



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO AMBIENTAL

TÍTULO DEL TRABAJO DE 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.**

AUTOR:

CRISTHIAN FABIAN CUADRADO SILVA

TUTOR:

VÍCTOR HUGO SUAREZ ORTIZ

RÍOBAMBA- ECUADOR

2017

Los miembros del tribunal de graduación del proyecto de investigación de título:

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.

Presentado por: CRISTHIAN FABIAN CUADRADO SILVA

Dirigido por: VICTOR HUGO SUAREZ ORTIZ

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

Para constancia de lo expuesto firma

.....

Ing. Víctor H. Suarez

Director



Firma

.....

Ing. Benito Mendoza. PhD

Miembro del tribunal



Firma

.....

Dra. Ana Mejía

Miembro del tribunal



Firma

AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Cristhian Fabian Cuadrado Silva

060431009-4



AGRADECIMIENTO

Agradezco el haber llegado a la Facultad de Ingeniería, a la carrera de Ingeniería Ambiental, a los docentes que fueron un apoyo en mi desarrollo profesional, a los ingenieros que fueron un soporte en la resolución de problemas y son grandes educadores.

Recibí un gran sustento en el trabajo de investigación, gracias a cada uno de ellos por todo su apoyo, por brindarnos sus conocimientos hacia mí, y en principal agradezco a mi familia que su un soporte y apoyo en esos momentos buenos y malos.

DEDICATORIA

El siguiente trabajo de investigación dedico a mi madre ya que fue el pilar fundamental para el logro de todas mis metas y gracias a su esfuerzo me dio todo lo necesario para cumplir mis sueños y éxitos.

INDICE

RESUMEN	IX
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Problema	1
1.2 Justificación	1
2. OBJETIVOS	2
2.1 Objetivo general.....	2
2.2 Objetivos específicos	2
3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	3
3.1 Características de las aguas residuales de las industrias textiles.	3
3.2 Tratamiento de aguas residuales de la industria textil.	3
3.2.1 Tratamiento de aguas residuales provenientes de industria textil por métodos tradicionales 3	
3.2.2 Tratamiento de aguas residuales con fibras vegetales	7
4. METODOLOGÍA	8
4.1 TIPO DE ESTUDIO.	8
4.1.1 Operalización de variables.....	8
4.2 Obtención de la fibra del raquis de la planta <i>musa paradisiaca</i>	8
4.3 Caracterización de la fibra del raquis de la planta de <i>musa paradisiaca</i>	9
4.3.1 Determinación de la humedad (FAO, 2012).....	9
4.3.2 Análisis del pH de la fibra	9
4.3.3 Determinación de la lignina	9
4.3.4 Determinación de cenizas	10
4.3.5 Análisis de la Permeabilidad de la fibra	10
4.4 Aplicación de la fibra <i>musa paradisiaca</i> como lecho filtrante para el control del parámetro color.	11

4.5	Determinación de la capacidad de adsorción por volumen de agua tratada.	11
4.6	Análisis estadístico.....	11
5.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	11
5.1	Resultados.....	11
5.1.1	Caracterización de las aguas residuales	11
5.1.2	Caracterización de la fibra	12
5.1.3	Pruebas de tratabilidad.....	13
5.1.4	Análisis de la Varianza (ANOVA).	14
5.1.5	Tiempo de retención	18
5.1.6	Porcentaje de remoción de color.....	19
5.1.7	Capacidad de adsorción por volumen de agua tratada.....	19
5.1.8	Coeficiente de correlación existente entre parámetros analizados.	20
5.2	Discusión.....	22
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	22
6.1	Conclusiones.....	22
6.2	Recomendaciones	23
7.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	25
8.	ANEXOS	27

INDICE DE TABLAS

TABLA 1 Agentes coagulantes	4
TABLA 2. Operalización de variables	8
TABLA 3. Caracterización de agua residual	12
TABLA 4. Caracterización de aguas residuales de la hilandería (Mejía, 2009)	12
TABLA 5. Características de la fibra usada como lecho filtrante.	12
TABLA 6. Las características hidráulicas del lecho filtrante se presentan	13
TABLA 7. Análisis de la variabilidad de los datos obtenidos en las pruebas adsorción de color en el laboratorio	14
TABLA 8. Análisis varianza (ANOVA) de las 6 pruebas realizadas para la adsorción de color.	15
TABLA 9. Análisis varianza (ANOVA) de las 3 pruebas realizadas para la adsorción de color.	16
TABLA 10. Análisis de la variabilidad de datos en la adsorción con altas concentraciones de color.	17
TABLA 11. Análisis de la varianza de los datos obtenidos en el laboratorio con concentraciones medias de color	18
TABLA 12. Tiempo óptimo para la adsorción de color	19
TABLA 13. Porcentaje de remoción del parámetro color durante las 6 pruebas realizadas con la fibra como lecho filtrante.	19
TABLA 14. Capacidad de adsorción por volumen de agua tratada	20

INDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Relación entre las 6 pruebas realizadas	15
Gráfico 2. Relación entre las 3 pruebas con concentración de color.	16
Gráfico 3. Relación entre las dos pruebas realizada con altas concentraciones de color.	17
Gráfico 4 Relación entre concentraciones medias de remoción de color	18
Gráfico 5 Coeficiente de correlación entre los parámetros conductividad y color	20
Gráfico 6. Coeficiente de correlación entre conductividad y la turbidez	21
Gráfico 7. Coeficiente de correlación entre el color y la turbidez	21

RESUMEN

La industria textil usa colorantes químicos en sus procesos de tintura, los residuos de estos procesos producen alteraciones a los ríos cuando son eliminados directamente, esta alteración se genera porque el color no permite el paso de los rayos solares impidiendo los procesos naturales de autodepuración. Este tipo de efluentes son sometidos a tratamientos químicos para bajar cargas contaminantes resultando una gran inversión monetaria para los productores. En este contexto, la hilandería Guijarro vierte directamente agua residual sin tratamiento alguno con concentraciones altas de color al río Guano ocasionando problemas ambientales en el sector. Por tanto, el presente trabajo de investigación se enfoca en la utilización del lecho filtrante con la fibra natural (*musa paradisiaca*) para la remoción de color en las aguas residuales de la textilera, este tipo de tratamiento es una nueva alternativa para la reducción de este parámetro en aguas contaminadas con colorantes. Además, se muestra una alternativa en el manejo residuos sólidos del mercado San Francisco de la ciudad de Riobamba, ya que estos residuos contienen gran cantidad de restos de raquis (del banano), del cual se obtiene una fibra natural después de un proceso de refinamiento. Los resultados muestran que la fibra es capaz de adsorber el 67% en agua residual con concentraciones medias de color, mientras que a concentraciones altas de color se requiere previamente un pretratamiento químico para que el lecho filtrante tenga el mismo porcentaje de fibra.

Palabras claves: colorantes químicos, residuos, autodepuración, *musa paradisiaca*, aguas residuales, contaminadas, raquis, fibra y adsorción.

Abstract

The textile industry uses chemical colouring in its processes of dye, the residues of these processes produce alterations to the rivers when the residues are eliminated directly, this alteration is generated because the color doesn't allow the step of the solar beams preventing the natural processes of self-purification. This type of effluents are submitted to chemical treatments to lower pollutant charges turning out to be a great monetary investment for the producers. In this context, the textile Cecitex spills directly residual water without any treatment with high color concentrations into the river Guano River causing environmental problems in the sector. Therefore, the present investigation focuses in the uses of the filtering with the natural fiber (*musa paradisiaca*) for the removal of color in the waste water of the textile, this kind of treatment is a new alternative for the reduction of this parameter in water contaminated with colouring In addition, an alternative shows in the managing solid residues of the San Francisco Market of Riobamba city, as it these residues contain great quantity of remains of rachis (of the banana), of which a natural fiber is obtained after a process of refinement. The results show that the fiber is capable of adsorbing 67 % in residual water with average concentrations of color, whereas to high concentrations of color a chemical pretreatment is needed before in order that the filtering has the same percentage of absorption.



Reviewed by: Ponce, María
Language Center Teacher



1. INTRODUCCIÓN

1.1 Problema

Las aguas residuales producto de las actividades antrópicas producen alteraciones y problemas ambientales a nivel mundial, cambiando las características de los ecosistemas y además produciendo enfermedades (Salas, 2003). En este contexto la industria textil usa colorantes artificiales, los mismos que generan aguas residuales con colores, estas al ser arrojadas a los lechos de los ríos producen cambios en su ecosistema. (Collaguazo, 2013).

Los efluentes procedentes de industrias textiles contienen altas concentraciones de DQO, DBO, color, pH, conductividad y turbidez, estos afectan los procesos de depuración natural de los cuerpos de agua (Romero, 2015). Los efluentes que contienen colorantes varían en su composición química y en la forma en como alteran el recurso hídrico, por lo cual es necesario realizar la caracterización del vertido para seleccionar el tratamiento adecuando. (Rico, 2013).

La ciudad de Guano se caracteriza por ser una zona de producción artesanal e industrial en cuero y textiles, en este sentido, la industria textil genera gran cantidad de agua residual, la misma que es descargada directamente al río Guano sin ningún tratamiento, esto causa daños a la biodiversidad de especies acuáticas y en los procesos de auto regeneración, convirtiéndose en un problema ambiental y sanitario. Dentro de las actividades de producción textil se encuentra: lavado y tinturado de telas e hilos, para la realización de estos procesos es necesario un elevado volumen de agua, esto implica gran generación de agua residual con cargas de materia orgánica y componentes químicos que perjudican en el desarrollo de acciones autodepuración del río Guano (Mejia, 2009).

1.2 Justificación

Las características de los efluentes procedentes de la industria textil son principalmente el contenido de altas concentraciones de DQO, DBO, colorantes y en algunos casos hasta metales pesados, esto hace que el lecho del río se contamine de forma acumulativa en el tiempo (Rico, 2013).

La industria textil produce gran cantidad de agua residual que es descargada directamente al río Guano generando cambios en los proceso de auto regeneración del cuerpo hídrico. Las industrias textiles de la ciudad de Guano realizan productos en forma artesanal que

no cuentan con una planta de tratamientos de aguas residuales causan alteración en el ecosistema acuático (Mejia, 2009).

El agua residual de la hilandería Guijarro proviene de los proceso de lavado y tinturado de hilos, en este proceso se utiliza gran variedad de tintes que contienen ácidos, sales, bases, agentes humectantes, colorantes y otros acabados auxiliares. Estos residuos son descargados sin ningún tratamiento al lecho del río Guano (Salazar, 2009). De acuerdo a Mejía (2009) este hecho causa enfermedades en la población y produce contaminación ambiental, afectando el desarrollo de actividades de flora y fauna existente en la microcuenca.

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 y como esta planta es considerada como un desecho común se arroja directamente a los botaderos de basura o a los rellenos sanitarios (INEC, 2012). Por tanto, si este desecho fuera sometido a un proceso de refinamiento, se podría obtener una fibra natural que permita tratar aguas residuales, esto hace que la cantidad de desechos sólidos sean menores y por tanto alargando la vida útil de relleno sanitario (CASANOVA, 2014) . De igual manera, la remoción de color del efluente de la empresa Cecitex mediante el lecho filtrante con la fibra de raquis (*musa paradisiaca*). Permite solucionar el problema de manera general de este efluente, puesto que este tipo de sistema de tratamiento puede ser una alternativa de bajo costo que puede complementar el pretratamiento físico-químico. Por tanto, por lo expuesto en los párrafos anteriores se justifica el desarrollo de la investigación.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

- 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.

2.2 Objetivos específicos

- Realizar la caracterización de la fibra del raquis de la planta de *musa paradisiaca*.
- Aplicar fibra del raquis de la planta *musa paradisiaca* como lecho filtrante para el control del parámetro color.

- Determinar la eficiencia de la fibra del raquis de la planta *musa paradisiaca* para control del parámetro color.
- Determinar la capacidad de adsorción por volumen de agua trata

3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

3.1 Características de las aguas residuales de las industrias textiles.

La industria textil a nivel mundial, es causante de la contaminación ambiental de cuencas y microcuencas mediante la producción de aguas residuales en gran volumen con colorantes, proceden de los procesos industriales en donde se generan efluentes con altas concentraciones de color que son enviados al ambiente. Los colorantes textiles tienen gran persistencia en el ambiente haciendo difícil su tratamiento y autoregeneración de los cuerpos hídricos (Collaguazo, 2013). Las aguas residuales de la industria textil son consideradas una de las primeras industria produce contaminación a los medios acuáticos. Estas aguas son consideradas altamente tóxicas por la concentración de químicos se encuentran en los tintes y en los acabos de producto (Salazar, 2009).

La industria textil tiene un consumo masivo de agua en la realización de procesos del lavado de la materia prima y tinturado, en estos procesos originan grandes cantidades de agua residual vertida directamente a los ecosistemas hídricos. Los mismos que tienen altos niveles de contaminación ambiental en colorantes, materia orgánica y reactivos químicos que proceden de la variedad de tintes usados. Estas aguas residuales se caracterizan por tener variación en los parámetros físicos y químicos esto dependerá de la cantidad de colorantes ocupado en el proceso industrial. (Giraldo, 2012). El efluente textil tiene alta concentración de color, DBO, DQO, pH, conductividad entre otros parámetros, que causan cambios en los cuerpos de agua y degradación en los sistemas de drenajes de las ciudades el tratamiento del agua residual depende de las características físicas, químicas y microbiológicas que estén presentes en la misma. (Romero, 2015)

3.2 Tratamiento de aguas residuales de la industria textil.

3.2.1 Tratamiento de aguas residuales provenientes de industria textil por métodos tradicionales

El tratamiento de aguas residuales que proceden de la industria textil se a aplicación numerosas de técnicas basados en procesos físico-químicos de eliminación de color, la mismas generan productos secundarios que afectan a la salud de la población y son muy costosas. A continuación se describen las técnicas tradicionales para el tratamiento de aguas residuales que contienen colorantes. (Rico, 2013)

1. Método de Coagulación-floculación (Castellanos, 2014). Este método está compuesto por dos etapas que se presenta a continuación.

Coagulación: Es la desestabilización de la molécula de agua mediante la utilización de compuestos químicos de cargas electrostáticas, entre las principales sustancias usadas son

TABLA 1 Agentes coagulantes

Agente coagulante	Fórmula
Sulfato de Aluminio o Alumbre	$Al_2(SO_4)_3$
Sulfato férrico	$Fe_2(SO_4)_3$
Sulfato ferroso o caparrosa verde	$FeSO_4$
Cloruro férrico	$FeCl_3$
Aluminato de Sodio	$Na_2Al_2O_4$
Óxido de calcio o cal viva	CaO
Hidróxido de calcio o cal apagada	$Ca(OH)_2$
Policloruro de Aluminio o PAC	$Al_n(OH)_mCl(3_{m-n})$
Clorhidrato de Aluminio o Clurón	$Al_2Cl(OH)_5$

Fuente: (Castellanos. 2014)

Floculación: El crecimiento de aglomeración de flóculos para aumentar el tamaño y peso la partícula, para que pueda sedimentar y las más pequeñas puedan unirse creando una aglomerados mayores que son capaces de precipitarse. El método consiste en la utilización de compuestos químicos químicas (sales de hierro o aluminio) para la formación de sólidos en suspensión. Para su posterior precipitación en el agua residual, gracias a que estas esta compuestas de sustancias orgánicas e inorgánicas que permiten la formación de aglomeraciones que pueden sedimentar. Según (Rico, 2013), la aplicación de esta técnica tiene una remoción de algunos parámetros; como color el 90%, un DBO-DQO del 70%, sin tener dependencia de la variación de temperatura del agua residual descargada en los diferentes proceso de tinturados.

2. Método de tratamiento que se usa el proceso Fenton: técnica donde se oxida al colorantes del efluente, mediante adición sustancia química de peróxido de hidrogeno (H_2O_2) y sulfato ferroso ($FeSO_4$), en condiciones ácidas las mismas afectan a la degradación de los colorantes del agua residual, el cual realiza oxidación del radical hidrógeno libre, es muy reactivo pueden oxidar el tinte hasta llegar a una eliminación parcial el colorante (Rico, 2013). El reactivo de Fenton es un medio de tratamiento químico adecuado de las aguas residuales que son resistentes al tratamiento biológico o son tóxicas para la biomasa viva. La reacción del Fe^{2+} y H_2O_2 va a generar radicales

hidroxilo (HO) altamente reactivos, que a su vez van a reaccionar a continuación por dos vías: la oxidación de Fe (II) a Fe (III) (reacción secundaria) y el ataque a la materia orgánica (moléculas de colorante) disuelta en el agua residual. Este método de oxidación ha demostrado ser efectivo en la decoloración tanto de colorantes solubles e insolubles. Su principal desventaja es la generación de lodos debido a la floculación del reactivo y las moléculas de colorante. El lodo en que se han concentrado las impurezas requiere disposición. Regularmente se incinera para producir energía, pero dicha disposición es vista como no amigable con el ambiente. El rendimiento depende de la formación final de los flocs y su capacidad de sedimentación, sin embargo los colorantes catiónicos no coagulan en absoluto. Los colorantes ácidos, directos, cuba, mordientes y reactivos generalmente si coagulan, pero los flocs resultantes son de mala calidad y no se unen entre sí, obteniéndose resultados mediocres. (Castellanos, 2014)

3. El método de Ozonización es el usado para la degradación de la molécula de colorante en base a la capacidad de oxigenación generada, esta reacción permite que la oxigenación sea más rápida y eficiente para el tratamiento de grandes volúmenes de agua residual donde no se generan productos secundarios pero debe comprobarse la toxicidad de efluente (Rico, 2013). El ozono (O_3) fue utilizado por primera vez en la década de los 70's y es considerado un buen agente oxidante debido a su alto potencial de oxidación en comparación con el cloro (Cl), otro agente oxidante o con el H_2O_2 . La oxidación con O_3 es capaz de degradar fenoles, pesticidas e hidrocarburos clorados y aromáticos. La dosis aplicada al efluente que contiene colorante depende del color total y de la DQO residual para ser eliminada y no deja residuos o formación de lodos y no hay metabolitos tóxicos. La ozonización deja el efluente sin color y con una baja DQO, adecuada para su descarga en los cursos de agua ambientales (Castellanos, 2014).
4. La metodología de la técnica de membranas nos permite la disociación de moléculas de tintes y otros compuestos químicos de capacidad más grande que los poros de la membrana seleccionada. (Rico, 2013) . Este método tiene la capacidad de aclarar, concentrar y sobre todo separar los colorantes presentes en el efluente de manera continua. Tiene algunas características especiales sin igual con respecto a otros métodos; resistencia a temperaturas altas, al ambiente químico adverso y al ataque microbiano. Las desventajas de la filtración son: el alto costo de las membranas, la disposición del residuo concentrado que queda después de la separación, la posibilidad de obstrucción y el reemplazo de las membranas. Este método de filtración es

apropiado para el reciclaje del agua dentro de una planta textil de teñido si el efluente contiene baja concentración de colorantes. (Castellanos, 2014). La aplicación de este método según (Salazar, 2009), mediante la utilización de esta técnica se obtiene una disminución del 82-92 % de DQO, un 95% de sólidos suspendidos totales y en el proceso de biorreactor de membrana se reduce el 55% del porcentaje de color.

5. La adsorción en base a la remoción física de las moléculas de color es donde se utiliza una superficie para la eliminación, la eficiencia de este método está relacionado con las características del espacio y de la variedad de parámetros que se analicen, dependiendo así de la molécula del colorante, pH y el tiempo de saturación de la área en contacto. Un adsorbente muy utilizado es el carbón activo, aunque también se emplean otros adsorbentes inorgánicos (Rico, 2013). El proceso de adsorción ha ganado terreno dentro de las técnicas de tratamiento de los efluentes textiles debido a su eficiencia en la eliminación de colorantes demasiado estables para los métodos convencionales. Mediante la adsorción se genera un efluente de alta calidad y puede ser un proceso económicamente factible. La remoción de los colorantes está influenciada por muchos factores, tanto físicos como químicos, tales como, el tipo de colorante, su interacción con el adsorbente, el tamaño de partícula y la superficie específica del adsorbente, la temperatura, pH y tiempo de contacto. El adsorbente que ha probado una alta eficiencia en la eliminación de los colorantes presentes en los efluentes textiles es el carbón activado, pero tiene el inconveniente de su costo (CASANOVA, 2014).
6. Las técnicas de electroquímicas es una hidrólisis de las aguas con colorante a través de sustancias secundarias generados electrolíticamente utilizando un potencial, el alto consumo de energía eléctrica y creación de compuestos químicos tóxicos que son difíciles de tratarlos disminuyen la capacidad de este método de depuración de efluentes de las industrias textiles (Salas, 2003). Esta es una de las técnicas más recientes, fue desarrollada a mediados de los 90's. La aplicación de una corriente eléctrica (2 – 20 A) entre dos electrodos en agua produce reacciones químicas que generan radicales HO— que oxidarán la materia orgánica. Tiene algunas ventajas significativas para su uso como un método efectivo para la eliminación de colorantes. No hay consumo de productos químicos y no hay acumulación de lodos. El rompimiento de los metabolitos no generan compuestos peligrosos, por esta razón las aguas residuales tratadas pueden liberarse en los cursos de agua. Muestra una eficiente y económica remoción de los colorantes y degradación de contaminantes tóxicos,

aunque velocidades de flujo altas provocan una disminución en la eliminación de los colorantes. El costo de la electricidad utilizada es comparable al precio de algunos de los reactivos químicos oxidantes. (Castellanos, 2014). La aplicación de este método según (Garcés, 2005), con la que degrada 75% de color en concentraciones bajas con un tiempo menor, en las dos muestras analizadas se determina que este método tiene mejores resultados en colores fuertes que tiene una remoción del 98% de la cantidad de color de efluente de un industria textil.

3.2.2 Tratamiento de aguas residuales con fibras vegetales

Según Herrera (2011) el desarrollo de nuevas alternativas para el tratamiento de aguas residuales de industrias que generan grandes volúmenes de agua, la misma que causa un daño al ambiente mediante agentes contaminantes, que pueden acusar una alteración al ecosistema acuático, para ello se analiza la utilización de la cascarilla de arroz creando aguas sintéticas que tiene las características de una curtiembre. La aplicación de la cascarilla de arroz como lecho filtrante para la eliminación de cromo (Cr VI) de agua residual sintética, la misma que influye en la los parámetros de pH, concentración del metal y tiempo de contacto, la cual tiene una remoción del 94% mediante la aplicación del análisis estadístico (**ANOVA**) dando como resultados que es eficiente en la degradación de este metal pesada mediante la carga iónica que proviene la cascarilla de arroz.

Según Torres y Gaibor (2015) el estudio de la tusa de maíz para el tratamiento de aguas residuales de la industria textil, como lecho filtrante para la determinación de la degradación de color teniendo una eficiencia del 78.63 % de remoción de color en los efluentes de la hilandería Guijarro, para la eliminación de colores fuertes con carbón activado del olote. Para esto se realiza la elaboración de un filtro con el cual se puede observar que tiene un resultado con los diferentes tamaños de la tusa y para el tratamiento de las aguas residuales puedan ser descargadas directamente al río Guano. Mediante el procesamiento del mismo a diferentes tamaños de partículas y carbón activado se obtiene resultados de reducción 78,63% de color y un 21,37% de color no reducido, demostrar que el filtro hecho del olote es eficiente con diferentes tamaños de partículas.

Según Vargas (2009), Las aguas residuales derivadas de la industria textil son estudiadas hace mucho tiempo por el problema ambiental que causa a los cuerpos hídricos, para ello se desarrollado bioprocesos, como la biosorción, como una alternativa económica para este tipo de residuales. Se utilizaron cáscaras de naranja como medio de biosorción en el

tratamiento de aguas residuales de la industria textil. Mediante un proceso de refinamiento la cascara de naranja se obtuvo una partícula 1mm de diámetro y durante los primeros 60 min de contacto, Se analizó su comportamiento el mismo que fue eficiente y continuo en el tiempo de contacto.

4. METODOLOGÍA

El presente trabajo de investigación se utilizó las aguas residuales generadas por la hilandería Guijarro, ubicada en la ciudad Guano, provincia de Chimborazo-Ecuador, las muestras de agua residual se tomaran de forma puntual en el descarga de la empresa, las mismas que fueron llevadas al laboratorio de servicios ambientales para su análisis que se realizaran en periodo de 25 días; el raquis de la planta *musa paradisiaca* se obtiene del mercado San Francisco, después de un proceso de refinamiento se obtiene la fibra de raquis para la utilización en el filtro como lecho filtrante.

4.1 TIPO DE ESTUDIO.

El trabajo de investigación es experimental y realizó en el Laboratorio de Servicios Ambientales, de la Universidad Nacional de Chimborazo, con diferentes tipos de muestras de agua residual las mismas que fueron tomadas en la descarga de la empresa en forma puntual y en distintos procesos de tinturado.

4.1.1 Operalización de variables

TABLA 2. Operalización de variables

Variable	Concepto	Categoría	Tecnología	Técnicas y/o instrumentos
Variable independiente: Fibra del raquis de la planta de <i>musa paradisiaca</i>	Es una fibra extraída de la planta de <i>musa paradisiaca</i> y es de origen vegetal	Fibra vegetal de la planta de <i>musa paradisiaca</i>	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Porcentaje de humedad ➤ Análisis de pH de la fibra ➤ Porcentaje de adsorción de color 	STANDARD METHODS
Variable dependiente: Retención del parámetro color de la aguas residuales	Cantidad de removida de color de las aguas residuales	Adsorción del parámetro color de aguas residuales	Porcentaje removido de color en las aguas residuales	STANDARD METHODS

4.2 Obtención de la fibra del raquis de la planta *musa paradisiaca*

Para obtener una fibra que permita el tratamiento de agua residual se realizó las siguientes actividades:

Recolección del raquis de la planta *musa paradisiaca*

Transporte del raquis de la planta

Desmembramiento de la corteza del raquis de la planta *musa paradisiaca*

Trituración o golpeado de la raquis de la planta *musa paradisiaca*.

Se deja a la fibra durante un tiempo de 24 horas que se seque a una temperatura constante de 50 °C.

4.3 Caracterización de la fibra del raquis de la planta de *musa paradisiaca*.

Para cada una de las determinaciones físicas, químicas e hidráulicas de la fibra se realizaron 5 repeticiones, las mismas que fueron:

4.3.1 Determinación de la humedad (FAO, 2012)

$$\% \text{. H} = \frac{m_2 - m_3}{m_2 - m_1} * 100 \quad (1)$$

Dónde: m_1 es el masa de la cápsula vacía y de su tapa (gramos), m_2 es la masa de la cápsula tapada con la muestra antes del secado (gramos), m_3 es la masa de la cápsula con tapa más la muestra desecada (gramos).

4.3.2 Análisis del pH de la fibra

Para la determinación de pH en la fibra se utilizó el método - MÉTODO 4500 H⁺ (STANDARD METHODS, 2005), para lo cual se cortó en trozos pequeños la fibra y se preparó una solución al 1.5% de agua destilada, se determina el pH con el equipo multiparametros.

4.3.3 Determinación de la lignina

Para determinar el % de lignina en la fibra se utilizó el método T 222 om-88 (FIQ, 2007), el que se describe a continuación:

- Se realizó un lavado de la fibra denominado FDA (fibra detergente ácido). El detergente elimina la proteína y otro material soluble en ácido que pueda interferir con la determinación de la lignina.
- El residuo FDA que consta de celulosa, lignina y cenizas insolubles en ácido es tratado con ácido sulfúrico (H₂SO₄) al 72% para disolver la celulosa, luego se hace digestión con una solución de permanganato de potasio (KMnO₄), se lava el residuo con una solución desmineralizadora y se seca a 105 °C.

- Finalmente, el contenido de lignina se calcula basándose en el peso constante de la fibra posterior al FDA luego del secado a 105 °C.

4.3.4 Determinación de cenizas

Las cenizas de la fibra se determinaron según el Método 2540.E (STANDARD METHODS, 2005) descrito a continuación:

- Colocar en el horno de mufla a 550 °C un crisol durante 15 minutos o más.
- Sacar el crisol enfriarlo en un desecador durante al menos 1 hora y una vez enfriado a temperatura ambiente pesar hasta obtener peso constante.
- Pesar 3g de fibra en el crisol tarado, se ubica sobre la placa de calentamiento y se incrementa lentamente la temperatura hasta que cese el desprendimiento de humo y las muestras aparezcan totalmente carbonizadas.
- De inmediato colocar el crisol en el interior de horno de mufla lo más cerca posible al centro e incinerar durante un lapso de 3 horas a 550° C.
- Sacar el crisol de la mufla y colocarlo en un desecador durante 1 hora y dejarlos enfriar. (Las cenizas deben tener aspecto limpio, y color blanco).
- Una vez enfriado se pesa hasta llegar a peso constante, se registra los datos y se utiliza la siguiente ecuación para obtener el % de ceniza:

$$\% \text{ ceniza} = \frac{W_1 - W_2}{W_3} \quad (2)$$

Dónde: W_1 es el peso del crisol tarado, W_2 es la muestra con el crisol y W_3 es el peso final del crisol con la muestra incinerada.

4.3.5 Análisis de la Permeabilidad de la fibra

La permeabilidad se determina mediante la ley de Darcy, la utilización de un permeámetro de sección continua con una celda de diámetro interno $D = 6.4$ cm, altura $L = 15.3$ cm. En el otro extremo se regula el caudal de salida que también es constante y se encuentra conectada la celda, en donde el flujo va de forma ascendente el cual no forma burbujas de agua. Se puede determinar la permeabilidad a diferentes cargas hidráulicas.

$$q = -k \left(\frac{dh}{dl} \right) \quad (3)$$

Dónde: q es el caudal que circula por m^2 de la sección, k es la conductividad hidráulica, y dh/dl son las gradientes expresado en incrementos infinitesimales.

4.4 Aplicación de la fibra *musa paradisiaca* como lecho filtrante para el control del parámetro color.

Antes de aplicar el lecho filtrante con la fibra, se realizó la caracterización del agua residual de la hilandería Guijarro, la que mostró un valor medio de la concentración de color 14308.57 UPt-Co.

Las pruebas de adsorción se realizan con 6 tipos de agua residual, hasta que la fibra se sature del contaminante recolectó datos en concentraciones de color (Pto-Co) cada 10 minutos, pH (H+) cada minuto, conductividad eléctrica (mS/cm) cada minuto y turbiedad (FTU) cada 10 minutos.

4.5 Determinación de la capacidad de adsorción por volumen de agua tratada.

Se realiza usando el tiempo de duración de la fibra durante las pruebas con el volumen de agua tratada por cantidad de fibra usada como lecho filtrante.

4.6 Análisis estadístico

Los datos obtenidos en la experimentación son valorados mediante el análisis estadístico de la varianza ANOVA (George, 2008), para determinar la variación existente entre pruebas de tratabilidad realizadas con el lecho filtrante, y encontrar la relación que existe entre las mismas. Este análisis se realiza de forma manual aplicando las formulas de la media, varianza y desviación de los datos de las muestras y la población., este análisis se realizó a un factor del 95% de confianza.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Resultados

5.1.1 Caracterización de las aguas residuales

En la tabla 2 se reportan los resultados de la caracterización de las aguas residuales de la hilandería Guijarro de la 6 muestras tomadas en los diferentes procesos de tinturado, observándose que el agua tiene un pH básico y que la conductividad tiene una relación directa con la intensidad de color, el mismo que está en función de los proceso de tinturado teniendo un valor medio de 3295 UPt-Co para las tonalidades medias y de 41305 UPt-Co para concentraciones altas.

TABLA 3. Caracterización de agua residual

Caracterización del agua residual				
Muestra de agua residual	Conductividad eléctrica (µS/cm)	pH	Color (U Pt-Co)	Turbidez (FTU)
muestra 1	10520	10,16	3500	47,92
muestra 2	10630	10,43	4540	59
muestra 3	10630	10,53	3920	53
muestra 4	103600	10,9	39030	56
muestra 5	104800	10,8	43580	53,45
muestra 6	101200	10,7	1220	45,7

Elaborado por: Cristhian Cuadrado

Los valores determinados en las aguas residuales de la hilandería Guijarro, en cuanto los valores de color son similares a los reportados por Mejía (2009) en la hilandería Guijarro que se representan en la tabla 3.

TABLA 4. Caracterización de aguas residuales de la hilandería (Mejía, 2009)

Caracterización de las aguas residuales			
Parámetros	Unidades	Método/Procedimiento	Muestra inicial
Ph	[H+]	PE-LSA-01	8,263
Conductividad	us/cm	PE-LSA-02	1312
Oxígeno Disuelto	Ppm	STANDARD METHODS4500-O-G mod	1.35
Solidos	g/L	STANDARD METHODS 2540 – C	917
Color	U Pt-Co	STANDARD METHODS 2120 C	2600

Fuente: Mejía, 2009

5.1.2 Caracterización de la fibra

En la tabla 5 se presentan las características de la fibra en cuanto a los porcentajes de lignina y cenizas.

TABLA 5. Características de la fibra usada como lecho filtrante.

Tipo	% Lignina	% Cenizas
Repetición 1	11,6894	23,1067
Repetición 2	11,6957	22,6789
Repetición 3	11,7036	23,6013
Repetición 4	11,6989	22,4563
Repetición 5	11,7256	22,9056
Media	11,70264	22,94976

Elaborado por: Cristhian Cuadrado

En la tabla 6 se presenta las características físicas de la fibra como son: la permeabilidad la porosidad y la densidad

TABLA 6. Las características hidráulicas del lecho filtrante se presentan

Tipo	Permeabilidad	Porosidad	Densidad (g/cm³)
Repetición 1	0,00335	0,3429	0,084
Repetición 2	0,00334	0,3481	0,084
Repetición 3	0,00341	0,3463	0,084
Repetición 4	0,00337	0,3458	0,084
Repetición 5	0,00334	0,3499	0,084
Media	0,00336	0,3466	0,084

Elaborado por: Cristhian Cuadrado

5.1.3 Pruebas de tratabilidad

Las pruebas de tratabilidad se realizaron en un filtro de polietileno de 4 litros, el mismo que se relleno con un peso aproximado de fibra 545.044g, la adsorción de color se realizaron en las siguientes condiciones de tratabilidad:

Prueba 1.- En esta prueba se realizó el prelavado de la fibra, para eso se hizo recorrer agua potable por el lecho filtrante para eliminar el color original de la fibra, se observó que el color de la primera agua tuvo un valor de 1580 U Pt-Co, llegando a un valor constante después de 4 horas de lavado de 25 U Pt-Co. Luego de esto, se hizo circular el agua residual con un valor inicial 3500 U Pt-Co, llegando a obtener 1220 U Pt-Co después de 3 horas de recirculación.

Prueba 2. Esta prueba se realizó con la fibra normal, es decir sin prelavado, la muestras inicial tuvo una concentración de 4540 U Pt-Co, la mismas que recirculo durante 6 horas reduciendo el lecho filtrante el color a un valor de 1590 U Pt-Co.

Prueba 3. Esta prueba se realizó con la fibra normal es decir sin un prelavado, la muestra inicial contiene una concentración media de color 3920 U Pt-Co, la mismas que se hace circular durante 6 horas por el lecho filtrante reduciendo el valor de color a 1470 U Pt-Co.

Prueba 4. Esta prueba se realizó con la fibra normal, es decir sin un prelavado, el color inicial de la muestras es de 39030 U Pt-Co, luego se hace circular la muestra por el lecho filtrante durante 4 horas haciendo que su concentración de color baje a 33500 U Pt-Co.

Prueba 5. Esta prueba se realizó con la fibra normal, es decir sin un prelavado, la muestra de agua residual tiene una concentración inicial de color 43580 U Pt-Co, la misma que se hace circular por el lecho filtrante durante 6 horas haciendo que la concentración de color baje a 38500U Pt-Co.

Prueba 6. Para esta prueba se realizó un pretratamiento de agua residual con una concentración inicial de color 38300 U Pt-Co, una vez realizado el tratamiento químico la concentración de color baja a 1220 U Pt-Co, la misma que se hace circular por el lecho filtrante durante 8 horas lo cual hace que el color disminuya a 382 U Pt-Co.

Durante toda la prueba se tomaron datos continuos de conductividad y pH, además se registraron los valores de turbidez cada 10 min.

5.1.4 Análisis de la Varianza (ANOVA).

Como el objetivo del estudio es la remoción de color se presenta a continuación los resultados de la varianza de este parámetro:

Resultado 1: Cuando se aplicó el lecho filtrante en las 6 pruebas de tratabilidad se obtuvo diferentes datos correspondientes al tiempo de adsorción indicados en la tabla 7, los resultados indicados en la tabla 8 en donde el F de Fisher crítico de 2183.50 siendo muy alto en relación al valor obtenido al 95% de confianza el cual es 2.277, en este caso se rechaza la hipótesis nula, significando que por lo menos una de las pruebas son diferentes estadísticamente.

TABLA 7. Análisis de la variabilidad de los datos obtenidos en las pruebas adsorción de color en el laboratorio

Pruebas	Datos	Tiempo de remoción de color (horas)
Prueba 1	34	4
Prueba 2	34	6
Prueba 3	34	6
Prueba 4	14	4
Prueba 5	14	4
Prueba 6	20	8

Elaborado por: Cristhian Cuadrado

TABLA 8. Análisis varianza (ANOVA) de las 6 pruebas realizadas para la adsorción de color.

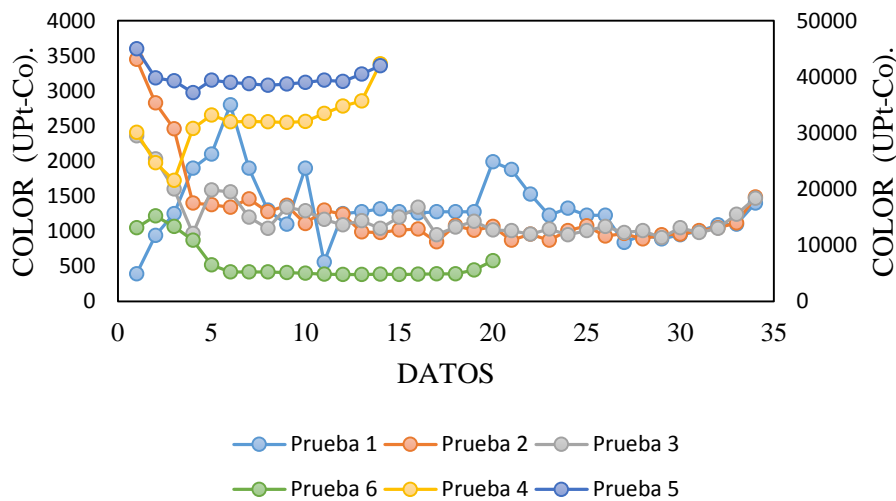
ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre pruebas	2.7789E+10	5	5557761113	2183.51	8.176E-134	2.27704367
Dentro de los pruebas	366528246	144	2545335.04			
Total	2.8155E+10	149				

Elaborado por: Cristian Cuadrado.

En la gráfica 1 se representa las 6 pruebas realizadas en el laboratorio, en donde el eje de las X se representa el número de datos obtenidos del tiempo de adsorción, en el eje de las Y escala izquierda se representa las concentraciones medias de color y en la escala del lado derecho se presenta las concentraciones altas de color.

Gráfico 1. Relación entre las 6 pruebas realizadas

RELACIÓN ENTRE LA PRUEBAS 6 REALIZADAS EN LA REMOCIÓN DE COLOR



Elaborado por: Cristhian Cuadrado.

Resultado 2: los resultados indicados en la tabla 9 en donde el F de Fisher crítico de 3.09 siendo significativo en relación al valor obtenido al 95% de confianza el cual es 0.60 en este caso se acepta la hipótesis nula, significando que las pruebas son similares estadísticamente.

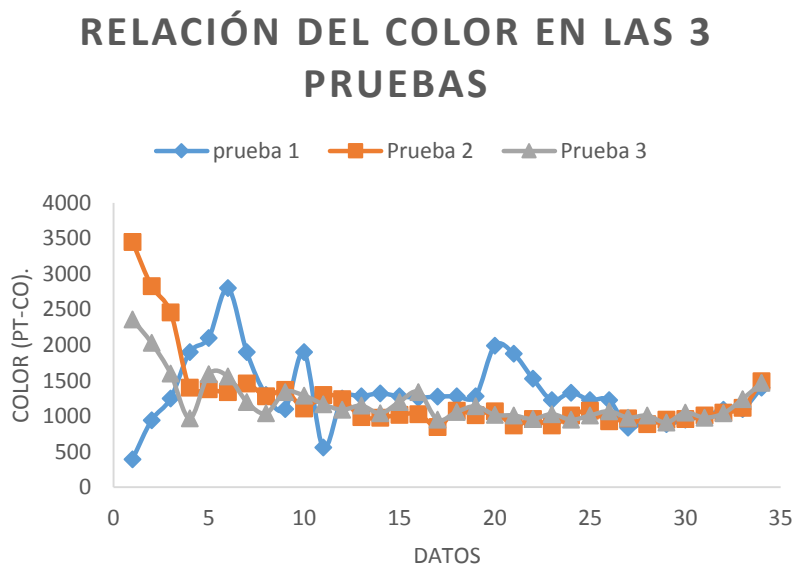
TABLA 9. Análisis varianza (ANOVA) de las 3 pruebas realizadas para la adsorción de color.

ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre pruebas	253642.294	2	126821.147	0.60	0.55	3.09
Dentro de los pruebas	21086126.4	99	212991.176			
Total	21339768.7	101				

Elaborado por: Cristhian Cuadrado.

En el gráfica 2 se observa la relación existente entre las 3 pruebas de tratabilidad realizadas con el lecho filtrante con concentración media de color, donde que la tendencia de reducir el color no depende del valor inicial de la concentración.

Gráfico 2. Relación entre las 3 pruebas con concentración de color.



Elaborado por: Cristhian Cuadrado

Resultado 3: En donde F de Fisher crítico de 32.14 siendo muy alto en relación al valor obtenido al 95% de confianza el cual es 4.23, en este caso se rechaza la hipótesis nula, significando un de los pruebas son diferentes estadísticamente, expresada en la tabla 10

TABLA 10. Análisis de la variabilidad de datos en la adsorción con altas concentraciones de color.

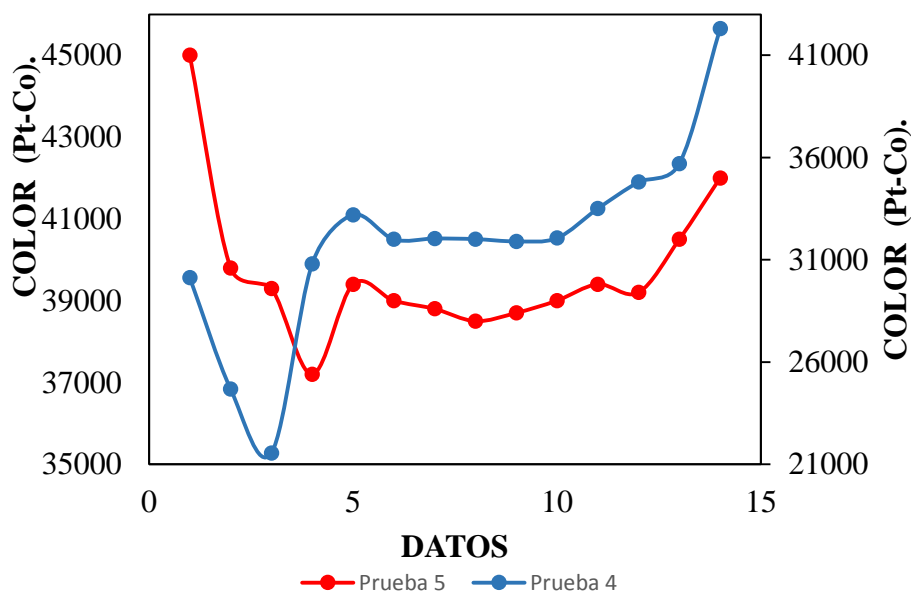
ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre pruebas	425412129	1	425412129	32.14	5.8E-06	4.23
Dentro de los pruebas	344056343	26	13232936.3			
Total	769468471	27				

Elaborado por: Cristian Cuadrado

En el gráfica 3 se observa la relación existente entre las 2 pruebas de tratabilidad realizadas con el lecho filtrante con concentraciones altas de color, donde que la tendencia de reducir el color depende del valor inicial de la concentración.

Gráfico 3. Relación entre las dos pruebas realizada con altas concentraciones de color.

RELACIÓN ENTRE LAS DOS PRUEBAS REALIZADA CON ALTAS CONCENTRACIONES DE COLOR.



Elaborado por: Cristhian Cuadrado

Resultado 4: El F de Fisher crítico 0.27 es significativo al 95% de confianza el cual es 3.99 en este caso la hipótesis se acepta, significa que estadísticamente las pruebas son similares y que la concentración, detallada en la tabla 11.

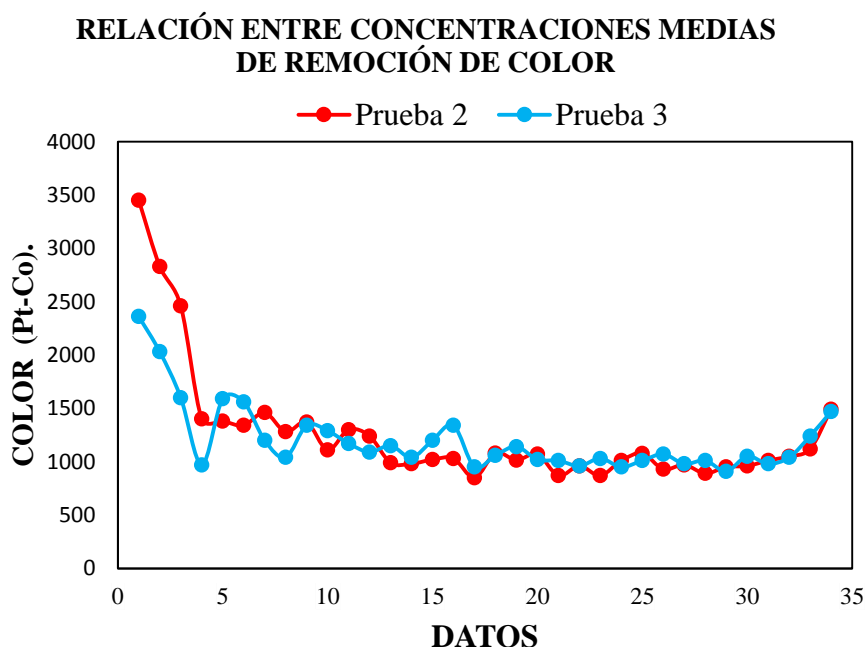
TABLA 11. Análisis de la varianza de los datos obtenidos en el laboratorio con concentraciones medias de color

ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre pruebas	56667.19	1	56667.19	0.27	0.61	3.99
Dentro de los tratamientos	13900554	66	210614.45			
Total	13957221	67				

Elaborado por: Cristhian Cuadrado

En el gráfico 4 se observa la relación existente entre las 2 pruebas de tratabilidad realizadas con el lecho filtrante con concentración media de color, donde que la tendencia de reducir el color no depende del valor inicial de la concentración

Gráfico 4 Relación entre concentraciones medias de remoción de color



Elaborado por: Cristhian Cuadrado

5.1.5 Tiempo de retención

El tiempo de retención permitió determinar la capacidad que tiene la fibra para la adsorción de color en la tabla 11, este tiempo se determinó en las 6 pruebas realizadas en el laboratorio teniendo relevancia en la remoción de colores medios porque se alarga el tiempo de funcionamiento de la fibra, y realizando pretratamiento del agua residual para observar que el lecho filtrante tiene el mismo comportamiento.

TABLA 12. Tiempo óptimo para la adsorción de color

TIEMPO DE RETENCIÓN		
Pruebas	TIEMPO (HORAS)	TIEMPO (MINUTOS)
Prueba 1	3	420
Prueba 2	6	360
Prueba 3	6	360
Prueba 4	4	240
Prueba 5	4	240
Prueba 6	8	480

Elaborado por: Cristhian Cuadrado

5.1.6 Porcentaje de remoción de color.

Se determina la capacidad que tiene la fibra en la remoción de color en las aguas residuales con diferentes concentraciones en la tabla 13. Aquí se describe la concentración inicial de color que contiene el agua residual y la final de la misma al salir por el lecho filtrante.

TABLA 13. Porcentaje de remoción del parámetro color durante las 6 pruebas realizadas con la fibra como lecho filtrante.

RETENCIÓN DE COLOR				
Pruebas	COLOR INICIAL (U Pt-Co).	COLOR FINAL (U Pt-Co).	REMOCIÓN DE COLOR (U Pt-Co).	% DE REMOCIÓN
Prueba 1	3500	1800	1700	48.57
Prueba 2	4540	1490	3050	67.18
Prueba 3	3920	1270	2650	67.60
Prueba 4	39030	33500	5530	14.17
Prueba 5	43580	38500	5080	11.66
Prueba 6	1220	382	838	68.69

Elaborado por: Cristhian Cuadrado

5.1.7 Capacidad de adsorción por volumen de agua tratada.

La masa usada en el lecho filtrante de la fibra nos ayuda a determinar la capacidad que tiene la misma para tratar el agua residual hasta llegar a su tiempo de adsorción, para ello determinamos los litros que pasan por la fibra durante la prueba tratabilidad, con concentraciones altas y medias de colorantes las mismas que se resumen en la siguiente tabla 14.

TABLA 14. Capacidad de adsorción por volumen de agua tratada

Prueba	Volumen de agua (L)	Volumen de agua (m ³)	Masa (g)	Masa (kg)	Capacidad de adsorción (L/g)	Capacidad de adsorción (m ³ / kg)
Prueba	95	0.095	545.044	0.545044	5.737	5.7373
Prueba	40	0.04	545.044	0.545044	13.626	13.626

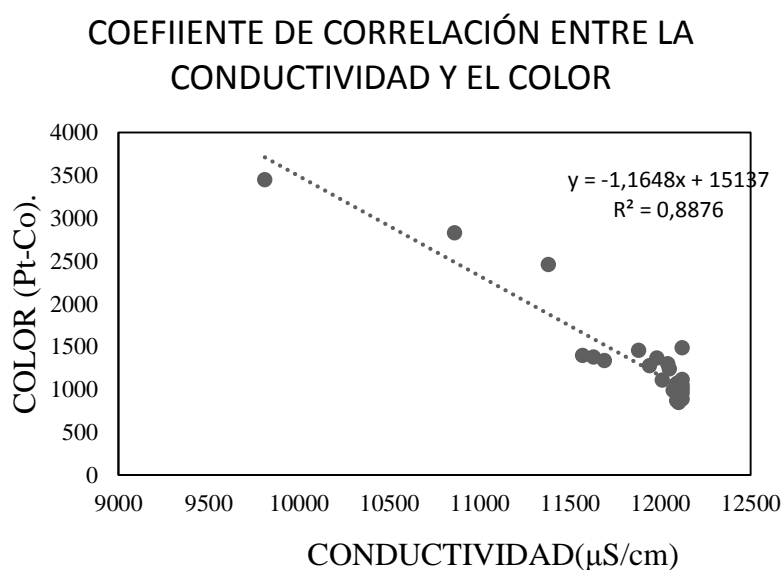
Elaborado por: Cristhian Cuadrado

5.1.8 Coeficiente de correlación existente entre parámetros analizados.

El estudio del coeficiente de correlación permite relacionar dos parámetros entre sí de tal manera que permita cuantificar mediante mediciones de conductividad eléctrica los valores de color y turbidez, en este sentido se presentan dos coeficientes de correlación y las ecuaciones que permiten calcular a partir de la conductividad eléctrica los parámetros mencionados. En la gráfica 5, se demuestra la ecuación de la recta con la cual podemos determinar el parámetro color con respecto a la conductividad eléctrica y el coeficiente de correlación, al ser sometidas al tratamiento con fibra y las mismas características de agua residual.

La gráfica 5 observa el coeficiente de correlación existente entre la color y conductividad eléctrica, en donde el eje de las X se representa por los datos de la conductividad eléctrica, en el eje de las Y estar representa los datos de adsorción de color, los mismos que nos ayudan a encontrar una ecuación.

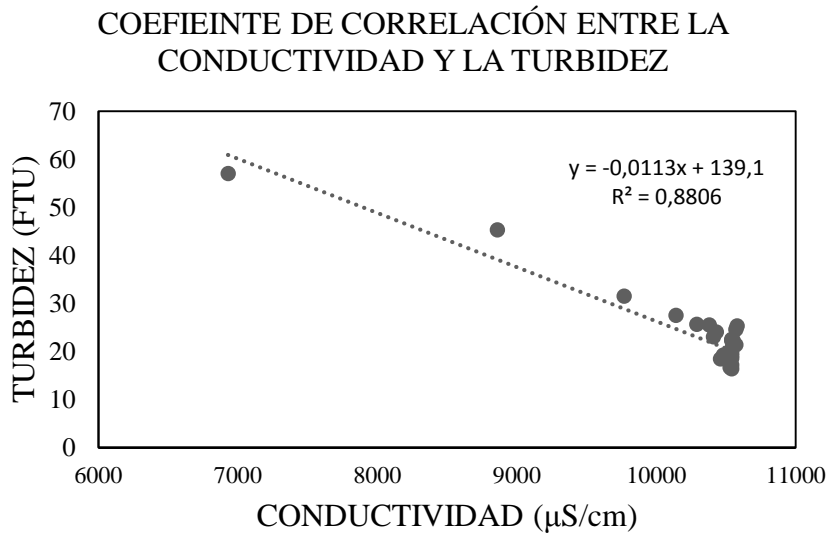
Gráfico 5 Coeficiente de correlación entre los parámetros conductividad y color



Elaborado por: Cristhian Cuadrado

La gráfica 6 se observa el coeficiente de correlación existente entre la turbidez y conductividad eléctrica, en donde el eje de las X se representa los datos de conductividad eléctrica, en el eje de las Y estar representa los datos de la turbidez, los mismos que nos ayudan a encontrar una ecuación.

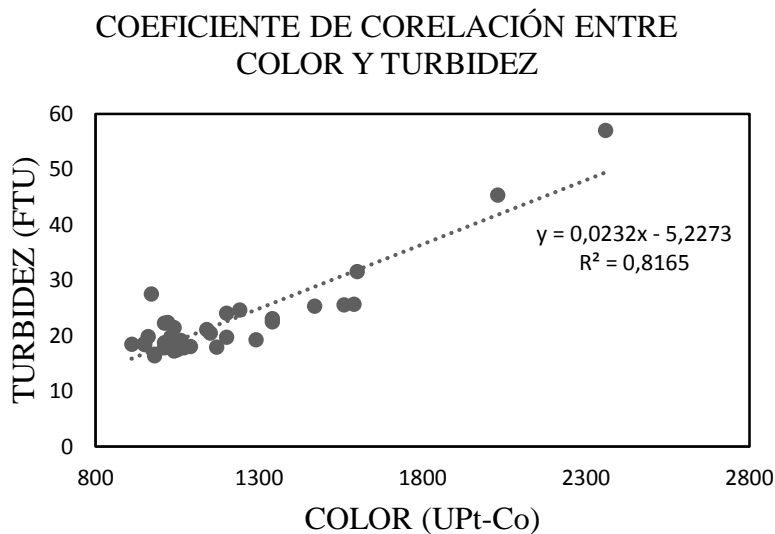
Gráfico 6. Coeficiente de correlación entre conductividad y la turbidez



Elaborado por: Cristhian Cuadrado

En la gráfica 7 se observa el coeficiente de correlación existente entre la turbidez y color, en donde el eje de las X se representa los datos de color, en el eje de las Y representa datos la turbidez, los mismos que nos ayudan a encontrar una ecuación.

Gráfico 7. Coeficiente de correlación entre el color y la turbidez



Elaborado por: Cristhian Cuadrado

5.2 Discusión

El estudio de las características físicas, químicas e hidráulicas de la fibra (*musa paradisiaca*) tales como lignina, cenizas, densidad, porosidad y permeabilidad se realizaron debido a que tienen relación con el efecto de la adsorción de colorantes del agua residual a ser tratada, y del flujo de agua residual a circular por el lecho filtrante.

La filtración se realizó de forma ascendente debido a la densidad baja que presenta la fibra, por otra parte la permeabilidad baja permitió que el contaminante entre en contacto directamente con la fibra adhiriéndose a las paredes de la misma. Además, la velocidad que se utilizó a lo largo de la experimentación fue de 0,05L/ s y constante, ayudando de esta forma al proceso de adsorción del contaminante.

Se observó que al realizar el prelavado de la fibra, esta pierde las características de retención de color respecto a cuándo se utiliza sin prelavado, como se demuestra en la experimentación. Por otra parte aguas residuales con altas concentraciones de color se adhieren más rápidamente a las paredes de la fibra y hace que el tiempo adsorción se acorte respecto a las pruebas con menos carga contaminante. En este caso se observó que el lecho filtrante es más efectivo en concentraciones medias de color y en agua residual pretratada.

El análisis estadístico de la varianza (ANOVA) de las 6 pruebas para la remoción de color de aguas residuales, determinó que si hay relación entre los valores medios de cada una de las pruebas, esto debido a la concentración del agua residual usada en las pruebas. Por tanto, se realizó el mismo análisis usando 3 pruebas que registran concentraciones medias y similares entre sí, de este análisis se obtiene que si tiene relación entre medias de las pruebas y por lo tanto se acepta la hipótesis que se puede comparar los resultados entre estas pruebas. El análisis después se lo aplicó solo en las pruebas con alta concentración de color y el resultado fue el mismo que al usar las 6 pruebas para el análisis ANOVA, no se pueden comparar entre pruebas.

El coeficiente de correlación lineal encontrado entre la conductividad eléctrica - valor de color y conductividad eléctrica - turbidez, muestra como tienen correlación este juego de parámetros ya que para el primer caso se obtuvo un $R^2=0.8876$ y para el segundo caso $R^2=0.8806$, lo que muestra que mediante la conductividad eléctrica se podría encontrar los valores de color y turbidez en aguas residuales de características similares a las usadas en las pruebas de tratabilidad.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

- Como se observó en la experimentación y como lo demuestran los resultados se debe utilizar la fibra directamente sin lavado para que esta sea 100% eficaz en la remoción de color. Además se debe utilizar la misma permeabilidad y velocidad durante la aplicación del tratamiento a escala real, es decir se debe dimensionar el lecho filtrante tomando estas consideraciones. De igual forma es preferible usar este tipo de tratamientos en aguas que han recibido pretratamiento químico y este lecho filtrante puede ser tomado como el paso final de la tratabilidad del agua residual.
- La remoción del 67% de color en concentraciones medias del contaminante, depende de las propiedades físicas, químicas e hidráulicas de la fibra: lignina 11.70264%, cenizas 22.94976%, permeabilidad 0.00336, porosidad 0.3466 y densidad 0.084g/cm³. Además el tiempo de retención también depende de estas propiedades ya que a menor porosidad y menor permeabilidad mayor es el tiempo en el que el contaminante se adhiere a las fibras, esto ha permitido una remoción del 48.57% en fibra prelavado y concentración media de color, en concentraciones altas de color se retuvo el 14% de la concentración, y en agua pretratadas 68%. Por lo tanto, es mejor la utilización del lecho filtrante en aguas residuales con concentraciones medias de color y aguas con pre tratamiento físico-químico.
- El tratamiento estadístico de los datos de las pruebas de tratabilidad de color permitió realizar la correlación entre la conductividad eléctrica-color y conductividad eléctrica-turbidez, obteniendo buenas correlaciones en ambos caso, lo que implica una nueva metodología para determinar los valores de color mediante la determinación de conductividad eléctrica en aguas residuales que mantengan las características de las aguas usadas para este estudio.
- La utilización de la fibra permite no solo tratar afluentes contaminados, sino también significa una reducción considerable de materia orgánica a ser tratada por los gestores municipales de desechos sólidos.

6.2 Recomendaciones

- Para mejora los resultados obtenidos en este estudio es necesario realizar las mismas pruebas de tratabilidad con velocidad, porosidad y permeabilidad diferentes a las utilizadas. De esta manera se evidenciará la mejor configuración para la tratabilidad del color en aguas residuales procedentes de industrias textiles.

- Para determinar si este método es aceptable en la tratabilidad de otras aguas residuales, es necesario realizar las mismas pruebas de tratabilidad con aguas residuales de diferentes fuentes y concentraciones de color.
- Para la disposición de la fibra agotada se debería encapsular la misma debido a que además del color adsorbido contienen metales pesados.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Association, t. A. (2005). *STANDARD METHODS* . Board Memos on BOD determination.

Baldeón, J. (2008). *análisis de fibra de cabuya* . Riobamba : Unach.

CASANOVA, K. (2014). Implementación de una empresa de papel periódico utilizando el raquis de banano como materia prima. Guayaquil: universidad de guayaquil.

Castellanos, S. (2014). Evaluación fisicoquímica por el método de adsorción-coagulación-floculación para la remoción de colorantes del efluente del área de procesos industriales de la empresa textil co&tex s.a.s. periera : universidad tecnológica de pereira.

Collaguazo. (22 de 03 de 2013). *World Water Assessment Programme (WWAP)*. Obtenido de <http://www.unesco.org/new/en/natural-sciences/environment/water/wwap/>

George, E. (2008). Forma Especial de la distribución conjunta de variables. En *Estadística para Investigadores diseño y descubrimiento* (págs. 36-37). Barcelona: Reverte.

Giraldo. (2012). el desarrollo una industria, una necesidad que.sistemaregional. Vo.7-No 2.

INEC. (2012). Desechos solidos en el Ecuador. 6.

Mejia, A. (2009). Plan de manejo ambiental de las aguas residuales indutriales de la hilandería Guijarro. Guano: Unach.

Rico, G. (2013). Tratamiento para la eliminación del color en aguas residuales de la industria textil. *Ingeniería Ambiental* , 5.

Romero, J. (2015). Tratamiento de aguas residuales. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingenieros.

Salas, G. (2003). Tratamiento físico-químico de aguas residuales. Universidad nacional mayor de san marcos-facultad de química e ingeniería química,, 8.

Salazar, L. (2009). Tratamiento de aguas residuales. *INGENIERÍA Y DESARROLLO* , 17.

Torres, N., & Gaibor, K. (2015). Tratamiento de aguas residuales textiles con birreactores membrana es un método para la depuración y remoción de parámetros físico-químico de

un efluente, la misma que generan una mínima cantidad de lodos, al evaluar la eficiencia de la tecnología para I. Riobamba: Unach.

8. ANEXOS

Anexo 1: Obtención de la fibra de raquis

Figura 1. Remoción de la corteza de raquis de la planta musa paradisiaca



Figura 2. Triturado del raquis de la planta musa paradisiaca



Figura 3. Secado de la fibra de raquis



Anexo 2 Caracterización de la fibra raquis en las propiedades físicas, químicas e hidráulicas

Figura 4. Peso del crisol tarado



Figura 5. Peso del crisol tarado con 3 gramos de muestra



Figura 6. Determinación del porcentaje de humedad de la fibra



Figura 7. Muestra incinerada puesta en el desecador



Figura 8. Homogenización de la muestras con aguas para la determinación de pH



Figura 9. Llenado del Filtro para la determinación la permeabilidad de la fibra



Figura 10. Determinación de la permeabilidad de la fibra



ANEXO 3. Caracterización del agua residual de la hilandería Guijarro



LABORATORIO DE SERVICIOS AMBIENTALES



Nº SE: 053-17

INFORME DE ANALISIS

NOMBRE: Sr. Cristian Cuadrado **INFORME Nº** 053- 17
EMPRESA: Proyecto de Tesis UNACH **Nº SE:** 053-17
DIRECCIÓN: Av. Antonio José de Sucre Km 1 ½ vía a Guano

FECHA DE RECEPCIÓN: 20 - 02 -17

TELÉFONO: **FECHA DE INFORME:** 06 - 03- 17

NÚMERO DE MUESTRAS: 6

TIPO DE MUESTRA: Agua

IDENTIFICACIÓN:	Muestra 1	1. Textil concentraciones medias de color	Agua
	Muestra 2	2. Textil concentraciones medias de color	Agua
	Muestra 3	3. Textil concentraciones medias de color	Agua
	Muestra 4	4. Textil concentraciones altas de color	Agua
	Muestra 5	5. Textil concentraciones altas de color	Agua
	Muestra 6	6. Textil agua pretratada	Agua

El laboratorio se responsabiliza solo del análisis, no de las muestras.

RESULTADO DE ANÁLISIS

Muestras 1

PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO/PROCEDIMIENTO	RESULTADO	U(K=2)	FECHA DE ANÁLISIS
pH	[H ⁺]	PE-LSA-01	10.16	+/- 0.08	20 - 02 -17
Conductividad	µS/cm	PE-LSA-02	10520	+/- 8 %	20 - 02 -17
* Turbiedad	FTU - NTU	STANDARD METHODS 2130 B	47.92	N/A	20 - 02 -17
* Color	Upt-co	STANDARD METHODS 2120 C	3500	N/A	20 - 02 -17

Muestras 2

PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO/PROCEDIMIENTO	RESULTADO	U(K=2)	FECHA DE ANÁLISIS
pH	[H ⁺]	PE-LSA-01	10.43	+/- 0.08	21 - 02 -17
Conductividad	µS/cm	PE-LSA-02	10630	+/- 8 %	21 - 02 -17
* Turbiedad	FTU - NTU	STANDARD METHODS 2130 B	53.45	N/A	21 - 02 -17
* Color	Upt-co	STANDARD METHODS 2120 C	4540	N/A	21 - 02 -17

Muestras 3

PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO/PROCEDIMIENTO	RESULTADO	U(K=2)	FECHA DE ANÁLISIS
pH	[H ⁺]	PE-LSA-01	10.53	+/- 0.08	23 - 02 -17
Conductividad	µS/cm	PE-LSA-02	10630	+/- 8 %	23 - 02 -17
* Turbiedad	FTU - NTU	STANDARD METHODS 2130 B	53	N/A	23 - 02 -17
* Color	Upt-co	STANDARD METHODS 2120 C	3920	N/A	23 - 02 -17

-Los resultados de este informe corresponden únicamente a la(s) muestra(s) analizad(a)s.
 -Se prohíbe la reproducción parcial de este informe sin la autorización del laboratorio.

Página 1 de 2

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





LABORATORIO DE SERVICIOS AMBIENTALES



Nº SE: 053-17

Muestra 4

PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO/PROCEDIMIENTO	RESULTADO	U(K=2)	FECHA DE ANÁLISIS
pH	[H ⁺]	PE-LSA-01	10.9	+/- 0.08	01 - 03 -17
Conductividad	µS/cm	PE-LSA-02	103600	+/- 8 %	01 - 03 -17
* Turbiedad	FTU - NTU	STANDARD METHODS 2130 B	56	N/A	01 - 03 -17
* Color	Upt-co	STANDARD METHODS 2120 C	39030	N/A	01 - 03 -17

Muestra 5

PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO/PROCEDIMIENTO	RESULTADO	U(K=2)	FECHA DE ANÁLISIS
pH	[H ⁺]	PE-LSA-01	10.8	+/- 0.08	03 - 03 -17
Conductividad	µS/cm	PE-LSA-02	104800	+/- 8 %	03 - 03 -17
* Turbiedad	FTU - NTU	STANDARD METHODS 2130 B	53.45	N/A	03 - 03 -17
* Color	Upt-co	STANDARD METHODS 2120 C	43580	N/A	03 - 03 -17

Muestra 6

PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO/PROCEDIMIENTO	RESULTADO	U(K=2)	FECHA DE ANÁLISIS
pH	[H ⁺]	PE-LSA-01	10.7	+/- 0.08	06 - 03 -17
Conductividad	µS/cm	PE-LSA-02	101200	+/- 8 %	06 - 03 -17
* Turbiedad	FTU - NTU	STANDARD METHODS 2130 B	45.7	N/A	06 - 03 -17
* Color	Upt-co	STANDARD METHODS 2120 C	1220	N/A	06 - 03 -17

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 21ª EDICIÓN.

RESPONSABLES DEL ANÁLISIS:

Dr. Juan Carlos Lara
Benito Mendoza T., Ph.D.


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

-Los resultados de este informe corresponden únicamente a la(s) muestra(s) analizada(s).
-Se prohíbe la reproducción parcial de este informe sin la autorización del laboratorio.

Página 2 de 2

FMC2101-01

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

ANEXO 4. Pruebas de adsorción de color en el laboratorio con el lecho filtrante

Figura 11. Color inicial del agua relavado de la fibra

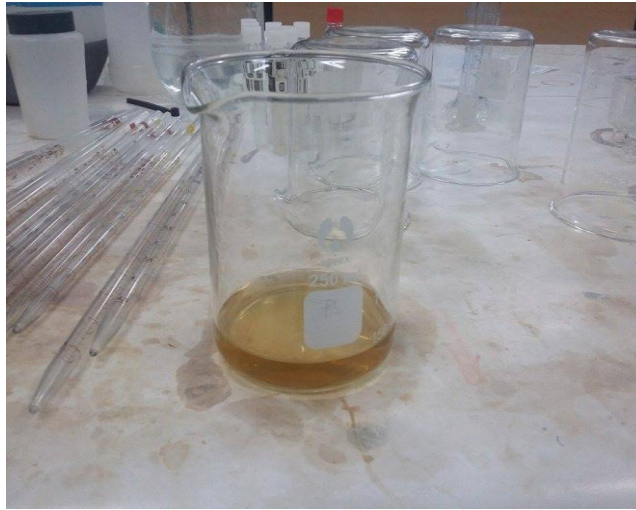


Figura 12. Color final del agua en el prelavado de la fibra



Figura 13. Muestra 1 agua residual



Figura 14. Agua tratada por el lecho filtrante.

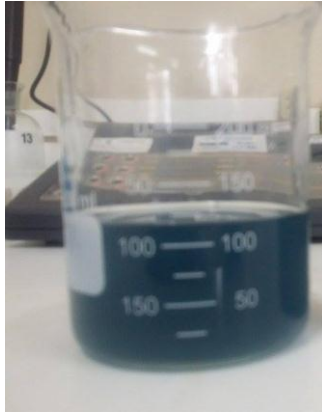


Figura 15. Remoción de color al por el lecho filtrante

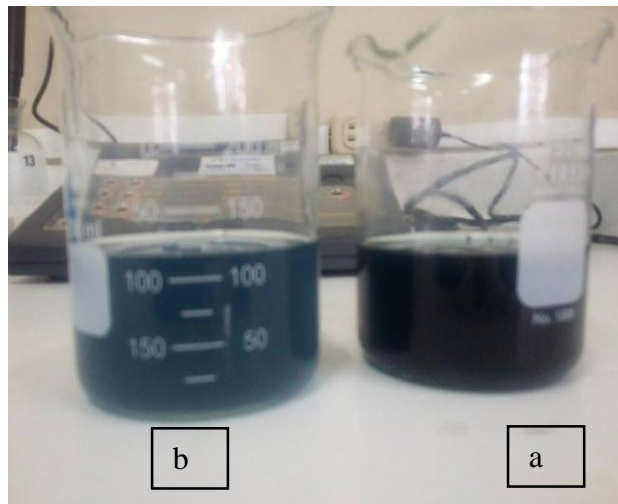


Figura 16. Fibra resultante de tratamiento de agua



Figura 17. Muestra 2 del agua residual

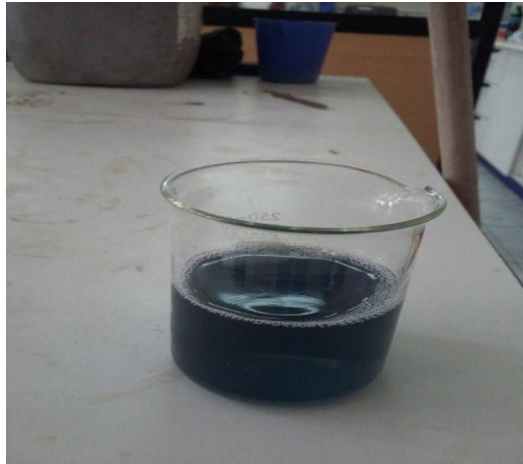


Figura 18. Agua tratada por el lecho filtrante

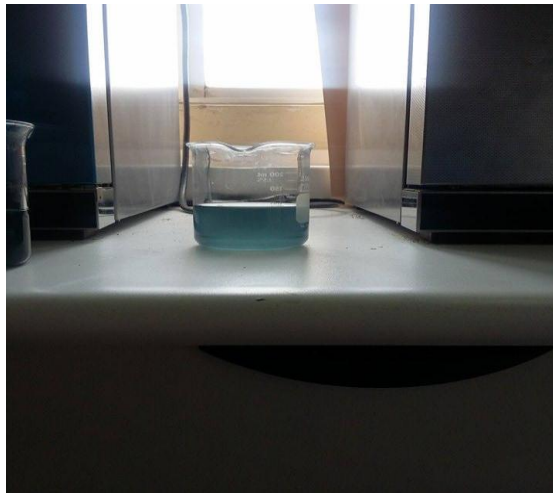


Figura 19. a) muestras del agua residual. b) agua tratado por el lecho filtrante



Figura 20. Fibra utilizada en el tratamiento



Figura 21. Muestra 5 de agua residual



Figura 22. Agua tratada por el lecho filtrante



Figura 23. Fibra utilizada en el tratamiento



Figura 24. Tratamiento físico químico del agua residual



Anexo 5. Equipos utilizados en la investigación

Figura 25. Lecho filtrante (filtro)



Figura 26. Equipo multiparámetros



Figura 27. Balanza analítica



Figura 28. Desecador



Figura 29. Medidor de pH



Figura 30. Tubodimetro



Figura 31. Espectrofotómetro HACH (DR 5000).



Figura 32. Bomba

