

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO



FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Proyecto de Investigación previo a la obtención del título de Ingeniero Ambiental.

TRABAJO DE TITULACIÓN

“DETERMINACIÓN DE LA CINÉTICA DE REACCIÓN DE LA ADSORCIÓN DE CONTAMINANTES EN AGUAS RESIDUALES SINTÉTICAS POR FIBRAS NATURALES”

Autor

INTRIAGO GORDILLO JHANDRE RONALD

Tutor:

Dra. Ana Mejía López

Riobamba - Ecuador

Año

2019

CERTIFICACIÓN DEL TRIBUNAL

Los miembros del tribunal de Graduación del proyecto de investigación de título; **“DETERMINACIÓN DE LA CINÉTICA DE REACCIÓN DE LA ADSORCIÓN DE CONTAMINANTES EN AGUAS RESIDUALES SINTÉTICAS POR FIBRAS NATURALES”**.

Presentado por: Jhandre Ronald Intriago Gordillo

Dirigido por: Dra. Ana Mejía López

Una vez escuchada la defensa oral y revisado el informe final del proyecto de investigación con fines de graduación, se constató el cumplimiento de las observaciones realizadas y se remite el presente para uso y custodia en la biblioteca de la Universidad Nacional de Chimborazo.

Para constancia de lo expuesto firma:

Dra. Ana Mejía López
Tutora del Proyecto de investigación


.....
Firma

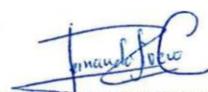
Ing. Benito Mendoza PhD
Miembro del Tribunal


.....
Firma

Ing. Víctor Suarez MgS.
Miembro del Tribunal


.....
Firma

Ing. María Fernanda Rivera C MsC.
Presidente del Tribunal.


.....
Firma

DECLARACIÓN EXPRESA DE TUTORÍA

Por la presente, certifico que el actual trabajo de investigación previo a la obtención del título de **INGENIERO AMBIENTAL**, elaborado por el señor **Jhandre Ronald Intriago Gordillo** con el tema: “**DETERMINACIÓN DE LA CINÉTICA DE REACCIÓN DE LA ADSORCIÓN DE CONTAMINANTES EN AGUAS RESIDUALES SINTÉTICAS POR FIBRAS NATURALES**”, el mismo que fue analizado y supervisado bajo mi asesoramiento permanente en calidad de Tutora y Guía, por lo que se encuentra apto para ser presentado y defendido.

Es todo lo que puedo informar en honor a la verdad.



.....
Dra. Ana Mejía López
C.C. 0601948813

AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Yo, Jhandre Ronald Intriago Gordillo con cedula de identidad N° 1723770705; hago referencia como autor del presente trabajo de investigación, titulado: “**DETERMINACIÓN DE LA CINÉTICA DE REACCIÓN DE LA ADSORCIÓN DE CONTAMINANTES EN AGUAS RESIDUALES SINTÉTICAS POR FIBRAS NATURALES**”, dirigido por la tutora del proyecto, Dra. Ana Mejía López.

En virtud de ello, manifestamos la originalidad de la conceptualización del trabajo, datos obtenidos, interpretación de resultados, y la elaboración de conclusiones, con el aporte de varios autores que se han referenciado apropiadamente en el contenido del documento.


Jhandre Ronald Intriago Gordillo
C.C. 1723770705

AGRADECIMIENTO

Gracias a la Universidad Nacional de Chimborazo en especial a la Carrera de Ingeniería Ambiental por ayudarme en mi proceso formativo profesional, a sus docentes, compañeros y amigos que he conseguido durante este gran tiempo que he pasado en esta maravillosa Universidad.

Agradezco a mi tutora de proyecto de investigación la Dra. Anita Mejía por su conocimiento y dirección en este proceso integral para culminación de mi trabajo de investigación. Agradezco al Ing. Benito Mendoza PhD por su orientación y todo su valioso tiempo invertido en este trabajo. Gracias al Dr. Juan Carlos Lara y a todo el personal del LSA (Laboratorio de Servicios Ambientales) de la Facultad de Ingeniería por todo el apoyo que recibí durante mi proceso de experimentación.

Gracias a mis padres y hermanos por ser las personas que han guiado mi camino con consejos, experiencias, apoyos y motivaciones que me han brindado a lo largo de mi tiempo estudiantil y de vida emocional.

También agradezco al Instituto de Fomento al Talento Humano por su apoyo económico a través de una beca que ha impulsado a lograr mis sueños profesionales y que pueda aportar en retribución a mi país.

Jhandre Ronald Intriago Gordillo

DEDICATORIA

Este trabajo de investigación está dedicada a mi familia; a mi madre Olga que siempre ha estado a mi lado y confiado en mí, por toda la educación que me ha inculcado a lo largo de mi vida; a mi padre Nixon que me ha enseñado a observar la vida desde un punto de vista diferente y por todo su apoyo.

A mis hermanos queridos Jeaneth y Daniel que han sido un apoyo incondicional siendo mi inspiración con sus consejos y palabras de aliento que hicieron de mí una mejor persona. A mis hermanos menores Mishelle y Milan que como hermano mayor espero servirles de inspiración para que cumplan sus más grandes sueños. Al resto de mi familia que de alguna u otro manera me acompañan en la realización de mis sueños y metas.

También dedico mi trabajo a cada uno de los docentes, compañeros y amigos que han estado a mi lado en todo el proceso de educación, sin duda alguna sus aportes han sido muy valiosos para mí.

Jhandre Ronald Intriago Gordillo

SIGLAS Y ABREVIATURAS

DQO: Demanda química de oxígeno.

pH: Potencial de Hidrógeno.

%m/v: Porcentaje masa volumen.

TULSMA: Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente.

K_v : Constante de velocidad.

$t_{0,5}$: Vida media de una reacción.

V : Velocidad de una reacción

ÍNDICE

CERTIFICACIÓN DEL TRIBUNAL.....	ii
DECLARACIÓN EXPRESA DE TUTORÍA.....	iii
AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN	iv
AGRADECIMIENTO	v
DEDICATORIA.....	vi
SIGLAS Y ABREVIATURAS	vii
RESUMEN	xiii
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPITULO I.....	3
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
1.1. Planteamiento del Problema	3
1.2. Justificación	3
1.3. Objetivos.....	4
1.3.1. Objetivo general	4
1.3.2. Objetivos específicos.....	4
CAPÍTULO II.....	5
MARCO TEÓRICO	5
2.1. Colorantes industriales	5
2.2. Colorantes azoicos.....	5
2.3. Colorante azul BRL	6
2.4. Impacto Ambiental de los efluentes coloreados	6
2.4.1. Efectos ecológicos	7
2.4.2. Efectos toxicológicos.....	7
2.5. Límites máximos permisibles.....	8

2.6. Cinética de adsorción en un sistema Bach.....	8
2.7. Cinética de reacciones químicas.....	9
2.7.1. Velocidad de reacción.	9
2.7.2. Ley de velocidad de reacción química.	9
2.7.3. Ecuación de la velocidad	10
2.7.4. Vida media de la reacción	12
2.7.5. Orden de reacción.....	13
2.7.6. Constante de la velocidad.....	14
2.7.7. Mecanismos de reacción.....	14
2.7.8. Energía de activación.....	15
CAPÍTULO III.	16
METODOLOGÍA.....	16
3.1. Elaboración del agua sintética	16
3.2. Recolección, obtención y pretratamiento de las fibras (<i>musa paradisiaca</i> , <i>musa textiles</i> y <i>Furcraea andina</i>).....	17
3.3. Caracterización del agua sintética.	17
3.4. Pruebas de cinética de absorción entre las fibras y el agua sintética.....	18
3.5. Caracterización del agua tratada.....	19
3.6. Aplicación de un análisis estadístico de los resultados obtenidos.....	19
CAPÍTULO IV.	20
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	20
4.1. Caracterización del agua sintética	20
4.2. Remoción del Color.....	20
4.3. Remoción del Cobre	21
4.4. Comportamiento del pH	23
4.5. Comportamiento de la conductividad eléctrica	24

4.6. Comportamiento del DQO.....	25
4.7. Velocidad de reacción del Color	27
4.8. Velocidad de reacción de la concentración del Cobre con las fibras.	27
4.9. Variación de energía (energía de activación de la reacción)	29
4.10. Análisis de varianza ANOVA	31
CONCLUSIONES.....	33
RECOMENDACIONES	34
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	35
ANEXOS	38
Anexo 1: Resultados de análisis de ANOVA para los diferentes parámetros.....	38
Anexo 2: Preparación de las fibras.....	40
Anexo 3: Elaboración del agua sintética	40
Anexo 4: Recipiente con fibra y agua sintética en diferentes concentraciones.....	41
Anexo 5: Tomas de muestras.....	41
Anexo 6: Análisis de las muestras.....	41
Anexo 7: Fibra después del tratamiento	42

ÍNDICE DE TABLA

Tabla 1. Propiedades del colorante Azul BRL.....	6
Tabla 2: Límites máximos permisibles	8
Tabla 3 Posibles pasos elementales y cuáles serían sus ecuaciones de velocidad	14
Tabla 4: Concentraciones del agua sintética.....	16
Tabla 5: Métodos para la caracterización del agua sintética.	18
Tabla 6: Diseño experimental.....	18

Tabla 7: Caracterización del agua sintética	20
Tabla 8: Reacción del agua sintética a tres concentraciones con la Fibra Furcraea andina.....	20
Tabla 9: Reacción del agua sintética a tres concentraciones con la Fibra Musa textiles	21
Tabla 10: Reacción del agua sintética a tres concentraciones con la Fibra Musa Paradisiaca	21
Tabla 11: Remoción del cobre a través de la Fibra Furcraea andina.....	22
Tabla 12: Remoción del cobre a través de la Fibra Musa textiles.....	22
Tabla 13: Remoción del cobre a través de la Fibra Musa Paradisiaca	23
Tabla 14 Comportamiento del pH con la Fibra Furcraea andina.	23
Tabla 15 Comportamiento del pH con la Fibra Musa textiles	23
Tabla 16 Comportamiento del pH con la Fibra Musa Paradisiaca.....	24
Tabla 17 Comportamiento de la conductividad con la Fibra Furcraea andina.	24
Tabla 18 Comportamiento de la conductividad con la Fibra Musa textiles	25
Tabla 19 Comportamiento de la conductividad con la Fibra Musa Paradisiaca.....	25
Tabla 20 Comportamiento del DQO con la Fibra Furcraea andina.....	26
Tabla 21 Comportamiento del DQO con la Fibra Musa textiles.....	26
Tabla 22 Comportamiento del DQO con la Fibra Musa Paradisiaca	26
Tabla 23: Velocidad de reacción del color en las fibras Musa textiles y Furcraea andina	27
Tabla 24: Velocidad de reacción del cobre con la fibra Furcraea andina.....	27
Tabla 25: Velocidad de reacción del cobre con la fibra Musa textiles	28
Tabla 26: Velocidad de reacción del cobre con la fibra Musa paradisiaca	28
Tabla 27: Resumen de prueba ANOVA para dos factores con relación al cobre.....	31
Tabla 28: Resumen de prueba ANOVA con relación velocidad de reacción y energía de activación del cobre.....	32
Tabla 29: Resumen de prueba ANOVA para dos factores con relación al color	38
Tabla 30: Resumen de prueba ANOVA para dos factores con relación al DQO	38
Tabla 31: Resumen de prueba ANOVA para dos factores con relación al pH.....	39
Tabla 32: Resumen de prueba ANOVA para dos factores con relación a la conductividad	39

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Estructura molecular del colorante Azul BRL.	6
Figura 2: Cinética de adsorción en un sistema tipo Bach	8
Figura 3: Típica curva de concentración-tiempo.	10
Figura 4: diferentes cortes de la fibra a utilizar.	17
Figura 5 (a y b): Variación de energía en concentración alta del color con la fibra Furcraea andina y Musa textiles	29
Figura 6: Variación de energía del cobre con la fibra Furcraea andina.....	30
Figura 7: Variación de energía del cobre con la fibra Musa textiles.....	30
Figura 8: Variación de energía del cobre con la fibra Musa paradisiaca	31

RESUMEN

La eliminación de colorantes en los efluentes representa un reto tecnológico y económico a nivel mundial, ya que generalmente están acompañados de otros tipos de contaminantes. Este trabajo tiene como objetivo estudiar la cinética de reacciones en el proceso de adsorción del contaminante mediante tres fibras naturales (*Musa paradisiaca*, *Musa textiles* y *Furcraea andina*); es decir, medir la velocidad de reacción y la variación de energía entre el agua sintética elaborada con colorante azul BRL y un estándar de cobre a diferentes concentraciones y las fibras con cortes a 1cm (F1CM) y fibra sin corte (FN); se realizó 18 pruebas de tipo Bach en 96 horas de retención cada una; se determinó pH, color, DQO, conductividad eléctrica y cobre cada 24 horas. Los resultados muestran, que la fibra *Furcraea andina* fue más efectiva en adsorción de color en concentraciones altas con un valor de 60%, la mejor velocidad de reacción en adsorción de cobre es de la fibra *Musa Paradisiaca* en concentraciones altas con valores de $5.56 \times 10^{-2} \text{ h}^{-1}$ para corte FN y F1CM, en concentraciones medias la fibra *Musa textiles* sobresalió con la mejor velocidad de $6,71 \times 10^{-2} \text{ h}^{-1}$ para corte FN, también obtuvo el menor tiempo de vida media con 10.33 horas, es decir en ese tiempo adsorbió la mitad de su concentración inicial. Se concluye que para la remoción de cobre se puede utilizar cualquiera de las fibras estudiadas mientras que para remoción de color es recomendable utilizar la fibra *Furcraea andina* porque presenta mejores valores de remoción.

Palabras claves: *Musa Paradisiaca*, *Musa textiles*, *Furcraea andina*, Bioadsorción, Lecho filtrante, Velocidad de reacción, Mecanismo de reacción, Variación de energía.

ABSTRACT

The elimination of dyes in effluents represents a global technological and economic challenge since they are generally accompanied by other types of pollutants. This research has the objective of studying the kinetics of reactions in the process of adsorption of the contaminant by means of natural fibers (*Musa paradisiaca*, *Musa textiles* and *Furcraea andina*); that is to say, to measure the speed of the reaction and the variation of the energy in the synthetic water elaborated with blue dye BRL and a copper standard for different fibers and cuts to 1 cm (F1CM) and fiber without cut (FN); 18 Bach-type tests were performed in 96 hours of retention each one; pH, color, DQO, electrical conductivity and copper were determined every 24 hours. The results show, that the fiber, *Furcraea andina* were more effective in the adsorption of the color in the high ones with a value of 60%, the best speed of the reaction in the adsorption of copper is of the *Musa Paradisiaca* fiber in the high concentrations with values of $5.56 \times 10^{-2} \text{ h}^{-1}$ for cut FN and F1CM, in average concentrations the *Musa textiles* fiber excelled with the best speed of $6.71 \times 10^{-2} \text{ h}^{-1}$ for cut FN, also obtained the shortest time of life average with 10.33 hours, that is to say in that time adsorbed half of its initial concentration. It is concluded that any of the fibers studied can be used for the removal of copper, while for the removal of color it is advisable to use the *Furcraea andina* fiber and because it has better removal values.

Keywords: *Musa Paradisiaca*, *Musa textiles*, *Furcraea andina*, Bioadsorption, Reaction rate, Reaction mechanism, Energy variation.



Reviewed by: Granizo, Sonia

Language Center Teacher



INTRODUCCIÓN

Las descargas de aguas residuales con colorantes en los cuerpos receptores de aguas residuales presentan efectos variados. (Herminia et al., 2012). En especial, la eliminación de los colorantes en este tipo de efluentes representa un reto tecnológico en los procesos de tratamiento de aguas residuales. Se estima que mundialmente se descargan 280.000 toneladas de colorantes en los efluentes textiles. (Vilaseca, Lopez, Gutierrez, & Crespi, 2012).

Estos colorantes sintéticos son compuestos orgánicos utilizados en la industria en proceso de teñido de textiles, alimentos, flores, medicinas. Son altamente solubles en agua y mayoritariamente tienen entre sus características un doble enlace nitrógeno-nitrógeno ($N=N$). (Ríos Donato et al., 2013).

El contenido de estos colorantes en efluentes constituye uno de los más grandes problemas de contaminación, al usar colorantes químicos en el proceso de tintura entre un 15% a 50% del colorante utilizado queda remanente y se vierte como agua residual produciendo residuos que alteran la calidad de los cuerpos de agua. (Anjaneyulu, Sreedhara Chary, & Samuel Suman Raj, 2005). Al ser arrojados de forma directa, las alteraciones que se generan por el color y otros contaminantes interfieren en el paso de los rayos solares produciendo un impedimento de procesos naturales de autodepuración. (Ali, Hameed, & Ahmed, 2010). Como también las aminas que son un resultante de los colorantes azoicos producen daños en el sistema reproductor, hígado y cerebro de los seres humanos. (Ríos Donato et al., 2013). En plantas, estas sustancias afectan a los procesos de fotosíntesis, debido a los cloruros y metales presentes en dichos colorantes. (Garcés, Hernández, Peñuela Mesa, Rodríguez, & Salazar Palacio, 2004). Además, plantas como la papa, el melón y el rábano, se ven afectadas por los compuestos químicos orgánicos presentes en los colorantes, disminuyendo su crecimiento y la capacidad de germinación de sus semillas. (Domos, 2008).

La comunidad científica ha desarrollado diferentes métodos para el tratamiento de los efluentes industriales como: coagulación química, tratamiento biológico, proceso Fenton, ozonización, adsorción con carbón activado, ultrafiltración y electrocoagulación, precipitación, oxido-reducción, intercambio iónico, filtración, tratamiento electroquímico, tecnologías de membrana y recuperación por evaporación. Sin embargo, entre las técnicas fisicoquímicas para la remoción de colorantes, el método de adsorción es uno de los más

utilizados por ser de fácil operación y tener un diseño simple. (Ríos Donato et al., 2013). La adsorción es un proceso en el cual se coloca un fluido con un sólido, por lo tanto, uno o varios de los componentes del fluido son atraídos hacia la superficie adsorbente. Se llama adsorbato a la sustancia atraída hacia la superficie, mientras que aquella a la que se adhiere es el adsorbente. (Khatti & Singh, 1999). “La magnitud de la adsorción depende, en gran parte, de la naturaleza del sólido y de las moléculas que están siendo adsorbidas, así como de la concentración y la temperatura”. (Ríos Donato et al., 2013)

Actualmente una de las técnicas de remoción de colorantes y otros contaminantes es la utilización de fibras naturales como lecho filtrante donde se observa buenos resultados en adsorción de color, estos datos se demuestran en las investigación realizadas en la Universidad Nacional de Chimborazo con los nombres de “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”. (Cuadrado, 2017) y “Estudio de la correlación hidráulica y la remoción de contaminantes en agua residual sintética mediante un lecho filtrante de musa paradisiaca”. (Aucancela, 2018). Por lo que es necesario y es uno de los objetivos de este trabajo el estudiar la velocidad de reacción de estos.

CAPITULO I.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

1.1. Planteamiento del Problema

El residuo de los colorantes azo presentes en cuerpos de agua aportan en gran medida a la contaminación ambiental, estos colorantes son proveniente generalmente de los procesos de tinción y como consecuencia aportan al deterioro de ecosistemas y problemas a la salud pública. (Bravo Donoso & Arroyo Morocho, 2019). La industria textil es una manufacturera de gran renombre a nivel mundial, siendo una de las principales causantes de la contaminación ambiental, ya sea por sus efluentes de gran volumen con colorantes procedentes de los procesos industriales, estos son depositados en cuencas y microcuencas provocando desequilibrios ecológicos. (Guato, 2018). Es decir, causando que estas descargas de efluentes sean unos los problemas más severos de contaminación a nivel mundial. (WWAP (Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de la UNESCO), 2019)

Estos colorantes textiles poseen gran persistencia en el ambiente por lo cual hacen difícil su tratamiento y la auto regeneración de los cuerpos hídricos. (Collaguazo, 2013). La utilización tratamientos convencionales difícilmente logran la remoción completa de los colorantes en una sola etapa y de manera económica, convirtiéndose en un tema importante para los investigadores y ambientalistas. (Herminia et al., 2012).

1.2. Justificación

Se presenta una alternativa de tratamiento y remoción de contaminantes de este tipo de efluentes realizando un agua sintética que simule las condiciones de las aguas residuales de las industrias textiles a partir del colorante azul BRL con otros compuestos y utilizando fibras naturales como lechos filtrantes que por su capacidad de adsorción puedan retener color y otras sustancias.

Esta investigación es continuación de investigaciones anteriormente realizadas en la Universidad Nacional de Chimborazo con los nombres de “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”. (Cuadrado, 2017)

y “Estudio de la correlación hidráulica y la remoción de contaminantes en agua residual sintética mediante un lecho filtrante de musa paradisíaca”. (Aucancela, 2018)

En este contexto, teniendo como antecedentes los trabajos ya mencionados, donde nos muestran resultados positivos de remoción de color y otros contaminantes, se plantea como objetivo de este trabajo estudiar la cinética de reacciones en el proceso de adsorción del contaminante mediante fibras naturales; es decir, determinar la velocidad de reacción y variación de energía entre tres fibras naturales (*Musa paradisíaca*, *Musa textiles* y *Furcraea andina*) y el agua sintética. Se requiere conocer de estos datos con el fin de diseñar un filtro que se pueda utilizar en el tratamiento de las aguas residuales con contaminantes como el cobre y color.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Determinar la cinética de reacción de la adsorción de contaminantes en aguas residuales sintéticas por fibras naturales.

1.3.2. Objetivos específicos

- Determinar la velocidad de reacción de tres fibras naturales y los contaminantes del agua residual de la industria textil elaborada sintéticamente.
- Obtener experimentalmente la ley de velocidad de la reacción química.
- Determinar la mecánica de reacción.
- Determinar la variación de energía en el transcurso de la reacción.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Colorantes industriales

El color es el primer contaminante que se evidencia en aguas residuales. Este efecto se produce debido a los colorantes, que se definen como sustancias capaces de conferir color a otras sustancias. “El término colorante engloba tanto a tintes como a pigmentos. Ambos se diferencian por sus características de solubilidad: los tintes son compuestos solubles, que se aplican principalmente a fibras textiles en disolución acuosa; los pigmentos son compuestos insolubles, que se adicionan a productos tales como pinturas, tintas de imprenta o plásticos”. (López, Moreira, Feijoo, & Lema, 2007).

La mayor parte de los tintes producidos se aplican en la industria textil. En efecto, históricamente los tintes han sido aplicados principalmente a la tinción de pieles y cueros. En la actualidad esta industria supone aproximadamente un 70% del empleo de tintes a nivel mundial. La tecnología moderna de tinción de fibras consiste en docenas de etapas establecidas en función de la naturaleza de la fibra textil, la disponibilidad del tinte para su aplicación, sus propiedades de fijación, consideraciones económicas y muchas otras. (López et al., 2007)

El control de la contaminación del agua ha adquirido una importancia creciente en los últimos años debido al aumento de la población, el desarrollo y el surgido de industrias. En particular, la creciente demanda de productos textiles está haciendo de la industria textil una de las principales fuentes de problemas de contaminación del agua. (Erkurt, 2010)

2.2. Colorantes azoicos

Los tintes azo son los de mayor clase de tintes utilizados debido a la síntesis más económica. Porque el lanzamiento de tintes junto con sus productos de degradación en el medio ambiente constituye problemas graves, la liberación de efluentes coloreados en el medio ambiente no es deseable. Curiosamente, aunque la mayoría de los tintes tienen una baja toxicidad, sus componentes y los productos de descomposición pueden ser más tóxicos. Para superar este

problema la atención se ha centrado en el tratamiento eficaz de los colorantes descargados y las industrias textiles. (Erkurt, 2010)

Los colorantes azoicos para la industria textil, en función de la forma de aplicación, son en su mayoría colorantes directos, pero la clasificación general para los colorantes azoicos se realiza respecto al número de grupos azo. Estos colorantes en función del número de grupos funcionales son mono, di o tri-azoicos y los que contienen más de tres grupos azoicos se denominan poliazoicos. (Sharma & Sanghi, 2012).

2.3. Colorante azul BRL

Por su facilidad de preparación los colorantes azoicos son los más usados en la Industria textil, aunque sus aplicaciones se extienden a la industria farmacéutica y alimenticia. (Balladares, 2014)

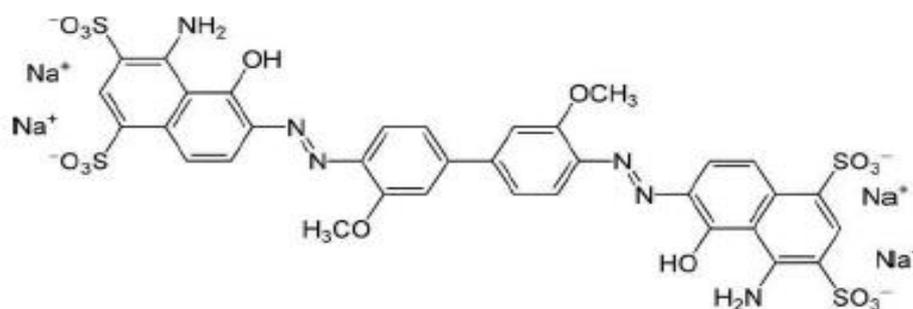


Figura 1: Estructura molecular del colorante Azul BRL. (Sigma-Aldrich, 2011).

Tabla 1. Propiedades del colorante Azul BRL

NOMBRE COMERCIAL	NOMBRE IUPAC	TIPO DE COLORANTE	PESO MOLECULAR (G/MOL)	FÓRMULA MOLECULAR
Azul BRL (Azul Directo 1)	Tetrasodio;5-amino-3-[[4-[4-[2-(8-amino-1-oxo-3,6-disulfonatonaphthalen-2-ylidene)hydrazinyl]-3-methoxyphenyl]-2-methoxyphenyl]hydrazinylidene]-4-oxonaphthalene-2,7-disulfonate	Diazoico	992,82	$C_{34}H_{24}N_6Na_4O_{16}S_4$

Fuente: (Gordón, 2015)

2.4. Impacto Ambiental de los efluentes coloreados

La producción mundial anual de colorantes azoicos se estima en alrededor de un millón de toneladas, y actualmente se utilizan más de 2.000 colorantes azo estructuralmente diferentes.

Los colorantes azoicos se caracterizan por la presencia de uno o más grupos ($-N = N-$) unidos a un gran número de anillos aromáticos como el benceno y el naftaleno. En general, los colorantes azoicos sintéticos con sustituciones como parte de su estructura son altamente resistentes a la degradación. (Lu & Liu, 2010).

2.4.1. Efectos ecológicos

Los tintes presentan alta solubilidad, la cual se ve favorecida por la presencia de determinados grupos, tales como los sulfónicos. El primer efecto que causa el vertido de aguas residuales con tintes disueltos es el visual y se presenta a concentraciones muy bajas de tinte. La principal consecuencia medioambiental derivada del color presente en aguas de ríos y lagos se debe a la reducción de la transparencia y la disminución del oxígeno disuelto, debido a que altas cargas de color dificultan la función fotosintética de las plantas. Adicionalmente la presencia de metales pesados produce problemas ambientales debido a su naturaleza tóxica. (López et al., 2007)

A pesar de los beneficios que los colorantes azoicos brindan a la industria Textil, existe controversia en cuanto a los problemas ambientales que se producen debido a su uso. Entre ellos se encuentra la coloración provocada en los efluentes, cuando estos colorantes son arrojados a cuerpos acuáticos, puesto que su presencia puede disminuir la capacidad de luz que reciben bacterias y plantas y teniendo como consecuencia interferir en su desarrollo. (Khan & Banerjee, 2010)

2.4.2. Efectos toxicológicos

Los riesgos toxicológicos de los tintes sobre la salud humana están relacionados con el modo y tiempo de exposición. Estos compuestos presentan una baja toxicidad aguda, que es la resultante de los tiempos de exposición cortos. Esto es debido a que los tintes tienen una baja solubilidad en fluidos corporales y una alta solubilidad en agua, de manera que estos compuestos al ser ingeridos son metabolizados en la microflora intestinal y excretados más rápidamente que los compuestos menos solubles. (López et al., 2007)

Estos compuestos únicamente producen efectos de poca gravedad, tales como dermatitis de contacto o sensibilización respiratoria. La toxicidad crónica debida a exposición continuada a los tintes es, por lo general, baja. Sin embargo, se ha comprobado que algunos tintes de

naturaleza azoica presentan un carácter cancerígeno potencial, y al menos 3.000 colorantes azo comerciales han sido catalogados como cancerígenos. (López et al., 2007)

2.5. Límites máximos permisibles

El libro VI del texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente establece límites permisibles máximos para descargas de aguas residuales hacia cuerpos hídricos con el fin de establecer tipos de tratamientos. En la siguiente tabla 2 presentaremos los límites permisibles para el color y algunos metales presentes como Cromo (Cr) y Cobre (Cu), y la demanda química de Oxígeno (DQO).

Tabla 2: Límites máximos permisibles

PARÁMETRO	SÍMBOLO	UNIDADES DE MEDIDA	VALOR
Demanda Química de Oxígeno	D.Q.O	mg/l	250
Cromo	Cr ⁺⁶	mg/l	0.5
Cobre	Cu	mg/l	1.0
Color real	Color real	Unidades de color	Inapreciable en dilución: 1/20

Fuente: (MAE, 2015)

2.6. Cinética de adsorción en un sistema Bach

Un sistema Bach representa un sistema en bloques. (Olivarez & Guevara, 2016). En el caso de este sistema representa un solo bloque por lo tanto se toma la muestra en el centro del recipiente, todos los recipientes tienen el mismo sistema. En la figura 2 se muestra cómo se realizó el sistema para este proyecto de investigación.

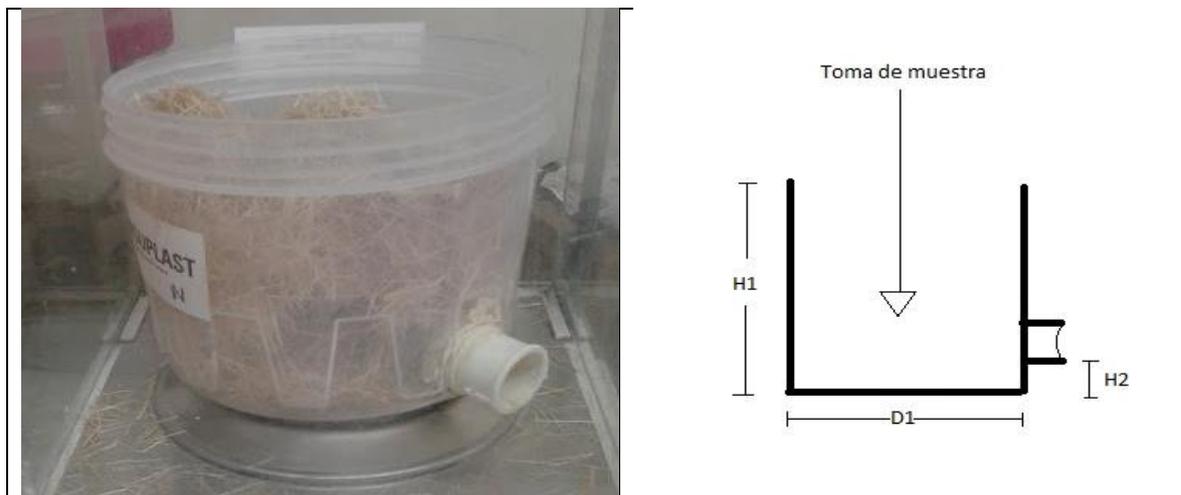
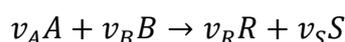


Figura 2: Cinética de adsorción en un sistema tipo Bach

2.7. Cinética de reacciones químicas.

Una ecuación cinética es una expresión que relaciona la velocidad de reacción con los factores que influyen en ella. Estos factores suelen ser las concentraciones de los reactantes. La ecuación se obtiene a partir de datos experimentales bajo un diseño experimental que determina la velocidad de reacción. (Izquierdo Torres & Universitat de Barcelona. Departament d'Enginyeria Química i Metal·lúrgia., 2004).

Cuando la relación es relativamente sencilla, basta con una sola ecuación, como es el caso de:



La forma que presenta la ecuación cinética depende del mecanismo a través del cual tiene lugar la reacción, y puede ser muy compleja si la reacción química global es el resultado de un gran número de reacciones o etapas elementales. (Izquierdo Torres & Universitat de Barcelona. Departament d'Enginyeria Química i Metal·lúrgia., 2004)

2.7.1. Velocidad de reacción.

En una reacción química se produce la conversión de reactivos en productos, por tanto, para medir la velocidad de una reacción debemos conocer la rapidez con la que desaparecen los reactivos o la rapidez con la que se forman los productos. Esto se puede conseguir observando como varían las concentraciones respecto del tiempo. (Alonso, 2010)

Lo que observamos experimentalmente al determinar la velocidad de una reacción es la variación de la concentración (C_i), de uno o más de los reactivos o de los productos de reacción en función del tiempo (t). (Harris, 1973)

2.7.2. Ley de velocidad de reacción química.

La velocidad puede ser definida de diversas maneras sin embargo la más usada es cuando toman en consideración los factores estequiométricos (m_A, m_B, \dots) de la forma siguiente:

$$R \text{ (velocidad)} = -\frac{1}{m_A} \frac{dC_A}{dt} = -\frac{1}{m_B} \frac{dC_B}{dt} = +\frac{1}{m_F} \frac{dC_F}{dt} = +\frac{1}{m_G} \frac{dC_G}{dt}$$

En general (R), depende de diversas variables, que comprenden las concentraciones instantáneas de las distintas especies que intervienen en el proceso, la temperatura, la fuerza iónica, la naturaleza del disolvente entre otros. La aclaración de la forma de esta función, conocida como la Ley de la velocidad, constituye el problema primario de la cinética de la reacción experimental. (Harris, 1973). Cuando la reacción es monodireccional, homogénea y constituye un sistema cerrado, y todas las variables se mantienen constantes excepto la concentración del reactivo, la ley de velocidad frecuentemente es de la siguiente forma:

$$R = kC_A^{n_A}C_B^{n_B}$$

En esta ecuación, ($n_A, n_B \dots$), son generalmente exponentes enteros, no necesariamente iguales a los coeficientes estequiométricos ($m_A, m_B \dots$). La constante de proporcionalidad (k), es la constante de velocidad, y sus dimensiones son $(\text{concentración})^{1-n} (\text{tiempo})^{-1}$. Tan solo para expresiones de velocidad de este tipo, esto es, función de la ley de velocidad de un solo termino con un producto sencillo. (Harris, 1973).

2.7.3. Ecuación de la velocidad

Considérese una reacción química en la que un reactivo A se descompone para dar dos productos, B y C

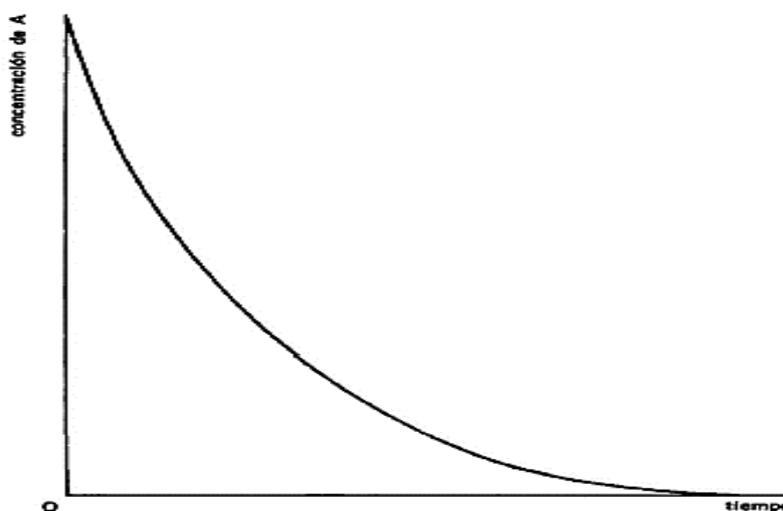
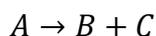


Figura 3: Típica curva de concentración-tiempo. (H.E.Avery, 2002)

Durante el transcurso de la reacción, la concentración de A decrece mientras que las concentraciones de B y C aumentan. En la figura 3 se muestra una gráfica típica

concentración-tiempo para A. La velocidad de esta reacción en cualquier instante (t) viene dada por la pendiente de la curva en dicho tiempo (t). (H.E.Avery, 2002)

$$velocidad = -\frac{d[A]}{dt}$$

Es decir, la velocidad de reacción es igual a la velocidad de decrecimiento de la concentración de A con el tiempo. Alternativamente, la velocidad está dada también por la velocidad de crecimiento de la concentración de B o de C con el tiempo. (H.E.Avery, 2002)

La figura 3 muestra que la velocidad de reacción cambia durante el transcurso de la reacción. La velocidad que es inicialmente máxima decrece a la medida que transcurre la reacción. Se ha encontrado que la velocidad de una reacción depende de la concentración de los reactivos, de modo que, así como la concentración A en la reacción decrece, también lo hace la velocidad de reacción. (H.E.Avery, 2002). De esta forma.

$$velocidad = \propto [A]^n$$

Donde n es una constante conocida como orden de reacción. La relación entre la velocidad y la concentración se denomina ecuación de velocidad y toma la forma:

$$-\frac{d[A]}{dt} = k_v[A]^n$$

Donde k_v es una constante para cada reacción a cada temperatura y se llama constante de velocidad. La ecuación de velocidad establece que, dado que la velocidad de una varía con la concentración de los reactivos, la velocidad de una reacción no depende de la concentración de los productos.



Siendo (a) la concentración inicial de A y (x) la disminución de la concentración de A en el tiempo (t). La concentración de A en el tiempo (t) es, por tanto, (a-x):

$$-\frac{d[A]}{dt} = -\frac{d(a-x)}{dt} = \frac{dx}{dt}$$

La ecuación diferencial de velocidad, $-d[A]/dt = k_v[A]$, puede escribirse de la siguiente manera:

$$\frac{dx}{dt} = k_v(a - x) \text{ O bien } \frac{dx}{a-x} = k_v dt$$

Integrando nuestra ecuación nos da

$$-\ln(a - x) = k_v t + \text{constante}$$

Dado que para $t = 0$, $x = 0$, la constante es igual a $(-\ln a)$, y su sustitución en nuestra anterior ecuación nos da:

$$k_v t = \ln \frac{a}{a-x} \text{ O bien } k_v = \frac{1}{t} \ln \frac{a}{a-x}$$

Usando logaritmos en base 10 tenemos:

$$k_v = \frac{2,303}{t} \log_{10} \left(\frac{a}{a-x} \right)$$

Siendo nuestra ecuación de constante de velocidad. Para determinar nuestra velocidad de reacción utilizamos el método gráfico en donde una representación de $\log_{10} (a/a-x)$ en función de t debe ser una línea recta con pendiente igual a $k_v/2,303$ siendo una ecuación de primer orden reordenando así:

$$\log_{10}(a - x) = \log_{10} a - \frac{k_v t}{2,303} \quad \boxed{\text{(A)}}$$

Una representación de $\log_{10} (a-x)$ en función de t deberá conducir a una línea recta de pendiente $-k_v/2,303$ pudiendo obtener nuestra constante de velocidad

2.7.4. Vida media de la reacción

Se conoce como vida media de la reacción ($t_{0,5}$) al tiempo necesario para que la concentración inicial (a) disminuya hasta la mitad de la concentración inicial ($0,5 a$). (H.E.Avery, 2002). De esta forma la ecuación (A) deriva en lo siguiente:

$$k_v = \frac{1}{t_{0,5}} \ln \frac{a}{0,5 a}$$

$$k_v = \frac{\ln 2}{t_{0,5}}$$

$$k_v = \frac{0,693}{t_{0,5}} \text{ o bien } t_{0,5} = \frac{\ln 2}{k_v}$$

(B)

2.7.5. Orden de reacción

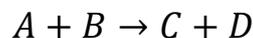
Si en la reacción anterior se encuentra experimentalmente que la velocidad es directamente proporcional a la concentración de A, se dice que la reacción es de primer orden, dado que:

$$-\frac{d[A]}{dt} = k_v[A]$$

Si se encuentra que la velocidad depende del cuadrado de la concentración de A, se dice que la reacción es de segundo orden, ya que:

$$-\frac{d[A]}{dt} = k_v[A]^2$$

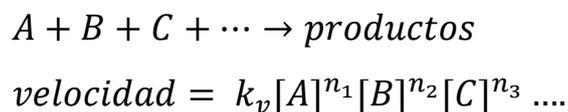
Para un proceso diferente



Si se encuentra que la ecuación de velocidad es:

$$-\frac{d[A]}{dt} = -\frac{d[B]}{dt} = k_v[A][B]$$

La reacción es de segundo orden: primer orden con respecto a A y primer orden con respecto a B. En general para una reacción.



El orden de la reacción es la suma de los exponentes $n_1 + n_2 + n_3 + \dots$; el orden con respecto a A es n_1 , con respecto a B es n_2 y con respecto a C es n_3 y así sucesivamente.

2.7.6. Constante de la velocidad

La constante de velocidad proporciona una medida útil de la velocidad de una reacción química a una determinada temperatura. Es importante hacer notas que sus unidades depende del orden de la reacción. (H.E.Avery, 2002). Por ejemplo, la ecuación de velocidad de primer orden es:

$$-\frac{d[A]}{dt} = k_v[A]$$

Entonces

$$\frac{\text{concentración}}{\text{tiempo}} = k_v(\text{concentración})$$

De esta forma, para todos los procesos de primer orden, la constante de velocidad k_v tiene unidades de tiempo^{-1} . (H.E.Avery, 2002)

2.7.7. Mecanismos de reacción.

El mecanismo de una reacción química es la secuencia de pasos elementales que dan lugar a los productos de esta. El número de moléculas que chocan en cada paso elemental se conoce como molecularidad. (Alonso, 2010).

Se llama molecularidad al número de moléculas de reactivos que colisionan simultáneamente para formar el complejo activado en una reacción elemental. Se trata de un número entero y positivo. Así hablamos de reacciones unimoleculares, bimoleculares, trimoleculares. Generalmente, en reacciones elementales, coincide con el orden de reacción. Sin embargo, existen casos en los que no coinciden. (Fresno, 2010)

Tabla 3 Posibles pasos elementales y cuáles serían sus ecuaciones de velocidad

MOLECULARIDAD	PASO ELEMENTAL	ECUACIÓN DE VELOCIDAD
Unimolecular	$A \rightarrow \text{Productos}$	$v = k [A]$
Bimolecular	$A + A \rightarrow \text{Productos}$	$v = k [A]^2$
Bimolecular	$A + B \rightarrow \text{Productos}$	$v = k [A][B]$

Fuente: (Alonso, 2010)

Es raro que en una reacción intervenga más de tres moléculas, pues es muy poco probable que chocan entre sí simultáneamente con la energía y orientación adecuadas. Por dicha razón, la mayoría de las reacciones suceden en etapas. El conjunto de estas etapas se conoce como “mecanismo de la reacción”. Las sustancias que van apareciendo y que no son los productos finales se conocen como “intermedios de reacción”.(Fresno, 2010)

2.7.8. Energía de activación.

El número de moléculas de productos es proporcional al número de choques entre las moléculas de los reactivos. De éstos, no todos son efectivos, bien porque no tienen la energía necesaria para constituir el “complejo activado”, (asociación transitoria de moléculas muy inestable, porque su energía es mayor a la de reactivos y productos por separado, pero por el cual debe transcurrir necesariamente la reacción), o bien porque no tienen la orientación adecuada. La energía de activación es la necesaria para formar el “complejo activado”, a partir del cual la reacción transcurre de forma natural (Fresno, 2010).

Ecuación de Arrhenius: En 1889 Arrhenius deduce una expresión matemática que se utiliza para comprobar la dependencia de la constante de velocidad (o cinética) de una reacción química con la temperatura. (Vaca, 2011)

$$k = A e^{-Ea/RT} \leftrightarrow \ln k = -\frac{Ea}{RT} + \ln A$$

- Ea es la energía de activación
- R es la constante de los gases
- T es la temperatura absoluta
- e es la base de los logaritmos naturales
- A es el número de choques entre las partículas reaccionantes

Podemos obtener una expresión para dos constantes de velocidad a dos temperaturas diferentes a partir de la pendiente de la ecuación. (Vaca, 2011). Con la siguiente ecuación:

$$\ln k = -\frac{Ea}{R} \left(\frac{1}{T}\right) + \ln A \quad \boxed{(C)}$$

CAPÍTULO III.

METODOLOGÍA

Este trabajo de investigación se lo realizó en el Laboratorio de Servicios Ambientales de la Universidad Nacional de Chimborazo, es de carácter experimental y se dividió en las siguientes partes: recolección y obtención de las fibras (*musa paradisiaca*, *musa textiles* y *Furcraea andina*), elaboración del Agua Sintética, caracterización del agua sintética, pruebas de cinética de adsorción entre las fibras y el agua sintética, caracterización del agua tratada y aplicación de un análisis estadístico de los resultados obtenidos.

3.1. Elaboración del agua sintética

Se realizó tres tipos de aguas sintéticas a tres concentraciones denominadas (alta, media y baja), para seguir la terminología utilizada en trabajos previos como “Análisis de la fibra obtenida del raquis de la planta musa paradisiaca, utilizada como lecho filtrante en la adsorción del parámetro color” (Cuadrado, 2017). Adicional se añadió un estándar de cobre con tres concentraciones diferentes.

Tabla 4: Concentraciones del agua sintética

CONCENTRACIÓN	SOLUCIÓN DE AZUL BRL (%m/v)	UNIDADES DE COLOR (U PT-CO)	COBRE (ppm)
ALTA	$5,3 \times 10^{-2}$	5300	4,5
MEDIA	$1,1 \times 10^{-2}$	1400	3,0
BAJA	1.0×10^{-3}	101	1,5

Elaborado por el autor

En la tabla 4 se indican las concentraciones de colorante azul BRL y las concentraciones de cobre para la realización de cada tipo de agua sintética; se utilizó agua desionizada como solvente con un volumen de 6 litros cada una.

3.2. Recolección, obtención y pretratamiento de las fibras (*musa paradisiaca*, *musa textiles* y *Furcraea andina*)

Los pasos que se siguió para obtener las fibras que se utilizaron en las pruebas de cinética de reacción son:

- Recolección de las plantas.
- Transporte de las plantas
- Desmembramiento de la corteza de las plantas.
- Trituración de las plantas.
- Secado de la fibra durante 24 horas a una temperatura constante de 50°C.
- Corte a 1 cm (F1CM) y fibra sin corte (FN) como se observa en la figura
- Prelavado de la fibra durante 24 horas.
- Secado de la fibra.

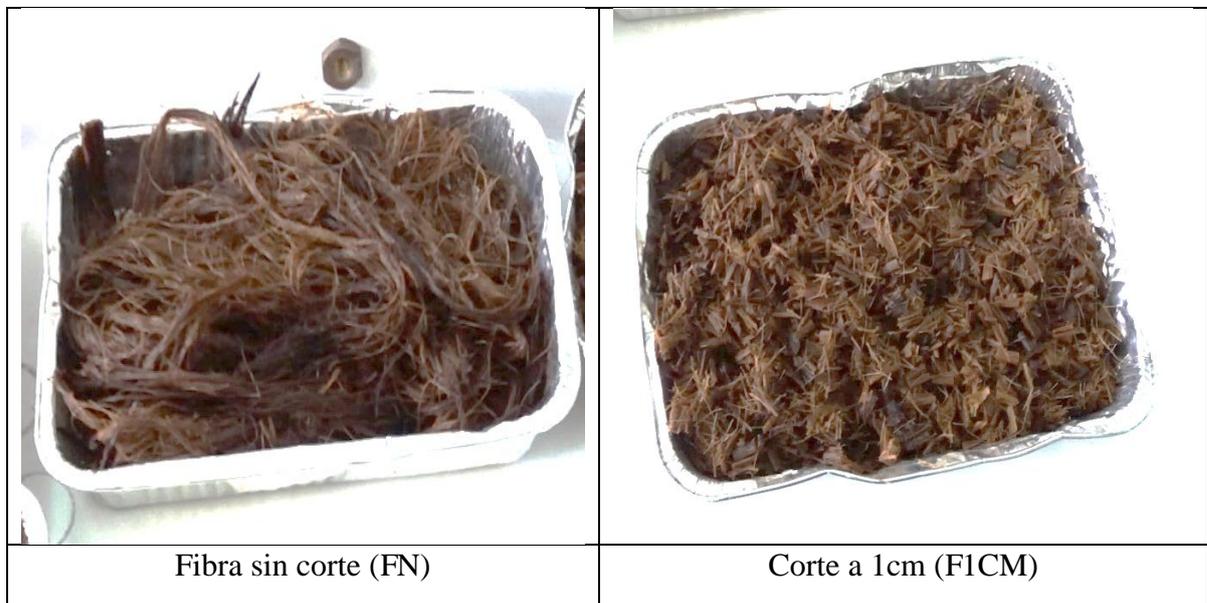


Figura 4: diferentes cortes de la fibra a utilizar.

3.3. Caracterización del agua sintética.

Se determinó 5 parámetros (pH, Conductividad, Color, DQO y Cobre), el cual para el pH y la conductividad se utilizó el equipo de multiparámetros HACH HQ40d al colocar la muestra en un vaso de precipitación y utilizando el equipo para medir.

Para Color y DQO se utilizó el espectrofotómetro HACH DR500 con el procedimiento estipulado en el manual de análisis de agua de la Compañía que será descrita a continuación:

Tabla 5: Métodos para la caracterización del agua sintética.

PARÁMETRO	UNIDAD	MÉTODO	EQUIPO
PH	-	Standard methods 4500 H ⁺ B	HACH HQ40d
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA	μs/cm	Standard methods 2510 B	HACH HQ40d
DQO	mg/l	Standard methods 5220 D	HACH DR500
COLOR	U Pt-Co	Standard methods 2120 C	HACH DR500
COBRE	mg/l	Standard methods 3500 Cu 3111B	HACH DR500

Elaborado por el: Autor; Fuente: (Company Hach, 2000)

3.4. Pruebas de cinética de absorción entre las fibras y el agua sintética

En el diseño experimental se utilizaron las fibras (*musa paradisiaca*, *musa textiles* y *Furcraea andina*), a dos cortes diferentes: sin corte (FN) y corte a 1cm (F1CM), los mismos que se eligieron por los resultados obtenidos en los trabajos de investigación anteriores de (Cuadrado, 2017) y (Aucancela, 2018). En la tabla 6 se indica el diseño experimental:

Tabla 6: Diseño experimental

Nombre de Fibra	Corte de Fibra	Concentración	Recipiente N°	Toma de muestras en diferentes tiempos (horas)				
<i>Musa paradisiaca</i>	FN	alta	1	0	24	48	72	96
		media	2	0	24	48	72	96
		baja	3	0	24	48	72	96
	F1CM	alta	4	0	24	48	72	96
		media	5	0	24	48	72	96
		baja	6	0	24	48	72	96
<i>Musa textiles</i>	FN	alta	7	0	24	48	72	96
		media	8	0	24	48	72	96
		baja	9	0	24	48	72	96
	F1CM	alta	10	0	24	48	72	96
		media	11	0	24	48	72	96
		baja	12	0	24	48	72	96
<i>Furcraea andina</i>	FN	alta	13	0	24	48	72	96
		media	14	0	24	48	72	96
		baja	15	0	24	48	72	96
	F1CM	alta	16	0	24	48	72	96
		media	17	0	24	48	72	96
		baja	18	0	24	48	72	96

Elaborado por el Autor

Dando un total de 72 muestras donde en cada muestra se analizó 5 parámetros como son: pH, Conductividad, Color, DQO y Cobre. Las pruebas se realizaron utilizando 18 recipientes que contenían el agua sintética de las diferentes concentraciones y las fibras en sus distintos cortes, permaneciendo el agua en un estado de reposo y tomando muestras cada 24 horas por 5 días laborables.

3.5. Caracterización del agua tratada

Se analizaron los mismos parámetros que en el agua sintética inicial con los mismos métodos y equipos con la finalidad de determinar la remoción y variación. Añadiendo que en los parámetros de DQO y Cobre se realizó en cada uno de ellos una curva de calibración y adicional en el parámetro cobre se hicieron pruebas de dilución (1%, 5% y 10%) con el fin de obtener la mejor concentración para que el parámetro color no haga interferencia al momento de la lectura del cobre en el equipo.

3.6. Aplicación de un análisis estadístico de los resultados obtenidos

El análisis estadístico que se utilizó es de la varianza ANOVA de 2 factores con un nivel de significancia del 95% para el porcentaje de remoción o absorción de contaminantes con el que se obtuvo un valor inicial y un valor al finalizar el tratamiento. Se calculó el coeficiente de corrección entre los cortes de las fibras con el tiempo al que se hizo el tratamiento con el fin de encontrar si existe o no correlación entre los valores obtenidos. Para la velocidad de reacción, vida media de la reacción y la energía de activación se utilizó el mismo análisis estadístico de ANOVA con 2 factores, así mismo con un nivel de significancia del 95%.

CAPÍTULO IV.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Caracterización del agua sintética

En la siguiente tabla se muestran los resultados de la caracterización del agua sintética en sus diferentes concentraciones.

Tabla 7: Caracterización del agua sintética

Parámetro	Unidades	Concentración	Concentración	Concentración
		Alta	Media	Baja
Color	U Pt- Co	5300	1400	101
pH	.	12,78	5,04	3,3
Conductividad	μs/cm	488,0	299,3	199,6
DQO	mg/l	99,61	1,21	0
Cobre	mg/l	3,80	2,50	1,20

Elaborador por: Autor

Los valores de color y cobre están sobre el límite permisible en nuestra legislación ecuatoriana. En cuanto a pH, Conductividad y DQO presentan valores bajos los mismos que proporcionados por la adición de concentración de color y cobre.

4.2. Remoción del Color

Tabla 8: Reacción del agua sintética a tres concentraciones con la Fibra *Furcraea andina*.

<i>Furcraea andina</i>	CONCENTRACIÓN BAJO (U Pt- Co)		CONCENTRACIÓN MEDIO (U Pt- Co)		CONCENTRACIÓN ALTO (U Pt- Co)	
	FN	F1CM	FN	F1CM	FN	F1CM
TIEMPOS (h)						
0	101	101	1400	1400	5300	5300
24	213	275	500	500	4300	4200
48	514	496	1000	840	2600	2200
72	520	596	1160	1180	2300	2100
96	670	678	1220	1200	2100	2000

Elaborador por: Autor

En la tabla 8 se muestra que la fibra *furcraea andina* a concentraciones bajas no adsorbió color, más bien la fibra aportó más color a nuestra agua sintética, todo lo contrario, en concentraciones altas la fibra removió a un 60% en 96 horas. En concentraciones medias se observa que hubo adsorción de color en 24 horas de un 64%, pero pasado ese tiempo la fibra comenzó a aportar color a el agua sintética.

En la tabla 9 se muestra que la fibra *musa textiles* a concentraciones bajas no presentó datos de adsorción de color, comportándose de la misma manera que la fibra anterior, esta fibra con concentración media a 24 horas adsorbió color en un 86%, siendo el más alto porcentaje de adsorción, para concentraciones altas su máximo fue de 42% de remoción en 96 horas.

Tabla 9: Reacción del agua sintética a tres concentraciones con la Fibra *Musa textiles*

<i>Musa textiles</i>	CONCENTRACIÓN BAJO (U Pt- Co)		CONCENTRACIÓN MEDIO (U Pt- Co)		CONCENTRACIÓN ALTO (U Pt- Co)	
	FN	F1CM	FN	F1CM	FN	F1CM
TIEMPOS (h)						
0	101	101	1400	1400	5300	5300
24	118	122	200	200	4700	4600
48	125	124	640	500	3000	2900
72	139	129	780	740	2800	2700
96	150	173	1040	1040	3300	3100

Elaborador por: Autor

Para la fibra *musa paradisiaca* se observa hubo mayor adsorción de color, solo en el caso de concentraciones altas donde en 24 horas adsorbió un máximo de 25%, pasado ese tiempo la fibra comenzó a aportar color a el agua sintética, comportándose de la misma manera con las concentraciones bajas y medias.

Tabla 10: Reacción del agua sintética a tres concentraciones con la Fibra *Musa Paradisiaca*

<i>Musa Paradisiaca</i>	CONCENTRACIÓN BAJO (U Pt- Co)		CONCENTRACIÓN MEDIO (U Pt- Co)		CONCENTRACIÓN ALTO (U Pt- Co)	
	FN	F1CM	FN	F1CM	FN	F1CM
TIEMPOS (h)						
0	101	101	1400	1400	5300	5300
24	1150	1530	1920	1740	4100	4000
48	1240	2040	2120	2220	5800	7800
72	1940	2460	2340	2460	9400	10200
96	2050	3425	3290	3470	10400	12400

Elaborador por: Autor

4.3. Remoción del Cobre

La interacción de la fibra *furcraea andina* con el agua sintética en la adsorción de cobre nos muestra que existe mayor remoción a concentraciones altas llegando a un 100% en tan solo 24 horas mientras que para concentraciones medias tenemos valores de remoción del 96% en 96 horas al contrario de las demás fibras que completaron su remoción de cobre en menos

horas, existe menor remoción a concentraciones bajas ya que alcanza un máximo de 15% en 96 horas.

Tabla 11: Remoción del cobre a través de la Fibra *Furcraea andina*.

<i>Furcraea andina</i>	CONCENTRACIÓN BAJO (mg/l)		CONCENTRACIÓN MEDIO (mg/l)		CONCENTRACIÓN ALTO (mg/l)	
	FN	F1CM	FN	F1CM	FN	F1CM
TIEMPOS (h)						
0	1,20	1,20	2,50	2,50	3,80	3,80
24	1,18	1,19	1,50	2,10	0,00	0,00
48	1,10	1,14	0,90	2,10	0,00	0,00
72	1,08	1,08	0,90	1,10	0,00	0,00
96	1,06	1,02	0,10	0,00	0,00	0,00

Elaborador por: Autor

Para esta fibra la tabla 12 nos muestra que la remoción del cobre de parte de la fibra *musa textiles* en concentraciones medias varia por el corte, es decir en el corte FN removió un 40% mientras que el corte F1CM un valor de 16% en 24 horas pero ya en 48 horas ambos cortes presentan la remoción total, a concentraciones altas la remoción total se hizo en 48 horas, en concentraciones bajas existe un pequeño aumento en relación con la anterior fibra, pero aun así tenemos valores bajos en remoción con apenas un valor máximo de 21% en 96 horas.

Tabla 12: Remoción del cobre a través de la Fibra *Musa textiles*

<i>Musa textiles</i>	CONCENTRACIÓN BAJO (mg/l)		CONCENTRACIÓN MEDIO (mg/l)		CONCENTRACIÓN ALTO (mg/l)	
	FN	F1CM	FN	F1CM	FN	F1CM
TIEMPOS (h)						
0	1,20	1,20	2,50	2,50	3,80	3,80
24	1,14	1,15	1,50	2,10	0,80	0,80
48	1,11	1,03	0,10	0,00	0,00	0,00
72	1,07	1,01	0,00	0,00	0,00	0,00
96	0,95	0,97	0,00	0,00	0,00	0,00

Elaborador por: Autor

La *musa paradisiaca* en concentraciones bajas no presenta valores significativos de remoción de cobre apenas tiene un valor máximo de remoción del 8% en 96 horas con relación a las anteriores fibras, sin embargo, en las concentraciones medias a 48 horas ya presenta un valor de remoción del 100% y en concentraciones altas absorbe el cobre al 100% en 24 horas siendo mucho más rápida que las a otras fibras, esto podemos relacionarlo con el tiempo de vida media de la reacción ($t_{0,5}$) donde se obtuvo un valor de 12,5 horas es decir, esta fibra en ese tiempo removió la mitad de su concentración inicial.

Tabla 13: Remoción del cobre a través de la Fibra *Musa Paradisiaca*

<i>Musa Paradisiaca</i>	CONCENTRACIÓN BAJO (mg/l)		CONCENTRACIÓN MEDIO (mg/l)		CONCENTRACIÓN ALTO (mg/l)	
	FN	F1CM	FN	F1CM	FN	F1CM
TIEMPOS (h)						
0	1,20	1,20	2,50	2,50	3,80	3,80
24	1,19	1,18	1,70	1,60	0,00	0,00
48	1,18	1,15	0,00	0,00	0,00	0,00
72	1,17	1,13	0,00	0,00	0,00	0,00
96	1,16	1,11	0,00	0,00	0,00	0,00

Elaborador por: Autor.

4.4. Comportamiento del pH

Como observamos en la tabla 14 tenemos valores iniciales de pH extremos, pero al contacto con esta fibra estos valores tienen a neutralizarse a un valor aproximado de 5,5 en 96 horas, esto ocurre por las propiedades de la fibra que en la interacción con el agua sintética ayuda a neutralizar el pH.

Tabla 14 Comportamiento del pH con la Fibra *Furcraea andina*.

<i>Furcraea andina</i>	CONCENTRACIÓN BAJO		CONCENTRACIÓN MEDIO		CONCENTRACIÓN ALTO	
	FN	F1CM	FN	F1CM	FN	F1CM
TIEMPOS (h)						
0	3,29	3,29	5,04	5,04	12,78	12,78
24	5,65	5,59	5,03	5,21	4,87	4,85
48	6,26	6,30	5,34	5,64	5,76	5,64
72	5,50	5,92	5,26	5,34	5,20	5,17
96	5,50	5,47	5,24	5,42	5,07	5,01

Elaborador por: Autor

Esta fibra *musa textiles* muestra el mismo comportamiento, es decir no contiene mucha variación que la fibra anterior.

Tabla 15 Comportamiento del pH con la Fibra *Musa textiles*

<i>Musa textiles</i>	CONCENTRACIÓN BAJO		CONCENTRACIÓN MEDIO		CONCENTRACIÓN ALTO	
	FN	F1CM	FN	F1CM	FN	F1CM
TIEMPOS (h)						
0	3,29	3,29	5,04	5,04	12,78	12,78
24	6,95	5,96	5,34	5,27	5,00	4,74
48	6,02	5,89	5,55	5,73	5,54	5,15
72	5,35	4,93	4,81	4,74	4,67	4,55
96	5,71	5,41	6,18	5,58	5,74	5,35

Elaborador por: Autor

En la tabla 16 nos muestra que la fibra *musa paradisiaca* es la que más se aproxima a un pH neutro incluso proporcionándonos valores de pH 7 en concentraciones altas en 96 horas. pudiendo determinar que esta fibra tiene un proceso más veloz de descomposición que las otras fibras estudiadas.

Tabla 16 Comportamiento del pH con la Fibra *Musa Paradisiaca*

<i>Musa Paradisiaca</i>	CONCENTRACIÓN BAJO		CONCENTRACIÓN MEDIO		CONCENTRACIÓN ALTO	
	FN	F1CM	FN	F1CM	FN	F1CM
TIEMPOS (h)						
0	3,29	3,29	5,04	5,04	12,78	12,78
24	7,06	7,11	7,19	7,28	7,05	7,13
48	7,20	6,98	7,13	7,16	7,18	7,32
72	6,03	6,57	6,77	6,46	7,12	7,20
96	5,86	6,14	6,54	6,14	7,18	7,12

Elaborador por: Autor

4.5. Comportamiento de la conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica en interacción con la fibra *furcraea andina* en concentraciones bajas tiende a bajar, pero es muy poco la diferencia, para concentraciones medias el valor inicial se mantiene y en concentraciones altas la conductividad aumenta al doble de su valor inicial.

Tabla 17 Comportamiento de la conductividad con la Fibra *Furcraea andina*.

<i>Furcraea andina</i>	CONCENTRACIÓN BAJO ($\mu\text{s/cm}$)		CONCENTRACIÓN MEDIO ($\mu\text{s/cm}$)		CONCENTRACIÓN ALTO ($\mu\text{s/cm}$)	
	FN	F1CM	FN	F1CM	FN	F1CM
TIEMPOS (h)						
0	199,60	199,60	299,30	299,30	488,00	488,00
24	167,70	200,70	289,00	329,00	773,00	774,00
48	181,40	202,20	301,00	322,00	769,00	754,00
72	163,90	199,60	301,00	341,00	822,00	817,00
96	163,90	188,30	299,00	330,00	800,00	802,00

Elaborador por: Autor

La Tabla 18 muestra que la fibra *musa textiles* tiene el mismo comportamiento en conductividad eléctrica que la anterior fibra como lo muestra los datos obtenidos.

Tabla 18 Comportamiento de la conductividad con la Fibra *Musa textiles*

<i>Musa textiles</i>	CONCENTRACIÓN BAJO ($\mu\text{s/cm}$)		CONCENTRACIÓN MEDIO ($\mu\text{s/cm}$)		CONCENTRACIÓN ALTO ($\mu\text{s/cm}$)	
	FN	F1CM	FN	F1CM	FN	F1CM
TIEMPOS (h)						
0	199,60	199,60	299,30	299,30	488,00	488,00
24	153,40	166,40	278,00	292,00	735,00	728,00
48	180,60	170,10	303,00	303,00	714,00	729,00
72	157,50	161,70	302,00	293,00	761,00	783,00
96	148,20	152,40	288,00	284,00	741,00	762,00

Elaborador por: Autor

La conductividad eléctrica aumenta en gran proporción en interacción con la fibra *musa paradisiaca*, es decir en las distintas concentraciones llegan a triplicar su valor inicial. Indicándonos que este parámetro está relacionado con los demás parámetros tomados con esta fibra.

Tabla 19 Comportamiento de la conductividad con la Fibra *Musa Paradisiaca*

<i>Musa Paradisiaca</i>	CONCENTRACIÓN BAJO ($\mu\text{s/cm}$)		CONCENTRACIÓN MEDIO ($\mu\text{s/cm}$)		CONCENTRACIÓN ALTO ($\mu\text{s/cm}$)	
	FN	F1CM	FN	F1CM	FN	F1CM
TIEMPOS (h)						
0	199,60	199,60	299,30	299,30	488,00	488,00
24	362,00	323,00	489,00	459,00	935,00	932,00
48	429,00	436,00	555,00	499,00	905,00	898,00
72	712,00	523,00	723,00	646,00	1023,00	991,00
96	840,00	734,00	870,00	862,00	1323,00	1240,00

Elaborador por: Autor

4.6. Comportamiento del DQO

Nuestra fibra *furcraea andina* en todas concentraciones nos muestra que el DQO aumenta con el tiempo, dándonos valores altos de DQO y diciéndonos que a medida que el agua sintética realiza su cinética de reacción con la fibra va aportando DQO al agua sintética, es así como nos damos cuenta de que cual es el ritmo de descomposición de la fibra, con estos datos nos muestra que el DQO está ligado con los demás parámetros como conductividad eléctrica y en especial el pH. Con los datos de pH ya mencionados vemos que tienden a llegar a un pH neutro. Con esto determinamos que mientras más rápido la fibra se descomponga más alto será su valor de DQO como también su aporte en conductividad eléctrica y pH.

Tabla 20 Comportamiento del DQO con la Fibra *Furcraea andina*.

<i>Furcraea andina</i>	CONCENTRACIÓN BAJO (mg/l)		CONCENTRACIÓN MEDIO (mg/l)		CONCENTRACIÓN ALTO (mg/l)	
	FN	F1CM	FN	F1CM	FN	F1CM
TIEMPOS (h)						
0	0,00	0,00	1,21	1,21	99,61	99,61
24	160,64	118,26	156,00	172,82	292,58	334,62
48	167,82	172,33	202,50	240,52	293,43	338,20
72	264,63	281,01	305,86	283,53	436,27	478,39
96	351,79	291,79	348,42	378,57	493,20	484,39

Elaborador por: Autor

La fibra *musa textiles* muestra valores de DQO más bajos que la fibra anterior es así como según estos valores nos muestra que la musa textiles demora mucho más tiempo es descomponerse. Tabla 21.

Tabla 21 Comportamiento del DQO con la Fibra *Musa textiles*

<i>Musa textiles</i>	CONCENTRACIÓN BAJO (mg/l)		CONCENTRACIÓN MEDIO (mg/l)		CONCENTRACIÓN ALTO (mg/l)	
	FN	F1CM	FN	F1CM	FN	F1CM
TIEMPOS (h)						
0	0,00	0,00	1,21	1,21	99,61	99,61
24	7,34	17,92	23,02	23,74	128,63	95,05
48	13,01	25,29	33,99	42,94	158,25	128,21
72	32,70	34,85	51,74	45,09	162,73	137,53
96	52,77	41,57	65,11	48,69	209,68	176,88

Elaborador por: Autor

La tabla 22 muestra que la *musa paradisiaca* aporta más DQO que las demás fibras refiriéndose a que su descomposición es mucho más rápida que las demás fibras. Estos valores concuerdan con los dados en los otros parámetros (pH y conductividad eléctrica) de comportamiento de la fibra *musa paradisiaca*. Ya que esos valores son mucho más elevados a comparación con las otras fibras.

Tabla 22 Comportamiento del DQO con la Fibra *Musa Paradisiaca*

<i>Musa Paradisiaca</i>	CONCENTRACIÓN BAJO (mg/l)		CONCENTRACIÓN MEDIO (mg/l)		CONCENTRACIÓN ALTO (mg/l)	
	FN	F1CM	FN	F1CM	FN	F1CM
TIEMPOS (h)						
0	0,00	0,00	1,21	1,21	99,61	99,61
24	777,80	834,63	648,96	881,18	568,75	870,76
48	941,23	924,99	684,71	896,91	587,77	896,50
72	1105,20	980,73	840,00	920,00	726,42	928,00
96	1340,60	994,67	880,78	976,50	787,24	1026,80

Elaborador por: Autor

4.7. Velocidad de reacción del Color

Aplicando la ecuación de velocidad [A] y la ecuación de vida media de la reacción [B] descritas en capítulo II con el método gráfico de la pendiente y observando el comportamiento del color con las diferentes fibras se pudo obtener las siguientes constantes de velocidad con su tiempo de vida media de la reacción

Tabla 23: Velocidad de reacción del color en las fibras *Musa textiles* y *Furcraea andina*

FIBRA CONCENTRACIÓN	<i>Musa textiles</i>		<i>Furcraea andina</i>	
	ALTA		ALTA	
CORTE	FN	F1CM	FN	F1CM
PENDIENTE	-2,65x10 ⁻³ (h ⁻¹)	-2,91 x10 ⁻³ (h ⁻¹)	-4,48 x10 ⁻³ (h ⁻¹)	-4,78 x10 ⁻³ (h ⁻¹)
K_v	6,11 x10 ⁻³ (h ⁻¹)	6,69 x10 ⁻³ (h ⁻¹)	1,03 x10 ⁻³ (h ⁻¹)	1,10 x10 ⁻³ (h ⁻¹)
t(0,5)	113,47 h	103,58 h	67,13 h	62,93 h

Elaborador por: Autor

En la tabla 23 se indica las velocidades de reacción de las fibras *musa textiles* y *furcraea andina*, estas velocidades solo se pudieron obtener de las concentraciones altas ya que fueron las únicas concentraciones donde hubo remoción de color. La fibra *musa paradisiaca* no mostro una remoción de color significativa por lo que no se calculó las velocidades de reacción.

4.8. Velocidad de reacción de la concentración del Cobre con las fibras.

Las velocidades de reacción de cobre con la fibra *Furcraea andina* nos muestra que las mejores velocidades de reacción están en las concentraciones altas y con un valor de 5,56 x10⁻² h⁻¹ y con un tiempo de vida media de 12,46 horas, es decir que ese tiempo logro reducir a la mitad su concentración inicial de cobre.

Tabla 24: Velocidad de reacción del cobre con la fibra *Furcraea andina*

FIBRA CONCENTRACIÓN	<i>Furcraea andina</i>					
	BAJA		MEDIA		ALTA	
CORTE	FN	F1CM	FN	F1CM	FN	F1CM
PENDIEN TE	-6,09x10 ⁻⁴ (h ⁻¹)	-7,64x10 ⁻⁴ (h ⁻¹)	-1,26x10 ⁻² (h ⁻¹)	-4,46x10 ⁻³ (h ⁻¹)	-2,42x10 ⁻² (h ⁻¹)	-2,42x10 ⁻² (h ⁻¹)
K_v	1,40 x10 ⁻³ (h ⁻¹)	1,76 x10 ⁻³ (h ⁻¹)	2,90 x10 ⁻² (h ⁻¹)	1,03 x10 ⁻² (h ⁻¹)	5,56 x10 ⁻² (h ⁻¹)	5,56 x10 ⁻² (h ⁻¹)
t(0,5)	493,94	394,02	23,93	67,52	12,46	12,46

Elaborador por: Autor

La tabla 25 los valores de velocidades de reacción del cobre con la fibra *Musa textiles* cumplen el mismo comportamiento que la fibra *Furcraea andina* siendo la mejor velocidad de reacción la de concentración media y corte de FN con $6,71 \times 10^{-2} \text{ h}^{-1}$ y con un tiempo de vida media de 10,33 horas.

Tabla 25: Velocidad de reacción del cobre con la fibra *Musa textiles*

FIBRA	<i>Musa textiles</i>					
	BAJA		MEDIA		ALTA	
CONCENTRACIÓN						
CORTE	FN	F1CM	FN	F1CM	FN	F1CM
PENDIENTE	-9,60 $\times 10^{-4} \text{ (h}^{-1}\text{)}$	-1,00 $\times 10^{-3} \text{ (h}^{-1}\text{)}$	-2,91 $\times 10^{-2} \text{ (h}^{-1}\text{)}$	-4,66 $\times 10^{-3} \text{ (h}^{-1}\text{)}$	-1,21 $\times 10^{-2} \text{ (h}^{-1}\text{)}$	-1,21 $\times 10^{-2} \text{ (h}^{-1}\text{)}$
Kv	$2,21 \times 10^{-3} \text{ (h}^{-1}\text{)}$	$2,31 \times 10^{-3} \text{ (h}^{-1}\text{)}$	$6,71 \times 10^{-2} \text{ (h}^{-1}\text{)}$	$1,07 \times 10^{-2} \text{ (h}^{-1}\text{)}$	$2,78 \times 10^{-2} \text{ (h}^{-1}\text{)}$	$2,78 \times 10^{-2} \text{ (h}^{-1}\text{)}$
t(0,5)	313,40	299,42	10,33	64,59	24,91	24,91

Elaborador por: Autor

La fibra *Musa paradisiaca* presenta mejores velocidades de reacción que las demás fibras esto puede ser por su capacidad en descomposición más rápida que las otras fibras ligando a que su reacción con el agua sintética sea a su vez más rápida.

Las concentraciones medias y altas son las que presentan mejores velocidades, pero las concentraciones bajas muestran que se necesita mucho más tiempo para remoción del cobre del que se hizo los análisis. Es así como el caso de la concentración baja y con corte FN se necesita 1962 horas para remover a la mitad del valor inicial de concentración de cobre.

Tabla 26: Velocidad de reacción del cobre con la fibra *Musa paradisiaca*

FIBRA	<i>Musa Paradisiaca</i>					
	BAJA		MEDIA		ALTA	
CONCENTRACIÓN						
CORTE	FN	F1CM	FN	F1CM	FN	F1CM
PENDIENTE	$-1,53 \times 10^{-4} \text{ (h}^{-1}\text{)}$	$-3,61 \times 10^{-4} \text{ (h}^{-1}\text{)}$	$-6,98 \times 10^{-3} \text{ (h}^{-1}\text{)}$	$-8,08 \times 10^{-3} \text{ (h}^{-1}\text{)}$	$-2,42 \times 10^{-2} \text{ (h}^{-1}\text{)}$	$-2,42 \times 10^{-2} \text{ (h}^{-1}\text{)}$
Kv	$3,53 \times 10^{-4} \text{ (h}^{-1}\text{)}$	$8,30 \times 10^{-4} \text{ (h}^{-1}\text{)}$	$1,61 \times 10^{-2} \text{ (h}^{-1}\text{)}$	$1,86 \times 10^{-2} \text{ (h}^{-1}\text{)}$	$5,56 \times 10^{-2} \text{ (h}^{-1}\text{)}$	$5,56 \times 10^{-2} \text{ (h}^{-1}\text{)}$
t(0,5)	1962,06	834,71	43,12	37,26	12,46	12,46

Elaborador por: Autor

4.9. Variación de energía (energía de activación de la reacción)

- **Color:** Utilizando la ecuación de Arrhenius [C] descrita en el capítulo II:

La figura 5 muestra que a concentraciones altas las reacciones tienden a ser similares, aunque sus energías de activación sean diferentes

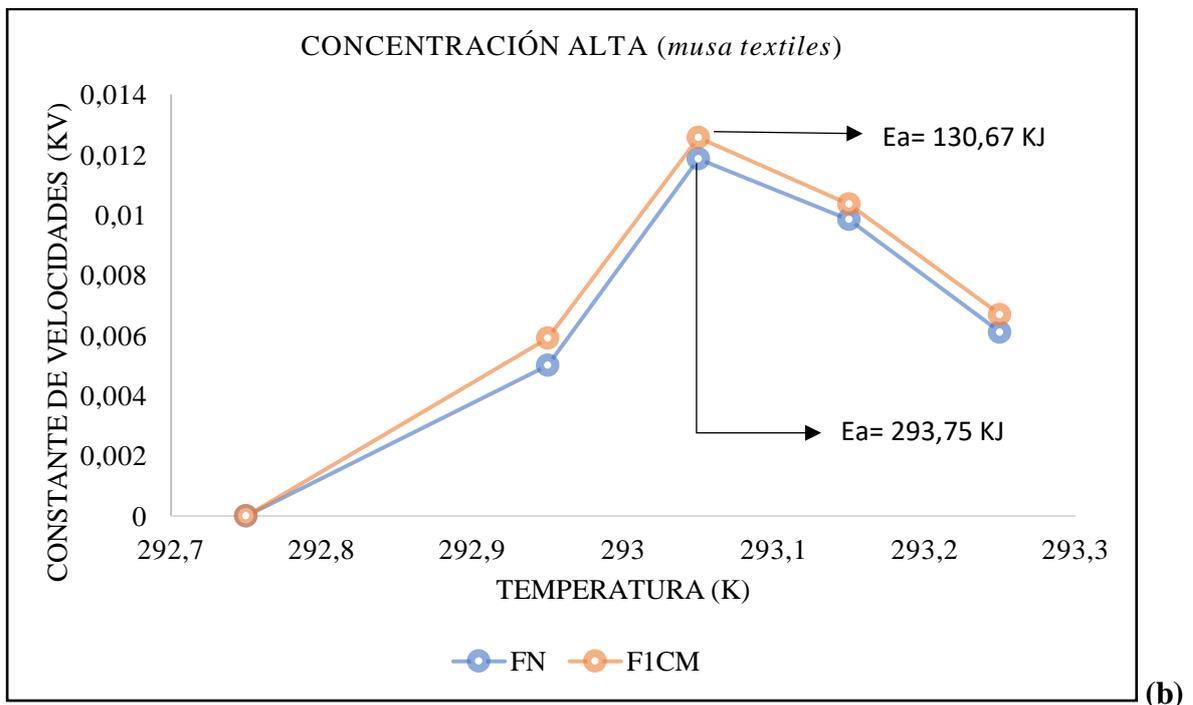
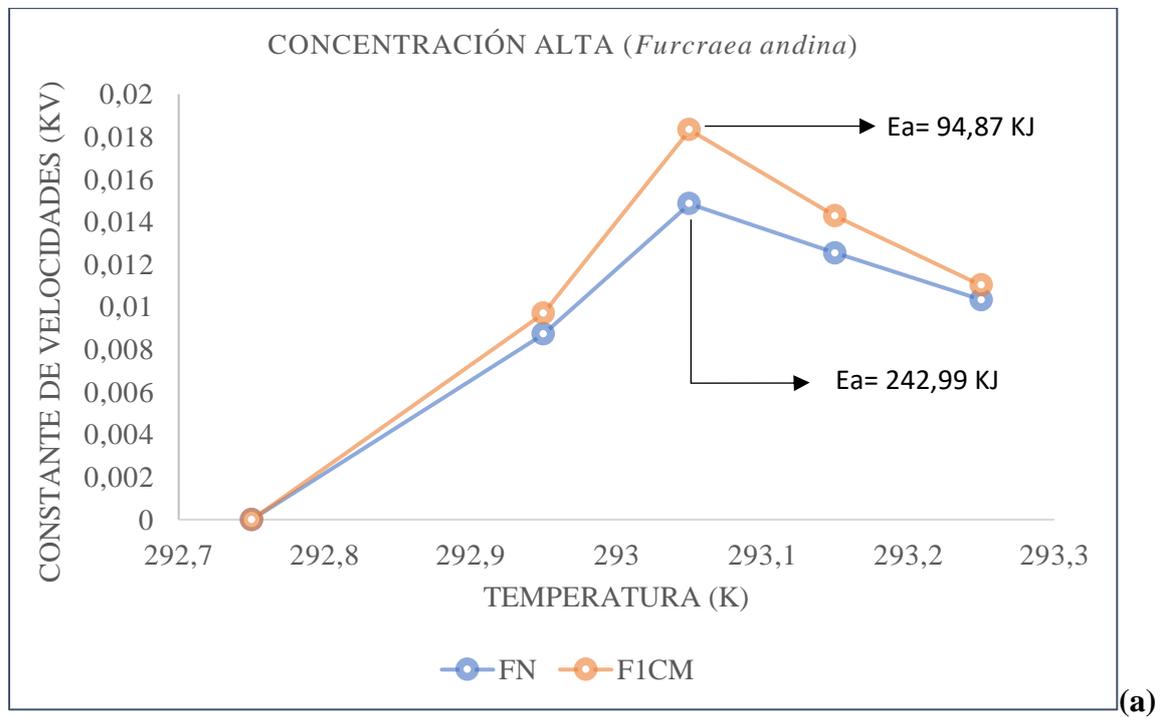


Figura 5 (a y b): Variación de energía en concentración alta del color con la fibra *Furcraea andina* y *Musa textiles*

- Cobre

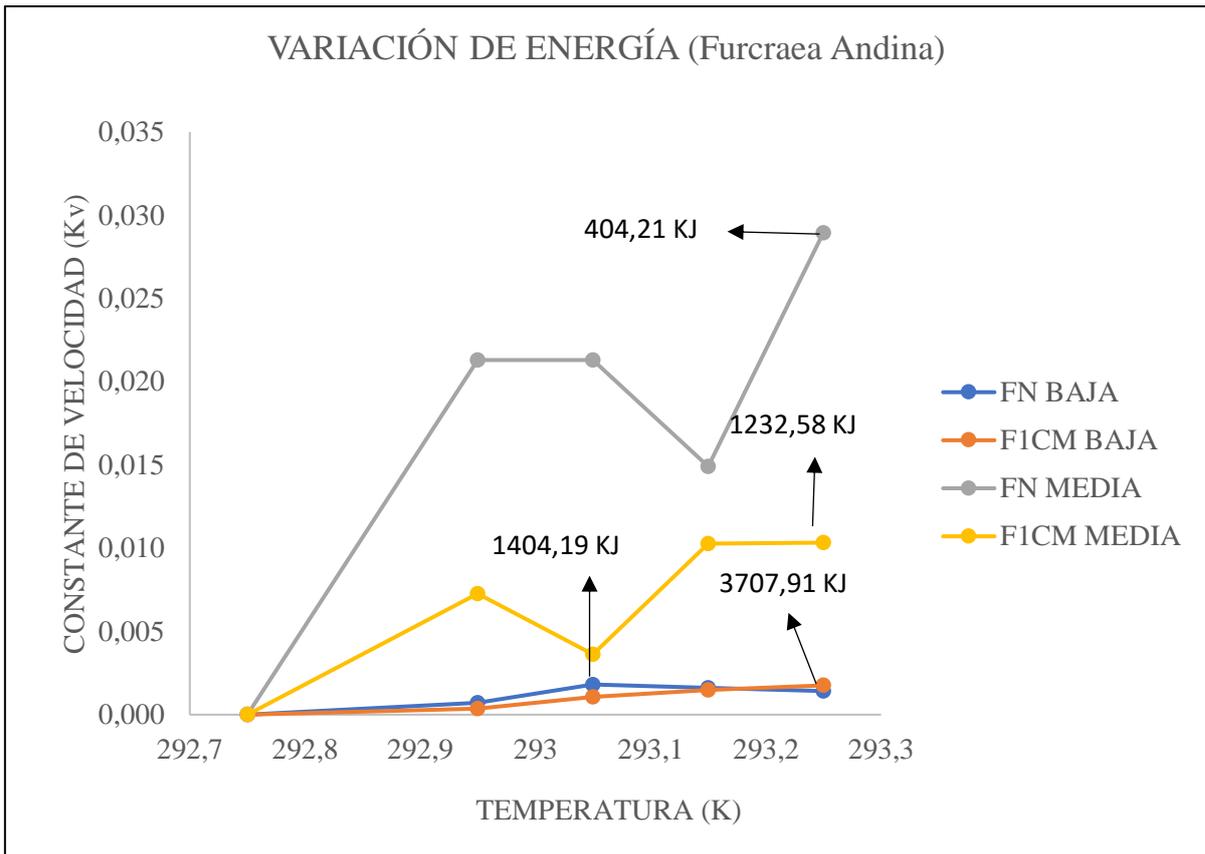


Figura 6: Variación de energía del cobre con la fibra *Furcraea andina*

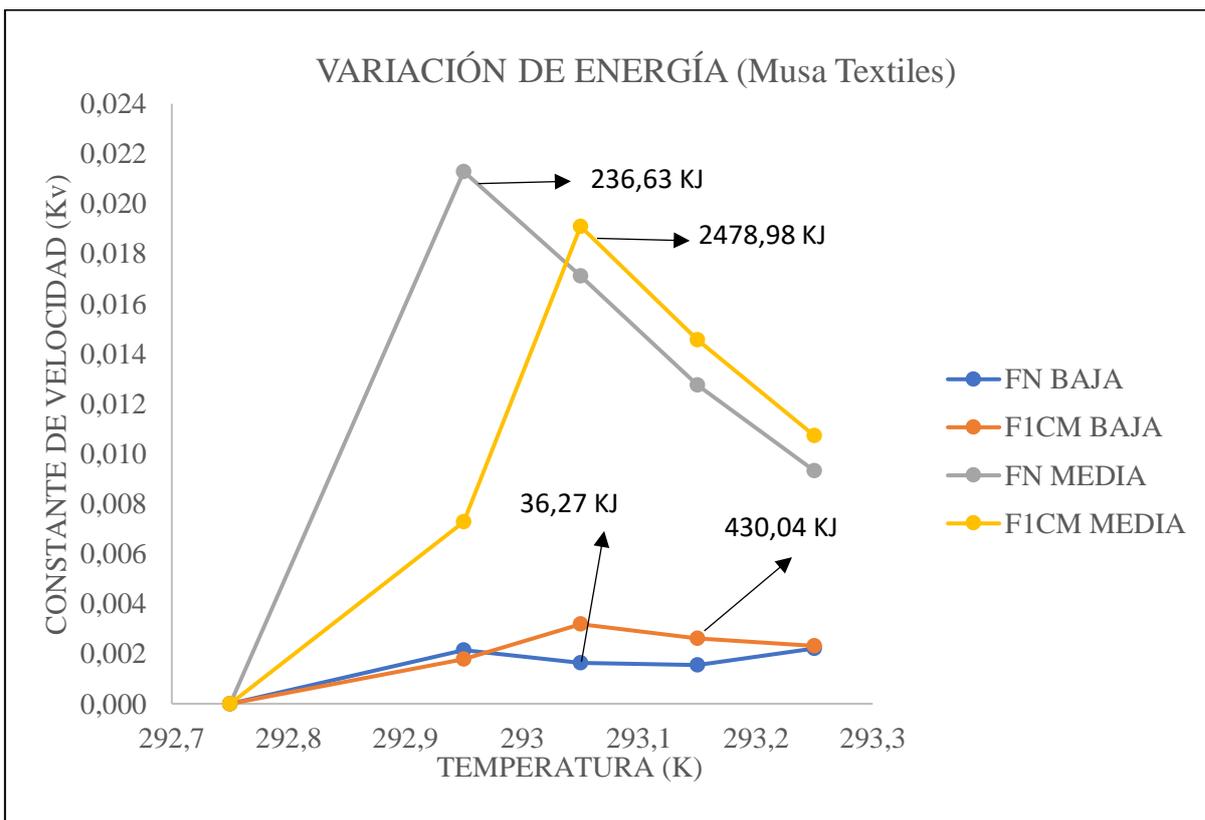


Figura 7: Variación de energía del cobre con la fibra *Musa textiles*

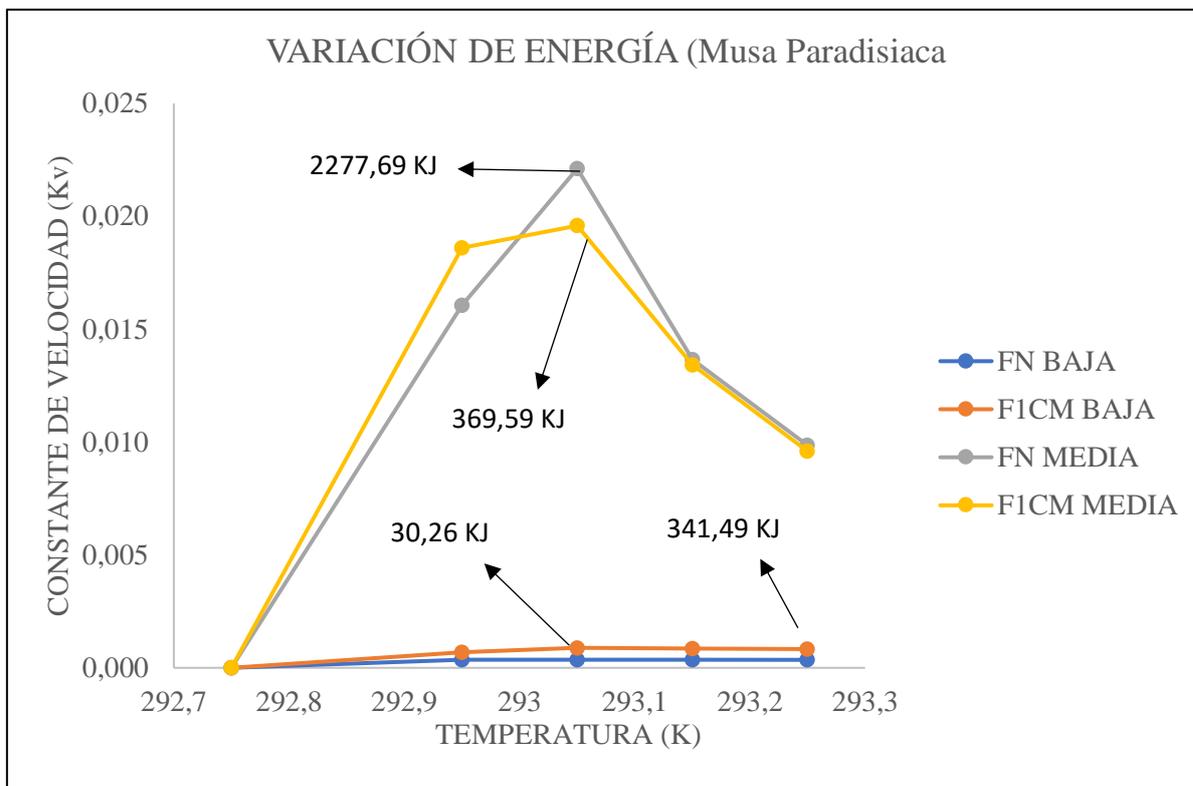


Figura 8: Variación de energía del cobre con la fibra *Musa paradisiaca*

En las figuras 6,7,8 se muestran los resultados de la variación de energía en las diferentes reacciones de las fibras con las concentraciones de cobre, así como también podemos observar cómo se da la reacción a través del tiempo y su temperatura. Todas las reacciones presentan valores de energías de activación diferentes.

4.10. Análisis de varianza ANOVA

En la tabla 27 se muestran los resultados del análisis de varianza ANOVA haciendo relación a la concentración del cobre con sus dos factores (tiempo y corte):

Tabla 27: Resumen de prueba ANOVA para dos factores con relación al cobre

		Tiempo			Corte		
	Simbología	Valores	Hipótesis		Simbología	Valores	Hipótesis
				<i>Furcraea</i>			
Bajo	$F_{cal} > F_{tab}$	$22,56 > 6,38$	acepta H1	<i>andina</i>	$F_{cal} < F_{tab}$	$0,02 < 7,70$	acepta H0
Medio	$F_{cal} > F_{tab}$	$38,89 > 6,38$	acepta H1		$F_{cal} < F_{tab}$	$4,24 < 7,70$	acepta H0
Alto	$F_{cal} > F_{tab}$	$65 > 6,38$	acepta H1		$F_{cal} > F_{tab}$	$65 > 7,70$	acepta H1
				Musa			
Bajo	$F_{cal} < F_{tab}$	$6,34 < 6,38$	acepta H0	paradisiaca	$F_{cal} > F_{tab}$	$7,86 > 7,70$	acepta H1
Medio	$F_{cal} > F_{tab}$	$405,04 > 6,38$	acepta H1		$F_{cal} < F_{tab}$	$1 < 7,70$	acepta H0
Alto	$F_{cal} > F_{tab}$	$65 > 6,38$	acepta H1		$F_{cal} > F_{tab}$	$65 > 7,70$	acepta H1
				Musa			
Bajo	$F_{cal} > F_{tab}$	$22,56 > 6,38$	acepta H1	textiles	$F_{cal} < F_{tab}$	$1,19 > 7,70$	acepta H0
Medio	$F_{cal} > F_{tab}$	$11,19 > 6,38$	acepta H1		$F_{cal} < F_{tab}$	$0,006 < 7,70$	acepta H0
Alto	$F_{cal} > F_{tab}$	$65 > 6,38$	acepta H1		$F_{cal} > F_{tab}$	$65 > 7,70$	acepta H1

Elaborador por: Autor

Los valores obtenidos muestran que el caso de la fibra *furcraea andina* en la variable tiempo se aceptan H1 es decir que no todos los tratamientos tienen el mismo efecto en el tiempo, pero para la variable corte se acepta H0 aseverando que todos los tratamientos tienen el mismo efecto. Para el caso de la *Musa textiles* nos muestra que tiene el mismo efecto que la fibra *furcraea andina* es decir cumplen las mismas aseveraciones en la variable tiempo y en la variable corte donde el corte no afecta en los resultados. La *musa paradisiaca* muestra datos diferentes que las otras fibras, en concentraciones bajas la variable tiempo acepta H0 diciéndonos que el tiempo no afecta en los resultados, pero para la variable corte se acepta H1 concluyendo que el corte sí tiene un efecto en los resultados, en las concentraciones medias nos acepta H1 en variable tiempo y acepta H0 en variable corte, en las concentraciones altas tiene el mismo comportamiento en la variable tiempo pero en la variable corte acepta H1 concluyendo que el corte afecta en los resultados.

Tabla 28: Resumen de prueba ANOVA con relación velocidad de reacción y energía de activación del cobre

Concentración				Corte			
Simbología	Valores	Hipótesis		Simbología	Valores	Hipótesis	
<i>Furcraea andina</i>							
k_v	Fcal > Ftab	752 > 19	acepta H1	Fcal < Ftab	0,31 < 18,51	acepta H0	
t_{0,5}	Fcal > Ftab	56,81 > 19	acepta H1	Fcal < Ftab	0,91 < 18,51	acepta H0	
Ea	Fcal < Ftab	2,80 < 19	acepta H0	Fcal < Ftab	6,16 < 18,51	acepta H0	
<i>Musa paradisiaca</i>							
k_v	Fcal > Ftab	25,27 > 19	acepta H1	Fcal < Ftab	0,26 < 18,51	acepta H0	
t_{0,5}	Fcal < Ftab	5,58 < 19	acepta H0	Fcal < Ftab	1,01 < 18,51	acepta H0	
Ea	Fcal < Ftab	0,41 < 19	acepta H0	Fcal < Ftab	0,51 < 18,51	acepta H0	
<i>Musa textiles</i>							
k_v	Fcal > Ftab	86,79 > 19	acepta H1	Fcal < Ftab	0,5 < 18,51	acepta H0	
t_{0,5}	Fcal > Ftab	741,41 > 19	acepta H1	Fcal < Ftab	1,16 < 18,51	acepta H0	
Ea	Fcal < Ftab	1,43 < 19	acepta H0	Fcal < Ftab	1,43 < 18,51	acepta H0	

Elaborador por: Autor

En el caso de k_v y $t_{0,5}$ en la fibra *furcraea andina* tenemos que la variable concentración se acepta H1 es decir que no todos los tratamientos tienen el mismo efecto a las diferentes concentraciones, pero con la variable corte aceptamos H0 diciendo que el corte no afecta en estos resultados. En la fibra *musa textiles* sucede lo mismo que la fibra *furcraea andina* solo en la Ea aceptamos H0 diciéndonos que las concentraciones no afectan en los resultados. La fibra *musa paradisiaca* en el caso de k_v la variable concentración acepta H1 por lo que las concentraciones sí influyen en el resultado de este parámetro, pero para la variable corte nos dice que no afecta el tipo de corte en los resultados. En $t_{0,5}$ en la variable concentración y corte acepta H0 con lo que no afectan ninguna de estas variables a los resultados. En la energía de activación (Ea) para la variable concentración se acepta H0 y en la variable corte también se acepta H0 denotando que ninguna de estas variables afecta en el resultado de Ea.

CONCLUSIONES

Para remoción de color la fibra *Furcraea andina* fue más efectiva que las otras dos fibras en concentraciones altas teniendo un porcentaje de 60%, mientras que en las concentraciones media fue la fibra *Musa textiles* ya que obtuvo más de un 80% de remoción. La fibra *Musa Paradisiaca* fue la que menos removió color mostrando valores no significativos de remoción. Para remoción de cobre en concentraciones bajas la fibra con mejor remoción es *Musa textiles* llegando a un 20% mientras que para concentraciones medias la fibra que obtuvo un mejor porcentaje es la *Musa Paradisiaca* adsorbiendo 100% en tan solo 48 horas, así mismo esta fibra presento mejor remoción que las otras fibras en concentraciones altas adsorbiendo la totalidad de cobre presenta en solo 24 horas.

En los parámetros de pH, conductividad y DQO las fibras *Musa textiles* y *Furcraea andina* tuvieron el mismo comportamiento sin embargo la fibra *Musa Paradisiaca* presentaba valores más altos que las demás fibras denotando que esta fibra tiene una velocidad más rápida de descomposición con respecto a las otras dos fibras.

Todas las reacciones entre el agua sintética y las fibras fueron de primer orden y con un mecanismo de reacción unimolecular así se obtuvo que para la remoción de color en concentraciones altas la mejor velocidad fue de la fibra *Musa textiles* con una velocidad de $6,69 \times 10^{-3} \text{ (h}^{-1}\text{)}$ con el corte de fibra a F1CM, mientras que la vida media de reacción (tiempo necesario para que la concentración inicial baje a la mitad de concentración inicial en la reacción) el tiempo más corto lo obtuvo la fibra *Furcraea andina* con 63 horas a un corte de fibra de F1CM.

La mejor velocidad de reacción en la remoción del cobre en concentraciones altas es de la fibra *Musa Paradisiaca* con los valores de $5,56 \times 10^{-2} \text{ (h}^{-1}\text{)}$ para corte de fibra FN y para corte de fibra F1CM, mientras que en las concentraciones medias la fibra *Musa textiles* fue la que sobresalió con unas velocidades de $6,71 \times 10^{-2} \text{ (h}^{-1}\text{)}$ para FN y $1,07 \times 10^{-2} \text{ (h}^{-1}\text{)}$ para fibra al corte F1CM y también obtuvo el menor tiempo de vida media en la reacción con 10,33 horas es decir le tomo ese tiempo en adsorber la mitad de su concentración de cobre, en concentraciones bajas esta misma fibra obtuvo las mejores velocidades.

La fibra *Furcraea andina* tuvo la menor energía de activación en la remoción de color con un valor de 94,87 KJ. En la remoción de cobre la fibra *Musa Paradisiaca* obtuvo la menor

energía de activación en la concentración baja a corte FN con un valor de 30,27 KJ pero esto no refleja que sea la más óptima en remoción pues como se encuentra en los datos tiene una menor energía de activación pero también un menor porcentaje de remoción del contaminante.

El análisis estadístico determino que la variable tiempo si muestra un efecto en el tratamiento por lo que los datos no estas correlacionados mientras que el corte no realiza efecto en el tratamiento por lo tanto los datos están correlacionados esto es en los parámetros color, cobre, DQO, pH y conductividad. Mientras que, para los parámetros de velocidad de reacción, vida media de reacción y energía de activación los datos en las variables concentración y corte muestran que no están correlacionados es decir estas variables si afectan en los resultados de estos parámetros.

RECOMENDACIONES

Evitar que las fibras estén en contacto con la humedad antes de su tratamiento porque esto acelera la descomposición de esta.

Es necesario realizar un análisis económico para la puesta en marcha y operación de un sistema que permita la implementación real de este tratamiento a nivel de las industrias como una técnica alternativa para tratar sus efluentes.

Las fibras *Musa paradisiaca*, *Musa textiles* y *Furcraea andina* no presentan valores significativos de adsorción en concentraciones bajas lo cual no son recomendables para remoción de color y cobre en esas concentraciones.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ali, N., Hameed, A., & Ahmed, S. (2010). Role of brown-rot fungi in the bioremoval of azo dyes under different conditions. *Brazilian Journal of Microbiology*, 41(4), 907–915. <https://doi.org/10.1590/S1517-83822010000400009>
- Alonso. (2010). Cinética. Retrieved June 6, 2019, from https://www.alonsoformula.com/QBACH/4_cinetica.htm
- Anjaneyulu, Y., Sreedhara Chary, N., & Samuel Suman Raj, D. (2005). Decolourization of industrial effluents - Available methods and emerging technologies - A review. *Reviews in Environmental Science and Biotechnology*, 4(4), 30. <https://doi.org/10.1007/s11157-005-1246-z>
- Aucancela, E. (2018). Estudio de la correlación hidráulica y la remoción de contaminantes en agua residual sintética mediante un lecho filtrante de musa paradisíaca (Universidad Nacional de Chimborazo). <https://doi.org/scielo.org>
- Balladares, O. (2014). Tratamiento de efluentes de una industria textil del cantón pelileo, provincia tungurahua, contaminados con colorantes azoicos mediante un proceso Electro-Fenton (ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL). Retrieved from <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/7963/4/CD-5669.pdf>
- Bravo Donoso, D. N., & Arroyo Morocho, F. R. (2019). Innovación sustentable: un camino al desarrollo productivo del Ecuador. *INNOVA Research Journal*, 3(5), 29–44. <https://doi.org/10.33890/innova.v3.n5.2018.512>
- Collaguazo. (2013). World Water Assessment Programme (WWAP). Retrieved from www.unesco.org/new/en/natural-sciences/environment/water/wwap/
- Company Hach. (2000). *MANUAL DE ANALISIS DE AGUA*. Loveland, Colorado, EE.UU.
- Cuadrado, C. (2017). Análisis de la fibra obtenida del raquis de la planta musa paradisíaca, utilizada como lecho filtrante en la adsorción del parámetro color presente en las aguas residuales de la hilandería guijarro (Universidad Nacional de Chimborazo; Vol. 1). Retrieved from <http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/3875/1/UNACH-EC-ING-AMB-2017-0004.pdf>
- Domos. (2008, January 6). Reducción de Colorantes de las Aguas Residuales en la Industria Textil. <https://doi.org/10.1080/08958370701874663>
- Erkurt, H. A. (2010). The handbook of environmental chemistry: Biodegradation of Azo Dyes. https://doi.org/10.1007/b_10457
- Fresno. (2010). CINÉTICA QUÍMICA. Retrieved June 6, 2019, from http://fresno.pntic.mec.es/~fgutie6/quimica2/ArchivosHTML/Teo_3_princ.htm
- Garcés, L., Hernández, M., Peñuela Mesa, G., Rodríguez, A., & Salazar Palacio, J. A. (2004). Degradación de aguas residuales de la industria textil por medio de fotocátalisis. *Revista Lasallista de Investigación*, 2(1), 5. Retrieved from

<http://www.redalyc.org/html/695/69520103/>

- Gordón, M. (2015). Tratamiento de efluentes de una industria textil del cantón pelileo, provincia de tungurahua, contaminados con colorantes azoicos mediante el uso de un proceso foto-fenton (escuela politécnica nacional). Retrieved from <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/11178/1/CD-6411.pdf>
- Guato, L. (2018). Percepción local sobre el impacto territorial y la gobernanza socio-ambiental de la industria del jean en ecuador (escuela politécnica nacional). Retrieved from <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/19422/1/CD-8812.pdf>
- H.E.Avery. (2002). Cinética química básica y mecanismos de reacción (Reverté, S). Retrieved from [http://books.google.com.co/books?id=PG1u2E-9Nd4C&pg=PA20&dq=cinetica+de+quimica-velocidad+de+la+saponificación+del+acetato+de+etilo&hl=es&sa=X&ei=NvkSU9XuBYXJkAfr4YCgAg&ved=0CCoQ6AEwAA#v=onepage&q=cinetica de quimica-velocidad de la saponificación del ace](http://books.google.com.co/books?id=PG1u2E-9Nd4C&pg=PA20&dq=cinetica+de+quimica-velocidad+de+la+saponificación+del+acetato+de+etilo&hl=es&sa=X&ei=NvkSU9XuBYXJkAfr4YCgAg&ved=0CCoQ6AEwAA#v=onepage&q=cinetica+de+quimica-velocidad+de+la+saponificación+del+ace)
- Harris, G. M. (1973). Cinética química. Reverte.
- Herminia, I., Maura, M., Cano, M., Solís, M., Solís, A., Loera, O., & Pérez, H. I. (2012). INTRACELULARES Y EXTRACELULARES DE *Trametes versicolor*. *Interciencia*, 37(0378–1844), 6.
- Izquierdo Torres, J. F., & Universitat de Barcelona. Departament d'Enginyeria Química i Metal·lúrgia. (2004). Cinética de las reacciones químicas. Edicions Universitat de Barcelona.
- Khan, R., & Banerjee, U. C. (2010). Decolorization of Azo Dyes by Immobilized Bacteria. H. Atacag Erkurt (Ed.), 75. Retrieved from <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-642-11847-0>
- Khatti, S. D., & Singh, M. K. (1999). Colour removal from dye wastewater using sugar cane dust as an adsorbent. *Adsorption Science and Technology*, 17(4), 269–282. <https://doi.org/10.1177/026361749901700404>
- López, C., Moreira, M., Feijoo, G., & Lema, J. M. (2007). Tecnologías para el tratamiento de efluentes de industrias textiles. *Afinidad*, 64(May 2014), 15. Retrieved from https://www.researchgate.net/profile/Carmen_Lopez5/publication/229058887_Tecnologias_para_el_tratamiento_de_efluentes_de_industrias_textiles/links/0912f4ffd534f16c86000000.pdf
- Lu, X., & Liu, R. (2010). Treatment of Azo Dye-Containing Wastewater Using Integrated Processes. H. Atacag Erkurt, 21. Retrieved from <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-642-11847-0>
- MAE. Acuerdo No. 061 Reforma del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria. , Acuerdo No. 061 Reforma Del Libro Vi Del Texto Unificado De Legislación Secundaria § (2015).
- Olivarez, N., & Guevara, R. (2016). Estudio de la cinética de adsorción y desorción de Mercurio en sistema batch y su remoción en columnas empacadas con quitosano

TRABAJO DE DIPLOMA PRESENTADO POR (Universidad Nacional de Ingeniería). Retrieved from <http://ribuni.uni.edu.ni/1189/1/80588.pdf>

Ríos Donato, N., Carranza Marmolejo, R. de J., García Lemus, R. C., Blanco Aquino, A., García Gaytán, B., & Mendizabal Mijares, E. (2013). Eliminación de colorantes de disoluciones acuosas utilizando sulfato de quitosano. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 14(5), 8. Retrieved from <http://www.ehu.es/reviberpol/SEPT13/rios.pdf>

Sharma, S. K., & Sanghi, R. (2012). *Advances in water treatment and pollution prevention*. Springer.

Sigma-Aldrich. (2011). *Catalogo de reactivos y equipos*. Retrieved from https://www.chemblink.com/MSDS/MSDSFiles/2429-74-5_Sigma-Aldrich.pdf

Vaca, L. (2011). *Energia de Activacion y Ecuacion de Arrhenius | Catálisis | Reacciones químicas*. Retrieved June 26, 2019, from <https://es.scribd.com/doc/101495927/Energia-de-Activacion-y-Ecuacion-de-Arrhenius>

Vilaseca, M., Lopez, V., Gutierrez, C., & Crespi, M. (2012). *MÉTODOS DE ELIMINACIÓN DEL COLOR EN EFLUENTES DE TINTURA TEXTIL*. Retrieved from <http://repository.lasallista.edu.co:8080/ojs/index.php/pl/article/view/103/53>

WWAP (Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de la UNESCO). (2019). *Informe mundial de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos 2019: No dejar a nadie atrás*. Retrieved from <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000367304?posInSet=2&queryId=3ec29fb0-a44a-4183-bb8e-a907a7e4513e>

ANEXOS

Anexo 1: Resultados de análisis de ANOVA para los diferentes parámetros

Tabla 29: Resumen de prueba ANOVA para dos factores con relación al color

CONCENTRACIÓN	TIEMPO				CORTE		
	SIMBOLOGÍA	VALORES	HIPÓTESIS		SIMBOLOGÍA	VALORES	HIPÓTESIS
BAJO	Fcal > Ftab	132 > 6,38	acepta H1	<i>Furcraea andina</i>	Fcal < Ftab	1,94 < 7,70	acepta H0
MEDIO	Fcal > Ftab	90,48 > 6,38	acepta H1		Fcal < Ftab	0,96 < 7,70	acepta H0
ALTO	Fcal > Ftab	368 > 6,38	acepta H1		Fcal < Ftab	5,57 < 7,70	acepta H0
BAJO	Fcal > Ftab	15,06 > 6,38	acepta H1	<i>Musa paradisiaca</i>	Fcal < Ftab	7,17 < 7,70	acepta H0
MEDIO	Fcal > Ftab	110 > 6,38	acepta H1		Fcal < Ftab	0,48 < 7,70	acepta H0
ALTO	Fcal > Ftab	35 > 6,38	acepta H1		Fcal < Ftab	4,17 < 7,70	acepta H0
BAJO	Fcal > Ftab	13,20 > 6,38	acepta H1	<i>Musa textiles</i>	Fcal < Ftab	0,34 < 7,70	acepta H0
MEDIO	Fcal > Ftab	226 > 6,38	acepta H1		Fcal < Ftab	1,76 < 7,70	acepta H0
ALTO	Fcal > Ftab	139 > 6,38	acepta H1		Fcal > Ftab	10 > 7,70	acepta H1

Elaborador por: Autor

Tabla 30: Resumen de prueba ANOVA para dos factores con relación al DQO

CONCENTRACIÓN	TIEMPO			CORTE	
	SIMBOLOGÍA	HIPÓTESIS		SIMBOLOGÍA	HIPÓTESIS
BAJO	Fcal > Ftab	acepta H1	<i>Furcraea andina</i>	Fcal < Ftab	acepta H0
MEDIO	Fcal > Ftab	acepta H1		Fcal < Ftab	acepta H0
ALTO	Fcal > Ftab	acepta H1		Fcal < Ftab	acepta H0
BAJO	Fcal > Ftab	acepta H1	<i>Musa paradisiaca</i>	Fcal < Ftab	acepta H0
MEDIO	Fcal > Ftab	acepta H1		Fcal > Ftab	acepta H1
ALTO	Fcal > Ftab	acepta H1		Fcal > Ftab	acepta H1
BAJO	Fcal > Ftab	acepta H1	<i>Musa textiles</i>	Fcal < Ftab	acepta H0
MEDIO	Fcal > Ftab	acepta H1		Fcal < Ftab	acepta H0
ALTO	Fcal > Ftab	acepta H1		Fcal > Ftab	acepta H1

Elaborador por: Autor

Tabla 31: Resumen de prueba ANOVA para dos factores con relación al pH

CONCENTRACION	TIEMPO			CORTE	
	SIMBOLOGÍA	HIPÓTESIS		SIMBOLOGÍA	HIPÓTESIS
	A	S		A	S
			<i>Furcraea andina</i>		
BAJO	Fcal > Ftab	acepta H1		Fcal < Ftab	acepta H0
MEDIO	Fcal > Ftab	acepta H1		Fcal > Ftab	acepta H1
ALTO	Fcal > Ftab	acepta H1		Fcal < Ftab	acepta H0
			<i>Musa paradisiaca</i>		
BAJO	Fcal > Ftab	acepta H1		Fcal < Ftab	acepta H0
MEDIO	Fcal > Ftab	acepta H1		Fcal < Ftab	acepta H0
ALTO	Fcal > Ftab	acepta H1		Fcal < Ftab	acepta H0
			<i>Musa textiles</i>		
BAJO	Fcal > Ftab	acepta H1		Fcal < Ftab	acepta H0
MEDIO	Fcal > Ftab	acepta H1		Fcal < Ftab	acepta H0
ALTO	Fcal > Ftab	acepta H1		Fcal > Ftab	acepta H1

Elaborador por: Autor

Tabla 32: Resumen de prueba ANOVA para dos factores con relación a la conductividad

CONCENTRACION	TIEMPO			CORTE	
	SIMBOLOGÍA	HIPÓTESIS		SIMBOLOGÍA	HIPÓTESIS
	A	S		A	S
			<i>Furcraea andina</i>		
BAJO	Fcal < Ftab	acepta H0		Fcal > Ftab	acepta H1
MEDIO	Fcal < Ftab	acepta H0		Fcal > Ftab	acepta H1
ALTO	Fcal > Ftab	acepta H1		Fcal < Ftab	acepta H0
			<i>Musa textiles</i>		
BAJO	Fcal > Ftab	acepta H1		Fcal < Ftab	acepta H0
MEDIO	Fcal < Ftab	acepta H0		Fcal < Ftab	acepta H0
ALTO	Fcal > Ftab	acepta H1		Fcal < Ftab	acepta H0
			<i>Musa paradisiaca</i>		
BAJO	Fcal > Ftab	acepta H1		Fcal < Ftab	acepta H0
MEDIO	Fcal > Ftab	acepta H1		Fcal < Ftab	acepta H0
ALTO	Fcal > Ftab	acepta H1		Fcal < Ftab	acepta H0

Elaborador por: Autor

Anexo 2: Preparación de las fibras.



Anexo 3: Elaboración del agua sintética



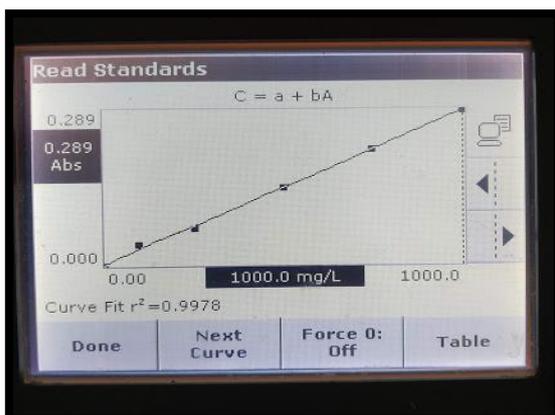
Anexo 4: Recipiente con fibra y agua sintética en diferentes concentraciones



Anexo 5: Tomas de muestras



Anexo 6: Análisis de las muestras



Read Standards

mg/L	Abs
0.0000	0.000
100.00	0.043
250.00	0.072
500.00	0.147
750.00	0.219
1000.0	0.289

Exit Zero Read Graph



Anexo 7: Fibra después del tratamiento

