

# FACULTAD DE INGENIERÍA



Carrera de Ingeniería de Minas

“INFLUENCIA DE LA CONCENTRACIÓN Y GRANULOMETRIA DE *CHONDRACANTHUS CHAMISSOI* PARA LA REDUCCIÓN DE HIERRO EN EL AGUA DEL RÍO MOCHE, LA LIBERTAD 2019”.

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero de Minas

Autor:

Bach. Juan Carlos Martell Ortiz

Asesor:

Mg. Ing. Juan Carlos Escalante Rojas

Trujillo - Perú

2020

## **DEDICATORIA**

En primer lugar, a Dios por siempre guiarme por el camino de la felicidad hasta ahora; en segundo lugar, a cada uno de los que son parte de mi familia en especial a mis padres y mis abuelos por haberme dado su fuerza, su apoyo incondicional que me han ayudado y llevado hasta donde estoy ahora.

Juan Carlos Martell.

## AGRADECIMIENTO

Mi más sincero agradecimiento al Mg. Ing. Juan Carlos Escalante Rojas, por su asesoramiento en la ejecución del proyecto de investigación.

A la plana docente de la Universidad Privada del Norte que gracias a sus enseñanzas hicieron posible mi formación profesional.

Juan Carlos Martell

## TABLA DE CONTENIDOS

<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>2</b>
<b>AGRADECIMIENTO.....</b>	<b>3</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS .....</b>	<b>5</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>6</b>
<b>ÍNDICE DE ECUACIONES .....</b>	<b>7</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>08</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>09</b>
<b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>10</b>
<b>CAPÍTULO II. METODOLOGÍA .....</b>	<b>29</b>
<b>CAPÍTULO III. RESULTADOS .....</b>	<b>34</b>
<b>CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....</b>	<b>38</b>
<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>41</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>48</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1. Ley de Hierro del material en estudio .....</b>	<b>33</b>
<b>Tabla 2. Resultados de Concentración de Hierro promedio.....</b>	<b>34</b>
<b>Tabla 3. Porcentaje de reducción de Hierro después de realizar los ensayos .....</b>	<b>35</b>
<b>Tabla 4. Cuadro resumen del análisis de varianza para la reducción de Hierro .....</b>	<b>37</b>
<b>Tabla 5. Resultados de Concentración del Hierro después de realizar los ensayos.....</b>	<b>43</b>
<b>Tabla 6. Resumen del análisis de varianza para la reducción de Hierro en el agua del rio Moche. ....</b>	<b>46</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Resultados de la Concentración de Hierro .....	34
Figura 2. Resultados en porcentaje de la reducción de Hierro.....	36
Figura 3. Toma de puntos de muestreo.....	51
Figura 4. Toma de puntos de ubicación geo referenciada.....	51
Figura 5. Obteniendo muestras del rio moche .....	52
Figura 6. Se puede apreciar el lavado del <i>Chondracanthus chamissoi</i> .....	52
Figura 7. Secado del alga <i>Chondracanthus chamissoi</i> en la estufa. ....	53
Figura 8. Secado del alga <i>Chondracanthus chamissoi</i> en la estufa. ....	53
Figura 9. Pesaje del <i>Chondracanthus chamissoi</i> .....	54
Figura 10. Concentración de <i>Chondracanthus chamissoi</i> después del secado .....	54
Figura 11. Concentración de <i>Chondracanthus chamissoi</i> después del secado .....	55
Figura 12. Molienda del alga <i>Chondracanthus chamissoi</i> . ....	55
Figura 13. Molienda del alga <i>Chondracanthus chamissoi</i> . ....	56
Figura 14. Instrumentos para realizar los diferentes tamizados N° 40, 60, 80.....	56
Figura 15. Tamizado de <i>Chondracanthus chamissoi</i> .....	57

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuacion 1. ....	32
------------------	----

## RESUMEN

En la presente investigación se estudió la influencia de la concentración y la granulometría de *CHONDRACANTHUS CHAMISSOI* para la reducción del hierro en el agua del río Moche, el experimento se realizó extrayendo muestras con un contenido inicial de hierro de 1,36 mg/L, estas muestras sometidas a concentraciones de *Chondracanthus Chamissoi* a: 1 500; 2 000; 2 500 mg/L, así como también pasando por una granulometría con tamices N° 40, 60, 80. Se concluye que la reducción de hierro óptima es una concentración de 2 500 mg/L de *Chondracanthus Chamissoi*, empleando una granulometría con tamiz N° 60, obteniendo una reducción de hierro al 63,24 %, estos resultados son confirmados mediante un análisis de varianza con un nivel de confianza al 95 % , concluyendo que la granulometría impacta significativamente en el porcentaje de reducción de hierro mediante  $F_0 = 239,736 > F_{\alpha} = 3,55$  con respecto a la concentración de *Chondracanthus Chamissoi* influye en la reducción de hierro obteniendo un valor de  $F_0 = 44,228 > F_{\alpha} = 3,55$ ; así mismo la interacción de ambas variables independientes  $F_0 = 1,72$  y un  $F_{\alpha} = 2,92$ ; afirmando de este modo la hipótesis Alternativa. Esto indica, por lo tanto, que la granulometría y la concentración de *Chondracanthus chamissoi* de partícula afectan significativamente en la reducción de hierro.

**Palabras clave:** *Chondracanthus Chamissoi*, concentración, granulometría.

### ABSTRACT

In the present investigation the influence of the concentration and granulometry of *CHONDRACANTHUS CHAMISSOI* for the reduction of iron in the water of the Moche river was studied, the experiment was carried out by extracting samples with an initial iron content of 1,36 mg / L, these samples subjected to *Chondracanthus Chamissoi* concentrations at: 1 500; 2,000; 2 500 mg /L, as well as passing through a granulometry with sieves No. 40, 60, 80. It is concluded that the optimal iron reduction is a concentration of 2 500 mg / L of *Chondracanthus Chamissoi*, using a granulometry with sieve N ° 60, obtaining an iron reduction to 63.24 %, these results are confirmed by an analysis of variance with a confidence level of 95 %, concluding that the granulometry significantly impacts the percentage of iron reduction through  $F_0 = 239,736 > F_{\alpha} = 3,55$  with respect to the concentration of *Chondracanthus Chamissoi* influences the reduction of iron obtaining a value of  $F_0 = 44,228 > F_{\alpha} = 3,55$ ; likewise the interaction of both independent variables  $F_0 = 1,72$  and a  $F_{\alpha} = 2,92$ ; thus affirming the Alternate hypothesis. This indicates, therefore, that the particle size and concentration of *Chondracanthus chamissoi* significantly affect iron reduction.

Key words: *Chondracanthus Chamissoi*, concentration, granulometry.

## CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Realidad problemática

Actualmente vivimos en un mundo acelerado de cambio y desarrollo, el hombre en su afán de satisfacer sus necesidades, explota irracionalmente las materias primas, constituyéndose actualmente un panorama de amplia preocupación en el ámbito internacional sobre la gravedad que ha alcanzado los diversos tipos de problemas ambientales que aquejan al planeta, como es el caso de la contaminación por residuos sólidos, líquidos y gaseosos que se descargan al suelo, atmosfera y cuerpos de agua; como por ejemplo los relaves mineros.

A nivel internacional algunos investigadores utilizan la viabilidad de la cal para el tratamiento de agua acida de mina, determinando que cuando no existen concentraciones residuales bajas para metales pesados se realiza el tratamiento clásico de oxidación, con dosis de álcalis y sedimentación.

Ramírez, G. (2014) en su trabajo tratamiento de agua acida utilizando humedales afirma que existen muchos ejemplos de la mala aplicación de humedales aeróbicos para aguas ácidas de minas. Sostiene que los humedales aeróbicos son inapropiados para el tratamiento de aguas aún ácidas, porque los procesos estimulados en humedales aeróbicos resultan en la hidrólisis del hierro, un proceso que libera acido protónico. Sin embargo, una vez que se ha corregido la acidez de un agua de mina por otro tipo de sistema pasivo, se puede usar un humedal aeróbico como paso final, para remover los últimos mg/L de hierro.

Según Reyes (2014) La presencia de metales pesados en aguas y suelos, originado por la actividad minera en general y la agricultura con el empleo exagerado de agroquímicos y para su remoción se emplea adsorción en carbón activado, precipitación de estos metales en forma de sales insolubles, transformación en compuestos y su recuperación por intercambio iónico, biosorción empleando masa bacterial, fúngica o macro algas, entre otras técnicas. Los metales pesados tienen pesos atómicos superiores a 44,956 y una densidad mayor a 5 g/cm<sup>3</sup>, excluyendo a los grupos Alcalino y Alcalino Téreos. Algunos son esenciales para el desarrollo de las funciones vitales de los organismos, como cobalto, cobre, hierro, manganeso, molibdeno, zinc, vanadio y estroncio, pero en cantidades excesivas son perjudiciales e incluso letales para los seres vivos.

Los metales pesados no esenciales comúnmente implicados en problemas de contaminación de las aguas subterráneas son: cromo, cadmio, mercurio, plomo, arsénico y antimonio.

El alto porcentaje de mercurio ocasiona retraso mental, deformidad de las extremidades y perturbaciones en el crecimiento; el arsénico ocasiona gastroenteritis, debilidad y una rápida muerte si no se diagnostica a tiempo; el selenio puede originar trastornos en los músculos y en el aparato circulatorio; el plomo puede ocasionar consigo enfermedades como depresión, anemias, hipertensión e incluso la muerte. Muchos de los males que puede ocasionar se deben a su capacidad para reaccionar con infinidad de sustancias entre las que destacan los grupos sulfhidrilos y los radicales amino, fosfato, carboxilo e hidroxilo.

Según Díaz (2003) los metales pesados de los efluentes referente a los relaves mineros artesanales y de las empresas informales, que vierten sus residuos a los cursos de agua, son biodegradados por los microorganismos, debido a cambios en el estado de oxidación de los metales pesados. Esto influye drásticamente en la movilidad del contaminante, y en algunos casos aumenta la solubilidad de los productos de alteración, favoreciendo así su eliminación del medio dentro del flujo de rebose, y en otros casos disminuye, produciéndose una inmovilización del contaminante por decantaciones y formación de compuestos de baja solubilidad.

El uso de algas, hongos o bacterias para la descontaminación de aguas residuales es una alternativa rentable por su poco costo, empleándolo como filtros biológicos o en biosorción. Esta biomasa no necesariamente tiene que estar viva. En pocos casos el material puede inmovilizarse en una matriz de polímero (un plástico). Los filtros se colocan conformando columnas por donde pasa el agua contaminada. Los metales se adhieren al filtro, y cuando se agota la capacidad de retención, el filtro se reemplaza, se incinera y se reciclan los metales, afirma Díaz et al; (2003).

Se ha estudiado el comportamiento de varias algas marinas como biosorbentes de metales tóxicos, por su carácter renovable y bajo costo, con el objeto de utilizarlas de manera más económica que los adsorbentes convencionales como carbón activado, para el tratamiento de efluentes en gran escala. La mayor parte de las algas están en las proximidades de la orilla, en las aguas de 35 por mil de salinidad, aunque algunas son capaces de sobrevivir en rías y fiordos (tal es el caso del género *Fucus*) y otras incluso en agua dulce. Las algas son plantas primitivas no vasculares que no poseen un sistema radicular y las sustancias nutritivas son absorbidas por los rizoides, que se encargan de fijar el alga al sustrato.

Las algas son organismos que poseen una gran cantidad de agua, entre un 55 a 90 %, repartido entre el tallo, filoides y rizoides. Las nueve especies de algas investigadas fueron: *Codium decorticatum* y *Ulva fasciata* (Chlorophytas); *Padina gymnospora*, *Sargassum stenophyllum* y *Spatoglossum schroederi* (Phaeophytas) y *Gracilaria* sp., *Spyridia clavata*, *Acanthophora spicifera* y *Hypnea* sp. (Rhodophytas). Además, se emplearon *Fucus vesiculosus* y *Ascophyllum nodosum* como indicadores de la contaminación en el mar. La facilidad con que el alga puede adsorber determinados metales depende del pH, la salinidad, la luz y la presencia de materia orgánica. (Klimmek et al; 2001).

Según Reyes (2014) afirma que las algas *Chondracanthus chamissoi* “cochayuyo” fueron pelletizadas y usadas como biosorbentes del mercurio, estas se encuentran en los efluentes de la minería aurífera artesanal en Parcoy, La libertad, lográndose una adsorción del 92 % del mercurio presente, en tiempos de contacto menores de 4 horas, notándose que a mayores tiempos de contacto disminuye la velocidad de adsorción. Existen diferentes métodos para reducir la concentración de metales pesados en un medio acuoso, y uno de ellos es la utilización de algas inmovilizadas,

es decir, adheridas a un sustrato, solucionando un inconveniente de recuperar las algas microscópicas menores de 10  $\mu\text{m}$  del efluente contaminante. En este procedimiento ya no hay necesidad de separar y eliminar las células del alga, puesto que se pueden emplear distintos métodos de manipulación (modificación del pH, adición de sustancias especiales que muestren afinidad por los metales) para que el alga libere los metales que ha acumulado y por tanto disminuye el riesgo de que le resulten tóxicos los metales, para incrementar la eficacia de las algas como acumuladores de metales, se somete a pre tratamientos, como colocar el alga dentro de un autoclave a 121 °C durante quince minutos, o también calentar en agua a 80 °C durante una hora, calentar en seco 72 horas o congelar la planta en seco. De hecho, si un alga normal es capaz de adsorber el 75 % del total de cobre en un determinado medio, un alga pre tratada puede llegar a captar el 99 %.

El alga *Chondracanthus chamissoi* “cochayuyo” empleada en esta investigación pertenece al Phylum Rhodophyta, Clase Florideophyceae, Orden Gigartinales, Familia Gigartinaceae, Género *Chondracanthus chamissoi*. Es una especie de la costa templada del Pacífico Sur, que se distribuye desde Paita, Perú (5° 04' S, 81° 05' W), hasta Chiloé, Chile (42° 40' S, 73° 55' W), y habita en las zonas rocosas del intermareal y submareal. Asimismo, es considerada una de las algas más abundantes de la costa peruana y es utilizada como parte de la dieta alimenticia desde la época pre inca por los pobladores de las zonas costeras y andinas. Constituye uno de los alimentos más nutritivos del planeta, debido a que uno de sus componentes principales son las proteínas de fácil asimilación que contienen aminoácidos esenciales, es decir, aquellos que nuestro organismo no puede sintetizar, sino que debe asimilar a través de la alimentación. Estos

aminoácidos resultan fáciles de digerir debido a la particular composición de las algas, ricas en sales minerales y en algunas enzimas. Ello hace que alcancen un coeficiente de digestibilidad de hasta 95 % y que se digieran 4 ó 5 veces más rápido que las proteínas animales. Además, no contienen colesterol ni grasas saturadas.

El objetivo de esta investigación es determinar la adsorción de hierro empleando *Chondracanthus chamissoi* y se justifica por el interés en estudiar el empleo del alga en la remoción del metal dado que es un problema latente en zonas de minería artesanal y se plantea nuevo conocimiento de la capacidad de carga de estas algas. Además del beneficio económico que resultará de las actividades de pesca y otras relacionadas a las aguas remediadas, en tanto, el incremento del turismo contribuirá al mejoramiento social de la población.

La minería cumple un rol fundamental en la economía de los países del mundo, dentro de los que se encuentran el Perú y en donde constituye un gran factor de desarrollo. Siendo el primer proveedor de divisas aporta hoy más del 60 % del PBI; no obstante, es también un generador de residuos, los cuales, si no son adecuadamente manejados, tienen el potencial de generar impactos ambientales que podrían permanecer mucho tiempo después del cierre de las operaciones; en particular, los relaves y desmontes de mina pueden contener sulfuros metálicos que, al quedar expuestos al oxígeno de la atmósfera, son oxidados y generan drenaje ácido, también es el caso de los metales en solución como el plomo, iniciando una fuente de contaminación que luego es muy difícil y costoso controlar.

En la eliminación de contaminantes metálicos se han aplicado tanto métodos físicos como químicos; sin embargo, todos ellos presentan ciertas desventajas, entre ellas su

alta relación costo-efectividad, la generación de subproductos peligrosos o su ineficiencia cuando la concentración de metales en los entornos contaminados está por debajo de 100 ppm. Actualmente los metales pesados están entre los contaminantes más tóxicos que contienen los residuos mineros, lo que ha llegado a ser un problema severo para la salud pública. Existe un gran número de tratamientos a los que se pueden someter los residuos de relaves mineros, cuya finalidad se dirige básicamente a la recuperación de recursos (materiales y energéticos), la decodificación y la reducción de volumen de los contaminantes previa a su disposición final, usando para ello la remoción de metales pesados contenidos en la solución de relave.

### 1.1.1. Antecedentes:

Según Moreira y Macedo. (2014) En su investigación utilizó el alga marina *Sargassum* sp como biomasa para estudiar la influencia de la velocidad de agitación, la temperatura y la concentración inicial de biomasa en la remoción de hierro y cobre presentes en aceites lubricantes usados. En su investigación realizó un diseño experimental y un estudio cinético.

Los experimentos fueron llevados a cabo con muestras de aceites lubricantes usados y cantidades pre-determinadas de algas durante tiempo suficiente para que la mezcla alcance el equilibrio. A partir de los resultados obtenidos observó que, en las condiciones estudiadas, a medida que la cantidad de biomasa aumenta es menor la capacidad de adsorción del hierro y del cobre, probablemente debido a una disminución del área interfacial de contacto. En su estudio concluye que es posible obtener una función que muestre el nivel de influencia de cada una de las variables del sistema.

Según Reyes (2014) La adsorción de cobre, hierro y mercurio empleando *chondracanthus chamissoi* en solución para concentraciones de 100, 300 y 500 ppm con el alga *Chondracanthus chamissoi* "cochayuyo" durante 2, 4 y 6 horas de agitación no hubo mucha diferencia entre el comportamiento de la velocidad de adsorción por las algas para las mismas condiciones de las pruebas, siendo el primero el hierro, luego el cobre muy cercano y luego el mercurio.

La variable menos significativa fue la concentración de las soluciones de ensayo, sobre la base de estos resultados que muestran la viabilidad de la adsorción de metales presentes en una solución en la superficie de las algas marinas, biofiltros con *Chondracanthus chamissoi*, en conclusión se pueden utilizar para el tratamiento de efluentes de actividades de embarcaciones mineras u otro tipo, generan residuos líquidos con la presencia de metales pesados y el equipo adecuado para el tratamiento

de los efluentes que contienen estos metales disueltos se diseñarán utilizando *Chondracanthus chamissoi* como biosorción.

Según Ramírez (2016) manifiesta que la influencia del pH y el tamaño de la partícula del alga *Chondracanthus chamissoi* en la adsorción de cromo del efluente, La materia prima sometida 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. En la presente investigación 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 g/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 “Chimú SAC”. En conclusión, se logró determinar que el pH y el 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 0,250 mm; de esta manera se logró obtener un 56,33 % de adsorción de cromo.

Según Suárez (2019): Manifiesta que el *Chondracanthus chamissoi* es una macroalga roja de importancia económica y de amplia distribución en las costas peruana y chilena, a pesar de su relevancia, en la actualidad no se han realizado estudios de conectividad genética de esta especie en un amplio rango latitudinal. Por ello, el objetivo de su investigación filogeográfico es reportar el estado genético-poblacional de *C. chamissoi* en la costa peruana. Análisis filogenéticos y filogeográficos fueron

realizados con 143 secuencias del marcador mitocondrial COI y 36 secuencias del marcador cloroplástico rbcL de ejemplares distribuidos en 18 localidades peruanas. La filogenia usando ambos marcadores indica que *C. chamissoi* conforma un solo linaje génico en la costa peruana. La distribución geográfica de los haplotipos COI y rbcL de *C. chamissoi* sugiere la ausencia de quiebres filogeográficos en la costa peruana. A nivel de especie, los índices de diversidad genética de *C. chamissoi* son muy bajos, probablemente asociados a su alta dispersión pasiva, en combinación con los eventos ENSO y la presión extractiva.

Las pruebas de historia demográfica y las redes de haplotipos COI y rbcL en forma de estrella sugieren que esta especie ha atravesado un evento de expansión poblacional reciente. En conclusión, las siete poblaciones analizadas de Perú revelan ser muy similares genéticamente. La no estructuración genética de *C. chamissoi* inferida a partir de secuencias COI está posiblemente relacionada a un alto nivel de dispersión extrínseco, atribuido a sus características de propagación vegetativa y a la disponibilidad de sustrato.

Siccha (2014) Nos manifiesta que la utilización de materiales biológicos como medios de biosorción son una alternativa rentable y eficiente para el tratamiento de aguas contaminadas con metales pesados entre los materiales más promisorios para la remoción de metales pesados (Cromo) se encuentra la biomasa de algas, ya que es un material abundante, fácil de obtener y presenta sitios ligantes de iones metálicos. Su investigación tiene por objetivo general un diseño de un biofiltro a base de alga (*Chondracanthus chamissoi*) eficaz para la remoción de cromo en efluentes de la industria del curtido.

Según Barreto (2016) en su investigación realizó la dosificación con cal para remover concentraciones de hierro y cobre del efluente de la empresa minera San Simón, ubicada en el caserío Tres Ríos, provincia Santiago de Chuco – La Libertad, para esto empleó el espectrofotómetro de absorción atómica a la llama para determinar las concentraciones de hierro y cobre antes y después del tratamiento, además usó el phmetro para medir el pH de las muestras. Según los resultados obtenidos en su investigación la cantidad de cal adecuada debe ser 80 gramos por litro de efluente en un tiempo de agitación de 90 minutos de tratamiento, porque se logra una buena remoción y se cumple con la normativa ambiental vigente de acuerdo al decreto supremo N° 010-2010-MINAM, concluyendo que en los resultados obtenidos se evidenció la influencia del tiempo de agitación y del pH en la remoción de los metales pesados antes mencionados. Dado que, a medida que el pH y el tiempo de agitación se incrementa, disminuye la concentración de hierro y cobre.

Según Zevallos (2016) Su investigación tiene como objetivo de estabilizar el drenaje ácido de mina que se encuentra en 4 de pH a 6,5 pH para lograr minimizar el daño con aguas acidas al río Esperanza aguas abajo de la compañía minera Paraíso perdido, para ello aplicó una serie de técnicas e instrumentos con lo cual determinó que los minerales presentes en el proyecto Paraíso perdido producirán efluentes ácidos que pondrán en riesgo la estabilidad del río, como resultado del estudio se logró proponer un tratamiento de reducción de la acidez, Concluye que su investigación es una buena alternativa para reducir el nivel de contaminación de estas aguas residuales, ya que se logra el aumento de pH para su estabilización, la disminución de los sulfatos y iones metálicos de cobre, hierro, etc.

Según Cruz y Guerrero (2015) En su estudio teórico experimental el Perú necesita altas cantidades de agua por tonelaje de mineral tratado, el relave final del proceso de concentración se decanta en un espesador de 80 pies (espesador 80') produciéndose el efluente minero, que luego de un tratamiento tradicional, se vierte al río Antauta. Como consecuencia de su actividad, se generan efluentes residuales que se tratan para posteriormente ser vertidos. Entre los contaminantes principales que se encuentran en el efluente de la planta concentradora de la unidad minera San Rafael tenemos: cadmio, cobre, plomo, manganeso, hierro, zinc, sólidos en suspensión, y otros metales. Estos contaminantes son perjudiciales para la salud y el medio ambiente, razón por la cual el estado peruano regula los valores de los efluentes procedentes del sector minería. Su investigación tiene como principal propósito, proponer una alternativa para reducir la cantidad de Fe y Mn en el efluente minero final desarrollando el método de electrocoagulación/electroflotación utilizando electrodos de hierro y así verificar que el agua tratada por dicho método cumple con la normativa legal vigente.

El proceso de electrocoagulación electroflotación es una técnica alternativa para remover contaminantes del agua y efluentes. Este proceso involucra la aplicación de corriente eléctrica para sacrificar ánodos dentro del tanque del reactor donde la corriente genera un agente coagulante y burbujas de gas.

Un reactor de electrocoagulación está compuesto por celdas ánodo y del proceso de remoción de hierro y manganeso del efluente de la unidad minera San Rafael Minsur S.A. mediante la técnica de electrocoagulación electroflotación utilizando electrodo de hierro.

Estos iones coagulantes con contaminantes en el agua, similar a la adición de químicos coagulantes como el aluminio y el cloruro férrico, son capaces de remover fácilmente los contaminantes por sedimentación y flotación. Este proceso ha demostrado ser efectivo en · remover contaminantes del agua y es caracterizado por reducir la producción de lodo, no requerir el uso de químicos y de fácil operación. La base de la electrocoagulación es la formación de una especie coagulante que puede remover diversos contaminantes del agua. Existen tres mecanismos principales en todo el proceso de electrocoagulación/ electroflotación:

Oxidación del electrodo, Generación de burbujas de gas, Flotación y sedimentación de flóculos formados.

En la parte experimental de su trabajo se mostró los resultados obtenidos en los reactores por lotes y por flujo continuo, utilizando electrodos de hierro. Se observó que, al aplicarse corriente eléctrica, en ambos casos, la electrodisolución del ánodo será acompañada por la reducción del agua. En su experimento realizado en el reactor por lotes de 5 L de capacidad se utilizó electrodos de hierro, en donde se tomó 3 muestras en intervalos de 10 minutos a 4 diferentes densidades de corriente, para así determinar el valor de la densidad corriente que se debe aplicar para obtener mejores resultados. En el experimento realizado en el reactor de flujo continuo se realizó fijando la variable de densidad de corriente, valor óptimo determinado en el experimento desarrollado con el reactor por lotes. Se utilizó electrodos de hierro, usando un reactor de flujo continuo con capacidad de 5 L. Se tomó 4 muestras en intervalos de 10 min a 4 diferentes densidades de flujos para encontrar el estado estacionario del reactor y el flujo óptimo de trabajo, además de analizar las muestras iniciales.

Según Pantoja (2014) La reducción de concentración de hierro en agua, mediante la electrocoagulación es posible, este proceso principalmente depende del tipo de electrodo, pH, densidad de corriente, tiempo de reacción. Algunas investigaciones consideran a la electrocoagulación como una tecnología capaz de reducir metales pesados. Por ello, el presente trabajo de investigación tiene como objetivo la reducción de concentración del Hierro en agua mediante la electrocoagulación, para ver tal efecto, se ha usado el método experimental, de 3 variables con 3 niveles de estudio, y el promedio de los resultados obtenidos en términos de reducción de concentración de hierro, han sido analizados estadísticamente utilizando el análisis de varianza. Del estudio concluyó que las condiciones óptimas para la reducción del Hierro hasta un 88,76 % fueron utilizando pH = 8,00 ; t = 4 min; Densidad de corriente= 30 A/m<sup>2</sup>, con electrodos de aluminio Palabras claves: Electrocoagulación, Hierro, Densidad de Corriente.

Según Sotomayor y Feliciano (2013) su investigación tiene como objetivo realizar pruebas de laboratorio para determinar los parámetros fisicoquímicos que permiten conocer los contenidos de pH, DQO y turbiedad en el efluente de una planta textil. Actualmente existen normas que establecen los rangos permisibles de contaminación que buscan asegurar que las aguas residuales evacuadas en los desagües industriales no afecten gravemente los ríos y lagos. Para la industria, En la actualidad el costo del agua tratada, como también el costo del tratamiento del agua residual provenientes de su proceso industrial, está incrementándose significativamente, esto ha conllevado a motivar a los investigadores inmersos en este campo a esforzarse por obtener resultados mejores de reducción en contaminantes, de costos de operación y mantenimiento en la generación de procesos que posean una elevada flexibilidad para soportar las variaciones en el efluente.

### 1.1.2. Bases teóricas:

La especie *Chondracanthus chamissoi* en nuestro litoral costero se la encuentra adherida en la superficie rocosa de nuestras playas expuesta al oleaje del mar. Así mismo, al impacto de muchos contaminantes vertidos, como son las descargas domésticas, efluentes industriales como fabricas pesqueras, curtiembres, relaves mineros que se vierten al cauce de algunos ríos como Moche, Chicama, Jequetepeque y terminan impactando negativamente los ecosistemas del litoral norte, por el aporte de sustancias tóxicas y particularmente metales pesados, como el plomo, cadmio, cromo, cobre, plomo, arsénico, fierro, zinc, mercurio entre otros, además de los pesticidas y herbicidas que se emplean en el riego de los cultivos agrícolas del valle de Moche, así mismo otra fuente de contaminación que influye en la zona marina costera es el volumen de descarga del colector agua residual domestica de la ciudad de Trujillo, que alcanza los 0,85 m<sup>3</sup>/segundo; se estima que en Trujillo se descarga un volumen de 30 649,800 m<sup>3</sup>/año de desechos y contaminantes al litoral marino. Rodríguez (2015).

Es de gran importancia conocer la calidad del agua y la toxicidad de los metales pesados en organismos acuáticos, su efecto potencial sobre las especies y generar información que pueda contribuir a mitigar los efectos adversos sobre la biota en ecosistemas acuáticos y comprobar en mejor forma la concentración de metales presentes en el agua circundante; así mismo determinar el riesgo sobre la salud humana por ingesta de alimentos (algas, moluscos, peces) con tóxicos y esto permitirá a su vez percibir, si una población humana estaría en riesgo de intoxicación. Además, el estudio de bioacumulación de elementos químicos

(metales pesados en trazas) en algas marinas es de vital importancia en los estudios sobre fitorremediación, fisiología algal y en las posibles aplicaciones farmacéuticas y alimenticias de las mismas. En este contexto, considerando lo planteado y teniendo en cuenta la importancia de la especie *Chondracanthus chamissoi* para la alimentación, la industria y los ecosistemas.

### 1.1.3. Marco Conceptual:

#### **Bioadsorción:**

La adsorción es un proceso por el cual átomos, iones o moléculas de gases, líquidos o sólidos disueltos son retenidos en una superficie, en contraposición a la absorción, que es un fenómeno de volumen.

#### **fitorremediación,**

El término fitorremediación proviene del griego de Phyto que significa “planta” y remedium que significa “recuperar el equilibrio” y es una técnica que aprovecha la capacidad de algunas plantas para absorber, acumular, metabolizar, volatilizar o estabilizar contaminantes presentes en el suelo, aire, agua o sedimentos.

#### **Bioacumulación:**

En toxicología, bioacumulación es el proceso de acumulación de sustancias químicas en organismos vivos de forma que estos alcanzan concentraciones más elevadas que las concentraciones en su medio o en los alimentos.

#### **Biosorción:**

El término “biosorción”, 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, e. g. iones metálicos). Debido a la gran afinidad del sorbente por las especies del sorbato, este último es atraído hacia el sólido y enlazado por diferentes mecanismos

### **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 (soluto) 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).

### **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: 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.

## 1.2. Formulación del problema

¿En qué medida influye la concentración y granulometría de *Chondracanthus chamissoi* en la reducción de Hierro en el agua del río Moche?

## 1.3. Objetivos

### 1.3.1. Objetivo general

Determinar la influencia de la concentración y granulometría de *Chondracanthus chamissoi* para la reducción de Hierro en el agua del río Moche.

### 1.3.2. Objetivos específicos

- Evaluar la influencia de la concentración de *Chondracanthus chamissoi* sobre el porcentaje de reducción de Hierro mediante bioadsorción en agua del río Moche.
- Determinar la granulometría óptima en la reducción de Hierro mediante bioadsorción en agua del río Moche.
- Determinar la interacción de la granulometría y concentración de *Chondracanthus Chamissoi* sobre el porcentaje de reducción de Hierro mediante bioadsorción en agua del río Moche.

## 1.4. Hipótesis

### 1.4.1. Hipótesis general

A medida que aumenta la concentración y granulometría de *Chondracanthus chamissoi*, se incrementará el porcentaje de reducción de Hierro el agua del rio Moche.

### 1.4.2. Hipótesis específicas

- La concentración de *Chondracanthus chamissoi* influye significativamente en el incremento del porcentaje de reducción de Hierro en agua del rio Moche.
- La granulometría influye significativamente en el incremento del porcentaje de reducción de Hierro en agua del rio Moche.
- La interacción de la granulometría y la concentración de *Chondracanthus chamissoi* influye significativamente en el incremento del porcentaje de reducción de Hierro en agua del rio Moche.

## CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

### 2.1. Tipo de Investigación

#### 2.1.1 Según el propósito. - Aplicada:

Se usó este tipo de investigación ya que se emplearon los conocimientos en la práctica, para aplicarlos en beneficio a la sociedad. En su trabajo Se tiene como propósito dar solución a un problema concreto e identificable como por ejemplo la reducción de la contaminación a efluentes.

#### 2.1.2 Según el diseño de investigación. - Experimental:

Se aplicó un diseño experimental con pre prueba, post prueba y grupo de control, debido a que es una situación donde se realiza un control en la cual se manipula intencionalmente las dos variables independientes en esta investigación que son : (Granulometría y concentración de *Chondracanthus chamissoi*) para analizar las consecuencias sobre la variable dependiente (reducción de Hierro).

### 2.2. Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos)

#### 2.2.1 Población:

- Todas las aguas del rio Moche

#### 2.2.2 Muestra:

- El muestreo se realizó en 2 puntos cuyas coordenadas UTM son: E-719158, N-9099670 y E-719118; N-9099661, constituida por un total de 27 muestras de 200 mL cada una, más una muestra control de 200 ml. VER ANEXO 03.

#### 2.2.3 Materiales

- Fiolas de 100 mL.
- Vaso de Precipitación de 100, 200 y 400 mL. Embudos de vidrio de vástago largo.

- Balanza de laboratorio digital.
- Espátula de acero inoxidable Soporte de madera para embudos. Pipetas volumétricas (10 mL, 15 mL y 25 mL).
- Espátula de acero inoxidable. Cinta de pH.

#### **2.2.4 Instrumentos**

##### ➤ **pH metro**

Modelo Hanna, equipo cuyo objetivo es la medición de mili voltajes, su uso es para la determinación de pH de una muestra para análisis utilizando un electrodo adecuado. Aplicación: Determinación de PH en soluciones acuosas, alimentos, relaves mineros, entre otros elementos.

##### ➤ **Equipo de filtración**

El equipo consta de un embudo de vidrio con un soporte para filtro, tiene un uso que es separar un sólido (soluto) y un solvente de una solución.

##### ➤ **Balanza analítica**

Modelo Traveler, equipo cuyo principio es una bobina centrada en el que su movimiento genera una carga eléctrica que es procesada, derivada y transformada a una unidad de peso. Uso: Medir el peso de materiales.

### **2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos**

#### **2.3.1 Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

- Se empleó primero la técnica de la observación la cual permitió visualizar atentamente el fenómeno y registrarla para su posterior análisis.
- Recolección de datos, manuales, planos de ubicación, localización de la zona.

- Muestras de concentración del *Chondracanthus Chamissoi*, agua del río Moche

### 2.3.2 Análisis de datos

- En el presente trabajo de investigación se empleó el análisis de varianza ANOVA para el tratamiento y análisis de los datos, así mismos gráficos mediante diagramas de barras, empleando para ello el Software estadístico de Microsoft Excel.

## 2.4. Procedimiento

En esta etapa como primer paso se procedió a muestrear en el río Moche, en 2 puntos cuyas coordenadas UTM son: E-719158, N-9099670 y E-719118; N-9099661, constituida por un total de 27 muestras de 200 mL cada una, más una muestra control de 200 mL.

El material bioadsorbente de *Chondracanthus chamissoi* fue obtenido del río Moche, en las coordenadas anteriormente mencionadas líneas arriba, para luego ser sometido a través de las etapas que se describen a continuación, las cuales permitieron la adecuación y el tratamiento de la biomasa residual.

- Se recolectó el alga *Chondracanthus chamissoi* de manera manual de las aguas del río Moche en dos puntos de muestreo mencionados anteriormente, para la recolección del muestreo de agua del río Moche se utilizó recipientes de plástico previamente lavado y esterilizado de 1 Litro, se utilizó para su traslado al Laboratorio bolsas de polietileno.
- Se realizó el lavado y selección con agua fresca y también con ácido clorhídrico para eliminar las partículas adheridas en el *Chondracanthus chamissoi*, así mismo se selección a las algas de mejor características.

- Secado: Para este paso se empleó una estufa, en el cual se programó una temperatura a 105 °C. durante un promedio de 24 horas, teniendo en cuenta el peso inicial se procedió a pesar el *Chondracanthus chamissoi* después del secado.
- Molienda y Tamizado: Se realizó una reducción de tamaño manual del *Chondracanthus chamissoi* empleando un mortero y un pilón, luego se tamizo dicha concentración mediante mallas N° 40; 60; 80; para después realizar el correspondiente tratamiento químico.

#### ➤ Ensayos de bioadsorción

Se realizó mediante procesos en discontinuo a temperatura ambiente. El sólido adsorbente se pesó e introdujo en un vaso de precipitación, que previamente contenía la disolución de Hierro a la concentración de 1 500; 2 000; 2 500 mg/L de *Chondracanthus chamissoi*. La mezcla se puso en contacto mediante agitación magnética, durante un tiempo de dos, tres y cuatro horas respectivamente. Luego del tiempo de adsorción, se determinó la concentración del metal presente en la fase líquida mediante absorción atómica, a través de un balance de masa, se puede deducir la concentración de Hierro retenida por la biomasa; utilizando para ello la expresión matemática indicada mediante la siguiente ecuación:

#### Ecuación 1:

$$\eta = \frac{C_i - C_f}{C_i} * 100$$

Dónde:

$\eta$  = porcentaje de reducción de Hierro (%).

$C_i$  = concentración inicial de la solución.

$C_f$  = concentración final de la solución

Concentración de Hierro Inicial de la Solución = 1,36 mg/L

**Tabla 1.**

*Ley de Hierro del material en estudio*

Propiedad	Concentración inicial mg/L
Ley de Hierro	1,36 mg/L

Fuente: Laboratorio de análisis químicos para la comunidad de la Universidad Nacional de Trujillo LASACI

## ASPECTOS ETICOS

El presente trabajo de investigación está elaborado con datos reales obtenidos de la propia fuente siendo eliminado el plagio en referencia a diversos trabajos; así mismo se sustenta en base a citas detalladas, según su consideración.

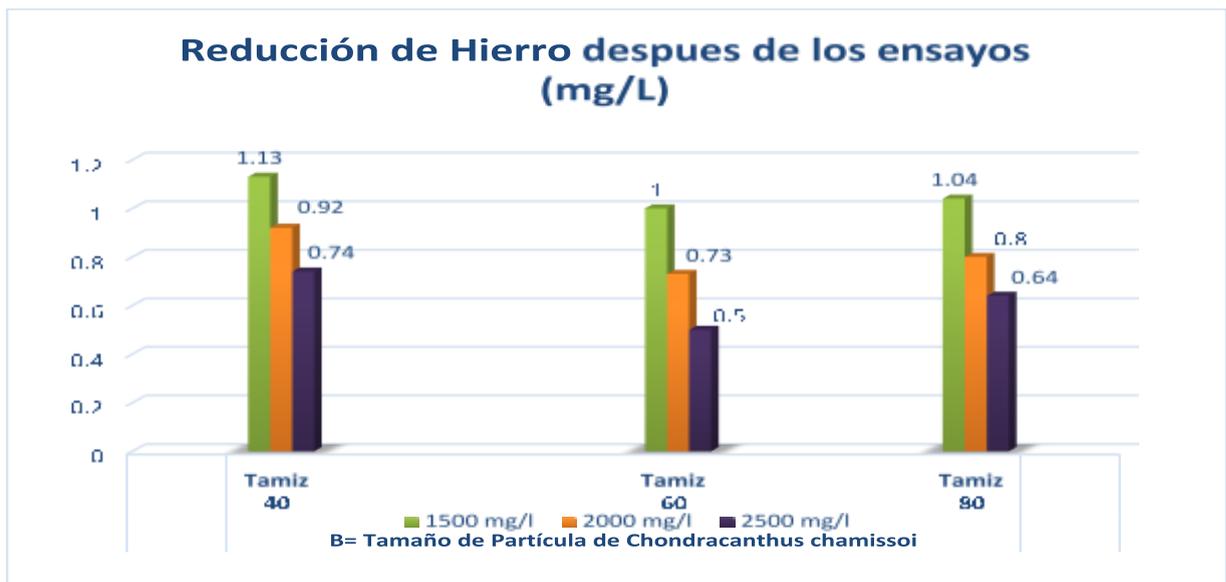
### CAPÍTULO III. RESULTADOS

De los resultados obtenidos del laboratorio para hallar el porcentaje de reducción del Hierro, con la influencia de la Concentración de *Chondracanthus Chamissoi* y la Granulometría empleada, se muestra a continuación los siguientes resultados. VER TABLA 5.

**Tabla 2**

*Resultados de Concentración de Hierro promedio después de realizar los ensayos*

Diseño		B= Tamaño de Partícula de <i>Chondracanthus chamissoi</i>		
		Tamiz 40	Tamiz 60	Tamiz 80
A= Concentración del <i>Chondracanthus chamissoi</i>	1500 mg/l	1.13	1.0	1.04
	2000 mg/l	0.92	0.73	0.80
	2500 mg/l	0.74	0.50	0.64



**Figura 1.** Resultados de la Concentración de Hierro después de realizar los ensayos (Ci = 1,36 mg/L) con la influencia del tiempo de la granulometría y concentración de *Chondracanthus Chamissoi*.

En el resultado se puede apreciar que se obtuvo una mayor reducción de hierro de 1,36 mg/L a 0,5 mg/L empleando una concentración de *Chondracanthus chamissoi* de 2500 mg/L, con una granulometría tamiz N° 60.

**TABLA 3**  
***Porcentaje de reducción de Hierro después de realizar los ensayos***

Diseño		B= Tamaño de Partícula de <i>Chondracanthus chamissoi</i>		
		Tamiz 40	Tamiz 60	Tamiz 80
	1500 mg/L	16,91 %	26,47 %	23,52 %
<i>A= Concentración del Chondracanthus chamissoi</i>	2000 mg/L	32,35 %	46,32 %	41,17 %
	2500 mg/L	45,59 %	63,24 %	52,94 %

Fuente: Elaboración Propia

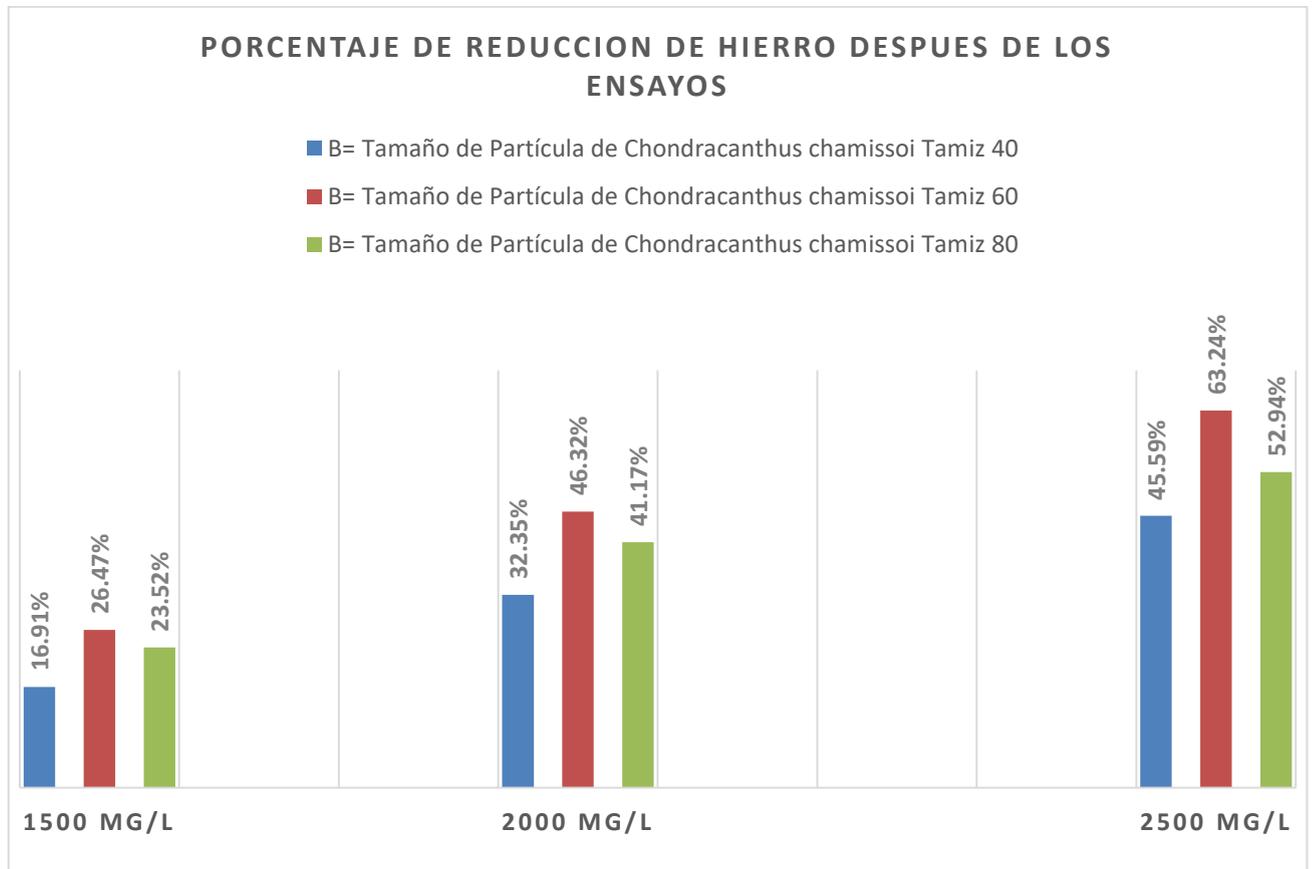


Figura 2. Resultados en porcentaje de la reducción de Hierro después de realizar los ensayos ( $C_i = 1,36 \text{ mg/L}$ ) con la influencia del tiempo de la granulometría y concentración de *Chondracanthus Chamissoi*.

En el resultado se puede apreciar que en la granulometría con tamiz N° 60 y una concentración de *Chondracanthus chamissoi* de 2 500 mg/L se obtuvo la mayor reducción de hierro, obteniéndose un 63,24 %.

**Tabla 4.**

***Cuadro resumen del análisis de varianza para la reducción de Hierro***

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F0	Valor crítico $F_{\alpha, v1, v2}$
Tratamiento A (granulometría)	0,8808	2	0,4404	239,736	3,555
Tratamiento B (Concentración de <i>Chondracanthus Chamissoi</i> )	0,1625	2	0,0812	44,228	3,555
Interacción	0,0127	4	0,0032	1,723	2,928
Error	0,0331	18	0,0018		
Total	1,0890	26			

Fuente: Elaboración Propia

En el resultado se puede apreciar que, para cada una de las variables independientes el  $F_0 > F_{\alpha, v1, v2}$ , existe razón suficiente para decir que afectan al porcentaje de reducción de hierro, ya que se puede apreciar que tiene bastante influencia la granulometría con la concentración *Chondracanthus Chamissoi*.

## CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

### 4.1 Discusión

Se determinó en el experimento la granulometría óptima para la reducción de hierro de 63,24 % empleando tamiz N° 60, se corroboró a un nivel de significación de 95 %, según lo mencionado anteriormente en la tabla N° 4 el análisis de varianza la granulometría impacta significativamente en el porcentaje de reducción de hierro mediante  $F_0 = 239,736 > F_{\alpha} = 3,55$ . Ello es corroborado por Ramírez (2016), en su investigación con el nombre de Efecto del pH y el tamaño de partícula de *Chondracanthus chamissoi* en adsorción de cromo del efluente de curtiembre “Chimú SAC”-Trujillo 2016, de la Universidad Cesar Vallejo, quien determinó que empleando una granulometría de *Chondracanthus chamissoi* usando un Tamiz N° 60 alcanza su nivel más óptimo para reducción de metales pesados en efluente.

Ahora con respecto a la concentración de *Chondracanthus chamissoi* sobre el porcentaje de reducción de hierro en el agua del río Moche, se pudo constatar que el parámetro óptimo fue de 2 500 mg/L ppm de concentración. Esto fue verificado mediante el análisis de varianza a un nivel de significancia de 95% obteniendo un valor de  $F_0 = 44,228 > F_{\alpha} = 3,55$ . Ello lo corrobora Según Reyes (2014), en su tesis denominada Adsorción de cobre, hierro y mercurio empleando *Chondracanthus chamissoi*, realizada en la Universidad Nacional de Trujillo evaluó la adsorción de cobre, hierro y mercurio en solución con concentraciones de 100, 300 y 500 ppm en el alga *Chondracanthus chamissoi* siendo que hubo mucha diferencia entre el comportamiento de adsorción por el alga a las mismas condiciones de pruebas,

siendo primero el hierro, después cerca el cobre y posteriormente el mercurio, concluyendo en base a los resultados obtenidos que es factible la adsorción de metales presentes empleando *Chondracanthus chamissoi* como biosorbente para el tratamiento de efluentes de actividades mineras en general, que generen residuos líquidos con presencia de metales pesados y se diseñará el equipo adecuado para el tratamiento de efluentes que contengan estos metales disueltos.

## 4.2 Conclusiones

- Como se demuestra en la presente investigación se logró reducir el Hierro con un porcentaje inicial de  $C_i = 1,36 \text{ mg/L}$  a  $0.5 \text{ mg/L}$ , siendo este resultado más óptimo que se pudo obtener, se concluye que el experimento obtuvo resultados favorables.
- Se determinó en el experimento la granulometría óptima para la reducción de hierro de  $63,24 \%$ , empleando tamiz N° 60, se corroboró a un nivel de significación a  $95 \%$ , según la presente investigación en el análisis de varianza la granulometría impacta significativamente en el porcentaje de reducción de hierro mediante  $F_0 = 239,736 > F_{\alpha} = 3,55$ .
- Con respecto a la concentración de *Chondracanthus chamissoi* sobre el porcentaje de reducción de hierro en el agua del río Moche, en este caso se pudo constatar que el parámetro óptimo fue de  $2\ 500 \text{ mg/L}$  de concentración de *Chondracanthus chamissoi*. Esto fue verificado mediante el análisis de varianza a un nivel de significancia de  $95 \%$  obteniendo un valor de  $F_0 = 44,228 > F_{\alpha} = 3,55$ .
- También se determinó la interacción de las dos variables independientes en este caso la granulometría y la concentración de *Chondracanthus chamissoi* sobre el porcentaje de reducción de hierro (Variable dependiente) mediante bioadsorción, encontrándose influencia muy significativa en la interacción de ambas, esto fue corroborado por el análisis de varianza a un nivel de significancia de  $95 \%$ , en donde se encontró valores de  $F_0 = 1,72$  y  $F_{\alpha} = 2,92$  según los resultados obtenidos en laboratorio.

## REFERENCIAS

- Barreto, H. (2016). *Efecto de la dosificación de cal en la remoción de hierro y cobre del efluente de la empresa minera San Simón- La Libertad*. Universidad Cesar Vallejo-Trujillo.
- Cruz, C., & Guerrero, J. (2015). *Estudio teórico experimental del proceso de remoción de hierro y manganeso del efluente de la unidad minera San Rafael Minsur S.A. mediante la técnica de electrocoagulación electroflotación utilizando electrodo de hierro*. Universidad Nacional de Ingeniería- Lima.
- Díaz, F. (2013). *Temperature affects the osmotic characteristics of bodily fluids, particularly through changes in membrane*.
- Klimmek, S., H.J. Stan, A. Wilke, G. Bunke and R. Buchholz. 2001. Comparative analysis of the biosorption of cadmium, lead, nickel and zinc by algae. *Environ. Sci. Technol.*35(21): 4283- 4288
- Moreira, A., Márcia M., Duarte, J., y Macedo, G. (2014). Universidad Federal do Rio Grande do Norte, Departamento de Engenharia Química, Centro de Tecnologia, Av.
- Neyra, E; LLenque, E. (2011). *Grado de contaminación por relaves mineros en la cuenca MINERO de la Región de La Libertad*.
- Pantoja, A. (2014). *Reducción de concentración de hierro en agua, mediante la electrocoagulación*. Universidad Nacional del Callao.
- Ramírez, G. (2014). *Estudio técnico del tratamiento de aguas acidas*. Universidad Nacional del Callao.

- Rimarachin, P., Huaranga, F. (2015). *Tratamiento de aguas de efluentes minero – metalúrgicos utilizando, métodos pasivos y activos en sistemas experimentales*. Universidad Nacional de Trujillo-Trujillo.
- Ramírez, J. (2016). *Efecto del pH y el tamaño de partícula de Chondracanthus chamissoi en adsorción de cromo del efluente de curtiembre “Chimú SAC”*. Universidad Cesar Vallejo-Trujillo.
- Reyes, I. (2014). *Adsorción de cobre, hierro y mercurio empleando chondracanthus chamissoi*.
- Rodríguez, M. (2015). *Bioacumulación de metales pesados trazas: cadmio, cobre, hierro y plomo en chondracanthus chamissoi procedente del litoral del Departamento La Libertad. Perú*
- Senador Salgado Filho 3000, Campus Universitario. *Estudio del Mecanismo de Remoción de Hierro y Cobre presentes en Aceites Lubricantes Usados Mediante Bioadsorción*.
- Siccha, A. (2014). *Diseño de un biofiltro a base del alga roja cochayuyo (Chondracanthus Chamissoi) para la remoción de cromo de efluentes de la industria del curtido*.
- Suárez, S. A. (2019). *Fitogeografía del alga Chondracanthus chamissoi (Gigartinaceae, Rhodophyta) en la Costa Peruana usando marcadores moleculares*.
- Zevallos, J. (2016). *Estabilización del drenaje ácido de mina (Dam) de la Empresa Paraíso Perdido Apat*.

## APENDICE

### Apéndice I: Resultados de las pruebas de reducción de Hierro

**Tabla 5**

**Resultados de Concentración del Hierro después de realizar los ensayos (C. Inicial = 1,36 mg/L)**

Diseño	B= Tamaño de Particula de <i>Chondracanthus chamissoi</i>		
	Tamiz 40	Tamiz 60	Tamiz 80
1500 mg/L	1.15	0.95	1.10
	1.13	0.96	0.98
	1.11	1.1	1.12
A= Concentración del <i>Chondracanthus chamissoi</i> 2000 mg/L	0.95	0.75	0.80
	0.90	0.71	0.78
	0.92	0.72	0.82
2500 mg/L	0.76	0.50	0.67
	0.72	0.48	0.60
	0.75	0.51	0.64

Fuente : Elaboración Propia

Se aplicó la siguiente formula:  $n = \frac{Ci - Cf}{Ci} \times 100$  , los datos de las concentraciones encontradas en las muestras de la solución de la presente investigación, después del proceso con *Chondracanthus chamissoi*, a fin de obtener valores de los porcentajes de eficiencia de reducción.

$$\eta = \frac{Ci - Cf}{Ci} * 100$$

Dónde:

$\eta$  = porcentaje de reducción de Hierro (%).

$Ci$  = concentración inicial de la solución.

$Cf$  = concentración final de la solución

Ejemplo de cálculo:

$Ci = 1,36$  mg/l

$Cf = 0,5$  mg/l

$$\eta = \frac{1,36 - 0,5}{1,36} \times 100$$

$\eta = 63,24$  %

## PROCESAMIENTO ESTADÍSTICO DE DATOS

**1. Cálculos para el análisis de varianza (ANOVA)** Permite determinar si las medias de cada nivel o tratamiento son estadísticamente diferentes. Para su determinación se procedió como se indica a continuación.

### 1.1. Datos previos

#### 1.1.1. Planteamiento de hipótesis

**Hipótesis Nula (T H<sub>0</sub>):** A medida que aumenta la granulometría de *Chondracanthus chamissoi*, no afecta el incremento de la reducción de hierro en el agua del río Moche

**Hipótesis Alterna (T H<sub>1</sub>):** A medida que aumenta la granulometría, afecta el incremento de la reducción de hierro en el agua del río Moche.

**Hipótesis Nula (T H<sub>0</sub>):** A medida que aumenta la granulometría de *Chondracanthus chamissoi*, no afecta el incremento de la reducción de hierro en el agua del río Moche.

**Hipótesis Alterna (β H<sub>1</sub>):** A medida que aumenta la concentración de *Chondracanthus chamissoi*, afecta el incremento de la reducción de hierro en el agua del río Moche.

**Hipótesis Nula (Tβ H<sub>0</sub>):** A medida que aumenta la granulometría y aumenta la concentración de *Chondracanthus chamissoi*, no afecta el incremento de la reducción de hierro en el agua del río Moche.

**Hipótesis Alterna (T $\beta$  H1):** A medida que aumenta la granulometría y aumenta la concentración de *Chondracanthus chamissoi*, afecta el incremento de la reducción de hierro en el agua del rio Moche

**Nivel de significancia** En ingeniería se trabaja con un 95 % de confianza ( $\alpha=0.05$ )

**1.1.3. Criterio de rechazo** Se rechaza la hipótesis nula (H0) si  $F_0 > F_{\alpha, V_1, V_2}$ , donde el  $F_0$  se obtiene experimentalmente y el  $F_{\alpha, V_1, V_2}$  se obtiene de tablas (ver anexo N° 5)

**Tabla 6**

***Cuadro resumen del análisis de varianza para la reducción de Hierro en el agua del rio Moche.***

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	$F_0$	Valor crítico $F_{\alpha, v_1, v_2}$
Tratamiento A (granulometría)	0,8808	2	0,4404	239,736	3,555
Tratamiento B (Concentración de <i>Chondracanthus Chamissoi</i> )	0,1625	2	0,0812	44,228	3,555
Interacción	0,0127	4	0,0032	1,723	2,928
Error	0,0331	18	0,0018		
Total	1,0890	26			

Fuente: Elaboración Propia

Se puede observar que para un nivel de significancia del 95 % la reducción de hierro en el experimento, teniendo una influencia significativa en la granulometría con un  $F_0 = 239,736$  mayor a  $F_{\alpha} = 3,55$  obtenido de manera tabular, afirmando de este modo la hipótesis Alterna. En consecuencia, la influencia de la granulometría si afecta significativamente en la reducción de hierro. Para un nivel de significancia del 95 %, se observa mediante la experimentación que para los datos de reducción de hierro con la influencia de la concentración de *Chondracanthus chamissoi* y el  $F_0 = 44,228$  es mayor a  $F_{\alpha} = 3,55$  dato obtenido de manera tabular, en consecuencia, afirmando de esta forma la hipótesis Alterna. Esto indica, por lo tanto, que la influencia de la concentración de *Chondracanthus chamissoi* si afecta significativamente en la reducción de hierro. Tomando un nivel de significancia del 95 %, observando la reducción de hierro por la influencia de la granulometría y la concentración de *Chondracanthus chamissoi* y el  $F_0 = 1,72$  y un  $F_{\alpha} = 2,92$  afirmando de este modo la hipótesis Alterna. Esto indica, por lo tanto, que la granulometría y la concentración de *Chondracanthus chamissoi* de partícula afectan significativamente en la reducción de hierro.

**ANEXOS**

**ANEXO 01**



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO**  
LABORATORIO DE SERVICIOS A LA COMUNIDAD E INVESTIGACION  
**LASACI**



**INFORME DE ANÁLISIS  
LASACI N°089-2019-IQUNT**

SOLICITANTE	: JUAN CARLOS MARTELL ORTIZ
MUESTRA	: AGUA
PROCEDENCIA	: CUENCA BAJA DEL RIO MOCHE
FECHA DE INGRESO	: 14 DE JUNIO DEL 2019
MUESTRA RECIBIDA EN LABORATORIO	

DETERMINACION	UNIDADES	RESULTADOS
pH		6.67
Solidos Totales	mg/L	769
Hierro	Fe mg/L	1.36

Espectrómetro UV

TRUJILLO 17 DE JUNIO DEL 2019

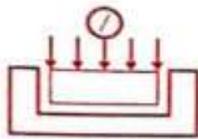


AGUAS - SUELOS - ALIMENTOS - MINERALES - ACEITE - CARBON - CAL

**FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA**

☎ 949959632 / 933623974

**ANEXO 02**



**HUERTAS INGENIEROS S.A.C.**  
Laboratorio Geotécnico y Ensayos de Materiales de Construcción

TESIS: INFLUENCIA DE LA CONCENTRACION Y GRANULOMETRIA DE CHONDRACANTHUS CHAMISSOI PARA LA REDUCCION DE HIERRO EN EFLUENTE MINERO, LA LIBERTAD 2019  
SOLICITANTE: JUAN CARLOS MARTELL ORTIZ  
MUESTRA: AGUA  
PROCEDENCIA: CUENCA BAJA DEL RIO MOCHE  
FECHA DE INGRESO: 18 JUNIO 2019

	Tamaño de Partícula de Chondracanthus chamissoi		
	Tamiz N°40	Tamiz N°60	Tamiz N°80
1500 mg/l	1.15	0.95	1.10
1500 mg/l	1.13	0.96	0.98
1500 mg/l	1.11	1.10	1.12
Concentración del Chondracanthus chamissoi			
2000 mg/l	0.95	0.75	0.80
2000 mg/l	0.90	0.71	0.78
2000 mg/l	0.92	0.72	0.82
2500 mg/l	0.76	0.50	0.67
2500 mg/l	0.72	0.48	0.60
2500 mg/l	0.75	0.51	0.64

Observacion: De los ensayos realizados hubo mayor reducción de hierro de 1.36 mg/l a 0.5 mg/l en el Tamiz N° 60 con una concentración de Chondracanthus chamissoi de 2500 mg/l.

**NOTA:**

El laboratorio no ha intervenido en la exploración y muestreo, solo se ha limitado a realizar el ensayo indicado a la muestra entregada, por tanto; solo responde por los resultados obtenidos en dicha muestra.

*Juan Carlos Martell Ortiz*  
JUAN CARLOS MARTELL ORTIZ  
D.S. 15481

**ANEXO N° 03**



### ANEXO 04 PANEL FOTOGRÁFICO



**Figura 3.** Toma de puntos de ubicación geo referenciada para la extracción de la muestra.



**Figura 4.** Toma de puntos de ubicación geo referenciada para la extracción de la muestra.



**Figura 5.** Obteniendo muestras del río moche



**Figura 6.** Se puede apreciar el lavado del *Chondracanthus chamissoi*



**Figura 7.** Secado del alga *Chondracanthus chamissoi* en la estufa.



**Figura 8.** Secado del alga *Chondracanthus chamissoi* en la estufa.



**Figura 9.** Pesaje del *Chondracanthus chamissoi*



**Figura 10.** Concentración de *Chondracanthus chamissoi* después del secado



**Figura 11.** Concentración de *Chondracanthus chamissoi* después del secado



**Figura 12.** Molienda del alga *Chondracanthus chamissoi*.



**Figura 13.** Molienda del alga *Chondracanthus chamissoi*.



**Figura 14.** Instrumentos para realizar los diferentes tamizados N° 40, 60, 80.



*Figura 15.* Tamizado de *Chondracanthus chamissoi*

## Anexo 05

Puntos porcentuales de la distribución  $F_{\alpha, v1, v2}$

$V_2 \backslash V_1$	Grados de libertad del numerador ( $V_1$ )																		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	24	30	40	60	120	inf.
2	161.4	199.5	215.7	224.6	230.2	234.0	236.8	238.9	240.5	241.9	243.9	245.9	248.0	249.1	250.1	251.1	252.2	253.3	254.3
3	18.51	19.00	19.16	19.25	19.30	19.33	19.35	19.37	19.38	19.40	19.41	19.43	19.45	19.45	19.46	19.47	19.48	19.49	19.50
4	10.73	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81	8.79	8.74	8.70	8.66	8.64	8.62	8.59	8.57	8.55	8.53
5	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00	5.96	5.91	5.86	5.80	5.77	5.75	5.72	5.69	5.66	5.63
6	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	4.74	4.68	4.62	4.56	4.53	4.50	4.46	4.43	4.40	4.36
7	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10	4.06	4.00	3.94	3.87	3.84	3.81	3.77	3.74	3.70	3.67
8	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.64	3.57	3.51	3.44	3.41	3.38	3.34	3.30	3.27	3.23
9	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39	3.35	3.28	3.22	3.15	3.12	3.08	3.04	3.01	2.97	2.93
10	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.14	3.07	3.01	2.94	2.90	2.86	2.83	2.79	2.75	2.71
11	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.98	2.91	2.85	2.77	2.74	2.70	2.66	2.62	2.58	2.54
12	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90	2.85	2.79	2.72	2.65	2.61	2.57	2.52	2.49	2.45	2.40
13	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80	2.75	2.69	2.62	2.54	2.51	2.47	2.43	2.38	2.34	2.30
14	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71	2.67	2.60	2.53	2.46	2.42	2.38	2.34	2.30	2.25	2.21
15	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65	2.60	2.53	2.46	2.39	2.35	2.31	2.27	2.22	2.18	2.13
16	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59	2.54	2.48	2.40	2.33	2.29	2.25	2.20	2.16	2.11	2.07
17	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	2.49	2.42	2.35	2.28	2.24	2.19	2.15	2.11	2.06	2.01
18	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49	2.45	2.38	2.31	2.23	2.19	2.15	2.10	2.06	2.01	1.96
19	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46	2.41	2.34	2.27	2.19	2.15	2.11	2.06	2.02	1.97	1.92
20	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42	2.38	2.31	2.23	2.16	2.11	2.07	2.03	1.98	1.93	1.88
21	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39	2.35	2.28	2.20	2.12	2.08	2.04	1.99	1.95	1.90	1.84
22	4.32	3.47	3.07	2.84	2.68	2.57	2.49	2.42	2.37	2.32	2.25	2.18	2.10	2.05	2.01	1.96	1.92	1.87	1.81
23	4.30	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.46	2.40	2.34	2.30	2.23	2.15	2.07	2.03	1.98	1.94	1.89	1.84	1.78
24	4.28	3.42	3.03	2.80	2.64	2.53	2.44	2.37	2.32	2.27	2.20	2.13	2.05	2.01	1.96	1.91	1.86	1.81	1.76
25	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.42	2.36	2.30	2.25	2.18	2.11	2.03	1.98	1.94	1.89	1.84	1.79	1.73
26	4.24	3.39	2.99	2.76	2.60	2.49	2.40	2.34	2.28	2.24	2.16	2.09	2.01	1.96	1.92	1.87	1.82	1.77	1.71
27	4.23	3.37	2.98	2.74	2.59	2.47	2.39	2.32	2.27	2.22	2.15	2.07	1.99	1.95	1.90	1.85	1.80	1.75	1.69
28	4.21	3.35	2.96	2.73	2.57	2.46	2.37	2.31	2.25	2.20	2.13	2.06	1.97	1.93	1.88	1.84	1.79	1.73	1.67
29	4.20	3.34	2.95	2.71	2.56	2.45	2.36	2.29	2.24	2.19	2.12	2.04	1.96	1.91	1.87	1.82	1.77	1.71	1.65
30	4.18	3.33	2.93	2.70	2.55	2.43	2.35	2.28	2.22	2.18	2.10	2.03	1.94	1.90	1.85	1.81	1.75	1.70	1.64
40	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21	2.16	2.09	2.01	1.93	1.89	1.84	1.79	1.74	1.68	1.62
60	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.25	2.18	2.12	2.08	2.00	1.92	1.84	1.79	1.74	1.69	1.64	1.58	1.51
120	4.00	3.15	2.76	2.53	2.37	2.25	2.17	2.10	2.04	1.99	1.92	1.84	1.75	1.70	1.65	1.59	1.53	1.47	1.39
inf.	3.92	3.07	2.68	2.45	2.29	2.17	2.09	2.02	1.96	1.91	1.83	1.75	1.66	1.61	1.55	1.55	1.43	1.35	1.25
inf.	3.84	3.00	2.60	2.37	2.21	2.10	2.01	1.94	1.88	1.85	1.75	1.67	1.57	1.52	1.46	1.39	1.32	1.22	1.00