

UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLÓGICA DE LIMA SUR

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y GESTIÓN
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**



“CAPACIDAD ADSORSIVA DE LA FIBRA DE CABUYA (*Furcraea andina*), EN LA BIORREMEDIACIÓN DE AGUAS CONTAMINADAS CON ZINC”

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Para optar el Título Profesional de
INGENIERO AMBIENTAL

PRESENTADO POR EL BACHILLER

VITOR YANCE, JOHN JONATHAN

**Villa El Salvador
2019**

DEDICATORIA

A mi madre, Norma Yance Conde, mi padre, Marcelino Vitor Flores, mis hermanos; Miguel Ángel, Gloria María, Norma Roxana, Luz Marina Vitor Yance por siempre brindarme su apoyo incondicional; y brindarme los medios para obtener una buena educación y formarme con buenos valores y principios.

AGRADECIMIENTO

Agradecer a Dios y mis padres, y especial a mi hermano Miguel Ángel Vitor Yance por ser la fuerza que me alienta a seguir adelante y guiarme hacia mis objetivos, así mismo a la UNTELS, alma mater, por brindarme una buena formación académica y por ser el lugar donde conocí a personas que me brindaron su apoyo y su amistad sincera.

Así mismo a mi asesor, Luis Felipe Gamarra Chavarry por apoyarme y guiarme en este importante proceso, a LABECO ANÁLISIS AMBIENTALES SRLTDA. Por permitirme usar sus instalaciones, asimismo agradecer a Shyrller Y. Martinez Campos por apoyarme en la parte experimental de mi investigación.

ÍNDICE

Listado de figuras.....	vi
Listado de tablas.....	vii
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	
1.1. Planteamiento de la realidad problemática.....	2
1.2. Justificación	3
1.3. Delimitación del proyecto	4
1.3.1 Teórica	4
1.3.2 Temporal	4
1.3.3 Espacial.....	4
1.4. Formulación del problema	4
1.4.1 Problema General	4
1.4.2 Problemas Específicos	4
1.5. Objetivos	5
1.5.1 Objetivo General:.....	5
1.5.2 Objetivo Específico:.....	5
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	
2.1. Antecedentes.....	6
2.1.1 Antecedentes internacionales.....	6
2.1.2 Antecedentes nacionales	7
2.2. Bases teóricas	8
2.2.1 Fibras naturales.....	8
2.2.2 La cabuya (<i>Furcraea andina</i>).....	9
2.2.3 Lignina	12
2.3 Definición de términos básicos.....	14

CAPÍTULO III: DESARROLLO DEL TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

3.1. Modelo de solución propuesto.....	15
3.1.1 Tipo de investigación	15
3.1.2 Procesamiento y análisis.....	15
3.1.2.1 Cálculo de muestras fortificadas.....	15
3.1.2.2 Proceso de extracción de la fibra	16
3.1.2.3 Determinación de lignina de la fibra	17
3.1.2.4 Determinación de pH.....	18
3.1.2.5 Prueba en columna	18
3.1.2.6 Toma De Muestras	21
3.1.2.7 Calculo de la eficiencia.....	22
3.1.2.8 Análisis De Laboratorio	22
3.2. Resultados	22
3.2.1 Determinación del volumen requerido para las muestras.....	22
3.2.2 Determinación de lignina de la fibra	23
3.2.3 pH de la fibra de cabuya (<i>Furcraea andina</i>)	24
3.2.4 Análisis de las muestras fortificadas.....	24
3.2.5 Calculo de la eficiencia.....	30
CONCLUSIONES	32
RECOMENDACIONES	33
BIBLIOGRAFÍA	34
ANEXOS	37

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Clasificación general de las fibras naturales.....	9
Figura 2. Esquema del sistema de tratamiento con fibra de cabuya (<i>Furcraea andina</i>).	19
Figura 3. Variación de la concentración inicial (2ppm) y al final del tratamiento con el biofiltro a base de fibra de cabuya (<i>Furcraea andina</i>), en sus diferentes tiempos de retención hidráulica.	26
Figura 4. Variación del pH en sus diferentes tiempos de retención hidráulica.	26
Figura 5. Efecto de la variación de concentración final sobre el pH.	27
Figura 6. Variación de la concentración inicial (4ppm) y al final del tratamiento con el biofiltro a base de fibra de cabuya (<i>Furcraea andina</i>), en sus diferentes tiempos de retención hidráulica.	29
Figura 7. Variación del pH en sus diferentes tiempos de retención hidráulica.	29
Figura 8. Efecto de la variación de concentración final sobre el pH.	30

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1 Estructura de la cabuya (<i>Furcraea andina</i>).....	11
Tabla 2 Composición química de la Cabuya (<i>Furcraea andina</i>)	12
Tabla 3 Porcentaje de la lignina presente	23
Tabla 4 Resultados y promedio del pH de la fibra de cabuya <i>Furcraea andina</i>	24
Tabla 5 Parámetros fisicoquímicos agua fortificada con Zinc 2ppm, tratada con el biofiltro relleno de fibra de cabuya (<i>Furcraea andina</i>)	25
Tabla 6 Parámetros fisicoquímicos agua fortificada con Zinc 4ppm, tratada con el biofiltro relleno de fibra de cabuya (<i>Furcraea andina</i>)	28

INTRODUCCIÓN

En los últimos años la contaminación del agua causada por las actividades humanas es un problema ambiental de importancia, se inicia desde los primeros intentos de industrialización hasta transformarse en un problema generalizado, a partir de la revolución industrial, iniciada a comienzos del siglo XIX.

Desde entonces, esta situación se ha repetido en todos los países que han desarrollado la industrialización, y aun cuando la tecnología ha logrado reducir de alguna forma el volumen y tipo de contaminantes vertidos a los cauces naturales de agua. Ello no ha ocurrido ni en la forma ni en la cantidad necesarias para que el problema de contaminación de las aguas este resuelto.

En la actualidad, la contaminación de las aguas de los rio por el vertimiento de aguas residuales sin tratamiento alguno por diferentes actividades está generando un impacto negativo, unas de las actividades generadoras del vertimiento, es la minería ilegal que ronda sus riveras en las partes más altas de su recorrido.

Investigaciones científicas han demostrado las repercusiones negativas de los metales pesados en el ecosistema y la salud del ser humana cuya exposición está relacionada con problemas de salud como: retrasos en el desarrollo, varios tipos de cáncer, daños en los riñones e incluso casos de muertes. (Acevedo, 2017)

La presente investigación busca evaluar la capacidad adsortiva de la fibra de cabuya (*Furcraea andina*), y la biorremediación de las aguas contaminadas con zinc, analizando las características físicas y químicas de la fibra de cabuya como también determinando la remoción del zinc.

Por tales motivos se platea el estudio y la aplicación para la remoción del Zinc, utilizando la cabuya (*Furcraea andina*) abundantes en nuestro territorio nacional, promoviendo de esta forma una alternativa para la biorremediación.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Planteamiento de la realidad problemática

El recurso agua, cobra cada día más importancia y ha sido considerado dentro de los conflictos ambientales más importantes y más aún por su uso poblacional está directamente relacionado a su calidad, debido al efecto que tiene sobre la salud humana, a tal extremo que las investigaciones realizadas dan cuenta, que las enfermedades por aguas contaminadas, son una de las principales causas de morbilidad y de muerte en el mundo. Uno de estos contaminantes ambientales es el metal pesado Zinc.

El zinc (Zn), es un metal pesado que ocasiona daños en el medio ambiente, los ecosistemas naturales, las aguas superficiales, subterráneas y marinas, los suelos, las poblaciones a las cuales se encuentran cercanas. Los daños son bastantes graves, dependiendo mucho de las concentraciones en la que se encuentre, por otro lado no son tan conocidos como el caso de otros metales pesados tales como Cu, Cr, Cd, Ni, Ba, Fe y Pb (Reyes, Vergara, Torres, Diaz, & Gonzáles, 2016).

Sin embargo cada vez son más numerosos los estudios que ponen de manifiesto su elevada concentración en los cuerpos agua, y en las destinadas al consumo humano, siempre acompañando a concentraciones elevadas de otros elementos que son sustancias propias de la naturaleza de peso molecular alto, muy difundidos y en muchos casos muy útiles para el desarrollo de las actividades humanas.

Como es el caso de las aguas de los ríos, estas se encuentran contaminadas por residuos de Zinc (Zn), provenientes de la industria minero-metalúrgica, desechos domésticos de los centros ubicados en su orilla, desechos industriales y agrícolas.

El zinc tiene influencia sobre la salud de las personas y pueden afectar muchos sistemas del cuerpo. Niveles alto de Zn causa problemas de salud eminentes,

como es úlcera de estómago, úlceras bucales, irritación oral, irritación de la piel, vómitos, náuseas, anemia, pueden dañar el páncreas, disturbar el metabolismo de las proteínas (Marko, 2016).

Para eliminar los efectos adversos del Zn en la salud humana y en el medio ambiente es imprescindible someter las aguas residuales industriales a tratamiento antes de que sean vertidas. Hay numerosas opciones a la hora de su tratamiento en una PTAR, como pueden ser la precipitación, coagulación-floculación, filtración, intercambio iónico, membranas, flotación, adsorción, solventes, concentración o electrocoagulación. Por tal motivo se promueve la utilización de un lecho filtrante de fibra como la cabuya (*Furcraea andina*), como una alternativa para la biorremediación de aguas residuales (muestra fortificada).

1.2. Justificación

El presente trabajo de investigación busca a través de sus resultados brindar información para reducir las concentraciones o los efectos tóxicos de los contaminantes ambientes (metal pesado Zinc). Pues es una tecnología relativamente nueva y rentable, eficiente, y no dañino para el ambiente. Este tipo de biorremediación ofrece múltiples ventajas en relación con los métodos fisicoquímicos que son usados en la actualidad, por ejemplo, su gran aplicabilidad y bajo costo (Gazón, 2005). También servir de precedente para futuras investigaciones que busquen remediar este tipo de contaminante en los cuerpos de aguas.

El estudio de la capacidad biorremediadora de fibra de cabuya es importante, por ser una tecnología sustentable capaz de cumplir con los Estándares de Calidad Ambiental del Agua (ECA agua) D.S.No 004-2017 - MINAM, pues este sistema ecológico no produce olores desagradables, ni grandes cantidades de lodos. Además que sus residuos, fibra de cabuya ya utilizada, se dejan a cargo de las Empresas Prestadoras de Servicios de Residuos Sólidos Peligrosos (EPS-RS), para su disposición final.

Es una tecnología biorremediadora permeable e industrialmente atractiva porque es capaz de reducir las concentraciones de iones metálicos de transición a

concentraciones de partes por billón, son ampliamente disponibles y ambientalmente seguros (GARZÓN, GONZÁLEZ, & GARCÍA, 2016).

En el presente proyecto se trabajó con agua fortificada con Zinc de 2ppm y 4ppm, y se desarrolló del 11 enero hasta 04 de abril, comprendida en la estación de verano del año 2019.

1.3. Delimitación del proyecto

1.3.1 Teórica

El presente proyecto de ingeniería tiene como objetivo generar la remoción de Zinc en las soluciones acuosas, usando la fibra de cabuya (*Furcraea andina*) para la construcción de un biofiltro.

1.3.2 Temporal

El presente proyecto se desarrolló del 11 enero hasta 04 de abril, comprendida en la estación de verano del año 2019.

1.3.3 Espacial

El presente proyecto de ingeniería se desarrolló en gran parte en las instalaciones del laboratorio de la empresa LABECO ANÁLISIS AMBIENTALES SRLTDA.

La materia prima que se usó para el desarrollo del trabajo de suficiencia profesional es la fibra de cabuya (*Furcraea andina*).

1.4. Formulación del problema

1.4.1 Problema General:

- ¿Cómo la capacidad adsorsiva de la fibra de cabuya (*Furcraea andina*) contribuirá a la biorremediación de las aguas contaminadas con zinc?

1.4.2 Problemas Específicos:

- ¿Cuál es el tiempo óptimo de retención hidráulica para remover el Zinc en muestras fortificadas, luego de utilizar la fibra de cabuya como lecho filtrante?
- ¿Cuál es la eficiencia del biofiltro relleno de fibras de cabuya para remover el Zinc en muestra fortificada?

1.5. Objetivos

1.5.1 Objetivo General:

- Evaluar la capacidad adsorsiva de la fibra de cabuya (*Furcraea andina*), para la biorremediación de las aguas contaminadas con zinc.

1.5.2 Objetivo Específico:

- Estimar el tiempo óptimo de retención hidráulica para remover el Zinc en muestras fortificadas.
- Determinar la eficiencia del biofiltro relleno de fibras de cabuya para remover el Zinc en muestra fortificada

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1 Antecedentes internacionales

Gomez, Velásquez, & Quintana (2013) en su artículo “Lignina como adsorbente de metales pesados” hicieron una revisión bibliográfica sobre el empleo de la lignina en la adsorción de diversos metales pesados, teniendo en cuenta variables como la concentración del metal, pH de la solución, temperatura, dosis y tiempo de contacto. La capacidad de adsorción de la lignina depende de la cantidad de grupos superficiales como los metóxilos, hidroxilos fenólicos, carboxilos, sulfónicos, que pueden retener especies iónicas de diversos tamaños y carga. En las últimas décadas la lignina se ha convertido en un material interesante en procesos de adsorción por su bajo costo, alta capacidad de carga y que puede ser competitivo con los que se encuentran en el mercado.

Lozano (2012) en su artículo “Uso del extracto de fique (*furcraea*) como coadyuvante de coagulación en tratamiento de lixiviados” Se presentan los resultados de pruebas del uso del extracto de las hojas de fique (*Furcraeasp.*) como coadyuvante de coagulación en el tratamiento fisicoquímico de lixiviados parcialmente depurados provenientes del relleno sanitario de Doña Juana en Bogotá D.C. Este proceso consiste en la remoción de sólidos que le proporcionan turbidez y color al lixiviado mediante el uso de sales coagulantes.

Ríos, García, García, & García (2017) en su artículo “Biorremoción de plomo en solución por fibras de *furcraea* andina y biopelículas de *pseudomonasaeruginosa*” tuvieron como objetivo de esta investigación la biorremoción de plomo en solución por fibras de *F. andina* y fibras de *F. andina* con biopelículas de *P. aeruginosa* en su superficie. Para lograr el objetivo: Se aislaron y diferenciaron *P. aeruginosa* de muestras de sedimentos

contaminados. Se extrajeron fibras naturales de *F. andina* y se caracterizaron. Se crecieron biopelículas de *P. aeruginosa* en la superficie de las fibras de *F. andina*. Se evaluó la cantidad más pequeña que se necesita de plomo para inhibir el crecimiento de *P. aeruginosa* en estado plantónico y en biopelículas. Se evaluó el potencial de remoción de plomo de fibras de *F. andina* y de *F. andina* más biopelículas.

Rodríguez, Briones, Baquerizo, & Rodríguez (2017) en su artículo “Remoción de metales pesados en agua residuales utilizando las saponinas de la cabuya (*Furcraea andina*)” tuvo como objetivo determinar y cuantifico las saponinas presentes en la hoja de la cabuya (*Furcraea andina*), como posible bio-surfactante en la eliminación de metales pesados en el tratamiento de aguas residuales. Para la extracción de saponinas se utilizó dos métodos de obtención de materia vegetal a su vez se comparó y verifico los métodos con relación a su porcentaje de saponina obtenidas al final del análisis. Utilizando el método de la espuma, como método cualitativo-cuantitativo y el de doble extracción gravimétrica como método cuantitativo.

2.1.2 Antecedentes nacionales

(Ríos, 2017) *Eficiencia de fibras naturales, cabuya (Furcraea andina) y paja de trigo (Triticumvulgari) como biofiltros alternativos en el proceso de desnitrificación de aguas residuales de piscícolas de trucha arcoíris en la localidad Juan de Velasco* (Tesis de Pregrado).

Universidad Nacional Mayor De San Marcos, Perú.

En su investigación, tuvo como objetivo evaluar tanto la capacidad de desnitrificar las aguas residuales de acuicultura como la de remover metales pesados, mediante el uso combinado de biofiltros soportados por fibras naturales, en condiciones controladas y acondicionamiento previo del medio bacteriano. A demás se determina la tasa de desnitrificación de los efluentes de las piscícolas de los biofiltros.

(Figuroa, 2018) *Biofiltros con Furcraea andina y Eucalyptusglobulus para mejorar la calidad del efluente de la piscigranja de Acopalca - Ancash – 2018* (Tesis de Pregrado).

Universidad Cesar Vallejo, Perú.

En su investigación, tuvo como objetivo realizar dos biofiltros con diferentes rellenos, el primero con fibras de *Furcraea andina* (cabuya) y el otro con astillas de madera de *Eucalyptus globulus* (eucalipto) para tratar aguas residuales de una piscícola en Acopalca, cuyas características químicas presenta una elevada carga orgánica y amonio. Sosteniendo así, que los biofiltros con los rellenos orgánicos (cabuya y eucalipto) son eficientes para mejorar aguas con presencia de altas cargas orgánicas y amoniacaes.

2.2. Bases teóricas

2.2.1 Fibras naturales

En los orígenes de la historia humana encontramos la implementación indispensable de las fibras naturales ya sea para el rubro textil o para el cotidiano.

Las aplicaciones de las fibras naturales son cada vez más diversas, aunque sigue siendo el sector textil el que más las utiliza. Respecto a sus ventajas para el medio ambiente y la salud, el empleo de forma sostenible de las fibras de origen vegetal y animal proporciona un recurso natural completamente renovable por la propia naturaleza, evitando el impacto de los materiales sintéticos, que utilizan derivados del petróleo (FAO, 2009).

Clasificación de las fibras naturales

Las fibras naturales comprenden todas las fibras que se han formado por un proceso de la naturaleza. Los tres reinos suministran fibras de factible utilización. Se podrían clasificar dependiendo de sus características, debido a que son muy diversas, pero quizá la clasificación más general sea la siguiente.

a. Fibras de origen vegeta

Son principalmente de celulosa, que, a diferencia de las proteínas de las fibras de origen animal, es resistente a los álcalis. Por sus características se sub dividen fibras vegetales duras y blandas. Estas fibras son asimismo resistentes a la mayoría de los ácidos orgánicos, pero los ácidos minerales fuertes las destruyen. La utilización incorrecta de la mayoría de los blanqueadores puede debilitar o destruir estas fibras. (Arroyave & Velásquez, 2006)

b. Fibras de Origen Animal

Son proteínas resistentes a la mayoría de los ácidos orgánicos. También resisten, en condiciones determinadas, la acción de ciertos ácidos minerales como el H_2SO_4 . Los blanqueadores que contienen cloro también pueden dañarlas (el hipoclorito líquido no debe usarse nunca con lana ni seda). Si se utilizan sin diluir, dañan las fibras e incluso pueden disolverlas por completo. (Baldeón, 2013)

c. Fibras de origen mineral

La fibra de amianto es la única fibra de origen inorgánico que se utiliza a gran escala en los tejidos corrientes. Se emplea en los aislamientos y protecciones ignífugas. (Baldeón, 2013)

La clasificación de fibras naturales y sus sub divisiones se puede observar en la figura 1.

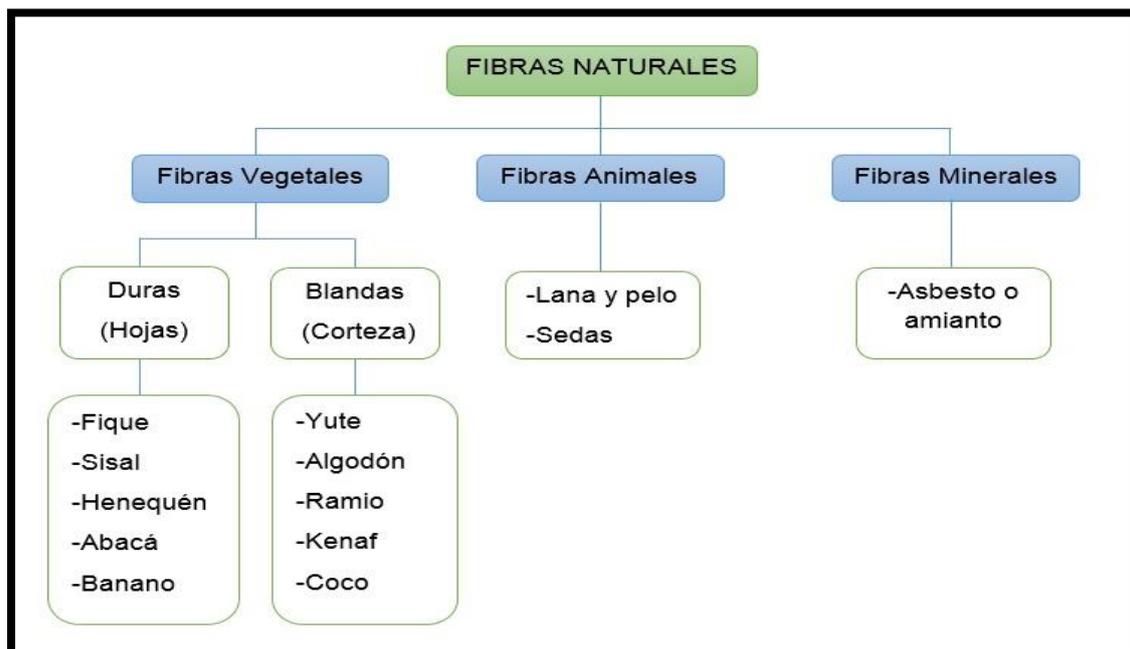


Figura 1. Clasificación general de las fibras naturales.

2.2.2 La cabuya (*Furcraea andina*)

Es una planta grande de tallo erguido, su altura varía entre 2 y 7 metros, esta densamente poblada de hojas de color verde en forma radial largas (1 a 3 m) angostas (10 a 20 cm) carnosas, puntiagudas anclado y dentado

espinosas, en algunas variedades, presentando líneas o estrías de unos 3 mm de largo, su flor es de color blanco verdoso llamado maguey o escapo, solo florece una vez en su ciclo de vida y luego le sobreviene la muerte.

La semilla germina en la planta y sus propágulos (bulbillos) caen ya formados al suelo por lo que se le conoce al fique como planta vivípara. Esta fibra es nativa de las regiones Andinas y crece con facilidad en forma silvestre o cultivada en los valles y laderas de Ecuador y Perú. (Baldeón, 2013)

a. Taxonomía

- **Reino:** Vegetal
- **División :** Magnoliophyta
- **Clase:** Angiospermae
- **Subclase:** Monocotiledóneas
- **Orden:** Liliiflorae
- **Familia:** Agavaceae
- **Género:** Furcraea.
- **Nombre Común:** Fique Cabuya, Penca, Fique Perulero, Maguey, Cabul, Cabuya Blanca, Chuchao, Cocuiza. (Baldeón, 2013)

b. Composición

Sus constituyentes físicos, químicos y mineralógicos, se conocen en forma cuantitativa, siendo agua, celulosa, materia orgánica y minerales, con los siguientes valores porcentuales:

- 85% Humedad
- 6% Celulosa (D-celulosa)
- 8% parte orgánica y amorfa (con sacarosa, proteínas, nitrógeno, fósforo, calcio, potasio, saponinas y sapogeninas).
- 1% Minerales. (Baldeón, 2013)

c. Estructura física de la hoja

De la (tabla 1), se puede deducir que solo el 5% de la hoja de cabuya es fibra, de los cuales el 4% es útil. Por tal motivo, de la cantidad total de fibra existente por hoja de cabuya, el 80% es útil.

Tabla 1*Estructura de la cabuya (Furcraea andina)*

Componentes	Porcentaje en la hoja	Porcentaje útil	Usos
Fibra	5	4	En la industria textil, empaques.
Jugo	70	40	Extracción de esteroides.
Estopa	8	3	Pulpa papel
Bagazo	17	10	Material de construcción, abonos.

Fuente: Tomado de Dirección de *Desarrollo Sectorial Sostenible: guía ambiental del sub sector fiquero* (Arroyave & Velásquez, 2006).

d. Composición química de la hoja

Las fibras contienen en su composición química un factor importante: la celulosa. Las fibras vegetales están compuestas también de hemicelulosa, lignina homocelulosa y celulosa. Otros componentes usualmente observados, son las pectinas y ceras como se muestra en la tabla 2. “la composición química ayuda a determinar las propiedades y los usos de las fibras”. (Valko & Morris, 2005). Por ejemplo, la lignina facilita la reacción entre las fibras y algunos agentes químicos permitiendo así una mejor respuesta a las modificaciones químicas como la acetilación. Un contenido más alto de celulosa en la fibra conduce a una rigidez más alta y, por lo tanto, será la más conveniente para el refuerzo de resinas.

De la (tabla 2), se deduce que después de la celulosa la lignina es el polímero orgánico más abundante que conforma la fibra vegetal.

Tabla 2*Composición química de la Cabuya (Furcraea andina)*

Fibra		Jugo		Bagazo	
Cenizas	0.7 %	Clorofila	Cenizas	12.2 %	
Celulosa	73.8%	Caratenoides	E.E.	3.64 %	
Resina, ceras y grasas.	1.9 %	Saponinas Azucares	Proteínas Elementos Nitrogenados	9.84 % 71.29 %	
Lignina	11.3 %	Resinas	Calcios	21.65 %	
Pentosanos	10.5 %	Flavonoides Ácidos Orgánicos	Fósforos Magnesios	0.09 % 0.2 %	
Total	98.2 %	Alquitranes	Fosforo	1.81 %	
		Agua	Sodio	0.04 %	
		Lignina	Cobre	14 ppm	
		Calcio	Hierro	647 ppm	
		Lipoides Fosforo	Manganeso Zinc	33 ppm 17 ppm	

Fuente: Tomado de Dirección de *Desarrollo Sectorial Sostenible: guía ambiental del sub sector fiquero* (Arroyave & Velásquez, 2006).

2.2.3 Lignina

Khezami (2005) señala que “la lignina es un polímero tridimensional de fenilpropano unido por enlaces carbono-carbono o enlaces peróxido; su composición (libre de cenizas) es aproximadamente 62% en C, 32% en O y 6% en H. Ésta conforma entre el 18 y el 35% (peso seco) de la madera, según la especie” (Gomez, Velásquez, & Quintana, 2013, p.75).

Quaroni (2004) señala que “es la responsable de dar cohesión a las fibras de celulosa de la madera, funcionando así, como un agente de ligación. Durante el

pulpeo ocurre la fragmentación de la lignina, principalmente en las ligaciones éter” (Gomez et al., 2013, p.75).

Redondo (2011) señala que “Después de los polisacáridos, la lignina es el polímero orgánico más abundante en el mundo vegetal que asegura la protección contra la humedad y los agentes atmosféricos” (Gomez et al., 2013, p.75).

a. Adsorción de metales empleando lignina

Triviño (1984) señala que “El proceso de concentración de una sustancia sobre la superficie de un sólido o de un líquido, se llama adsorción. La sustancia acumulada sobre la superficie se llama fase adsorbida, mientras que la sustancia sobre la cual se acumula se llama adsorbente” (Gomez, Velásquez, & Quintana, 2013, pág. 76)

Lee (2004) afirma que “el estudio sobre la interacción entre los metales pesados y las fibras naturales mostró que la lignina de las fibras tiene un papel importante en el proceso de adsorción de cationes metálicos. Otros estudios científicos”.

Troisi & Fallico (2009) afirma que “si bien la lignina juega un papel fundamental papel en el proceso de adsorción de metales pesados, es importante considerar otros factores como la concentración de cationes metálicos en solución”.

Basso, Cerrella, & Cukierman (2005) señalan que “la adsorción de iones metálicos en materiales lignocelulósicos, así como en el carbón activado obtenido a partir de ellos, se perfila como una buena alternativa a los tratamientos biológicos y químicos tradicionales; en los últimos años se han realizados ensayos al respecto, en torres empacadas y tanques agitados, encontrándose que iones de metales como Pb, Cu, Zn, Cr, Fe, Ni y Cd, entre otros, han sido removidos con eficiencias entre el 50 y el 100%, de manera que los materiales adsorbentes empleados se comportaron por lo menos igual, y muchas veces mejor, que los carbones activados comerciales” (Gomez, Velásquez, & Quintana, 2013, pág. 77).

2.3. Definición de términos básicos

- **Furcraea Andina:** Es una planta típica de las yungas y vertientes occidentales andinas. Este vegetal es de múltiples usos: de su fibra se hacen hilos, de sus hojas papel, de sus espinas agujas, y sus hojas jabonosas sirven como detergente. (Museo de Arqueología, 2008)
- **Lignina:** La lignina es un polímero tridimensional de fenilpropano unido por enlaces carbono-carbono o enlaces peróxido; su composición (libre de cenizas) es aproximadamente 62% en C, 32% en O y 6% en H. Ésta conforma entre el 18 y el 35% (peso seco) de la madera, según la especie. (Gomez, Velásquez, & Quintana, 2013, p.75).
- **Fibra:** Fibra es cada uno de los filamentos que, dispuestos en haces, entran en la composición de los hilos y tejidos, ya sean minerales, artificiales, vegetales o animales. (Palermo, 2004)
- **Adsorción:** La adsorción es la asociación de materia a la superficie de los sólidos, dicha asociación puede deberse a fuerzas de enlace físicas como fuerzas de London, Vander Waals o de enlace por puentes de hidrógeno; o bien fuerzas de enlace entre átomos como el enlace iónico o el covalente. (Marka, 2014)
- **Absorción:** es un proceso en el cual las moléculas o átomos de una fase interpenetran casi uniformemente en los de otra fase constituyéndose una solución. (Marka, 2014)
- **Fortificación:** Es la adición de una cantidad de analito de interés, sobre una muestra problema. La cantidad añadida puede ser conocida dependiendo de la aplicación. (SIGLA, 2011)
- **Permeable:** Que deja pasar agua u otro líquido a través de sus poros.
- **Metal pesado:** El término se refiere a cualquier elemento químico metálico que tiene una densidad relativamente alta y es tóxico o venenoso en concentraciones bajas. (Cervera, Rivero, Lopez, & Perez, 2017)
- **Zinc:** Es un metal maleable, dúctil y de color gris. Se conocen 15 isótopos, cinco de los cuales son estables y tienen masas atómicas de 64, 66, 67, 68 y 70. El zinc es un catión divalente con múltiples funciones en el cuerpo humano. (Romaña, Castillo, & Diazgranados, 2010)

CAPÍTULO III: DESARROLLO DEL TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

3.1. Modelo de solución propuesto

3.1.1 Tipo de investigación

La presente investigación se realizó utilizando métodos de estudio de tipo experimental.

Se desarrolló netamente en el laboratorio de LABECO ANÁLISIS AMBIENTALES SRLTDA., con la fibra de cabuya existente en el distrito de Lurigancho Chosica.

Además se realizó ensayos y tomas de muestras, variando condiciones de concentraciones de contaminante y analizando las condiciones de filtración, para así poder determinar la remoción de Zinc por la fibra.

3.1.2 Procesamiento y análisis

3.1.2.1 Cálculo de muestras fortificadas

Para el cálculo de las muestras fortificadas se utilizó la fórmula de concentraciones y disoluciones la cual es la siguiente:

$$C1 \cdot V1 = C2 \cdot V2$$

- C1: Concentración inicial.
- V1: Volumen inicial.
- C2: Concentración diluida o final.
- V2: Volumen diluida o final.

3.1.2.2 Proceso de extracción de la fibra

Se utilizaron los siguientes materiales:

- Machete de corte.
- Guantes de cuero.
- Comba.
- Costales de traslado.
- Indumentaria adecuada.
- Cilindro.
- Guantes de látex.
- Cordel de secado.

Los pasos fueron los siguientes:

- a. **Corte y machacado:** Se seleccionaron las hojas más gruesas, grandes y sanas de cabuya. Se procedió al corte de tal manera de que este formo un ángulo aproximado de 40° con el eje de la planta, el corte debe ser uniforme y lo más cerca posible del tallo.

Una vez las hojas cortadas, se las machaco con una comba de forma homogénea para su posterior fermentado.

- b. **Fermentado:** Se procedió al llenado del tacho con agua, de tal manera que este cubra por completo a las hojas de cabuya. Luego se introdujeron las hojas machacadas para su fermentación.

La fermentación es fundamental para la obtención de fibra de mayor calidad, se hizo de un día para otro la primera sacudida para soltar el ripio o chanda.

- c. **Lavado:** La fibra fermentada pasó al tanque de lavado (tacho), se adiciono agua y se apisono hasta el punto en que la fibra quedo completamente cubierta de agua. Aproximadamente por una semana, el producto del lavado en tanque, se puede utilizar como abono líquido.

- d. **Secado y sacudido:** Se secó sobre un cordel por 3 días. No tender en el suelo pues puede llenarse de moho y puede negrearse.

- e. **Empacado:** Se dobló de tal manera de no maltratar la fibra y correr el riesgo de perder su capacidad adsortiva. Se colocaron dentro de los costales de traslado.

3.1.2.3 Determinación de lignina de la fibra

Se utilizaron los siguientes materiales:

- 2 Vaso de precipitado de 500 ml.
- Luna de reloj.
- Estufa.
- Una plancha de digestión.
- H₂SO₄ al 72% (200ml).
- KMnO₄ (200ml).
- Probeta.
- Solución desmineralizadora.
- Probeta.

Los pasos fueron los siguientes:

- a. Se preparó la fibra haciendo previamente FDA (fibra detergente ácido). El detergente elimina la proteína y otro material soluble en ácido que pueda interferir con la determinación de la lignina.
- b. El residuo FDA que consta de celulosa, lignina y cenizas insolubles en ácido, por tal motivo se trató con ácido sulfúrico (H₂SO₄) al 72% para disolver la celulosa. Luego se hizo una digestión con una solución de permanganato de potasio (KMnO₄), se lavó el residuo con una solución desmineralizadora y se secó a 105 °C en la estufa.
- c. Finalmente, el contenido de lignina se calculó basándose en el peso de la fibra posterior al FDA, y el obtenido luego del secado a 105 °C.

Nota: El porcentaje óptimo promedio debería ser de entre 9-12%, cabe mencionar que después de la celulosa la lignina es el componente principal de las fibras. (Baldeón, 2013)

3.1.2.4 Determinación de pH

Se utilizaron los siguientes materiales:

- 1 Vaso de precipitado de 200 ml.
- Agua grado reactivo.
- Bisturí.
- Guantes de látex.
- Equipo multiparametro Hanna Hi 9828.

Los pasos fueron los siguientes:

- a. Alistar el Multiparametro Hanna Hi 9828 (verificar la calibración).
- b. Antes de la medición del pH, se tuvo que cortar con el bisturí la fibra en pedazos cortos de tal manera que se puedan introducir dentro del recipiente.
- c. Llenar el vaso de precipitado con agua grado reactivo de tal manera que cubra la fibra de cabuya.
- d. Se homogenizo la muestra para poder realizar la medición.
- e. Leer los datos con el multiparametro Hanna Hi 9828.
- f. Se anotó los datos de forma fidedigna.

3.1.2.5 Pruebas en Columna

Materiales necesarios:

- Tubo pead de ½”.
- Tubo pead de diámetro 0.10 m.
- 2 Cañería.
- 2 Terminales reductores.
- Manguera de ½“(1.5 m).
- Pegamento de pead.
- Balde de 14 L.

Los pasos fueron los siguientes:

- a. Armamos el biofiltro con el contenedor de plástico (tubo pead), de diámetro igual a 10 cm y 60 cm de altura.
 - i. Se llenó con la fibra de cabuya, 50 cm de altura del contenedor de plástico. Los paquetes de fibra se insertan en la celda de flujo dando una ligera presión, no se presionó demasiado sino, no habrá pérdidas en la parte inferior de la celda.
- b. Pegamos los dos terminales reductores de $\frac{1}{2}$ " en los extremos del contenedor de plástico. A demás se pegó dos pedazos de 10cm de tubo de cañería y un caño de paso en los extremos del biofiltro.
- c. Se unió el biofiltro con los 2 baldes con cañería y metro de manguera, tal y como se muestra en la figura 2.
- d. El sistema fue conectada de tal manera que el flujo de la muestra sea de arriba hacia abajo, ello permitió que fluya por acción de la gravedad.

De la figura 2, se puede deducir que las pruebas en columna permiten determinar los parámetros de proceso en condiciones dinámicas de flujo, es decir, lo más cercanas a la realidad.

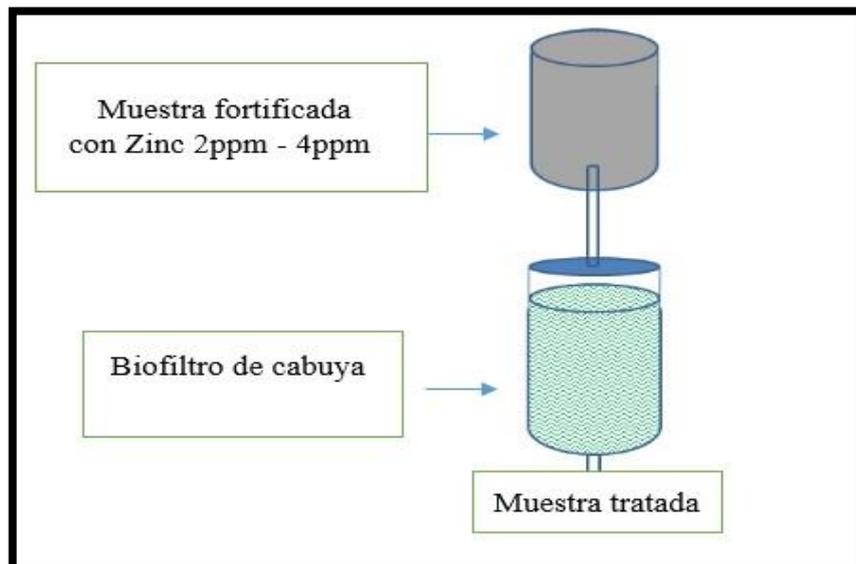


Figura 2. Esquema del sistema de tratamiento con fibra de cabuya (*Furcraea andina*).

Factores De Operación Del Sistema

a. Tiempo de retención hidráulica:

$$TRH1=1h$$

$$TRH2=2h$$

$$TRH3=3h$$

b. Altura del biofiltro:

$$H = 60 \text{ cm}$$

c. Volumen del biofiltro:

$$VB=\pi.R^2.H$$

$$VB=3.14 \times (5\text{cm})^2 \times 60 \text{ cm}$$

$$VB=4710 \text{ ml}$$

d. Volumen tratado por TRH:

$$V_{\text{tratado}} \approx 3.33 \text{ L}$$

e. Área del biofiltro:

$$AB= 2.\pi.r.H$$

$$AB= 2 \times 3.14 \times 5 \text{ cm} \times (60\text{cm})$$

$$AB= 1884 \text{ cm}^2$$

f. Volumen de fibra de cabuya en el biofiltro:

$$h = 50 \text{ cm}$$

$$Vf=\pi.R^2.h$$

$$Vf=3.14 \times (5\text{cm})^2 \times 50 \text{ cm}$$

$$Vf=3925 \text{ ml}$$

3.1.2.6 Toma De Muestras

Materiales necesarios:

- Guantes de látex.
- Lentes de seguridad.
- Persevante para metales (HNO₃).
- 6 botellas de plástico blancas de 1 L.
- multiparametro Hanna HI 9828.

La toma de muestras se realizó para todas las pruebas de columna, a diferentes tiempos de retención hídrica y se pasó por el filtro de cabuya.

Los pasos fueron los siguientes:

- a. Se utilizó 10 L de muestras fortificadas de Zinc (2ppm y 4ppm) previamente preparados.
- b. Colocamos la muestra fortificada con Zinc a una altura aproximada de un metro por encima del biofiltro.
- c. El volumen de la muestra filtrada fue de 3.30 L, de tal manera que no sobrepaso la capacidad del biofiltro.
- d. El proceso de filtración se llevó a cabo con tiempos de retención hídrica de 1h, 2h y 3h respectivamente.
- e. Se tomó una muestra de 1L de agua tratada en sus diferentes tiempos de retención hídrica, se echó el persevante para metales (HNO₃) y se rotulo cada botella.
- f. Con los 2.3 L restantes se procedió a tomar los parámetros de campo tales como pH, Temperatura, Oxígeno Disuelto, conductividad, salinidad. El equipo utilizado fue el multiparametro Hanna HI 9828.
- g. Se anotamos los datos de forma fidedigna.

3.1.2.7 Calculo de la eficiencia

Para el cálculo de eficiencia se utilizó la siguiente formula:

$$\%Eficiencia = \frac{(Ci - Cf) \times 100}{Ci}$$

- Ci: concentración inicial
- Cf: concentración final

3.1.2.8 Análisis De Laboratorio

Los análisis de laboratorio de las muestras se realizaron en el laboratorio de LABECO ANÁLISIS AMBIENTALES S.C.R.L, utilizando equipos como el espectrofotómetro, multiparametro HI 9828, estufa, plancha de digestión y materiales de laboratorio esenciales.

3.2. Resultados

3.2.1 Determinación del volumen requerido para las muestras

a) Muestras fortificada con Zinc 2ppm.

C1 = 1000 µg/mL solución buffer para prueba de zinc.

V1 = volumen requerido.

C2 = 2 µg/mL de muestras fortificada con Zinc.

V2 = 10 L de muestras fortificada con Zinc.

Calculo:

$$C1.V1 = C2.V2$$

$$1000 \mu\text{g/mL} . V1 = 2 \mu\text{g/mL} . 10\text{L}$$

$$V1 = 20\text{ml}$$

Por lo tanto se requiere 20 mL de solución buffer para prueba de zinc.

b) Muestras fortificada con Zinc 4ppm.

C1 = 1000 µg/mL solución buffer para prueba de zinc.

V1 = volumen requerido.

C2 = 4 µg/mL de muestras fortificada con Zinc.

V2 = 10 L de muestras fortificada con Zinc.

Calculo:

$$C1 \cdot V1 = C2 \cdot V2$$

$$1000 \mu\text{g/mL} \cdot V1 = 4 \mu\text{g/mL} \cdot 10\text{L}$$

$$V1 = 40\text{ml}$$

Por lo tanto se requiere 40 mL de solución buffer para prueba de zinc.

3.2.2 Determinación de lignina de la fibra

De la (tabla 3), Se obtuvo un porcentaje óptimo promedio de 11.714%, debido a que se encuentra entre 9-12% y es lo recomendable para este tipo de biorremediación.

Tabla 3

Porcentaje de la lignina presente.

Numero de prueba	Peso de la fibra inicial	Peso de la fibra final	% de lignina presente
1	200 g	23.13 g	11.565
2	200 g	25.53 g	12.765
3	200 g	22.45 g	11.225
4	200 g	24.69 g	12.345
5	200 g	21.34 g	10.670
	Promedio:		11.714

Fuente: propia.

3.2.3 pH de la fibra de cabuya (*Furcraea andina*)

Tabla 4

Resultados y promedio del pH de la fibra de cabuya Furcraea andina.

NUMERO DE PRUEBA	pH
1	6.870
2	6.643
3	6.754
4	6.648
5	6.543
6	6.687
7	6.897
8	6.879
9	6.975
10	6.830
Promedio	6.7729

Fuente: propia.

De la (tabla 4), se llegó a la conclusión que se obtuvo un resultado de pH muy cercano al neutro (pH 7) ya que presenta valores entre 6.543 y 6.975.

3.2.4 Análisis de las muestras fortificadas

a. Agua fortificada con Zinc 2 ppm

De la (tabla 5), se puede deducir lo siguiente:

- pH:** Se notó un incremento del pH, a medida que este era tratado durante un tiempo de retención hídrica mayor. Este incremento pudo ocurrir debido a que la fibra de cabuya tiene un pH más cercano a la neutralidad que la muestra tratada, además posee la lignina y algún otro ion o molécula que recoge los iones hidrógeno y los elimine de la solución.
- Salinidad:** Se observa una disminución de la salinidad, a medida que este era tratado durante un tiempo de retención hídrica mayor. Esto debió ocurrir por la disminución de sales en la muestra, debido que la lignina

puedo haber adsorbido algunas de estas y quedaron retenidas en las paredes de la fibra.

- c. **Conductividad:** Se dio una disminución de la conductividad, a medida que este era tratado durante un tiempo de retención hídrica mayor. Que haya ocurrido de esa manera era de esperarse ya que existe una relación directa entre la concentración de sales y conductividad eléctrica, por otro lado el monitoreo de sales es un método indirecto de la medición de conductividad.
- d. **Temperatura:** Se observa una oscilación poco significativa, a medida que este era tratado durante un tiempo de retención hídrica mayor. Esto pudo ocurrir porque este proceso se dio a temperatura ambiente (25°C), fuera de factores externos tales como el clima o tiempo atmosférico.
- e. **OD:** Se produjo una oscilación poco significativa, a medida que este era tratado durante un tiempo de retención hídrica mayor. Esto pudo ocurrir porqué las reacción química fueron lentas e insuficientes, también se sabe que guarda una relación inversa con la temperatura y este no sufre mayores variaciones; entonces tampoco afectara la cantidad de oxígeno disuelto en la muestra.

Tabla 5

Parámetros fisicoquímicos agua fortificada con Zinc 2ppm, tratada con el biofiltro relleno de fibra de cabuya (Furcraea andina).

Biofiltro relleno de fibra de cabuya (Furcraea andina)							
Ci (ppm)	TRH Horas	Parámetros físicos					Parámetros
		pH	S (Sal)	C (μS/c)	OD (%)	T (°C)	químicos Cf (ppm)
2	1h	3.41	0.83	1657	84.4	27.14	0.73916
2	2h	3.93	0.51	1032	61.7	27.11	0.61543
2	3h	4.14	0.47	956	71.3	27.27	0.08932

Nota: TRH: tiempo de retención hídrica, Ci: concentración inicial, Cf: concentración final, S: salinidad, C: conductividad, OD: oxígeno disuelto, T: temperatura.

De la figura 3, se puede deducir que al emplear el biofiltro relleno de fibras de cabuya, tiende a disminuir la concentración inicial de 2 ppm de Zinc, teniendo

como máxima reducción de la concentración en el tiempo de retención hídrica de tres horas, con un valor de 0.08932ppm.

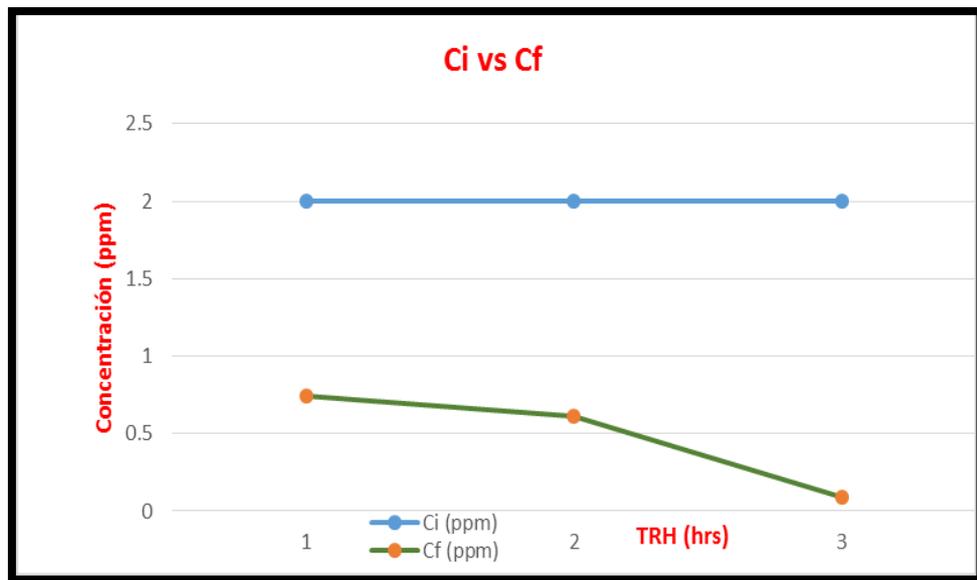


Figura 3. Variación de la concentración inicial (2ppm) y al final del tratamiento con el biofiltro a base de fibra de cabuya (*Furcraea andina*), en sus diferentes tiempos de retención hidráulica.

De la figura 4, se observar con claridad que existe una variación y aumento del pH al final del tratamiento con el biofiltro, en sus diferentes tiempos de retención hidráulica.

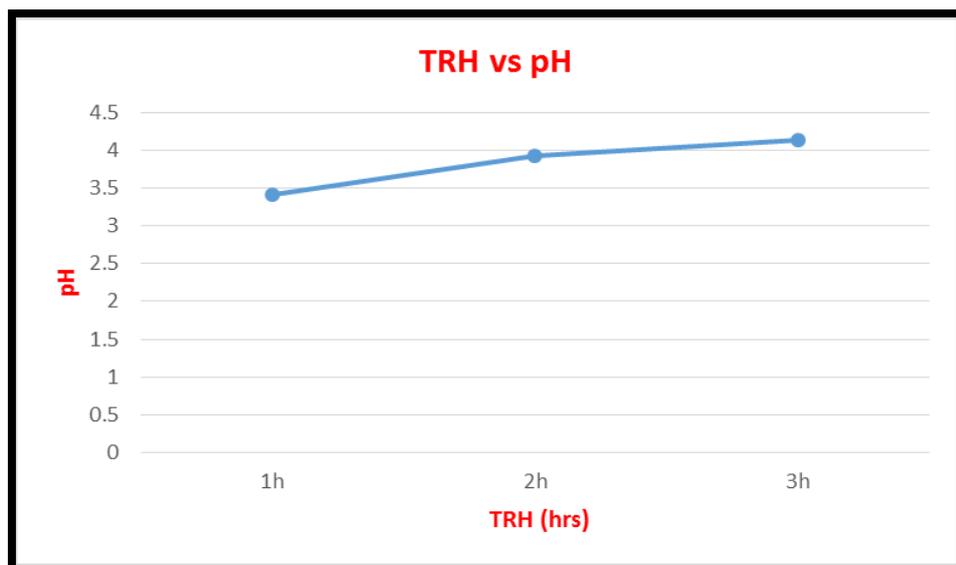


Figura 4. Variación del pH en sus diferentes tiempos de retención hidráulica.

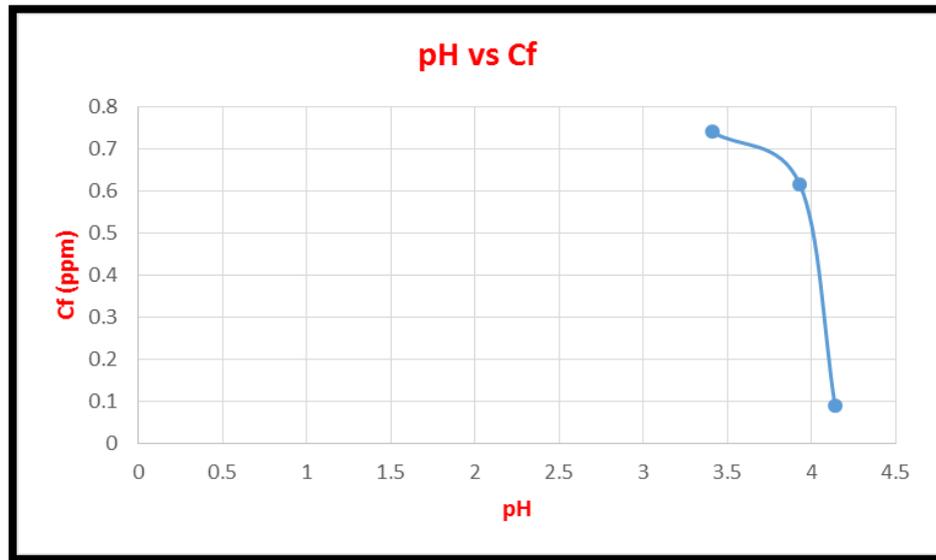


Figura 5. Efecto de la variación de concentración final sobre el pH.

De la figura 5, se puede deducir que existe una relación inversamente proporcional de la concentración final y el pH, en sus diferentes tiempos de retención hidráulica. Esto se debe posiblemente por la capacidad adsorbsiva de la lignina; la cual atrapa al Zinc y recoge los iones hidrógeno eliminándolas de la solución, acumulándolas en las paredes de la fibra.

b) Agua fortificada con Zinc 4 ppm

De la (tabla 6), se puede deducir lo siguiente:

- a. **pH:** Se observó el incremento del pH, a medida que este era tratado durante un tiempo de retención hídrica mayor. Este incremento pudo ocurrir debido a que la fibra de cabuya tiene un pH menos ácido que la muestra tratada, además posee la lignina y algún otro ion o molécula que recoge los iones hidrógeno y los elimina de la solución.
- b. **Salinidad:** Se notó una disminución de la salinidad, a medida que este era tratado durante un tiempo de retención hídrica mayor. Esto debió ocurrir por la disminución de sales en la muestra, debido que la lignina pudo haber adsorbido algunas de estas y quedaron retenidas en las paredes de la fibra.

- c. **Conductividad:** Se dio una disminución de la conductividad, a medida que este era tratado durante un tiempo de retención hídrica mayor. Que haya ocurrido de esa manera era de esperarse ya que existe una relación directa entre la concentración de sales y conductividad eléctrica, por otro lado el monitoreo de sales es un método indirecto de la medición de conductividad.
- d. **OD:** Se produjo una oscilación poco significativa, a medida que este era tratado durante un tiempo de retención hídrica mayor. Esto pudo ocurrir porque las reacción química fueron lentas e insuficientes, también se sabe que guarda una relación inversa con la temperatura y si este no sufre mayores variaciones; entonces tampoco afectara la cantidad de oxígeno disuelto en la muestra.
- e. **Temperatura:** Se observa una oscilación poco significativa, a medida que este era tratado durante un tiempo de retención hídrica mayor. Esto pudo ocurrir porque este proceso se dio a temperatura ambiente (25°C), fuera de factores externos tales como el clima o tiempo atmosférico.

Tabla 6

Parámetros fisicoquímicos agua fortificada con Zinc 4ppm, tratada con el biofiltro relleno de fibra de cabuya (Furcraea andina).

Biofiltro relleno de fibra de cabuya (Furcraea andina)							
Ci (ppm)	TRH horas	Parámetros físicos					Parámetros
		pH	S (Sal)	C ($\mu\text{S/cm}$)	OD (%)	T (°C)	químicos Cf (ppm)
4	1h	2.16	0.94	1794	86.4	26.8	1.2785
4	2h	2.75	0.72	1724	63.5	26.8	1.0313
4	3h	3.67	0.55	1557	69.4	27.1	0.1603

Nota: TRH: tiempo de retención hídrica, Ci: concentración inicial, Cf: concentración final, S: salinidad, C: conductividad, OD: oxígeno disuelto, T: temperatura.

De la figura 6, se puede deducir que al emplear el biofiltro relleno de fibras de cabuya, tiende a disminuir la concentración inicial de 4 ppm de Zinc, teniendo

como máxima reducción de la concentración en el tiempo de retención hídrica de tres horas, con un valor de 0.1603 ppm.

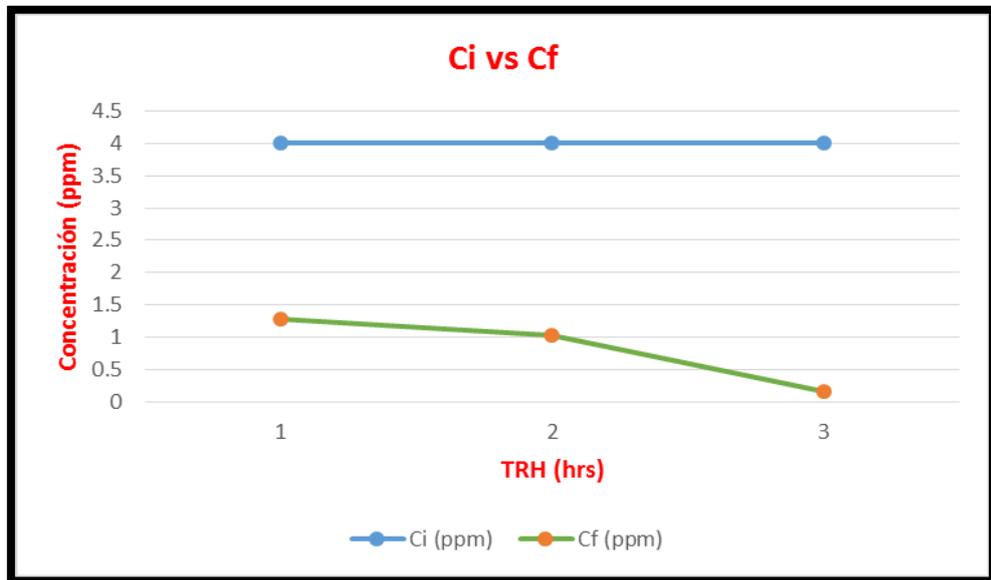


Figura 6. Variación de la concentración inicial (4ppm) y al final del tratamiento con el biofiltro a base de fibra de cabuya (*Furcraea andina*), en sus diferentes tiempos de retención hidráulica.

De la figura 7, se puede deducir que existe una variación y aumento del pH al final del tratamiento con el biofiltro a base de fibra de cabuya, en sus diferentes tiempos de retención hidráulica.

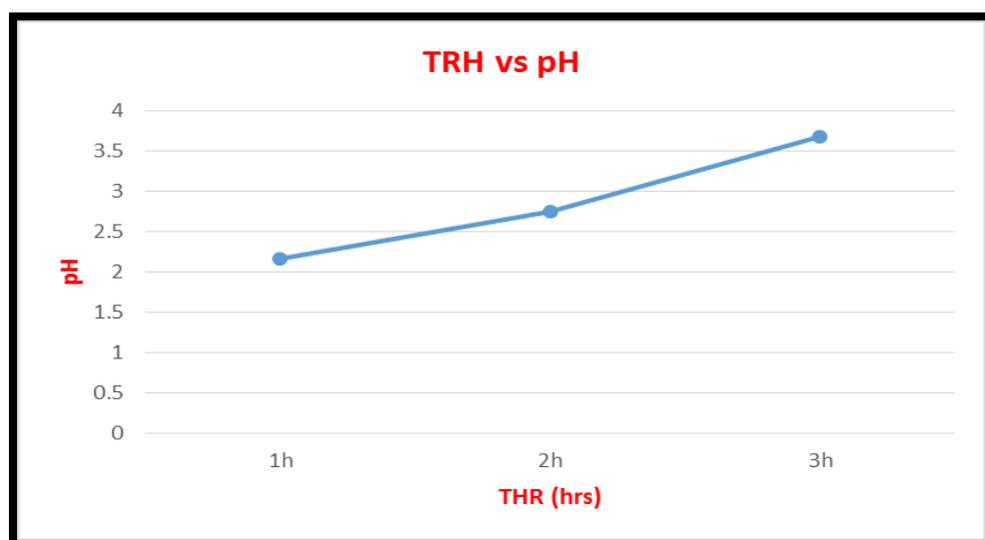


Figura 7. Variación del pH en sus diferentes tiempos de retención hidráulica.

De la figura 8, se puede deducir que existe una relación inversamente proporcional de la concentración final y el pH, en sus diferentes tiempos de retención hidráulica. Esto se debe posiblemente por la capacidad adsorsiva de la lignina; la cual atrapa al Zinc y recoge los iones hidrógeno eliminándolas de la solución, acumulándolas en las paredes de la fibra.

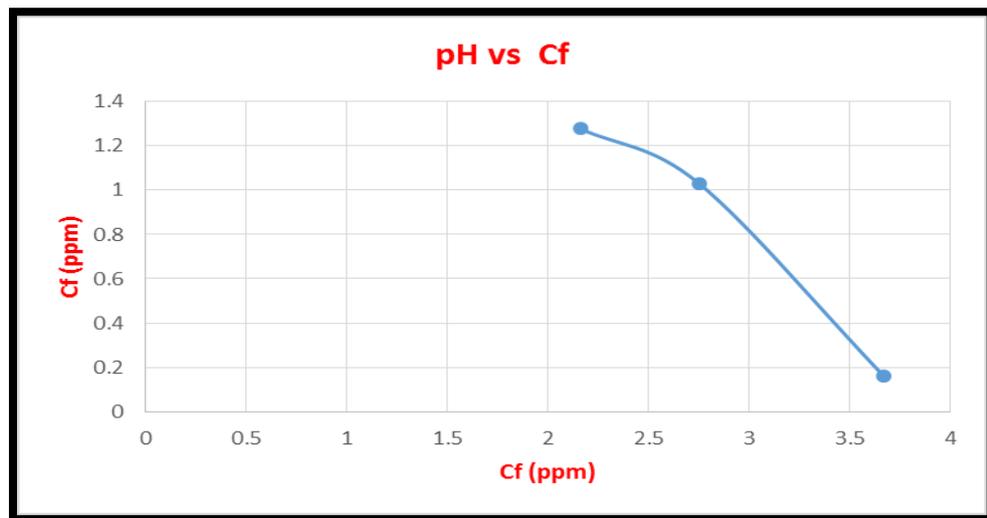


Figura 8. Efecto de la variación de concentración final sobre el pH.

3.2.5 Cálculo de la eficiencia

a. Cálculo de la eficiencia de la remoción de Zinc en muestra fortificada de 2 ppm.

- **TRH: 1 hora**

$$\%Eficiencia = \frac{(2 - 0.73916) \times 100}{2}$$

$$\%Eficiencia = 63.042\%$$

- **TRH: 2 hora**

$$\%Eficiencia = \frac{(2 - 0.61543) \times 100}{2}$$

$$\%Eficiencia = 69.2285\%$$

- **TRH: 3 hora**

$$\%Eficiencia = \frac{(2 - 0.08932) \times 100}{2}$$

$$\%Eficiencia = 95.534\%$$

Se observó un incremento de la eficiencia en la remoción del Zinc, a medida que este era tratado durante un tiempo de retención hídrica mayor. Dado que se obtuvo una eficiencia de 63.042 % en un TRH de 1h, eficiencia de 69.229% en un TRH de 2h y la mayor eficiencia obtenida de 95.534 % en un TRH de 3h. Ello ocurrió gracias a la propiedad adsorbtiva de la lignina que retuvo al Zinc en las paredes de la fibra de cabuya, disminuyendo así su concentración en la muestra fortificada tratada.

b. Calculo de la eficiencia de la remoción de Zinc en muestra fortificada de 4 ppm.

- **TRH: 1 hora**

$$\%Eficiencia = \frac{(4 - 1.2785) \times 100}{4}$$

$$\%Eficiencia = 68.0375\%$$

- **TRH: 2 hora**

$$\%Eficiencia = \frac{(4 - 1.0313) \times 100}{4}$$

$$\%Eficiencia = 74.2175\%$$

- **TRH: 3 hora**

$$\%Eficiencia = \frac{(4 - 0.1603) \times 100}{4}$$

$$\%Eficiencia = 95.9925\%$$

Se observa un incremento de la eficiencia en la remoción del Zinc, a medida que este era tratado durante un tiempo de retención hídrica mayor. Dado que se obtuvo una eficiencia de 68.0375 % en un TRH de 1h, eficiencia de 74.2175% en un TRH de 2h y la mayor eficiencia obtenida de 95.9925 % en un TRH de 3h. Ello debió ocurrir gracias a la propiedad adsorbtiva de la lignina que retuvo al Zinc en las paredes de la fibra de cabuya, disminuyendo así su concentración en la muestra tratada.

CONCLUSIONES

De las muestras fortificadas después del su tratamiento en el biofiltro, se evidencia notablemente que hay una reducción de la concentración y por lo tanto se observa su gran capacidad adsorsiva en términos de remoción de Zinc que fueron objeto de estudio de este trabajo de investigación.

El tiempo de retención hidráulica óptimo es tres horas, tiempo que permite una mayor tendencia a reducir la concentración inicial de Zinc, para las muestras fortificadas con Zinc de 2ppm y 4ppm.

Respecto a la eficiencia del biofiltro, Se determinó que a mayor tiempo de retención hidráulica la eficiencia fue mayor. Se obtuvieron valores de 95.534 % en 3h, para el caso de agua fortifica con Zn de 2ppm. Además de 95.9925 % en 3h en el caso del agua fortifica con Zn de 4 ppm.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda analizar el biofiltro a mayor periodo de tiempo para evaluar el comportamiento del biofiltro y reconocer el grado de saturación.
- La fibra de cabuya (*Furcraea andina*) puede ser empleado para tratar aguas residuales de diferentes procedencias.
- Comparar la eficiencia del biofiltro de cabuya con otras tecnologías ya existentes.
- Se recomienda hacer estudios y pruebas para poder adecuar esta tecnología como una operación unitaria de una ptar.
- Se recomienda el uso del biofiltro por ser atractivamente económico en comparación con otras tecnologías existentes y no ser tan complicado al momento de la instalación.

BIBLIOGRAFÍA

- Acevedo, Y. (2017). Impacto de los metales en el medio ambiente. *Calaméo - Publishing Platform for Documents and Magazines*. Obtenido de <https://es.calameo.com/read/0053573518c37c9ffcbbc>
- Arroyave, p., & Velásquez, D. (Enero de 2006). Guía ambiental del sub sector fiquero. *Dirección de Desarrollo Sectorial Sostenible*, 2, 27. Bogota, Colombia. Obtenido de http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/bitstream/11348/6697/1/2007222154336_GuiaAmbientalFiguera2006.pdf
- Baldeón, J. (2013). ESTUDIO DE RETENCION DE METALES PESADOS EN AGUAS SINTÉTICAS (PREPARADAS EN EL LABORATORIO) UTILIZANDO COMO LECHO FILTRANTE LA FIBRA DE CABUYA FURCRAEA ANDINA COMO ALTERNATIVA DE BIORREMEDIACIÓN. *UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL*, 7. Obtenido de <http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/766/1/UNACH-EC-IMB-2013-0001..pdf>
- Cervera, a., Rivero, E., Lopez, M., & Perez, M. (febrero de 2017). Metales Pesados. *Metales pesados blogspot*. Obtenido de <http://metalespesados3c.blogspot.com/>
- FAO. (2009). *Fibras naturales*. Obtenido de International Young Naturefriends : <http://www.naturalfibres2009.org/es/fibras/index.html>
- Figuroa, J. (2018). "Biofiltros con *Furcraea andina* y *Eucalyptus globulus* para mejorar la calidad del efluente de la piscigranja de Acopalca - Ancash - 2018". tesis de pregrado, UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO, Escuela profesional de ingeniería ambiental , Ancash.
- GARZÓN, M. G. (s.f.).
- GARZÓN, M., GONZÁLEZ, J., & GARCÍA, R. (Mayo de 2016). Evaluación de un sistema de tratamiento doméstico para reúso de agua residual. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 32(2). Obtenido de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992016000200199
- Gazón, M. (2005). La biofiltración sobre cama de turba, un tratamiento eficiente para diferentes tipos de agua residual industrial. *Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA)*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/268424749_LA_BIOFILTRACION_SOBRE_CAMA_DE_TURBA_UN_TRATAMIENTO_EFICIENTE_PARA_DIFERENTES_TIPOS_DE_AGUA_RESIDUAL_INDUSTRIAL
- Gomez, E., Velásquez, G., & Quintana, G. (Julio de 2013). Lignina como adsorbente de metales pesados. *Revista investigaciones aplicada*, 7(2). medillin, Colombia. Obtenido de <https://revistas.upb.edu.co/index.php/investigacionesaplicadas/article/view/1756/1967>
- Gomez, V., Velásquez, J., & Quintana, G. (19 de diciembre de 2013). LIGNINA COMO ADSORBENTE DE METALES PESADOS. *Revista Investigaciones Aplicadas*, 7(2), 75. Medellín, Colombia. Obtenido de <https://revistas.upb.edu.co/index.php/investigacionesaplicadas>

- Lee, G.-B. (2004). Removal of heavy metal ions from aqueous solutions using lignocellulosic fibers. *Natural Fibers*, 1. Obtenido de https://www.fpl.fs.fed.us/documnts/pdf2004/fpl_2004_lee003.pdf
- Lozano, W. (Agosto de 2012). Uso del extracto de fique (*Furcraea* sp.) como coadyuvante de coagulación en tratamiento de lixiviados. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 28(3). Bogota, Colombia. Obtenido de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992012000300004
- Marka, A. (2014). CONTROL ANALÍTICO Y TRATAMIENTO DE CONTAMINANTES METÁLICOS ARSÉNICO Y PLOMO MEDIANTE UNA COLUMNA DE ADSORCIÓN EN LA FABRICACIÓN DE PLÁSTICOS A BASE DE PVC-U. *Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa*, 24. arequipa , PERÚ.
- Marko, M. (enero de 2016). *Cinc*. Obtenido de Manual MSD: <https://www.msmanuals.com/es-pe/professional/temas-especiales/suplementos-diet%C3%A9ticos/cinc>
- Museo de Arqueología, A. e. (martes de julio de 2008). Animales y Plantas de Perú. *blogspot*. Obtenido de <https://animalesyplantasdeperu.blogspot.com/2008/07/la-cabuya-omaguey.html>
- PALERMO, U. D. (2004). FIBRAS TEXTILES. *FIDO blog*, 1(1). Obtenido de https://fido.palermo.edu/servicios_dyc/blog/images/trabajos/1581_5378.pdf
- Reyes, Y., Vergara, I., Torres, O., Diaz, M., & Gonzáles, E. (Diciembre de 2016). CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS: IMPLICACIONES EN SALUD, AMBIENTE, Y SEGURIDAD ALIMENTARIA. *Revista Ingeniería, Investigación y Desarrollo*, 16(2). Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/6096110.pdf>
- Ríos, A. (2017). *Eficiencia de fibras naturales, cabuya (Furcraea andina) y paja de trigo (Triticum vulgari) como biofiltros alternativos en el proceso de desnitrificación de aguas residuales de piscícolas de trucha arcoíris en la localidad Juan de Velasco*. Tesis pregrado, UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS , Facultad de ingeniería Geológica, Minera, metalúrgica y Geográfica , Juan de Velasco.
- Ríos, A., García, R., García, V., & García, C. (Mayo de 2017). BIORREMOCIÓN DE PLOMO EN SOLUCIÓN POR FIBRAS DE FURCRAEA ANDINA Y BIOPELÍCULAS DE PSEUDOMONAS AERUGINOSA. chimborazo, Ecuador. Obtenido de <http://ceaa.epoch.edu.ec:8080/revista.perfiles/Articulos/Perfiles17Art10.pdf>
- Rodríguez, J., Briones, C., Baquerizo, M., & Rodríguez, J. (Diciembre de 2017). Remoción de metales pesados en agua residuales. *revista multidisciplinaria de investigación*, 1(11). Guayaquil, Ecuador.
- Romaña, D., Castillo, C., & Diazgranados, D. (Junio de 2010). El Zinc en la salud humana. *Scielo*, 37(2). Obtenido de https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-75182010000200013
- SIGLA, U. . (Julio de 2011). Sistema Integrado de gestión. *Republica oriental del Uruguay obras sanitarias del estado*, 1(1), 4. URUGUAY. Obtenido de

www.ose.com.uy/descargas/.../aseguramiento_calidad_laboratorios_regionales.doc

Troisi, S., & Fallico, C. (2009). Rimozione di metalli pesanti in falda mediante barriere permeabili reattive in fibre di ginestra. Obtenido de https://www.academia.edu/24597709/Rimozione_di_metalli_pesanti_in_falda_mediante_barriere_permeabili_reattive_in_fibre_di_ginestra

Valko, M., & Morris, H. (2005). Metals, Toxicity and Oxidative Stress. *Current Medicinal Chemistry*. Obtenido de <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.498.2796&rep=rep1&type=pdf>

ANEXOS

Anexo 1. Presupuesto.

Material	Unidad de medida	Cantidad	Precio unitario (soles)	Total S/.
costo de la analítica (Laboratorio)	-	1	250	250
Ácido sulfúrico, H ₂ SO ₄ (200 ml)	ml	1	10	10
Permanganato de potasio, KMnO ₄ (200 ml)	ml	1	15	15
Buffer de Zinc, Zn (60 ml)	ml	1	30	30
Agua grado reactivo (500 ml)	ml	1	5	5
Solución preservante de metales, HNO ₃ (24 ml)	ml	6	2	12
Lentes de seguridad	-	1	9	9
Guantes de látex	-	10	1	10
Mascarilla 3m N95	-	1	5	5
Guardapolvo	-	1	25	25
Tubo pead de diámetro 0.10m	m	1	18	18
Terminales reductores diámetro	-	2	6	12
Tubo pead de ½"	m	1	14	14
Cañería	-	2	7	14
Pegamento para pead	-	1	8	8
Balde, (14L)	L	2	15	30
Manguera de ½" (1.5m)	m	1	3	3
Hoja de cabuya furcraea	-	4	2.5	10
Materiales de impresión	-	1	-	100
Materiales de escritorio	-	1	-	100
Impresiones y empastado	-	2	120	240
Transporte	-	10	10	100
TOTAL S/.				1020

Anexo 2. Cronograma.

Actividades	11 - 12 ENERO	13 - 19 ENERO	20 - 26 ENERO	27 - 31 ENERO	1 - 9 FEBRERO	10 - 16 FEBRERO	17 - 23 FEBRERO	24 - 28 FEBRERO	1 - 9 MARZO	10 - 16 MARZO	17 - 23 MARZO	24 - 31 MARZO	1 - 4 ABRIL	5 - 8 ABRIL
Arqueo bibliográfico	X	X												
Elaboración del Marco Teórico Y presentación de proyecto		X	X	X										
Elaboración de los Instrumentos					X									
Gestionar permisos para uso de laboratorios						X								
Prueba de los Instrumentos							X	X						
Visitas preliminares (laboratorio)								X						
Muestreo (creación de muestra fortificada con Zn)									X					
Puesta en marcha del proyecto									X	X	X			
Análisis de los Datos												X	X	
Presentación														X

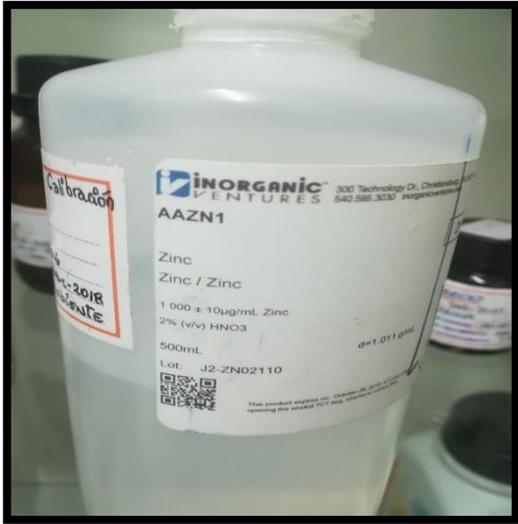
Anexo 3. Fotos del proceso extracción de fibra.



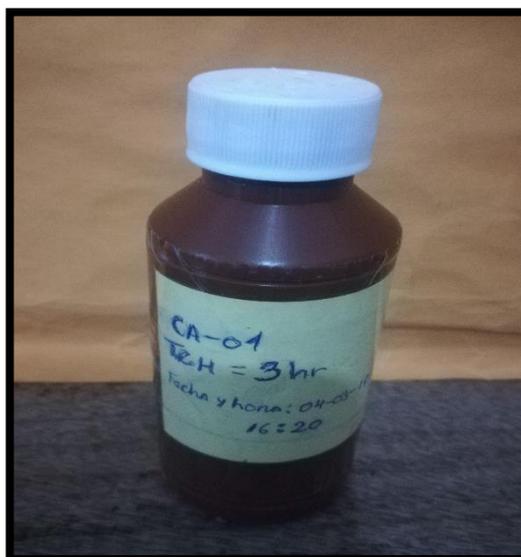
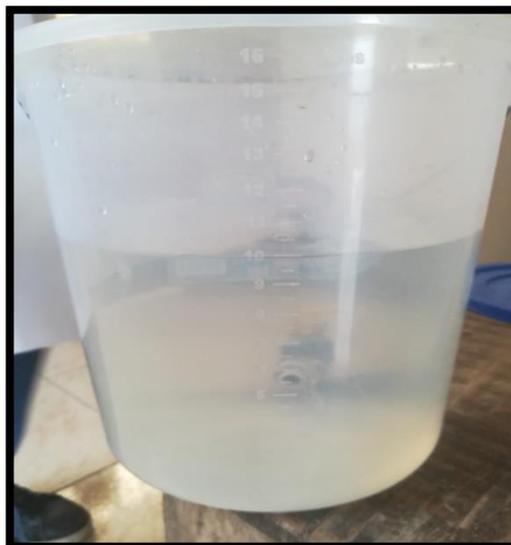
Anexo 4. Fotos del proceso de construcción del biofiltro a base de fibra de cabuya (Furcraea andina).



Anexo 5. Fotos del proceso de preparación de las aguas fortificadas con Zinc e instalación del biofiltro a base de cabuya (Furcraea Andina).



Anexo 6: Fotos del proceso de toma de muestras y equipos a utilizar.



Anexo 7. Fotos del proceso de análisis en el laboratorio.



Anexo 8. Informes de Ensayo.

INFORME DE ENSAYO N° 0576-1

Solicitante : Sr. John Jonathan Vitor Yance
Dirección del Solicitante : Av. Jorge Chavez Mz. K Lt.7 Yanacoto Chosica
Lugar de Muestreo : Jr. Victor Alzamora N° 348 Surquillo, Lima
Tipo de Muestra : Agua residual tratada (agua fortificada)
Fecha de Monitoreo : 24-03-19
Fecha de Recepción de Muestra : 24-03-19
Fecha de Inicio de Análisis : 25-03-19
Fecha de Términos de Análisis : 26-03-19

MEDICIONES IN SITU

Código de Cliente	Descripción	CORDENAS UTM WGS84	
		Norte	Este
AG-01	Muestra fortificada de zinc 2ppm	8659817	280971
AG-02	Muestra fortificada de zinc 4ppm	8659817	280971

CALIDAD DE AGUA

Código de Laboratorio	0576-1		Unidad
Código de Cliente	AG-01	AG-02	
Parámetro de Campo (in Situ: Datos tomados en el campo)			
Temperatura	27.14	26.8	°C
pH	3.41	2.16	Unid. pH
Conductividad	1657	1794	µS/cm
Salinidad	0.83	0.94	Unid. sal
Oxígeno Disuelto	84.4	86.4	%
Metal			
Zinc	0.73916	1.2785	ppm

Código de Laboratorio	0576-1		Unidad
Código de Cliente	AG-01	AG-02	
Parámetro de Campo (in Situ: Datos tomados en el campo)			
Temperatura	27.11	26.8	°C
pH	3.93	2.75	Unid. pH
Conductividad	1032	1724	µS/cm
Salinidad	0.51	0.72	Unid. sal
Oxígeno Disuelto	61.7	63.5	%
Metal			
Zinc	0.61543	1.0313	ppm

1 de 3

LB-F-38

Revisión: 09

Código de Laboratorio	0576-1		Unidad
Código de Cliente	AG-01	AG-02	
Parámetro de Campo (in Situ: Datos tomados en el campo)			
Temperatura	27.27	27.1	°C
pH	4.14	3.67	Unid. pH
Conductividad	956	1557	µS/cm
Salinidad	0.47	0.55	Unid. sal
Oxígeno Disuelto	71.3	69.4	%
Metal			
Zinc	0.08932	0.1603	ppm

- Muestreado por el área de monitoreo según procedimiento LB-P-07: Ejecución de Muestreo de Agua.
- La fecha de muestreo es dado proporcionado por el área de monitoreo.
- Lugar y condiciones ambientales del muestreo: Indicado en el acta.
- Condiciones y Estado de la muestra ensayada: las muestras llegaron refrigeradas.
- El cliente renuncia al derecho de la dirimencia.

Método de Análisis:

Temperatura: APHA AWWA WEF 2550 B 23rd Edition 2017, Temperature. Laboratory and Field Methods.
pH: APHA AWWA-WEF Part 4500-H+B, 23rd Edition 2017, pH Value. Electrometric Method
Conductividad Eléctrica: APHA AWWA-WEF Part 2510 B, 23rd Edition , 2017 Conductivity, Laboratory Method.
Salinidad: APHA AWWA-WEF, 23rd Edition , 2017 Salinity, Laboratory Method.
Oxígeno Disuelto: APHA AWWA-WEF, 23rd Edition , 2017 Dissolved Oxygen, Laboratory Method.
Metales ICP: EPA 2007, Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma Atomic. Emission Spectrometry.



Ing. Pedro Torrel Talavera
CIP 144014
Supervisor de Emisión de Informes
de Ensayo GCA

Lima, 27 de Marzo de 2019

- Nota 1: El presente documento sólo es válido para la(s) muestra(s) de la referencia
 - Nota 2: Este resultado no debe ser utilizado como una certificación de conformidad con normas de productos "o como certificado del sistema de Calidad de la entidad que lo produce".
 - Nota 3: La(s) muestra(s) y contramuestras se mantendrán por un periodo de siete (7) días de emitido el presente Informe de Ensayo.
 - Nota 4: El laboratorio declara la validez del presente Informe de Ensayo por el periodo de un año, Para los Fines que el cliente estime conveniente.
 - Nota 5: Toda corrección o enmienda física al presente Informe de Ensayo será emitida con declaración "Suplemento a/ Informe de ensayo.
 - Nota 6: Prohibido la reproducción total y/o parcial del presente informe, salvo autorización escrita por LABECO Análisis Ambientales S.R.L.T.D.A.
 - Nota 7: Se adjunta. el LB-F-13: Cadena de Vigilancia correspondiente a esto informe.
 - Nota 8: "Para los parámetros In Situ, en matriz agua, se realizan las mediciones por duplicado y se reporta el promedio de las mediciones"
- Anexo 1: Condiciones de recepción.

LB-F-38

3 de 3
Revisión: 09

