

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO**



**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

“Trabajo de investigación previo a la obtención del Título de Ingeniero Ambiental”

**TRABAJO DE TITULACIÓN**

**Título del proyecto**

“ESTUDIO COMPARATIVO DE RETENCIÓN DE CROMO HEXAVALENTE EN AGUAS SINTÉTICAS UTILIZANDO COMO LECHO FILTRANTE TRES FIBRAS NATURALES COMO ALTERNATIVA DE BIORREMEDIACIÓN”

**Autor:**

LORENA PATRICIA FLORES LUNA

**Tutor:**

Dr. Ana Mejía López

**Riobamba – Ecuador**

**AÑO**

**2018**

Los miembros del Tribunal de Graduación del proyecto de investigación de título:  
**“ESTUDIO COMPARATIVO DE RETENCIÓN DE CROMO HEXAVALENTE EN AGUAS SINTÉTICAS UTILIZANDO COMO LECHO FILTRANTE TRES FIBRAS NATURALES COMO ALTERNATIVA DE BIORREMEDIACIÓN”**

**Presentado por:** FLORES LUNA LORENA PATRICIA

**Dirigida por:** DR. ANA MEJÍA LÓPEZ

Una vez escuchada la defensa oral y revisado el informe final del proyecto de investigación con fines de graduación escrito en el cual se ha constatado el cumplimiento de las observaciones realizadas, remita la presente para uso y custodia en la biblioteca de la Facultad de Ingeniería de la UNACH.

Para la constancia de lo expuesto firman:

Dra. Ana Mejía López

Tutor del proyecto



---

Ing. Mauro Jiménez Msc.

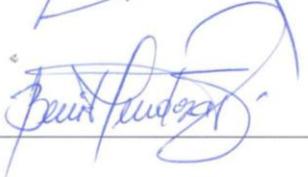
Presidente del tribunal



---

Ing. Benito Mendoza PhD.

Miembro del tribunal



---

Dra. Nelly Luna

Miembro del tribunal



---

Riobamba, 6 de Agosto de 2018

### **CERTIFICADO**

Por medio de la presente, certifico que la señorita: FLORES LUNA LORENA PATRICIA, portadora de la cedula de ciudadanía N 060477880-3, estudiante de la Unidad de Titulación de la Carrera de Ingeniería Ambiental de la UNACH, realizo su trabajo de tesis: "ESTUDIO COMPARATIVO DE RETENCION DE CROMO HEXAVALENTE EN AGUAS SINTÉTICAS UTILIZANDO COMO LECHO FILTRANTE TRES FIBRAS NATURALES COMO ALTERNATIVA DE BIORREMEDIACIÓN". Ha cumplido con sus objetivos y finalizando su trabajo de una manera profesional, con la asesoría de su tutor de tesis en un tiempo de 400 HORAS, tal como amerita el reglamento de la facultad de Ingeniería.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad, facultando a la interesada hacer uso del presente, como estime conveniente.



Dra. Ana Mejía López

DOCENTE- UNACH Y TUTORA DEL TRABAJO DE INVESTIGACION

## **AUTORIA DE LA INVESTIGACIÓN**

Yo, LORENA PATRICIA FLORES LUNA, con cédula de identidad No. 060477880-3; hago constar que soy la autora del presente trabajo de investigación, titulada: “ESTUDIO COMPARATIVO DE RETENCIÓN DE CROMO HEXAVALENTE EN AGUAS SINTÉTICAS UTILIZANDO COMO LECHO FILTRANTE TRES FIBRAS NATURALES COMO ALTERNATIVA DE BIORREMEDIACIÓN”, dirigida por la Dra. Ana Mejía López.



---

LORENA PATRICIA FLORES LUNA

C.I. 060477880-3

## **AGRADECIMIENTO**

Doy gracias a Dios a mi familia y a mis padres por ser quienes han sabido guiar mi camino con consejos y por el apoyo en aquellos momentos en los cuales sentía decaer.

A los docentes y laboratoristas de la Facultad de Ingeniería Ambiental quienes con sus conocimientos lograron mi formación como profesional con sus cátedras, prácticas y consejos.

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo de investigación dedico a todas las personas que formaron parte de mi crecimiento como persona y hoy en día como profesional, a mis abuelitos que están en el cielo, a mis tíos y tías que siempre estuvieron guiándome por un buen camino, a mis primos que son como mis hermanos y en especial a mis padres que a pesar de su discapacidad auditiva me sacaron adelante y me apoyaron para que me convierta en profesional, a mis amigas y a mi novio que nunca me dejaron sola y me daban fuerzas para no rendirme en la vida ni en los estudios, a los docentes de la carrera de Ingeniería Ambiental que me brindaron sus conocimientos y me prepararon para la vida profesional, a los laboratoristas que con paciencia supieron enseñarme a desenvolverme en el laboratorio.

Lorena Patricia Flores Luna

## ÍNDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>10</b>
<b>2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b>	<b>11</b>
<b>3. JUSTIFICACIÓN</b>	<b>12</b>
<b>4. OBJETIVOS.</b>	<b>13</b>
4.1. <i>Objetivo general.</i>	13
4.2. <i>Objetivo específico.</i>	13
<b>5. MARCO TEÓRICO</b>	<b>13</b>
5.1. <i>COLORANTES TEXTILES</i>	13
5.2. <i>COLORANTES TEXTILES Y SU COMPOSICIÓN</i>	14
5.3. <i>CONTAMINACIÓN DEL AGUA</i>	15
5.4. <i>CONTAMINACIÓN DEL AGUA EN EL ECUADOR</i>	16
5.5. <i>TRATAMIENTO DE AGUAS CON FIBRAS NATURALES</i>	16
5.5.1. <i>FIBRAS NATURALES</i>	16
5.5.2. <i>CLASIFICACIÓN DE LAS FIBRAS NATURALES.</i>	17
5.5.3. <i>FIBRAS VEGETALES.</i>	17
<b>6. METODOLOGÍA.</b>	<b>21</b>
6.1. <i>Caracterización de las fibras.</i>	21
6.2. <i>Elaboración del agua residual sintética.</i>	22
6.3. <i>Caracterización del agua residual sintética.</i>	22
6.4. <i>Aplicación de la fibra natural como lecho filtrante.</i>	23
6.5. <i>Caracterización del agua tratada.</i>	24
6.6. <i>Análisis Estadístico.</i>	25
<b>7. RESULTADOS</b>	<b>25</b>
7.1. <i>Elaboración y Caracterización de aguas sintéticas</i>	25
7.2. <i>Caracterización de las fibras</i>	26
7.3. <i>Tratamiento del agua sintética con fibras naturales</i>	28
7.3.1. <i>Furcraea Andina:</i>	28
7.3.2. <i>Musa Textilis:</i>	29
7.3.3. <i>Musa Paradisiaca:</i>	30

<b>8. Estudio comparativo de retención de cromo hexavalente en aguas sintéticas con las fibras:</b>	<b>31</b>
<b>9. CONCLUSIONES</b>	<b>32</b>
<b>10. RECOMENDACIONES</b>	<b>33</b>
<b>11. BIBLIOGRAFIA</b>	<b>33</b>
<b>12. ANEXOS</b>	<b>38</b>
	38

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1: límites de descargas a un cuerpo de agua dulce -----	20
Tabla 2: Descripción de los procesos para la caracterización de las fibras.-----	21
Tabla 3: Codificación de las concentraciones .-----	22
Tabla 4: Diseño experimental y abreviaturas de las pruebas de tratabilidad. -----	24
Tabla 5: Caraterización agua sintética a partir del colorante Azul BRL -----	25
Tabla 6: Caraterización agua sintética a partir del colorante Azul BRL -----	26
Tabla 7: Caracterización de la fibra Musa Textilis-----	26
Tabla 8: Caracterización de la fibra Musa Paradisiaca -----	27
Tabla 9: Caracterización de la fibra Furcraea Andina -----	27
Tabla 10: Mejores tratamientos para la remoción de Cr+6 .-----	28
Tabla 11: Mejores tratamientos para la remoción de Cr+6 .-----	29
Tabla 12: Mejores tratamientos para la remoción de Cr+6.-----	30
Tabla 13: Porcentaje de retención de Cr+6 (mg/l) de las fibras-----	31

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Mejores tratamientos para la remoción de Cr+6. .. <b>¡Error! Marcador no definido.</b>	
Figura 2: Porcentaje de remocion fibra (Furcraea Andina) .....	28
Figura 3: Porcentaje de retención fibra (Musa Textilis) .....	29
Figura 4: Mejor retención de Cromo +6 .....	31

## RESUMEN

Los efluentes industriales de cromado, curtido de pieles, protección de maderas y textiles aportan a las aguas superficiales cantidades relativamente elevadas de cromo. Este tipo de desechos con presencia de cromo, se transforman en contaminantes para los cuerpos de agua superficial y mantos freáticos, en los que este contaminante tiene un tiempo de permanencia largo. Por lo tanto esta investigación pretende realizar un estudio comparativo de retención de cromo hexavalente ( $\text{Cr}^{+6}$ ) en aguas sintéticas utilizando como lecho filtrante las fibras *Musa textilis* (Abacá), *Furcraea andina* (Cabuya) y *Musa paradisiaca* (raquis de plátano) como alternativa de biorremediación. De este estudio se encontró que el porcentaje de remoción más efectivo se dio en la fibra *Musa Paradisiaca* (raquis de plátano) con un valor de 69.80% a fibra cortada a 1cm con una velocidad de flujo baja, las fibras *Musa Textilis* (Abacá) retiene el  $\text{Cr}^{+6}$  en un 30,17% a concentraciones altas medias y bajas con fibra normal y la fibra *Furcraea Andina* (Cabuya) retiene  $\text{Cr}^{+6}$  en un 37,53% a concentración baja con fibra normal. Concluyendo que la *Musa Paradisiaca* es la fibra más efectiva de bajo costo y amigable con el ambiente al reutilizar un desecho.

## Abstract

The industrial effluents of chrome-plating, skin-tanning, protection of woods and textiles supply to the surface waters relatively high amounts of chromium. This type of waste with the presence of chromium, transformed into contaminants for surface water bodies and groundwater, in which this pollutant has a longer residence time. Therefore, this research aims to perform a comparative study of hexavalent chromium retention (Cr +6) in synthetic waters using as filter bed the fibers *Musa textilis* (Abacá), *Furcraea andina* (Cabuya) and *Musa paradisiaca* (banana rachis) as an alternative of bioremediation. This survey shows that the most effective removal percentage occurred in *Musa Paradisiaca* fiber (banana rachis) with a value of 69.80% cut fiber at 1cm with a low flow rate, *Musa Textilis* (Abacá) fibers retain the Cr + 6 in 30.17% at medium and low high concentrations with normal fiber and the *Furcraea Andina* fiber (Cabuya) retains Cr + 6 in 37.53% at low concentration with normal fiber. Concluding that *Musa Paradisiaca* is the most effective, low cost and environmentally friendly fiber and recycle wastes.

**Keywords:** Industrial effluents, chromium, contaminants.

  
Reviewed by: Valle, Doris

**Language Center Teacher**



## 1. INTRODUCCIÓN

Un colorante es un compuesto orgánico que al aplicarlo a un sustrato (generalmente una fibra textil) le confiere un color más o menos permanente, se aplica en disolución o emulsión y el sustrato debe tener cierta afinidad para absorberlo. Los colorantes en general son solubles en el medio en el que se aplican o en el producto final. La producción mundial de colorantes es del orden de 90 millones de kg al año. Las sustancias coloreadas son las que absorben luz en la región visible del espectro (380 a 750 nm). Una sustancia presenta el color complementario del que absorbe ya que este se resta de la luz reflejada o transmitida. Las sustancias que no absorben luz visible son blancas o incoloras, y las que absorben todas las longitudes de onda son negras. Si la banda de absorción es aguda el color es brillante, mientras que una banda ancha y difusa da lugar a un color opaco. (Tejedor, 2011)

Por lo tanto en función de esto la producción de textiles se utilizan diferentes tipos y marcas de colorantes, algunos son tóxicos y otros son biodegradables; además la fuerte coloración residual que va en el agua afecta principalmente en los procesos fotosintéticos en los cursos de agua, por lo que su presencia debe ser controlada. Además, los metales pesados que contienen este tipo de efluentes, acaban con la biodiversidad acuática (Zubieta, 2015).

Dentro de los metales pesados que se encuentran en la composición de aguas residuales está el cromo hexavalente ( $\text{Cr}^{+6}$ ), este metal es altamente tóxico para el ser humano y está clasificado en el grupo I (cancerígeno comprobado en humanos) por la International Agency for Research on Cancer (IARC, 2018), además según Téllez (2010) la exposición a este metal produce cáncer.

Según Carvalho et al. (2016) menciona que la industria textil requiere gran cantidad de agua para sus procesos productivos de 100 a 200 L de agua son necesarios para producir un kilogramo de productos textiles; además según Gilpavas et al. (2018) y Buscio et al. (2015) el agua residual resultante se encuentra contaminada por la

presencia de colorantes, surfactantes, sales inorgánicas y distintos compuestos químicos empleados en el proceso productivo. En este sentido, para el tratamiento de este tipo de efluentes se emplea fibras naturales, ya que este tipo de fibras atrapan dentro de su estructura metales pesados, siendo una alternativa en el manejo de aguas residuales de la industrias textil.

El objeto de este trabajo es determinar cuál es el porcentaje de remoción de  $\text{Cr}^{+6}$  entre tres fibras naturales (plátano, cabuya, abacá), para de esta manera complementar los trabajos realizados por Cuadrado (2017) Y Aucancela (2018) en vías de encontrar una solución de bajo costo para el tratamiento de las aguas residuales de la industria textil.

## **2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

El ministro de Industria y Productividad, Santiago León menciona que el sector textil es el segundo de Ecuador que genera más empleo, con 174.125 puestos de trabajo que representan el 21% de los que produce la industria manufacturera del país. Las ventas del sector textil fueron de USD 1.313 millones en el 2016 y representaron el 5 % del sector manufacturero ya que se trata de un área prioritaria para la economía nacional, que supuso el 8% del producto interno bruto (PIB) industrial entre 2007 y 2015 (León, 2017). De la misma manera, la producción de textiles es en algunos casos contienen  $\text{Cr}^{+6}$  en las descargas de aguas residuales, donde su toxicidad depende del estado de oxidación y concentración en que se encuentra, siendo de especial importancia la eliminación de  $\text{Cr}^{+6}$  presente en los sistemas acuosos, por su reconocido carácter cancerígeno (Remtavares, 2015).

Por otra parte Ecuador registró 7.012,244 millones de toneladas de residuos sólidos de la planta de banano (*Musa Paradisiaca*), este desecho se genera principalmente en mercados y tiendas de expendio de frutas (INEC, Desechos sólidos en el Ecuador, 2012). Además, Por otro parte, en los últimos años en Ecuador, la producción agrícola no tradicional ha logrado ser uno de los principales factores para la economía del país, dentro de este tipo de actividad se encuentra la

producción de fibras naturales provenientes del abacá (*Musa Textilis*), la cabuya (*Furcraea Andina*) y del raquis del banano (*Musa Paradisiaca*).

El abacá se usa principalmente para la producción de papel de alta calidad, así como también bolsas de té, papel moneda y filtros, de igual manera se usa en la producción de cordajes y se suele combinar con polímeros para la industria automotriz, su principal fuerte es en la fabricación de cabos ya que posee una gran resistencia a la tensión, que difícilmente se deteriora debido a efectos que pueda causar la naturaleza (BERNABÉ, 2015)

### **3. JUSTIFICACIÓN**

Analizando la problemática actual de las descargas de aguas residuales de las industrias textiles buscamos soluciones amigables con el ambiente, la sociedad y la economía de los involucrados para la reducción de metales pesados como el  $\text{Cr}^{+6}$ . En este contexto, Cuadrado (2017) en la investigación “ANÁLISIS DE LA FIBRA OBTENIDA DEL RAQUIS DE LA PLANTA MUSA PARADISIACA, UTILIZADA COMO LECHO FILTRANTE EN LA ADSORCIÓN DEL PARÁMETRO COLOR PRESENTE EN LAS AGUAS RESIDUALES DE LA HILANDERÍA GUIJARRO” sugirió analizar la fibra obtenida del raquis de la planta musa paradisiaca utilizada como lecho filtrante en la adsorción del parámetro color presente en las aguas residuales de la Hilandería Guijarro., y también Aucancela (2018) en la investigación “ESTUDIO DE LA CORRELACIÓN HIDRÁULICA Y LA REMOCIÓN DE CONTAMINANTES EN AGUA RESIDUAL SINTÉTICA MEDIANTE UN LECHO FILTRANTE DE MUSA PARADISIACA” sugirió Obtener la correlación entre la velocidad de flujo, la permeabilidad, la remoción de metales pesados (Cromo Hexavalente), mediante un lecho filtrante con fibra de musa paradisiaca, como alternativa de tratamiento a las aguas residuales procedentes de este tipo de industrias.

Por lo tanto, es necesario realizar un estudio comparativo de retención de  $\text{Cr}^{+6}$  en aguas sintéticas elaboradas en el Laboratorio de Servicios Ambientales (LSA) de la

UNACH utilizando lechos filtrantes como las fibras *Musa Textilis* (Abacá), *Furcraea Andina* (cabuya) y *Musa Paradisiaca* (raquis del plátano) como alternativas de biorremediación con el fin de demostrar la eficiencia de cada una de las fibras al retener  $\text{Cr}^{+6}$  y así llegar a la conclusión de qué fibra retiene mejor. Además, mediante el procesamiento de este tipo de desecho para obtener su fibra como lecho filtrante se contribuirá a disminuir su presencia en los botaderos, dando un uso alternativo a este tipo de desechos. Este tipo de manejo de las fibras permitirá remover  $\text{Cr}^{+6}$  y solucionar problemas ambientales generados por las industrias que vierten aguas contaminadas a bajo costo.

#### **4. OBJETIVOS.**

##### **4.1.Objetivo general.**

- Realizar un estudio comparativo de retención de cromo hexavalente ( $\text{Cr}^{+6}$ ) en aguas sintéticas utilizando como lecho filtrante las fibras *Musa textilis*, *Furcraea andina* y *Musa paradisiaca* como alternativa de biorremediación.

##### **4.2.Objetivo específico.**

- Elaborar y caracterizar el agua sintética
- Determinar el porcentaje de remoción de cromo hexavalente ( $\text{Cr}^{+6}$ ) en agua sintética después de aplicar los lechos filtrantes propuestos.
- Realizar un estudio comparativo de retención de cromo hexavalente en aguas sintéticas utilizando como lecho filtrante las fibras *Musa Textilis*, *Furcraea Andina* y *Musa Paradisiaca* para determinar el lecho filtrante que mejor retiene cromo hexavalente ( $\text{Cr}^{+6}$ ).

#### **5. MARCO TEÓRICO**

##### **5.1. COLORANTES TEXTILES**

Los efluentes industriales de cromado, curtido de pieles, protección de maderas y textiles aportan a las aguas superficiales cantidades relativamente elevadas de cromo. Este tipo de desechos con presencia de cromo, se transforman en

contaminantes para los cuerpos de agua superficial y mantos freáticos, en los que este contaminante tiene un tiempo de permanencia largo. Por tanto se ha observado que el  $\text{Cr}^{+6}$  puede persistir en estos cuerpos de agua con bajo contenido de materia orgánica (Cousillas, 2010)

El Cromo se acumula en el agua dependiendo la cantidad que se use en los procesos industriales donde una parte es absorbida por el producto y el sobrante es vertido a las fuentes hídricas más cercanas. La forma química del contaminante depende de la presencia de materia orgánica en las aguas, si se encuentra en grandes cantidades, el  $\text{Cr}^{+6}$  se reducirá a  $\text{Cr}^{+3}$  el cual se podrá absorber en las partículas suspendidas, en los sedimentos o formar complejos insolubles, los que pueden permanecer en suspensión cerca del sitio de entrada al ambiente, ser transportados al océano, o bien, precipitar y ser incorporados a los sedimentos (Cousillas, 2010)

## **5.2. COLORANTES TEXTILES Y SU COMPOSICIÓN**

Dentro de la industria química se ha desarrollado una amplia gama de colorantes sintéticos que permiten acceder a una gran diversidad de tonalidades. Para nombrar esta variedad de productos no se utiliza la nomenclatura sistemática sino un nombre comercial y un código numérico, que se encuentran registrados en el Índice de Colores (Colour Index). Los colorantes están clasificados en diferentes volúmenes por su aplicación tintórea, su estructura química y su nombre comercial (Tejedor, 2011)

Un colorante industrial ha de cumplir una serie de propiedades imprescindibles:

- Fijarse sobre la fibra textil a teñir
- Tener resistencia al lavado y a la luz y
- Cumplir determinadas condiciones de carácter sanitario.

## **AZUL BRL**

EL nombre del colorante (Nombre comercial) es Azul BRL (Azul directo 1); el tipo de Colorante es Diazoico con una fórmula Molecular  $C_{34}H_{24}N_6Na_4O_{16}S_4$  y un peso molecular de 992.82 (g/mol). (Corrales, 2015)

En el Ecuador las ventas del sector textil fueron de USD 1.313 millones en 2016 y representaron el 5 % del sector manufacturero ya que se trata de un área prioritaria para la economía nacional, que supuso el 8 % del producto interno bruto (PIB) industrial entre 2007 y 2015 (Corrales, 2015)

### **5.3.CONTAMINACIÓN DEL AGUA**

La contaminación del agua es un complejo fenómeno social, económico y ambiental que constituye uno de los más serios obstáculos para el “Buen Vivir”. En el transcurso de los años la industrialización se ha convertido en uno de los ingresos económicos a nivel mundial provocando distintos impactos ambientales, uno de ellos es la alteración de la estructura hídrica mediante los residuos vertidos, los fertilizantes, pesticidas o químicos que desembocan en las aguas dulces y que acaban por contaminar también el agua salada. Sobre este problema, la ONG InpirAction dice: “Más de 1.000 millones de personas sufrirán en el futuro la escasez de agua a causa de la contaminación, la superpoblación y el cambio climático, que afectan a las fuentes de este recurso esencial”. A su vez, según el informe de 2016 de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo, casi el 80% de los puestos de trabajo que constituyen la fuerza laboral mundial dependen del acceso a un suministro adecuado de agua y servicios relacionados con el agua, incluyendo el saneamiento. (Vazquez, 2017)

## **5.4. CONTAMINACIÓN DEL AGUA EN EL ECUADOR**

Ecuador es un país con una gran cantidad de agua en términos nacionales y con cuatro veces más agua superficial que el promedio per. Cápita mundial. La escasez de agua es alarmante en las provincias de Loja, la costa de Manabí, la parte occidental de la península de Santa Elena en Guayas y partes de las provincias de Cotopaxi, Tungurahua y Chimborazo, ubicadas en la cuenca alta del río Pastaza. Los niveles de precipitación son en general bajos, con una escasa capacidad de regulación anual del agua disponible. (Sanchez, 2008)

## **5.5. TRATAMIENTO DE AGUAS CON FIBRAS NATURALES**

### **5.5.1. FIBRAS NATURALES**

Existen dos tipos de fibras naturales las vegetales y las animales, las fibras de origen vegetal son estructuras celulósicas, la celulosa es el polímero de azúcar más común en las estructuras de soporte de las plantas, por lo que las fibras tienen su base en este material. Las fibras vegetales son aquellas fibras naturales extraídas del reino vegetal en sus más variadas formas: semillas, tallos, hojas, frutos y raíces y procesadas de forma tal que se obtienen productos de aplicación textil. 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. Con el paso de los años los procesos de obtención y procesamiento de dichas fibras fueron acelerándose por medio de nuevas tecnologías. 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. (Baldeón, 2013)

### **5.5.2. 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:

- Fibras animales o proteicas: lanas y pelos, sedas, lanas recuperadas.
- Fibras minerales: Amianto o asbesto.
- Fibras vegetales: blandas (yute, algodón, ramio, kenaf, coco, cáñamo, Mimbres) y duras (fique, sisal, henequén, piña, abacá, plátano, banano) (Baldeón, 2013)

### **5.5.3. FIBRAS VEGETALES.**

Las fibras de origen vegetal poseen un interés extraordinario, no solo por su elevado número, puesto que existen más de 700 plantas que son capaces de suministrar fibras, sino por sus relevantes propiedades físicas y químicas. Las fibras vegetales pueden clasificarse tomando en consideración su origen anatómico, su tipificación botánica, sus usos, etc. Sin embargo comercialmente se pueden clasificar en duras y blandas. (Baldeón, 2013)

#### **5.5.3.1. *MUSA TEXTILIS* (ABACÁ)**

##### **Clasificación taxonómica del abacá:**

Reino: plantae, Filo: magnoliophyta, Clase liliopsida, Orden: zingiberales, Familia: musaceae, Género: musa, Especie: m. *textilis* (Larico, 2009).

Se usa principalmente para la producción de papeles especiales. La planta también llamada cáñamo de Manila, el abacá se extrae de la vaina de las hojas que rodean el tronco de la planta de abacá (*Musa *textilis**), pariente cercana del banano, natural de Filipinas y ampliamente distribuida en los trópicos húmedos. Cosechar abacá es

laborioso. Cada tallo debe cortarse en tiras, las cuales son raspadas para remover la pulpa. Luego las fibras se lavan y secan. (Fao, 2018)

La fibra el abacá es una fibra de hoja, compuesta por células largas y delgadas que forman parte de la estructura de soporte de la hoja. El contenido de lignina está por encima del 15%. El abacá es valorado por su gran resistencia mecánica, resistencia al daño por agua salada, y por el largo de su fibra, hasta de 3 metros. Las mejores clasificaciones del abacá son: finas, brillantes, de un color habano claro, y muy fuertes. (Fao, 2018)

### **Beneficios ambientales**

La lucha contra la erosión y la rehabilitación de la biodiversidad pueden verse favorecidas si en anteriores plantaciones de monocultivo y en zonas de selva húmeda tropical se intercala el abacá, particularmente con palma de coco. La plantación de abacá también puede reducir al mínimo los problemas de erosión y sedimentación en las zonas costeras que son importantes para la cría de pescados de mar. Mejorará la capacidad de retención de agua del suelo y se prevendrán las inundaciones y los deslizamientos de tierra. Los materiales de desecho del abacá se usan como fertilizantes orgánicos. (Fao, 2018)

Las principales zonas productoras son La Concordia y Santo Domingo. En La Concordia se encuentra el 39% de la superficie plantada y en Santo Domingo, el 36%. En todo el país se registraron 640 Unidades de producción con plantación de abacá, siendo la superficie total sembrada de 14.831 hectáreas. La superficie cosechada fue de 13.986 hectáreas y los principales motivos de las pérdidas de producción se debieron a los bajos precios pagados al productor. (Villaprado, 2012).

### 5.5.3.2.PLÁTANO (*MUSA PARADISIACA*)

#### **Clasificación taxonómica del Plátano:**

Nombre Científico: Musa L., Reino: Plantae, División: Magnoliophyta, Clase: Liliopsida, Orden: Zingiberales, Familia: Musaceae, Género: Musa (Larico, 2009).

### 5.5.3.3.*FURCRAEA ANDINA* (CABUYA)

#### **Clasificación taxonómica de la cabuya:**

Reino: Vegetal, Clase: Angiospermae, Subclase: Monocotiledóneas, Orden: Liliiflorae, Familia: Agavaceae, Género: Furcraea, Nombre Común: Fique Cabuya, Penca, Fique Perulero, Maguey, Cabul, Cabuya Blanca, Chuchao, Cocuiza.( Ministerio Ambiente, 2006)

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, fosforo, calcio, potasio, saponinas y sapogeninas).
- 1% Minerales (Ministerio Ambiente, 2006).

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)

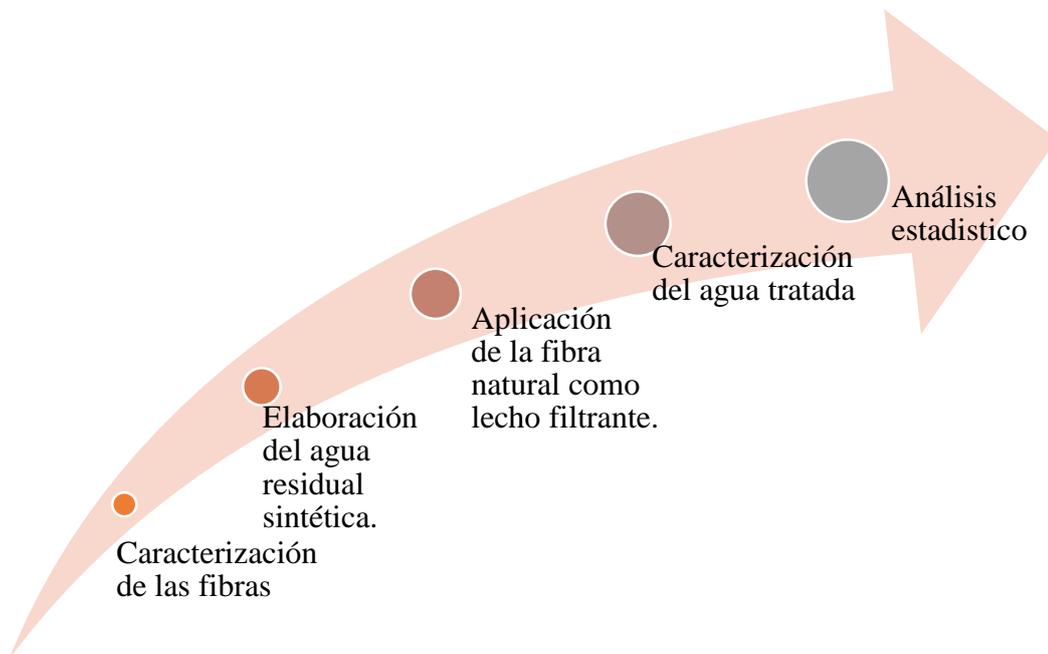
*Tabla 1: límites de descargas a un cuerpo de agua dulce*

Cromo	Cr <sup>+6</sup>	mg/l	0,5
-------	------------------	------	-----

Fuente: (MAE, 2015) Valores tomados del anexo N° 01, libro VI del TULSMA.

## 6. METODOLOGÍA.

A continuación se describe el procedimiento que se realizó para la obtención de los resultados:



**Elaborado por: Autor**

### 6.1. Caracterización de las fibras.

Se realizaron 5 repeticiones para las siguientes pruebas: pH, porcentaje de humedad, porcentaje de cenizas, determinación de carbono orgánico, porcentaje de lignina, densidad, porosidad y permeabilidad de la fibra. En la tabla 2 se muestran los métodos utilizados para el análisis de cada uno de los parámetros mencionados anteriormente.

Tabla 2: Descripción de los procesos para la caracterización de las fibras.

Parámetro	Método
Potencial de Hidrógeno (pH).	MÉTODO 4500 H+ (STANDARD METHODS, 2005).
Porcentaje de humedad	Método gravimétrico.

Porcentaje de cenizas.	Método 2540.E (STANDARD METHODS, 2005).
Densidad de la fibra:	Método relación masa volumen.
Determinación porcentaje de lignina	Método de Hidrolisis Acida Cuantitativa (norma TAPPI 222)
Porcentaje de Carbono orgánico.	Método gravimétrico.
Porosidad de la fibra:	Relación gravimétrica y volumétrica.
Permeabilidad de la fibra:	Se determinó mediante la ley de Darcy.

Fuente: (Aucancela, 2018)

### **6.2.Elaboración del agua residual sintética.**

Para la elaboración del agua residual sintética se realizaron 3 tipos de aguas residuales usando el colorante azul BRL en concentraciones, en la tabla 3 se indica la nomenclatura utilizada.

*Tabla 3: Codificación de las concentraciones .*

<b>Concentración</b>	<b>Codificación</b>
<b>Alta</b>	Ca
<b>Media</b>	Cm
<b>Baja</b>	Cb

Elaborado por: Autor

### **6.3.Caracterización del agua residual sintética.**

Para la caracterización del agua sintética se utilizó la metodología aplicada por Aucancela (2018). Es decir se utilizó los procedimientos analíticos de los métodos estandarizados (STANDARD METHODS, 2005).

En el análisis del pH y la conductividad se utilizó el equipo multi-parámetros HACH HQ40d, para lo cual se colocó la muestra de agua en un vaso de precipitación y se procedió hacer la lectura con el equipo.

Los análisis, Cr<sup>+6</sup> se realizaron utilizando el espectrofotómetro HACH DR500 siguiendo el procedimiento descrito a continuación:

#### **Procedimiento para el análisis Cr+6 en el espectrofotómetro HACH DR500:**

Seleccionar en la pantalla: Programa almacenados: Cromo programa 90 y cobre 135. Llenar la celda de 10ml con muestra. Añadir el contenido de un sobre de reactivo de cobre Chroma Ver 3 en polvo para el caso del cromo hexavalente Cr+6 y de reactivo Cu Ver 1 en polvo para el caso del cobre. Agitar, para mezclar y disolver. En presencia de cromo hexavalente, aparecerá un color violeta. Dejar reposar por 5 minutos. Llenar una celda de 10 ml con la muestra, encerrar el equipo. Colocar la muestra y leer los resultados. Cabe señalar que el caso de las aguas sintética se necesitará una previa digestión de la muestra (HACH Company, 2000).

#### **6.4. Aplicación de la fibra natural como lecho filtrante.**

Se realizaron pruebas de tratabilidad mediante el siguiente diseño experimental: tres concentraciones de agua por 4 permeabilidades por tres velocidades y utilizando un lecho filtrante de diámetro interno  $D = 6.4$  cm, altura  $L = 15.3$  cm.

La velocidad de flujo fue controlada mediante una bomba peristáltica obteniendo velocidad alta ( $V3 = 0,86$  ml/s), velocidad media ( $V2 = 0,45$  ml/s), velocidad baja ( $V1 = 0,22$  ml/s). La permeabilidad fue controlada por el corte de la longitud de la fibra, así el tratamiento será con fibra normal (Fn), fibra cortada a 1cm (F1), a 2cm (F2) y a 3cm (F3). En la tabla 4 se muestra el diseño experimental utilizado y las abreviaturas que se dieron para cada una de las pruebas de tratabilidad manteniendo la abreviación dada por Aucancela (2018):

Cada prueba comprendió un tratamiento cuya duración fue de 180 minutos a flujo continuo, se tomaron valores de  $Cr^{+6}$  se analizaron al inicio del tratamiento y en los minutos 1, 5, 30, 60, 90, 120 y 180 dando un total de 8 muestras. (Aucancela, 2018)

Tabla 4: Diseño experimental y abreviaturas de las pruebas de tratabilidad.

Fibra normal (Fn)	Concentración alta (Ca)	Velocidad Alta (V3)	FnCaV3
		Velocidad Media (V2)	FnCaV2
		Velocidad Baja (V1)	FnCaV1
Fibra 3 cm (F3)		Velocidad Alta	F3CaV3
		Velocidad Media	F3CaV2
		Velocidad Baja	F3CaV1
Fibra 2 cm (F2)		Velocidad Alta	F2CaV3
		Velocidad Media	F2CaV2
		Velocidad Baja	F2CaV1
Fibra 1 cm (F1)		Velocidad Alta	F1CaV3
		Velocidad Media	F1CaV2
		Velocidad Baja	F1CaV1
Fibra normal	Concentración media (Cm)	Velocidad Alta	FnCmV3
		Velocidad Media	FnCmV2
		Velocidad Baja	FnCmV1
Fibra 3 cm		Velocidad Alta	F3CmV3
		Velocidad Media	F3CmV2
		Velocidad Baja	F3CmV1
Fibra 2 cm		Velocidad Alta	F2CmV3
		Velocidad Media	F2CmV2
		Velocidad Baja	F2CmV1
Fibra 1 cm		Velocidad Alta	F1CmV3
		Velocidad Media	F1CmV2
		Velocidad Baja	F1CmV1
Fibra normal	Concentración baja (Cb)	Velocidad Alta	FnCbV3
		Velocidad Media	FnCbV2
		Velocidad Baja	FnCbV1
Fibra 3 cm		Velocidad Alta	F3CbV3
		Velocidad Media	F3CbV2
		Velocidad Baja	F3CbV1
Fibra 2 cm		Velocidad Alta	F2CbV3
		Velocidad Media	F2CbV2
		Velocidad Baja	F2CbV1
Fibra 1 cm		Velocidad Alta	F1CbV3
		Velocidad Media	F1CbV2
		Velocidad Baja	F1CbV1

Fuente: (Aucancela, 2018)

### 6.5. Caracterización del agua tratada.

Para la caracterización del agua tratada se realizó los mismos procedimientos y parámetros descritos anteriormente en la caracterización del agua residual sintética.

## 6.6. Análisis Estadístico.

Para la determinación de datos obtenidos en el laboratorio se realizó 3 repeticiones de las pruebas sacando una media de los datos conjuntamente con una desviación estándar.

Los valores máximos y mínimos de los porcentajes de remoción y los **gráficos de dispersión nos ayudan a una mejor interpretación de la eficiencia de las fibras.**

## 7. RESULTADOS

### 7.1. Elaboración y Caracterización de aguas sintéticas

En la tabla 5 se presenta la caracterización del agua sintética realizada con un lote distinto al dado por Aucancela (2018), que se observa en la tabla 6, ambas caracterizaciones fueron realizadas en el LSA (ANEXO 1), el colorante utilizado para esta investigación es el Azul BRL, se observa que son colorantes con diferente lote, por lo que difieren los resultados entre sí en los parámetros medidos en la caracterización de ambas aguas sintéticas.

Tabla 5: Caracterización agua sintética a partir del colorante Azul BRL

<b>Parámetro</b>	<b>Concentración Alta</b>	<b>Concentración Media</b>	<b>Concentración Baja</b>
<b>Color (U Pt- Co)</b>	5333,33	1300,00	173,67
<b>pH</b>	6,98	6,64	6,48
<b>Conductividad (µs/cm)</b>	717,00	228,33	235,23
<b>DQO (mg/l)</b>	102,00	38,67	16,67
<b>Cr +6 (mg/l)</b>	0,43	0,39	0,35

Elaborado por: Autor

Tabla 6: Caracterización agua sintética a partir del colorante Azul BRL

Parámetro	Concentración Alta	Concentración Media	Concentración Baja
Color (U Pt- Co)	5000,00	1083,33	105,00
Conductividad (µs/cm)	965,00	688,67	643,67
Ph	8,16	7,81	7,48
DQO (mg/l)	98,33	38,67	16,67
Cr +6 (mg/l)	2,81	0,61	0,38

Fuente: (Aucancela, 2018)

## 7.2. Caracterización de las fibras

Se muestra en la tabla 7 la caracterización de la fibra *Musa Paradisiaca* (Cuadrado, 2017) (Aucancela, 2018), en la tabla 8 la fibra *Furcraea Andina* (Baldeón, 2013), complementado estos trabajos con la caracterización de la fibra *Musa Textilis* en la tabla 9:

Tabla 7: Caracterización de la fibra Musa Textilis

PARÁMETRO	DATOS OBTENIDOS
Potencial de Hidrógeno (pH)	7.65
Conductividad us/cm	1.82
Porcentaje de humedad (%)	9.84
Porcentaje de carbónico orgánico (%)	0.75
Porcentaje de cenizas (%)	4.28
Porcentaje de lignina (%)	4.91

Elaborado por: Autor

La fibra musa textilis presenta el pH de 7.65 es decir es de carácter neutro, tiene una conductividad eléctrica es de 1.82 uS/cm, el porcentaje de humedad es de 9.84%, es decir, que contiene una mínima cantidad de humedad, la materia orgánica es de 0.75% esto representa una baja carga orgánica presente en la fibra, el porcentaje de cenizas es de 4.28% y de lignina es de 4.91%.

Tabla 8: Caracterización de la fibra Musa Paradisiaca

<b>PARÁMETRO</b>	<b>DATOS OBTENIDOS</b>
Potencial de Hidrógeno (pH)	7.26
Porcentaje de humedad (%)	8.24
Porcentaje de carbónico orgánico (%)	4402
Porcentaje de cenizas (%)	24.49
Porcentaje de lignina (%)	11.73
Densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> )	0.085

Fuente: (Aucancela, 2018)

Según Aucancela (2018) la fibra Musa Paradisiaca presenta un pH neutro, el porcentaje de humedad la fibra es de 8,24% representa bajo de agua, el porcentaje de carbono orgánico (CO) es de 44,02%, es decir, que casi la mitad de la composición de la fibra es carbono orgánico, concordando con lo descrito por Schlegel et al. (2001). Los valores referentes al porcentaje de lignina, porcentaje de cenizas y densidad obtenidos en esta investigación son similares a los reportados por (Cuadrado, 2017).

Tabla 9: Caracterización de la fibra Furcraea Andina

<b>PARÁMETRO</b>	<b>DATOS OBTENIDOS</b>
Potencial de Hidrógeno (pH)	6.717
Porcentaje de humedad (%)	0.81
Porosidad	0.326
Porcentaje de cenizas (%)	1.724
Porcentaje de lignina (%)	10.67
Permeabilidad	0.00336

Fuente: (Baldeón, 2013)

La fibra Furcraea Andina contiene un pH de 6.71 constituyéndose en una fibra con pH neutro, con un porcentaje de humedad del 0.81 esto quiere decir que contiene un porcentaje mínimo de agua en su estructura, existe un 10.68% de lignina dentro de la fibra, el porcentaje de cenizas es de 1.724 % que vendría a ser un valor promedio de materia

orgánica, con permeabilidad de 0.00336 es decir que esta fibra se la puede utilizar en suelos de características para arena muy fina.

### 7.3.Tratamiento del agua sintética con fibras naturales

#### 7.3.1. *Furcraea Andina*:

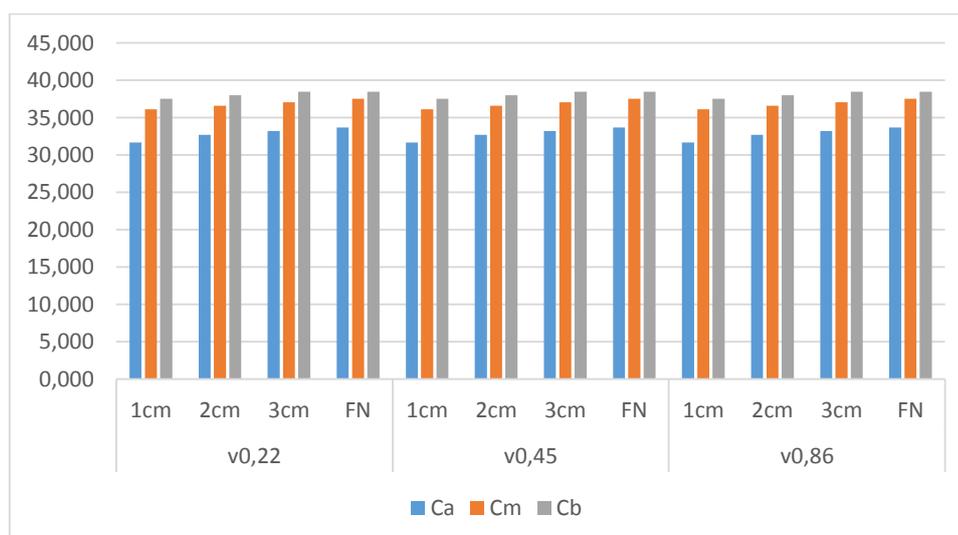
Se muestra los porcentajes de retención (tabla 10) y los resultados de  $Cr^{+6}$  (mg/l) en el que se consideró la velocidad de flujo, la concentración del agua sintética (alta, media, baja), los cortes de fibras (1cm, 2cm, 3cm, fibra cortada):

Tabla 10: Mejores tratamientos para la remoción de  $Cr^{+6}$ .

Concentración	Tratamiento	Vi (mg/l)	Vf (mg/l)	% R	Desviación estándar
Ca.	FNCaV3	0,43	0,28	33,7%	0,180
Cm.	FNCmV3	0,39	0,24	37,5%	0,083
Cb.	FNCbV3	0,35	0,21	38,5%	0,093

Elaborada por: Autor

Figura 1: Porcentaje de remoción fibra (*Furcraea Andina*)



Elaborado por: Autor

En la fibra Furcraea Andina el tratamiento más eficaz fue con fibra cortada normal y velocidad de flujo baja. Para concentración alta y media los porcentajes de remoción se encuentran entre el 33.7% y 37.5% mientras que en concentración baja llega hasta un 38.5% de remoción.

### 7.3.2. Musa Textilis:

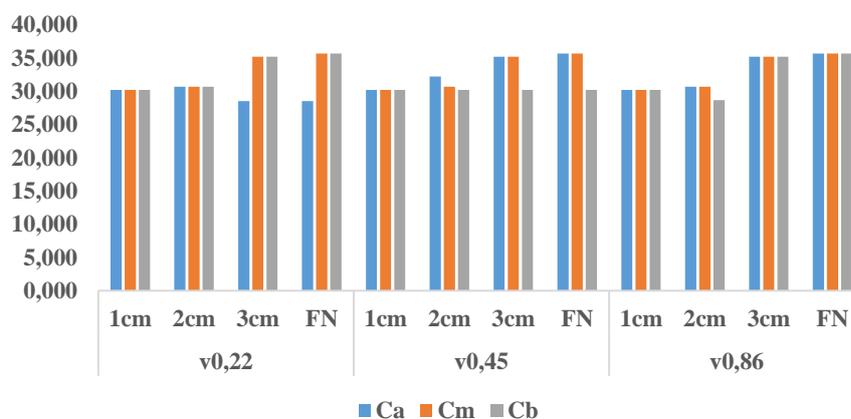
Se muestra los porcentajes de retención (tabla 11) y los resultados de  $Cr^{+6}$  (mg/l) en el que se consideró la velocidad de flujo, la concentración del agua sintética (alta, media, baja), los cortes de fibras (1cm, 2cm, 3cm, fibra cortada):

Tabla 11: Mejores tratamientos para la remoción de  $Cr+6$ .

Concentración	Tratamiento	Vi (mg/l)	Vf (mg/l)	% R	Desviación Estándar
Ca.	FNCaV3	2,81	0,27	35,63%	0.1442
Cm.	F1CmV3	0,61	0,25	35,63%	0.1341
Cb.	F1CbV3	0,38	0,22	35,63%	0.0863

Elaborado por: Autor

Figura 2: Porcentaje de retención fibra (Musa Textilis)



Elaborado por: Autor

En la fibra *Musa Textilis* el tratamiento más eficaz fue con fibra cortada normal y velocidad de flujo alta, media y baja teniendo una similitud del 35.63% de remoción.

Tabla 12: Mejores tratamientos para la remoción de Cr+6.

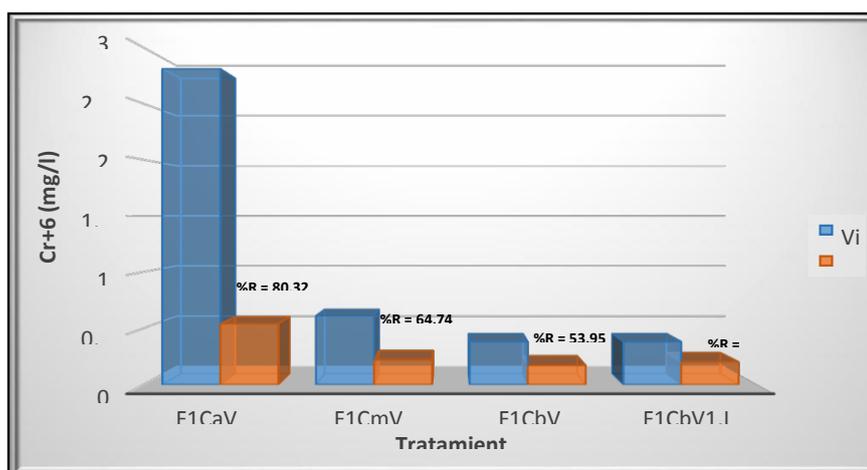
Concentración	Tratamiento	Vi (mg/l)	Vf (mg/l)	%R	Desviación Estándar
Fsinlav. Ca.	F1CaV1	2,81	0,54	80,82	0.0457
Fsinlav. Cm.	F1CmV1	0,61	0,22	64,74	0.0371
Fsinlav. Cb.	F1CbV1	0,38	0,17	53,95	0.0309
Flav. Cb.	F1CbV1. Lav	0,38	0,2	46,95	0.0269

Fuente: (Aucancela, 2018)

### 7.3.3. *Musa Paradisiaca*:

Se muestra los porcentajes de retención en la figura 1 y los resultados de Cr<sup>+6</sup> (mg/l) en el que se consideró la velocidad de flujo, la concentración del agua sintética (alta, media, baja), los cortes de fibras (1cm, 2cm, 3cm, fibra cortada) (Aucancela, 2018):

Figura 3: Mejores tratamientos para la remoción de Cr<sup>+6</sup>.



“En el cromo hexavalente los mejores tratamientos son aquellos en los que la velocidad y la permeabilidad eran menores, así el más eficaz fue con fibra a un

centímetro y velocidad de flujo baja. Para concentraciones medias y bajas los porcentajes de remoción se encuentran entre el 46,95% y 64,74% mientras que en concentraciones altas llega hasta un 80,82% de remoción esto debido a que en concentraciones altas hay mayor cantidad de  $Cr^{+6}$  que remover” (Aucancela, 2018)

### 8. Estudio comparativo de retención de cromo hexavalente en aguas sintéticas con las fibras:

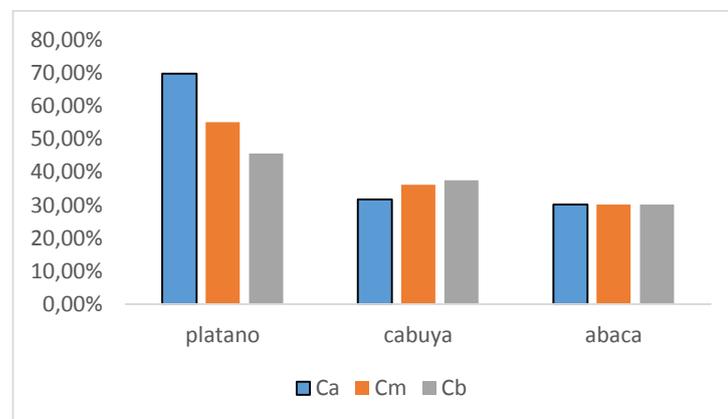
En la tabla 13 se muestra el porcentaje de retención de  $Cr^{+6}$  (mg/l) y se observa la fibra que mejor retención posee de acuerdo a la concentración, velocidad de flujo y al corte de fibra:

Tabla 13: Porcentaje de retención de  $Cr^{+6}$  (mg/l) de las fibras

	<i>Musa Paradisiaca</i> (Plátano)	<i>Furcraea Andina</i> (Cabuya)	<i>Musa Textilis</i> (Abacá)
<b>1cm</b>			
<b>Ca</b>	69,80%	31,70%	30,17%
<b>Cm</b>	55,10%	36,11%	30,17%
<b>Cb</b>	45,64%	37,53%	30,17%

Elaborado por: Autor

Figura 4: Mejor retención de  $C^{+6}$



Elaborado por: Autor

En la Figura 4 se puede observar que la fibra que retiene mayor concentración de Cr<sup>+6</sup> es la fibra de la *Musa Paradisiaca* (Plátano) en concentración alta con un porcentaje de remoción del 69.80% a fibra cortada a 1cm con una velocidad de flujo baja de 0.2

## 9. CONCLUSIONES

- Se encontró que los valores de ambas aguas sintéticas tenían cierta diferencia, debido a que esto dependerá del lote del color que se obtenga, por lo tanto se recomienda que se vuelva a caracterizar el agua sintética para obtener mejores resultados en investigaciones posteriores.
- Dentro de la caracterización de las aguas sintéticas dependerá del lote del color que se obtenga ya que este determinara los valores
- El estudio de las características físicas, químicas e hidráulicas de las fibras (*Musa Paradisiaca*, *Musa Textilis* y *Furcraea Andina*) tales como lignina, cenizas, densidad, porosidad y permeabilidad se realizaron debido a que tienen relación con el efecto de la adsorción de Cr<sup>+6</sup> del agua sintética a ser tratada, y del flujo de agua residual a circular por el lecho filtrante. Esto se pudo corroborar ya que las características hidráulicas y físico-químicas de las fibras son similares a las presentadas por Baldeón (2013), Cuadrado (2017) y Aucancela (2018).
- El porcentaje de remoción más efectivo se dio en la fibra *Musa Paradisiaca* (raquis de plátano) con un valor de 69.80% a fibra cortada a 1cm con una velocidad de flujo baja, las fibras *Musa Textilis* (Abacá) retiene el Cr<sup>+6</sup> en un 30,17% a concentraciones altas medias y bajas con fibra normal y la fibra *Furcraea Andina* (Cabuya) retiene Cr<sup>+6</sup> en un 37,53% a concentración baja con fibra normal.
- La utilización de fibras naturales en los procesos de retención de Cr<sup>+6</sup> son efectivas, de bajo costo y amigables con el ambiente.

## 10. RECOMENDACIONES

- Se han realizado distintas investigaciones sobre la utilización de fibras naturales para la remoción de color, metales y otros parámetros, para estudiar su comportamiento es necesario realizar otras pruebas para la adsorción de estos lechos filtrantes se recomienda realizar pruebas de cinética de reacción entre las fibras y en el agua del colorante utilizando el corte de 1cm para corroborar los porcentajes de remoción obtenidos.

## 11. BIBLIOGRAFIA

HACH. (2000). MANUAL DE ANALISIS DE AGUA. *MANUAL DE ANALISIS DE AGUA Segunda edicion en español*. Loveland, Colorado, EE.UU.

Antamba, C., & Cabrera, A. (2015). *Arrastre de sedimentos pluviales en meandros*. Obtenido de Universidad Central del Ecuador: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/4430/1/T-UCE-0011-166.pdf>

Aucancela, E. (2018). *dspace.unach.edu.ec*. Obtenido de <http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/4866/1/UNACH-EC-ING-AMBT-2018-0011.pdf>

Barbecho, J., & Calle, J. (2012). Caracterización de la conductividad hidráulica de los suelos de la subcuenca del río Tarqui. En J. Barbecho, & J. Calle. Cuenca, Ecuador.

- BERNABÉ, A. A. (20 de 02 de 2015). *http://repositorio.ucsg.edu.ec*. Obtenido de <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/3900/1/T-UCSG-PRE-ECO-CECO-66.pdf>
- Cahuana, A., & Weimar, Y. (Septiembre de 2009). *Material de apoyo didáctico para la enseñanza y aprendizaje de la asignatura de Hidrología CIV-233*. Obtenido de Escurrimiento.
- Cahuana, A., & Yaguar, W. (Septiembre de 2009). *Texto Alumno de Hidrología*. Obtenido de <https://es.slideshare.net/yovanapaucariojeda1/10-texto-de-hidrologa-umss>
- Carriquí, M. (Marzo de 2012). *Estudio batimétrico río Ebro: tramo puente del milenio*. Obtenido de Escola Politecnica Superior D'Edificació de Barcelona:  
<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/15895/1.Memoria%20FINAL%20PFC%20Manuel.pdf>
- Cevallos, C. (2015). *Caracterización de la calidad hídrica de la microcuenca del río Guano*. Obtenido de Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Chaverry, E. (2012). *Métodos de análisis en ingeniería de Recursos Hídricos*. Perú: Universidad Agraria la Molina.
- Cordero, I. (2013). *Evaluación de la gestión territorial de la cuenca del río Paute, estrategias y líneas de acción para superarlas*. Cuenca, Ecuador.
- Corrales, M. J. (Agosto de 2015). *Tratamiento de efluentes de una industria textil del canton Pelileo, Provincia de Tungurahua, contaminados con colorantes azoicos mediante el uso de un proceso Foto-Fenton*. Obtenido de <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/11178/1/CD-6411.pdf>
- Cruces, J. (2007). *Módulo I: Contaminación Ambiental*. Obtenido de <https://slidedoc.es/modelo-modflow-modulo-i-contaminacion-ambiental-master-en-ingenieria-medioambiental-y-gestion-del-agua-2006-2007-autor-joaquin-cruces-de-abia-pdf>

Edison GILPAVAS\*, Paula Eliana ARBELÁEZ-CASTAÑO, José David MEDINA-ARROYAVE y Carlos Mario GÓMEZ-ATEHORTUA. (2018). TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA TEXTIL MEDIANTE COAGULACIÓN QUÍMICA ACOPLADA A PROCESOS FENTON INTENSIFICADOS CON ULTRASONIDO DE BAJA FRECUENCIA. *scielo*, 2.

Fao. (2018). Obtenido de <http://www.fao.org/economic/futurefibres/fibres/abaca0/es/>

Galvez, J. J. (2009). Cartilla Técnica Aguas Subterráneas-Acuíferos. Lima.

IARC. (2018). [www.iarc.fr](http://www.iarc.fr). Obtenido de <https://www.iarc.fr/en/about/index.php>

Ibañez , S., Moreno, H., & Blanquer , J. (2008). *Características del infiltrómetro de doble anillo*. Obtenido de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/7840/AD%20Infiltrometro.pdf>

IDEAM. (Diciembre de 2014). *Informe batimetría lago de Tota*. Obtenido de Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales: <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/16003/Batimetria+Lago+de+Tota/6d14d1a2-a91b-4a20-86e3-58cb4242a616>

León, S. (15 de Marzo de 2017). Comercio. *Sector textil es el segundo de Ecuador que genera más empleo*, pág. 1.

Olmos, L., Reuter, F., Pilan, M., Farias, H. D., Acosta, C., & Miranda, M. (2011). Estudio batimétrico de un embalse de montaña de morfología compleja. CABRA CORRAL, SALTA. Santiago del Estero, Argentina. . Obtenido de [http://irh-fce.unse.edu.ar/R11/TC/TC\\_B26\\_Olmos\\_et\\_al\\_Batimetrias\\_Embalses.pdf](http://irh-fce.unse.edu.ar/R11/TC/TC_B26_Olmos_et_al_Batimetrias_Embalses.pdf)

- Ordoñez, J. (2011). *Cartilla Técnica: Ciclo Hidrológico*. Lima: Sociedad Geográfica de Lima.
- Ortiz, E. (2015). *Caracterización morfométrica, modelación hidrológica y modelación hidráulica para la cuenca del cauce en la urbanización ciudad Blanca, del municipio San Gil, departamento de Santander, mediante el uso de las herramientas HEC-GEOHMS Y HEC-GEORAS*. Bogotá.
- Oxfamintermon. (Mayo de 2016). Obtenido de <https://blog.oxfamintermon.org/cuales-son-las-principales-causas-de-la-contaminacion-del-agua/>
- Ramírez, A. (2010). *Caracterización morfométrica de la subcuenca del río Moctezuma*. Moctezuma.
- Remtavares. (9 de Diciembre de 2015). *Blogs madri+d*. Obtenido de <http://www.madrimasd.org/blogs/remtavares/2015/12/09/132418>
- Reynosa, N. (2014). Recursos hídricos superficiales. En *Diagnóstico de suelos y aguas superficiales de la subcuenca el río Waswalí, Matagalpa, Nicaragua*. Managua, Nicaragua.
- <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/1218/1/PG%20292%20TESIS.pdf>
- Sánchez, J. (Abril de 2013). *Aforos*. Obtenido de Dpto. Geología de la Universidad de Salamanca: <http://hidrologia.usal.es/temas/Aforos.pdf>
- Shimon. (2010). *ater Resources*. Island Press, United States of America.
- Simpson, S. C., & Meixner, T. (15 de Febrero de 2012). *Modeling effects of floods on streambed hydraulic conductivity and groundwater-surface water interactions*. doi:10.1029/2011WR011022
- Tejedor, A. S. (2011). La industria de los colorantes y pigmentos. En *QUIMICA ORGANICA INDUSTRIAL*.

- Téllez, D. J. (2010). ASPECTOS TOXICOLÓGICOS RELACIONADOS CON LA UTILIZACIÓN DEL CROMO EN EL PROCESO PRODUCTIVO DE CURTIEMBRES. 50.
- Torrico, M. (2011). *Determinación de balances hídricos en microcuencas y subcuencas*. Cochabamba.
- Vazquez, E. (2017). Contaminación del agua: causas, consecuencias y soluciones. *Rio Arronte*, 1.
- Vega, L. (20 de Julio de 2012). *Balance hidrológico*. Obtenido de <http://gaia.geologia.uson.mx/academicos/lvega/ARCHIVOS/BALANCE.htm>
- Villodas, R. (2008). *La hidrología, el ciclo hidrológico*. Obtenido de Ciclo hidrológico: <https://es.slideshare.net/rubenfloresyucra5/libro-hidrologa-54971454>
- Zubieta, C. E. (2015). *Materiales mesoporosos ordenados en la eliminación de contaminantes en efluentes textiles*.

## 12. ANEXOS

### ANEXO 1



**LABORATORIO DE SERVICIOS AMBIENTALES**  
Laboratorio de ensayo acreditado por el SAE con acreditación No. OAE LE C 12-006

---

**INFORME DE ANALISIS**

**NOMBRE:** Lorena Flores Luna  
**EMPRESA:** Proyecto de Tesis UNACH  
**DIRECCIÓN:** Darquea y 24 de Mayo – Cdla. La Paz  
**TELÉFONO:** 0999904581  
**NÚMERO DE MUESTRAS:** 108, Agua Residual Sintética

**FECHA DE RECEPCIÓN:** 07 – 02 – 18  
**FECHA DE INFORME:** 19 – 07 – 18

**RESULTADO DE ANÁLISIS**

Porcentaje de remoción de Cr +6 (MUSA TEXTILIS)												
VELOCIDADES	v0,22				v0,45				v0,86			
TAMAÑO DE FIBRA	1cm	2cm	3cm	FN	1cm	2cm	3cm	FN	1cm	2cm	3cm	FN
Ca	30.17%	30.68%	28.50%	28.50%	30.17%	32.20%	35.15%	35.63%	30.17%	30.68%	35.15%	35.63%
Cm	30.17%	30.68%	35.15%	35.63%	30.17%	30.68%	35.15%	35.63%	30.17%	30.68%	35.15%	35.63%
Cb	30.17%	30.68%	35.15%	35.63%	30.17%	30.17%	30.17%	30.18%	30.17%	28.64%	35.15%	35.63%

Porcentaje de remoción de Cr +6 (FURCRAEA ANDINA)												
VELOCIDADES	v0,22				v0,45				v0,86			
TAMAÑO DE FIBRA	1cm	2cm	3cm	FN	1cm	2cm	3cm	FN	1cm	2cm	3cm	FN
Ca	31.7%	32.7%	33.2%	33.7%	31.7%	32.7%	33.2%	33.7%	31.7%	32.7%	33.2%	33.7%
Cm	36.1%	36.6%	37.1%	37.5%	36.1%	36.6%	37.1%	37.5%	36.1%	36.6%	37.1%	37.5%
Cb	37.5%	38.0%	38.5%	38.5%	37.5%	38.0%	38.5%	38.5%	37.5%	38.0%	38.5%	38.5%

Porcentaje de remoción de Cr +6 (MUSA PARADISIACA)												
VELOCIDADES	v0,22				v0,45				v0,86			
TAMAÑO DE FIBRA	Fn	3cm	2cm	1cm	Fn	3cm	2cm	1cm	Fn	3cm	2cm	1cm
Ca	64.60%	65.80%	77.64%	80.82%	62.99%	64.68%	67.15%	69.80%	57.59%	59.74%	65.66%	67.05%
Cm	50.37%	51.69%	60.69%	64.74%	46.27%	50.73%	56.22%	55.10%	43.29%	44.49%	47.86%	48.79%
Cb	42.06%	43.61%	50.60%	53.95%	34.77%	43.41%	44.80%	45.64%	30.18%	31.98%	35.84%	36.04%

**MÉTODOS UTILIZADOS:** Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales APHA, AWWA, WPCF, STANDARD METHODS 21ª EDICIÓN y métodos HACH adaptados del STANDARD METHODS 22ª EDICIÓN.

**RESPONSABLE DEL ANÁLISIS:**  
Lorena Flores Luna

**SUPERVISADO POR:**  
Dr. Juan Carlos Lara R.

  
 Dr. Juan Carlos Lara R.  
 TECNICO L.S.A.

- Los resultados de este informe corresponden únicamente a la(s) muestra(s) analizad(a)s.  
 - Los ensayos marcados con (\*) no se encuentran dentro del alcance de acreditación del SAE.  
 - Se prohíbe la reproducción parcial de este informe sin la autorización del laboratorio.

FMC2101-01

Página 1 de 1

L.S.A. Campus Máster Edison Riera Km 1 ½ vía a Guano Bloque Administrativo.

**ANEXO 2: Porcentaje de cenizas de las fibras**



**ANEXO 3: Peso de la fibra para la caracterización de la fibra**



**ANEXO 4: Peso del colorante Azul BRL**



**ANEXO 5: Permeabilidad de las Fibras**



**ANEXO 6: pH de las fibras**



**ANEXO 7: Prototipo**



ANEXO 8: Aguas Sintéticas



ANEXO 9: Digestión de las muestras tratadas para medir  $\text{Cr}^{+6}$



Elaborado por Autor