y pronosticado (X) comenzando a contar de arriba debajo, de izquierda a derecha, donde se ubicaron los puntos formando una línea, demostrando así que la distribución es normal (delineado con rojo). Así también en el Anexo 04 se muestra la aceptación de la normalidad usando el método Shapiro-Wilk.

c. Autocorrelación

La nube de puntos que se forme no debe de tener la representación de un “triángulo” o un “embudo”, al contrario, los puntos deben de estar dispersos; entendiéndose esto se puede decir que las muestras son independientes, denotando aleatoriedad. En la Figura 5 se observan estas características, puntualmente en la cuadrícula 3 contando de arriba hacia abajo comenzando

por el lado izquierdo, residuo estándar, eje Y vs observado y pronosticado, eje X; donde los puntos se notan dispersos (delineados con verde)

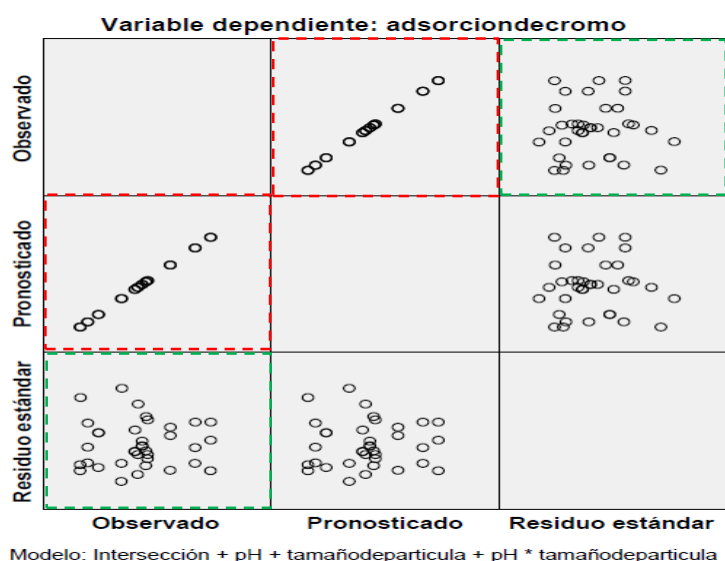


Figura 5: Normalidad y autocorrelación de adsorción de cromo

Fuente: IBM SPSS v23

Corroborando el cumplimiento de los tres principios se realizó el análisis de varianza (ANOVA), teniendo como H_0 (hipótesis nula), que los tratamientos son iguales, y H_1 (hipótesis alterna) indicando que al menos uno de los tratamientos es diferente. Es así, que en la tabla 6 se observa que la probabilidad (sig) fue menor que el nivel de significancia (0.05) con un nivel de confianza del 95%, rechazando la hipótesis nula, además de existir una diferencia significativa entre todos los datos.

Tabla 6: Análisis de varianza (ANOVA)

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig. (P)
Modelo corregido	322823.348 ^a	15	21521.557	63086.089	.000
Intersección	21960448.826	1	21960448.826	64372613.351	.000
pH	310116.489	3	103372.163	303014.584	.000
TAMAÑO PARTICULA	11876.632	3	3958.877	11604.648	.000
pH * TAMAÑO PARTICULA	830.228	9	92.248	270.405	.000
Error	10.917	32	.341		
Total	22283283.090	48			
Total corregido	322834.265	47			

Fuente: IBM SPSS v23

Luego de comprobarse que existía diferencia significativa entre los datos, se procedió a corroborar cuál de los datos era el mejor, con la prueba de Post Hoc. Así en la tabla 7, Tukey, Duncan y Scheffe llegaron a la misma conclusión, que con el pH 3 y el tamaño de partícula de Tamiz 60 (0.250 mm) se obtuvieron mejores resultados en la adsorción de cromo, también podemos observar dichos resultados en las comparaciones múltiples de las pruebas de post hoc en el Anexo 05.

Tabla 7: Pruebas de Post hoc para pH y Tamaño de partícula

		Variable	N	Subconjunto			
				1	2	3	4
HSD Tukey Duncan Scheffe	pH	3	12	552.5733			
		4	12		664.8017		
		5	12			719.5192	
		6	12				768.6833
		Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000
HSD Tukey Duncan Scheffe	Tamaño de partícula	Tamiz 60	12	655.2367			
		Tamiz 40	12		668.4150		
		Tamiz 20	12			685.7708	
		Tamiz 80	12				696.1550
		Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000

Fuente: IBM SPSS v23

IV. DISCUSIONES

En la tabla 3 se muestran los valores iniciales de pH y cromo, con los cuales se hicieron los ensayos; el pH fue medido in situ y la concentración de cromo en laboratorio usando el método volumétrico teniendo como resultado pH de 8.73 y 1209 ppm de cromo respectivamente. Esto es similar a lo obtenido por (ARDILA, 2012) quien mencionó que las curtiembres, arrojan cantidades considerables de concentraciones de cromo durante su proceso, afectando el ambiente.

En la Tabla 4 se presentan las concentraciones finales promedios en partes por millón (ppm), en ella podemos observar que la concentración de cromo más baja (641.74 ppm) se obtuvo a un pH 3. Además, En la figura 3 se puede apreciar la interacción que existe entre el pH y porcentaje de cromo adsorbido por el alga *Chondracanthus chamissoi* a diferentes tamaño de partícula. En ella se observa la adsorción de cromo, por parte del material biosorbente, está influenciado por el parámetro de pH. Afirmando a (RÍOS, 2014) quien dijo que el pH es uno de los parámetros más influyentes en un proceso de bioadsorción ya que afecta la solubilidad de los metales y a la activación de los grupos funcionales de la biomasa. Así mismo, se observa una mejor eficiencia de adsorción a pH ácido lo cual indica que la protonación que existe a pH 3 es la adecuada para que los iones de cromo se adhieran a los grupos funcionales de superficie en la membrana externa del alga, confirmando lo dicho por (TEJADA, 2014), el valor del pH de la fase acuosa es el factor más resaltante tanto en la adsorción de cationes como de aniones, mientras que la adsorción de cationes suele estar favorecida para valores de pH superiores a 4,5, la adsorción de aniones prefiere un valor bajo de pH, entre 1.5 – 4.

Es así que en este trabajo el mayor porcentaje de adsorción de cromo (56.33%) se presentó a un pH 3 como se observa en el Anexo 3, concordando con (MARTÍN, 2008), pues nos dice que para obtener un mayor porcentaje de bioadsorción se debe trabajar con un pH menor a 3,5

para la adsorción de metales pesado. Por otro lado refuto a (MONGE, 2009) quien investigó que a pH menores a 4 la biosorción se ve afectada pues se reduce la atracción entre biomasa y metal.

Con respecto a la influencia del tamaño de partícula, se realizaron experimentos para comprobar el efecto de la granulometrías de *Chondracanthus chamissoi*, a diferentes pH, en la adsorción de este ión metálico, cuyos resultados se muestran en la Tabla 04, donde se presenta la concentración final de cromo a tamaño de partícula de 0.150mm, 0.250mm, 0.430mm y 0.850mm. En la figura 4 se puede apreciar la interacción que existe entre el tamaño de la partícula y porcentaje de cromo adsorbido alga *Chondracanthus chamissoi* a diferentes pH. En ella se observa que el porcentaje de remoción de este ión metálico, está influenciado por la granulometría del alga pues (TEJADA, 2012) nos dice que los gránulos pequeños por presentar mayor superficie de interacción con el exterior resultan ideales para el proceso de adsorción. De este modo observamos que a medida que disminuye el tamaño de la partícula el porcentaje de cromo retirado tiene una tendencia de aumentar.

Así, en la figura 4 mientras disminuye el tamaño de la partícula, este porcentaje aumenta pero solo hasta llegar al tamiz 60, pues cuando el tamaño de partícula disminuye al tamiz 80, observamos que el porcentaje de adsorción de cromo no sigue la tendencia a aumentar, al contrario, disminuye. Esto es explicado y corroborado por (GUTIERREZ, 2015) quien dice que a medida que el tamaño de partícula disminuye el porcentaje de adsorción aumenta, dado que el área de contacto se incrementa. Sin embargo la reducción de tamaño tiene un límite, ya que tamaños de partícula muy pequeños, podrían influir los fenómenos de transferencia de masa, obteniendo algo similar en este caso con el alga *Chondracanthus chamissoi*.

Al igual que RIOS (2014), se aplicó el análisis de varianza (Tabla 6) para ver el efecto del pH y el tamaño de partícula de *Chondracanthus chamissoi* para la adsorción de cromo, planteando las siguientes hipótesis:

H₀: la interacción entre el pH y el tamaño de partícula no tiene efectos significativos en la adsorción de cromo.

H₁: la interacción entre el pH y el tamaño de partícula tiene efectos significativos en la adsorción de cromo.

Observando que $P < 0.05$, por lo tanto se rechaza H₀ y se afirma que la interacción entre el pH y el tamaño de partícula no tiene efectos significativos en la adsorción de cromo con un nivel de confianza del 95%. Siendo esto corroborado por las pruebas de Post Hoc para pH y Tamaño de partícula (Tabla 7).

Se logró una eficiencia de adsorción de cromo del 56.33%. A diferencia de VISCAINO (2014), quien empleando también algas rojas obtuvo una eficiencia superior al 95% para remover Cd y Pb, pues el utilizó las algas modificadas con NaOH. Además de que para sus análisis preparó sus muestras, mientras que en este trabajo se utilizó una muestra de efluente de curtiembre, haciendo que en el proceso de adsorción intervenga presencia de otros metales o compuestos que disminuyan la eficiencia de adsorción de cromo del alga *Chondracanthus chamissoi*.

V. CONCLUSIÓN

Se comprobó que el alga *Chondracanthus chamissoi* seca y triturada influye positivamente en la adsorción de cromo, pudiéndose utilizar este tipo de biomasa como una alternativa para el tratamiento de aguas residuales con contenido de iones de cromo.

Se concluye que el pH influye positivamente en la adsorción de cromo, obteniéndose la mejor eficiencia de adsorción a un pH igual a 3.

Se concluye que el tamaño de partícula de *Chondracanthus chamissoi* si influye en la adsorción de cromo, obteniéndose la mejor eficiencia de adsorción a un tamiz N°60 (0.250mm).

Se concluyó que de las dos variables independientes, las mejores condiciones fueron a pH 3 y un tamaño de partícula de 0.250mm (Tamiz 60), con las cuales se encontró una eficiencia del 56.33% de adsorción de cromo.

Además, de acuerdo a los resultados obtenidos del análisis de regresión de los datos (ANEXO 6) podemos decir que el 93.67 % de los datos cumplen con la siguiente ecuación de regresión lineal:

$$\% \text{ eficiencia} = 63.117 - 0.00945 * (\text{Tamiz}) - 5.896 * (\text{pH}) \text{ con un } R^2: 0.927$$

VI. RECOMENDACIONES

Seguir en la optimización del proceso de adsorción para llegar a obtener porcentajes de adsorción de metales pesados cercanos al 100%.

Trabajar con tamaños de partícula inferiores a 250mm, ya que de esta forma podría facilitar la recuperación de la biomasa.

Tener en cuenta las variables de velocidad de agitación, tiempo de contacto y temperatura.

Pretratar el alga *Chondracanthus chamissoi* con NaCl y CaCl₂ para fortalecer su estructura, pudiendo mejorar la capacidad de adsorción del alga.

VII. REFERENCIAS

CAMPO, Domingo [et al]. Estudio Isotérmico de Biosorción de Níquel en soluciones acuosas sintéticas utilizando biomasa seca del alga *Chlorella sp.* *Bistua:Revista de la Facultad de Ciencias Básicas.* (2):17-28, Noviembre 2013.

ISSN 0120-4211

ARDILA Forero, Liliana. Medición de la capacidad de *Chlorella vulgaris* y *Scenedesmus acutus* para la remoción de cromo de aguas de curtiembre. Tesis (Magister en Ingeniería Ambiental). Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia, Facultad de ingeniería, Departamento de Ingeniería Química y Ambiental, 2012. 239 p.

CUIZANO Norma [et al]. Equilibrio ácido-base de algas marinas del litoral peruano elucidada su alta afinidad por contaminantes ambientales. *Revista de la Sociedad Química del Perú.* 73 (2): 85-93. Junio 2007.

ISSN: 1810-634X

CUIZANO Norma [et al]. Relevancia del pH en la adsorción de iones metálicos mediante algas pardas. *Revista de la Sociedad Química del Perú.* 76 (2): 123-130. Abril 2010.

ISSN: 1810-634X

CUIZANO, Norma y NAVARRO, Abel. Biosorción de metales pesados por algas marinas: posible solución a la contaminación a bajas concentraciones. *Anales de la Real Sociedad Española de Química.* (2): 120-125. 2008

ISSN: 1575-3417

GUPTA, V. K.; RASTOGI, A. Biosorption of hexavalent chromium by raw and acid-treated green alga *Oedogonium hatei* from aqueous solutions. *Journal of Hazardous Materials,* 163 (1): 396-402. 2009

GUTIERREZ Moreno Susana. Estudio de la Bioadsorción de Cadmio y Plomo con Biomasa de *Serratia marcescens* M8a-2T, a Nivel de Laboratorio. Tesis Doctoral (Doctor en Ciencias Biológicas): Lima – Perú: Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Facultad de Ciencias Biológicas. 99 p.

GUTIÉRREZ Benítez, Omar [et al]. Potencialidades de un biosorbente algal para la remoción de metales pesados. *Tecnología Química*. 34 (1): 282-294. Abril 2014. ISSN: 2224-6185

MERA Rivera. Gestión Ambiental para minimizar la contaminación generada por la industria de curtiembre en el distrito de El Porvenir. Tesis (Bachiller en Agroindustrial). 2010. 120 p.

MONGE O,J. Valenzuela, E.Acedo,T. Certucha, J.Almendariz. *Efecto del pH en la biosorción de cobre por bacterias aerobias.* México. *Biotecnología* 13(2):24-47.2009

PLAZA Cazón, Josefina. Remoción de metales pesados empleando algas marinas. Tesis (Doctor en Ciencias Exactas). Buenos Aires, Argentina: Universidad Nacional de La Plata, Facultad de Ciencias Exactas, Departamento de Química, 2012. 166p.

QUIÑONES Edgar, TEJADA Candelaria y RUIZ Víctor. Remediación de aguas contaminadas con cromo utilizando diferentes biomateriales residuales. *Revista Ciencias e Ingeniería al día*. 9 (1): 25-42. Enero-junio, 2014. ISSN: 1900-768X e ISSN: 2357-5409

RESOLUCION JEFATURAL N° 010-2016-ANA. Protocolo de monitoreo de calidad de los recursos hídricos superficiales. Lima, Perú, 11 de enero del 2016.

REY DE CASTRO Rosas, Ana. Recuperación de Cromo (III) de efluentes de curtido para control ambiental y optimización del proceso productivo. Tesis (Licenciado en Química). Lima, Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú, Facultad de Ciencias e Ingeniería. 2013. 103 p.

RIOS Elizalde Paola. Cinética de bioadsorción de arsénico utilizando cáscara de banano maduro en polvo. Tesis (Ingeniera de alimentos) Ecuador: Universidad técnica de Machala, Unidad académica ciencias químicas y de la salud. 2014. 107 p.

RIVERA, Gilver [et al]. Bioadsorción del Cu (II) por el alga marina pretratada *Grateloupia doryophora* (Rhodophyta). *Revista Peruana de Química e Ingeniería Química*. [En línea]. Vol. 5, N° 1, 2002. [Fecha de consulta: 24 Abril 2016].75-79.

Disponible en:

http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/publicaciones/ing_quimica/Vol5_N1/bioadsorcion.pdf

ISSN: 1609-7599

TEJADA Tovar Candelaria, VILLABONA Ortiz Ángel y GARCÉS Jaraba Luz. Adsorción de metales pesados en aguas residuales usando materiales de origen biológico. *Tecno Lógicas*. 18 (34): 109-123. Junio 2015.

ISSN: 0123-7799

VIZCAÍNO Mendoza, Lissette; FUENTES Molina, Natalia. Biosorción de Cd, Pb y Zn por biomasa pretratada de algas rojas, cáscara de naranja y tuna. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*. 25 (1): 43-60, 2015.

ISSN: 0124-8170

WALPOLE Ronald E. [et al] Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias. 9ª ed. México: *PEARSON EDUCACIÓN*, 2012. 816p.

ISBN: 978-607-32-1417-9

International Programme on Chemical Safety. *Chromium* [en línea] [consulta: 21 Octubre 2016].

Disponible en:

<http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc61.htm>

VIII. ANEXOS

Anexo 1. Datos de las concentraciones finales de cromo (ppm) de las 3 repeticiones de los ensayos.

Cantidad (gr/L)	Tamaño de partícula del alga	pH			
		3	4	5	6
20	Tamiz 20	565.43	678.12	719.22	780.44
		564.68	678.55	719.13	779.34
		565.43	679.64	719.97	779.3
	Tamiz 40	541.06	659.43	714.72	758.43
		541.92	659.89	713.66	758.09
		541.4	659.42	713.98	758.98
	Tamiz 60	527.54	636.78	705.48	749.95
		527.41	637.17	706.07	748.88
		528.99	638.79	706.08	749.7
	Tamiz 80	575.76	683.15	739.34	787.12
		576.14	683.27	738.28	787.51
		575.12	683.41	738.30	786.46
30	Tamiz 20	674.43	733.88	828.43	875.43
		672.68	734.13	828.31	878.09
		674.43	733.86	828.48	878.98
	Tamiz 40	650.78	713.51	826.64	854.38
		651.72	713.58	826.63	855.41
		651.26	713.47	825.73	854.45
	Tamiz 60	638.47	703.08	812.2	839.73
		639.32	702.10	812.32	841.11
		639.40	703.13	812.41	841.12
	Tamiz 80	683.04	748.45	839.65	890.21
		684.12	749.57	838.71	889.37
		683.17	749.32	838.68	889.31
40	Tamiz 20	677.11	736.56	831.11	878.11
		675.36	736.81	830.99	880.77
		677.11	736.54	831.16	881.66
	Tamiz 40	653.46	716.19	829.32	857.06
		654.40	716.26	829.31	858.09
		653.94	716.15	828.41	857.13
	Tamiz 60	641.15	705.76	814.88	842.41
		642.00	704.78	815.00	843.79
		642.08	705.81	815.09	843.80
	Tamiz 80	685.72	751.13	842.33	892.89
		686.80	752.25	841.39	892.05
		685.85	752.00	841.36	891.99

Anexo 2. Datos de los promedios de las concentraciones finales de cromo (ppm) de las 3 repeticiones de los ensayos.

Cantidad (gr/L)	tamaño de partícula del alga	pH			
		3	4	5	6
20	Tamiz 20	565.18	678.77	719.44	779.69
	Tamiz 40	541.46	659.58	714.12	758.50
	Tamiz 60	527.98	637.58	705.88	749.51
	Tamiz 80	575.67	683.28	738.64	787.03
30	Tamiz 20	673.85	733.96	828.41	877.50
	Tamiz 40	651.25	713.52	826.33	854.75
	Tamiz 60	639.06	702.77	812.31	840.65
	Tamiz 80	683.44	749.11	839.01	889.63
40	Tamiz 20	676.53	736.64	831.09	880.18
	Tamiz 40	653.93	716.20	829.01	857.43
	Tamiz 60	641.74	705.45	814.99	843.33
	Tamiz 80	686.12	751.79	841.69	892.31

Fuente: Propia - laboratorio de química de la UCV

Anexo 03. Porcentaje de eliminación de cromo total haciendo uso del alga *Chondracanthus chamissoi* en las aguas de la curtiembre.

Cantidad (gr/L)	tamaño de partícula del alga	pH			
		3	4	5	6
20	Tamiz 20	44.04%	39.07%	31.26%	27.20%
	Tamiz 40	45.91%	40.76%	31.43%	29.08%
	Tamiz 60	46.92%	41.65%	32.59%	30.25%
	Tamiz 80	43.25%	37.82%	30.38%	26.19%
30	Tamiz 20	44.26%	39.29%	31.48%	27.42%
	Tamiz 40	46.13%	40.98%	31.65%	29.30%
	Tamiz 60	47.14%	41.87%	32.81%	30.47%
	Tamiz 80	43.47%	38.04%	30.60%	26.42%
40	Tamiz 20	53.25%	43.86%	40.49%	35.51%
	Tamiz 40	55.21%	45.44%	40.93%	37.26%
	Tamiz 60	56.33%	47.26%	41.61%	38.01%
	Tamiz 80	52.38%	43.48%	38.9%	34.90%

Fuente: Propia - laboratorio de química de la UCV

ANEXO 04. Prueba de normalidad usando el método de Shapiro-Wilk

A. Tamaño de partícula

H₀: La adsorción de cromo del efluente de curtiembre “Chimu S.A.C.” según tamaño de partícula de *Chondracanthus Chamissoi* siguen una distribución normal.

H₁: La adsorción de cromo del efluente de curtiembre “Chimu S.A.C.” según tamaño de partícula de *Chondracanthus Chamissoi* no sigue una distribución normal.

La prueba es significativa ($P > 0.01$), por lo tanto, se acepta la H_0 y afirmamos estadísticamente que los datos tienen una distribución normal, con un nivel de confiabilidad del 99%.

	TAMAÑO DE PARTÍCULA	Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.
ADSORCION DE CROMO	Tamiz 20	.856	12	.043
	Tamiz 40	.838	12	.026
	Tamiz 60	.848	12	.035
	Tamiz 80	.853	12	.039

Fuente: IBM SPSS v23

B. pH

H₀: La adsorción de cromo del efluente de curtiembre “Chimu S.A.C.” el pH, siguen una distribución normal.

H₁: La adsorción de cromo del efluente de curtiembre “Chimu S.A.C.” según el pH, no sigue una distribución normal.

La prueba es significativa ($P > 0.01$), por lo tanto, se acepta la H_0 y afirmamos estadísticamente que los datos tienen una distribución normal, con un nivel de confiabilidad del 99%.

	pH	Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.
ADSORCION DE CROMO	3	.853	12	.040
	4	.823	12	.017
	5	.846	12	.033
	6	.835	12	.024

Fuente: IBM SPSS v23

ANEXO 05: Comparaciones múltiples de las pruebas de Post hoc.

a. pH

			Diferencia de medias	Error estándar	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
	(I) pH	(J) pH	(I-J)			Límite inferior	Límite superior
HSD Tukey	3	4	-112.2283	.23845	.000	-112.8744	-111.5823
		5	-166.9458	.23845	.000	-167.5919	-166.2998
		6	-216.1100	.23845	.000	-216.7560	-215.4640
	4	3	112.2283	.23845	.000	111.5823	112.8744
		5	-54.7175	.23845	.000	-55.3635	-54.0715
		6	-103.8817	.23845	.000	-104.5277	-103.2356
	5	3	166.9458	.23845	.000	166.2998	167.5919
		4	54.7175	.23845	.000	54.0715	55.3635
		6	-49.1642	.23845	.000	-49.8102	-48.5181
	6	3	216.1100	.23845	.000	215.4640	216.7560
		4	103.8817	.23845	.000	103.2356	104.5277
		5	49.1642	.23845	.000	48.5181	49.8102

Fuente: IBM SPSS v23

b. Tamaño de Partícula

	(I)	(J)	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
	TAMAÑO PARTICULA	TAMAÑO PARTICULA				Límite inferior	Límite superior
HSD Tukey	Tamiz 20	Tamiz 40	17.3558	.23845	.000	16.7098	18.0019
		Tamiz 60	30.5342	.23845	.000	29.8881	31.1802
		Tamiz 80	-10.3842	.23845	.000	-11.0302	-9.7381
	Tamiz 40	Tamiz 20	-17.3558	.23845	.000	-18.0019	-16.7098
		Tamiz 60	13.1783	.23845	.000	12.5323	13.8244
		Tamiz 80	-27.7400	.23845	.000	-28.3860	-27.0940
	Tamiz 60	Tamiz 20	-30.5342	.23845	.000	-31.1802	-29.8881
		Tamiz 40	-13.1783	.23845	.000	-13.8244	-12.5323
		Tamiz 80	-40.9183	.23845	.000	-41.5644	-40.2723
	Tamiz 80	Tamiz 20	10.3842	.23845	.000	9.7381	11.0302
		Tamiz 40	27.7400	.23845	.000	27.0940	28.3860
		Tamiz 60	40.9183	.23845	.000	40.2723	41.5644

Fuente: IBM SPSS v23

ANEXO 06: Regresión de los datos

A. Estadística de la regresión

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0.96785824
Coefficiente de determinación R ²	0.93674957
R ² ajustado	0.92701874
Error típico	1.90127002
Observaciones	16

Fuente: Propia – Excel 2013

B. Valores de los coeficientes

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>	<i>Inferior 95.0%</i>	<i>Superior 95.0%</i>
Intercepción	63.117	2.23954759	28.1829242	4.838E-13	58.2787516	67.9552484	58.2787516	67.9552484
Tamiz	-0.00945	0.02125685	0.44456268	0.66394704	0.05537262	0.03647262	0.05537262	0.03647262
pH	-5.896	0.4251369	13.8684739	3.6184E-09	6.81445244	4.97754756	6.81445244	4.97754756

Fuente: Propia – Excel 2013

Ecuación:

$$\% \text{ de adsorción de Cromo} = 63.117 - 0.00945 * (\text{Tamiz}) - 5.896 * (\text{pH})$$

C. Análisis de los residuales

<i>Observación</i>	<i>Pronóstico para %</i>	<i>Residuos</i>
1	45.24	-1.2
2	45.051	0.859
3	44.862	2.058
4	44.673	-1.423
5	39.344	-0.274
6	39.155	1.605
7	38.966	2.684
8	38.777	-0.957
9	33.448	-2.188
10	33.259	-1.829
11	33.07	-0.48
12	32.881	-2.501
13	27.552	-0.352
14	27.363	1.717
15	27.174	3.076
16	26.985	-0.795

Fuente: Propia – Excel 2013

ANEXO 7: DETERMINACIÓN DE CROMO PRESENTE EN EFLUENTES DE CURTIEMBRES POR MÉTODO VOLUMÉTRICO

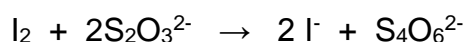
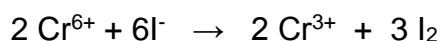
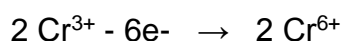
A. Materiales y reactivos

- | | |
|--|---|
| ✓ Matraz de 500 ml | ✓ Ácido perclórico cc (HClO ₄ cc) |
| ✓ Pipeta volumétrica (5ml, 10ml, 25ml) | ✓ Ácido fosfórico 85% (H ₃ PO ₄) |
| ✓ Probeta de 25 ml | ✓ Yoduro de potasio 10% (KI) |
| ✓ Cocina eléctrica | ✓ Almidón 1% |
| ✓ Ácido Sulfúrico cc (H ₂ SO ₄ cc) | ✓ Tiosulfato de sodio 0.1N (Na ₂ S ₂ O ₃) |

B. Procedimientos

1. Filtrar la muestra y tomar 25 ml de muestra filtrada ($V_{\text{muestra}}=25\text{ml}$) en un matraz de 500ml.
2. Agregar 5ml de H₂SO₄ cc, agregar 10ml de HClO₄ cc.
3. Digestar (verde a amarillo).
4. Adicionar 200ml de agua destilada. Enfriar.
5. Adicionar 15ml de H₃PO₄ 85%
6. Agregar 20ml de KI
7. Agregar almidón 1% (se pone azul)
8. Titular con Na₂S₂O₃ estándar, hasta verde claro o transparente en algunos casos. El gasto será: $V_{\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3}$

C. Reacción



D. Cálculos

$$\text{Cr}_2\text{O}_3(\text{g/L}) = \frac{(N_{\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3} * V_{\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3} * P.E.\text{Cr}_2\text{O}_3)}{V_{\text{muestra en Litros}}}$$

ANEXO 08: PREPARACIÓN Y ESTANDARIZACIÓN DE UNA SOLUCIÓN DE TIOSULFATO DE SODIO 0,1000N

I. OBJETIVO

- Aprender a preparar una solución de tiosulfato de sodio $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ teóricamente 0,1000N.
- Aprender a valorar una solución usando una solución estandarizada de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$.

II. FUNDAMENTO TEORICO

Las soluciones valoradas de tiosulfato de sodio se utilizan de manera rutinaria en los análisis que se realizan con procesos yodométricos. Pero es también sabido que no es posible preparar una solución de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ de concentración exacta solamente pesando la sal pura, porque eflorece rápidamente.

Esto se debe a que las bacterias que consumen azufre se encuentran en estas soluciones y sus procesos metabólicos conllevan a la formación de SO_3^{2-} , SO_4^{2-} y azufre coloidal. Justamente la presencia de este último causa turbidez y su aparición justifica desechar la solución.

Es por eso que normalmente se utiliza agua destilada recién hervida para esterizarla y con frecuencia se adiciona como conservadores bórax, Na_2CO_3 (para un litro de tiosulfato se puede agregar 0,8 gr. de Na_2CO_3) o bicarbonato de sodio, aun así, se recomienda estandarizar la solución cada vez que se va a utilizar. De preferencia guardar en frasco ámbar.

Para valorar el tiosulfato de sodio se dispone de varias sustancias de características estándar primario que sean agentes oxidantes como KIO_3 , KBrO_3 , $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, Cu electrolítico, I_2 , $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$, el ferricianuro de potasio, y aun el KMnO_4 pueden ser usados.

III. REACTIVOS

1. $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (G.R.).
2. KI (G.R.)
3. Solución de HCl 3N.
4. solución de H_2SO_4 2N
5. solución estandarizada de KMnO_4 0,1000N
6. solución de Almidón: Pesar 2g de almidón y 10 mg de Hgl_2 (conservante), y disolver poco a poco con agua destilada. Finalmente, a esta suspensión agregar agua hirviendo hasta completar 1L.

IV. PROCEDIMIENTO

PREPARACIÓN:

Para calcular el peso de soluto a utilizar partimos de la relación de normalidad:

$$N = \frac{W \cdot i}{PM \cdot V} \qquad \text{es decir: } W = \frac{N \cdot PM \cdot V}{i}$$

Donde:

W = peso del $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ en g

N = Normalidad de solución de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$

PM = peso molecular del $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O} = 248$

V = volumen de solución de KMnO_4 en L

i = número de e^- transferidos / mol $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O} = 1$

Entonces:

$$W = \frac{0,1 \cdot 248 \cdot 1}{1}$$

W = 24,8 g de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$

ANEXO 09. Imágenes de la parte experimental de la tesis

Imagen 1: ubicación de la curtiembre Chimú S.A.C.



Fuente: Google maps

Imagen 2: alga *Chondracantus chamiso*



Fuente: propia

Imagen 3: Diseño experimental.

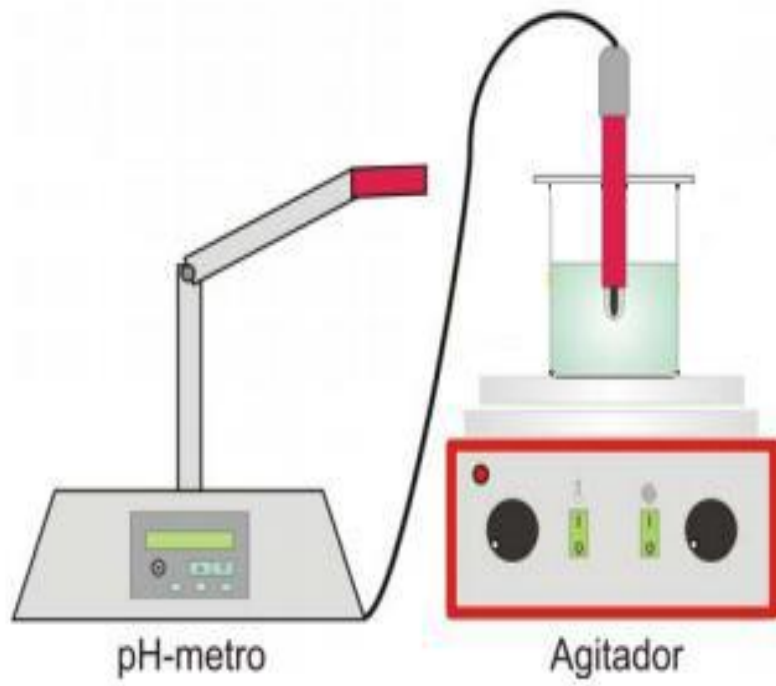


Imagen 4: Lavado del alga *Chondracanthus chamissoi*



Fuente: Propia

Imagen 5: Secado del alga *Chondracanthus chamissoi* en la Estufa



Fuente: Propia

Imagen 6: Molido del alga *Chondracanthus chamissoi* en la Estufa



Fuente: Propia

Imagen 7: Tamizado del alga *Chondracanthus chamissoi*



Fuente: Propia

Imagen 9: Filtrado de la muestra del efluente de la curtiembre Chimu SAC



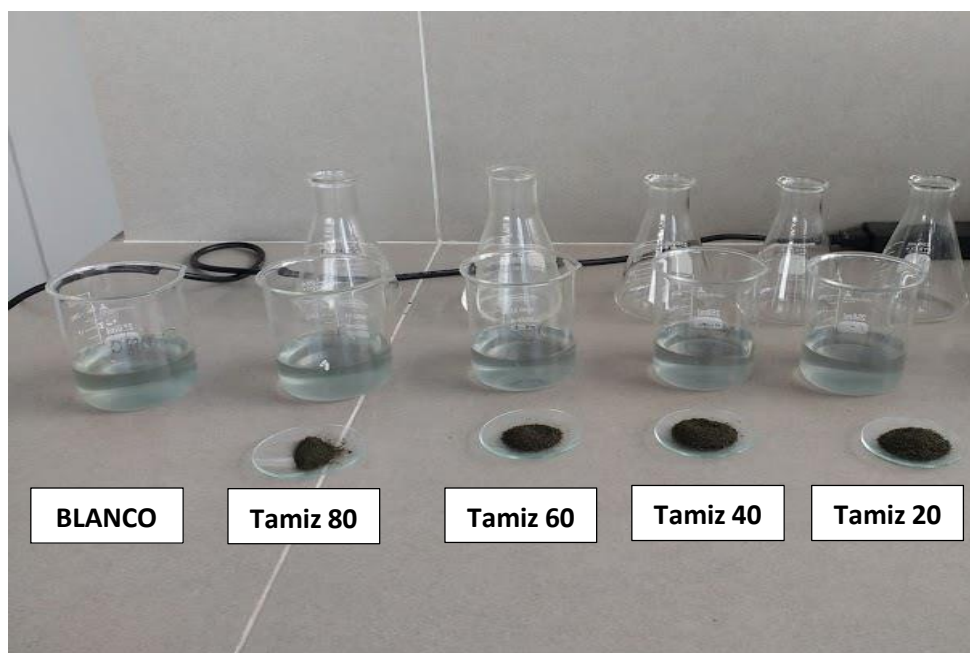
Fuente: Propia

Imagen 10: Pesaje del alga *Chondracanthus chamissoi*



Fuente: Propia

Imagen 11: Muestras de agua de curtiembre listas para agregarles el alga *Chondracanthus chamissoi*



Fuente: Propia

Imagen 12: Agitación magnética de las muestras de agua con *Chondracanthus chamissoi*



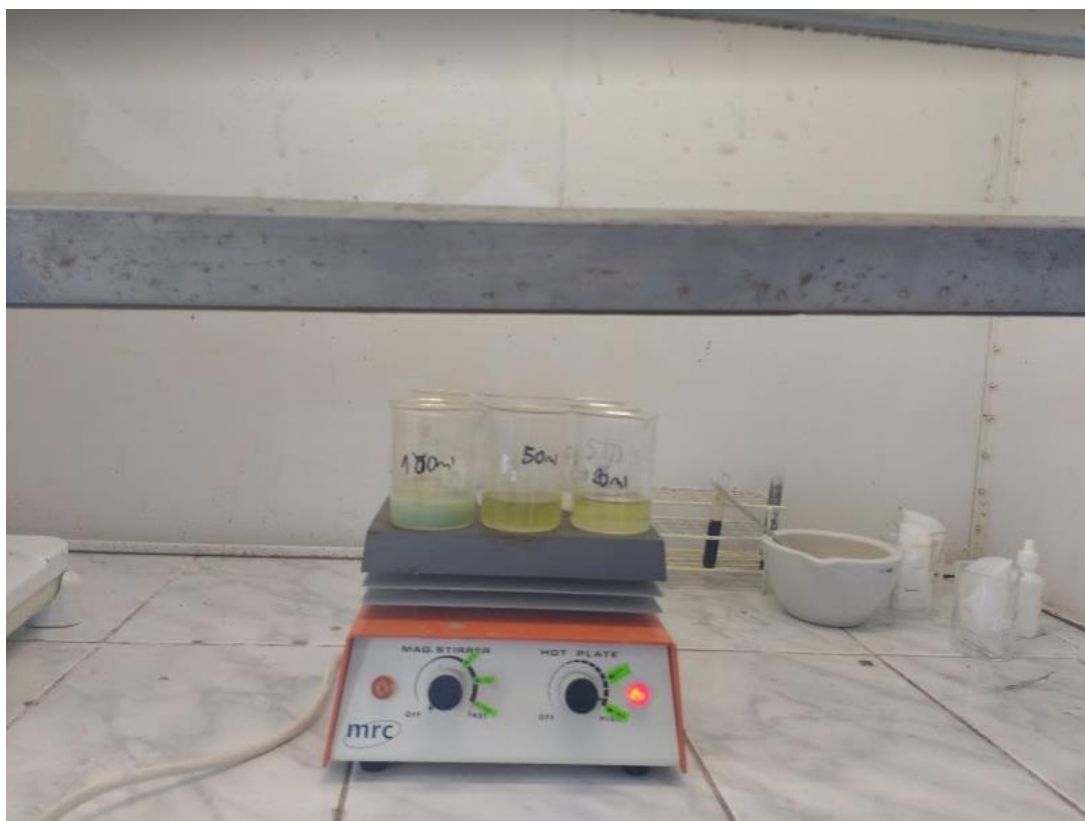
Fuente: Propia

Imagen 13: Filtrado de la muestra del efluente de la curtiembre Chimu SAC



Fuente: Propia

Imagen 14: Digestión de la muestra del efluente de la curtiembre Chimu SAC



Fuente: Propia

Imagen 15: determinación de la concentración de cromo del efluente de la curtiembre Chimu SAC, por método volumétrico.



Fuente: Propia