

INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DEL SUR DE GUANAJUATO



TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL SINTÉTICA CONTAMINADA CON COLORANTE NEGRO 601 MARIPOSA MEDIANTE MORINGA OLEIFERA

TITULACIÓN INTEGRAL (OPCIÓN 2)

Tesis Profesional

Elaborada por:

Isabel Pantoja Villagomez

Que presenta para obtener el título de:

INGENIERO AMBIENTAL

Asesor:

Dr. Fernando Jonathan Lona Ramírez

“TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL SINTÉTICA CONTAMINADA CON COLORANTE NEGRO 601 MARIPOSA MEDIANTE MORINGA OLEIFERA”

Elaborada por:

Isabel Pantoja Villagomez

Aprobado por.

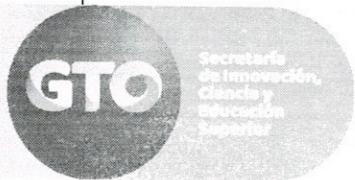
DR. FERNANDO JONATHAN LONA RAMÍREZ
Docente de la carrera de Ingeniería Ambiental
Asesor de tesis profesional

Revisado por.

Q. BRENDA HUICHAPA ROCHA
Docente de la carrera de Ingeniería Ambiental
Asesor de tesis profesional

Revisado por.

ING. JOSE LUIS ROCHA PEREZ
Docente de la carrera de Ingeniería Ambiental
Asesor de tesis profesional



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO

SEP

SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA

Instituto Tecnológico Superior del Sur de Guanajuato



2019, Abr de 17, Uriangato, Guanajuato

2019, Abr de 17, Uriangato, Guanajuato

LIBERACIÓN DE PROYECTO PARA LA TITULACIÓN INTEGRAL

Uriangato, Gto., **17/Mayo/2019**

Asunto: Liberación de proyecto para la titulación integral

Ing. J. Trinidad Tapia Cruz
Director Académico y de Estudios Profesionales
ITSUR
PRESENTE

Por este medio informo que ha sido liberado el siguiente proyecto para la titulación integral:

Nombre del estudiante y/o egresado: ISABEL PANTOJA VILLAGOMEZ	
Carrera: Ing. Ambiental	Núm. de control: A13120104
Nombre del proyecto: TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL SINTÉTICA CONTAMINADA CON COLORANTE NEGRO 601 MARIPOSA MEDIANTE MORINGA OLEIFERA	
Producto: Tesis Profesional	

Agradezco de antemano su valioso apoyo en esta importante actividad para la titulación profesional de nuestros egresados.

ATENTAMENTE

Dr. Fernando Jonathan Lona Ramírez
Coordinador de Ingeniería Ambiental
ITSUR

INGENIERÍA AMBIENTAL
COORDINACIÓN
del Sur de Guanajuato
Instituto Tecnológico Superior



La comisión revisora ha tenido a bien aprobar la reproducción de este trabajo.

Dr. Fernando Jonathan Lona Ramírez	Q. Brenda Huichapa Rocha	Ing. José Luis Rocha Pérez

c.c.p.- Expediente



Ave. Educación Superior # 2000 Col. Benito Juárez Uriangato, Guanajuato, C.P. 38280
Apartado Postal # 61. Tels. (445)4577468 al 71 Ext. 116
email: ambiental@itsur.edu.mx
www.itsur.edu.mx



AGRADECIMIENTOS Y DEDICATORIAS

Tabla de contenido

Capítulo 1	1
Introducción.	1
Capítulo 2	3
Marco teórico (Antecedentes)	3
2.1 La Industria Textil	3
2.2 Principales contaminantes de la industria textil	3
2.3 Generalidades de los colorantes	4
2.4 Degradación de colorantes de tipo azo	6
2.5 Coagulación y floculación	8
2.6 Agentes naturales empleados en la coagulación	8
2.6.1 Coagulantes con mayor uso	9
2.7 Moringa Oleífera	9
2.8 Estudios realizados	10
Capítulo 3	12
Planteamiento del problema	12
3.1. Identificación.	12
3.2. Justificación.	13
3.3. Alcance.	14
Capítulo 4	15
Objetivos	15
4.1 Objetivos generales.	15
4.2 Objetivos específicos	15

Capítulo 5	16
Metodología	16
Capítulo 6 Resultados	21
6.1 Lugar de experimentación	21
6.2 Curva de calibración del colorante Negro 601 Mariposa.	21
6.3 Dosis óptima del coagulante	22
6.4 Cinética del Colorante Negro 601 Mariposa	23
Capítulo 7	26
Análisis de Resultados	26
7.1 Determinación de la cantidad optima de Moringa Oleífera	26
7.2 Influencia de la temperatura en el proceso de coagulación-floculación	27
Capítulo 8	28
Conclusiones	28
Referencias bibliográficas	30

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Métodos Convencionales para el Tratamiento de Aguas Residuales de la Industria Textil	6
Tabla 2: Soluciones para una curva de calibración	22
Tabla 3: Colorante removido a diversas temperaturas	25

INDICE DE FIGURAS

Fig. 1: Contaminantes Generados en la Industria Textil.....	4
Fig. 2: Molécula de Mauveina.....	5
Fig. 3: Vista aérea del ITSUR.....	21
Fig. 4: Croquis del Instituto Tecnológico Superior del Sur de Guanajuato (ITSUR).....	21
Fig. 5: Vista frontal del Edificio A del ITSUR	21
Fig. 6: Curva de calibración del Colorante Negro 601 Mariposa	22
Fig. 7: Cinética a Temperatura Ambiente	24

RESUMEN

Tratamiento de agua residual sintética contaminada con colorante negro 601 mariposa mediante *Moringa Oleífera*:

En el actual estudio se evaluó la eficiencia del polvo de la semilla de *Moringa Oleífera*, como agente coagulante-floculante natural, durante procesos de coagulación-floculación. Las variables monitoreadas fueron el porcentaje de remoción y el DQO variando la temperatura con el fin demostrar como un agente coagulante-floculante natural puede tener alto rendimiento en el tratamiento de agua residual sintética contaminada con colorante negro 601 mariposa.

Esto fue realizado, mediante un diseño experimental aplicado a diversas muestras de agua residual sintética de colorante negro 601 mariposa, se concluye una concentración de 4.16 gL⁻¹, es el tratamiento que mostró, en promedio, mayor remoción de colorante (99.01 por ciento), así como 40°C la temperatura con la mejor formación de flóculos.

Abstract

In the current study, the efficiency of the *Moringa Oleifera* seed powder, as natural coagulant-flocculant agent, was evaluated during the coagulation-flocculation processes. The variables monitored were: DQO and temperature in order to demonstrate how natural coagulant-flocculant agent can have high performance in the treatment process of synthetic wastewater contaminated with black dye 601 butterfly. This was done through an experimental design. A concentration of 4.16 gL⁻¹ was applied; it is the treatment that received, on average, greater colorant removal (99.01 percent), as well as 40 ° C the temperature with the best formation of flocs

Palabras claves (*Moringa Oleífera*, DQO, Coagulante, Floculante, Colorante).

Capítulo 1

Introducción.

Los colorantes son sustancias químicas utilizadas en pequeñas proporciones para impartir color a diversos materiales con variados propósitos funcionales o estéticos. Los cuales exhiben color debido a su capacidad para absorber luz en la región visible (400-800 nm) del espectro (Wolfgang, 1987).

Los colorantes azoicos, representan más del 50% de la totalidad de colorantes utilizados en el mundo; son compuestos químicos xenobióticos caracterizados por la presencia del grupo cromóforo azo en su estructura molecular, constituido por dos átomos de nitrógeno unidos mediante un doble enlace (N=N) (Centeno Salcedo, 1997).

En la industria textil se consumen 1, 400,000 toneladas de colorantes azo, equivalente a dos tercios de la producción total, (Mahmoodi & Arami, 2006), de la cual un 50% es perdido durante la coloración de fibras (RC, Sood , KK, & A, 2004).

Estos compuestos representan un serio problema de contaminación, ya que son sustancias estables a la degradación solar, la temperatura y los microorganismos convirtiéndolos en recalcitrantes de baja velocidad de despolimerización.

La industria textil es una de las más importantes de nuestro país sin embargo, es una de las industrias con mayor consumo de agua. Donde entre 100 a 200 L de agua son necesarios para producir un kilogramo de productos textiles (J.C. & G.G., 2016). Adicionalmente, dicha agua resulta altamente contaminada debido a la presencia de colorantes, surfactantes, sales inorgánicas y variados compuestos químicos empleados en el proceso productivo (V, M, & Gutierrez Bouzan, 2015).

Hoy en día, son diversos los procesos aplicables al tratamiento de aguas de la industria textil, tales como físicos, químicos y biológicos; cada uno de ellos con limitaciones técnicas y económicas. Ejemplo de ello, pueden ser mencionados los procesos biológicos anaeróbicos o aeróbicos donde estos presentan una

desventaja en la degradación o remoción de colorantes debido a la alta toxicidad que estos presentan (R.M, 2003). Mientras procesos como la oxidación química, adsorción y osmosis inversa, son altamente eficientes pero limitados por costos elevados, limitada aplicabilidad, alto consumo energético, producción de lodos y generación de subproductos tóxicos (Supaka, Juntonlin, Damronlerd, Delia, & Streaiano).

Debido a la complejidad que presentan los efluentes textiles para su tratamiento y sus efectos toxicológicos toma importancia la búsqueda de alternativas amigables con el ambiente, siendo la bioadsorción una alternativa aplicable para la remoción de colorantes, por su eficiencia, bajo costo, minimización de lodos químicos y/o biológicos.

En el campo de la bioadsorción se han estudiado diferentes materiales naturales como nopal, plátano, arroz, yuca, papa, trigo y *Moringa Oleífera*. Siendo esta última el tema central de la presente investigación.

La *Moringa Oleífera* es un árbol tropical originario de África y la India que posee múltiples propiedades nutricionales y farmacológicas. Su aplicación en el campo del tratamiento del agua es ampliamente conocida, puesto que las semillas

poseen un compuesto activo coagulante capaz de reducir la turbidez del agua y la contaminación microbiológica de la misma (C, y otros, 2013).

En los últimos años, la investigación en torno a la *Moringa Oleífera* se ha centrado en estudiar su potencial para resolver problemáticas medioambientales (tales como la eliminación de metales pesados (Cromo, Zinc, Níquel, Mercurio y Plomo) en el tratamiento de aguas residuales) utilizando distintos sustratos obtenidos a partir de *Moringa Oleífera* como adsorbente.

Capítulo 2

Marco teórico (Antecedentes).

2.1 La Industria Textil

El sector textil es uno de los principales generadores de contaminantes que se vierten a los efluentes; ya que esta industria utiliza gran variedad de contaminantes de diversa naturaleza (fibras, hilo, productos químicos, etc). Afectando negativamente no solo a la salud humana sino también a la fauna y medio ambiente en general.

2.2 Principales contaminantes de la industria textil

El sector textil es uno de los grandes contribuyentes al deterioro del entorno. Los principales impactos ambientales relacionados con esta industria tienen que ver con las aguas residuales que genera y en la carga química que las mismas contienen. Otros problemas importantes son el consumo de agua y energía, los malos olores, los residuos sólidos, los ruidos y la generación de emisiones atmosféricas.

En la **Fig. 1**, se muestra parte del proceso que se lleva a cabo en la industria textil y los contaminantes que se generan (A, Cervantes, & Van Lier, 2007). El uso de una amplia variedad de colorantes químicos da origen, en periodos cortos de tiempo, a efluentes extremadamente variados en su composición, que requieren de un tratamiento de aguas muy complejo. (Ramsay & Nguyen, 2002).

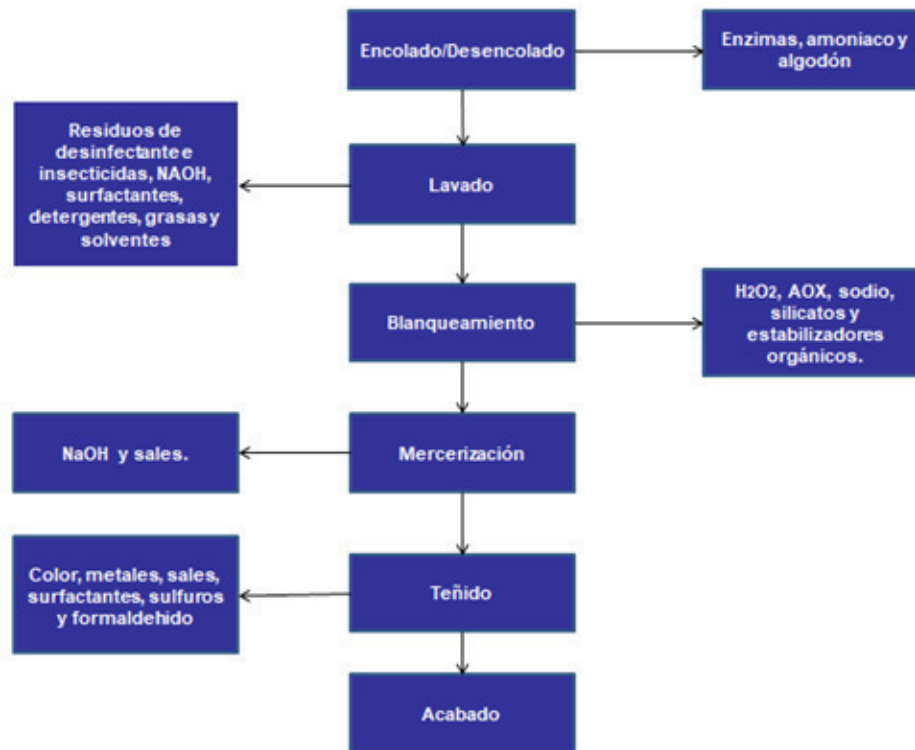


Fig. 1: Contaminantes Generados en la Industria Textil

2.3 Generalidades de los colorantes

El hombre ha utilizado colorantes naturales desde la antigüedad, el primer uso conocido de un colorante orgánico se presentó hace más de 4,000 años, cuando el azul índigo fue encontrado en las envolturas de las momias egipcias. Hasta el siglo XIX todos los colorantes eran más o menos naturales, extraídos de plantas, insectos y moluscos producidos a pequeña escala. Fue solo después de 1856, cuando Perkin, descubrió el primer colorante sintético, al que pocos años más tarde lo comercializó con el nombre de Mauveína (Fig. 2). (F. Braña, Cacho, & Guisado, 2006)

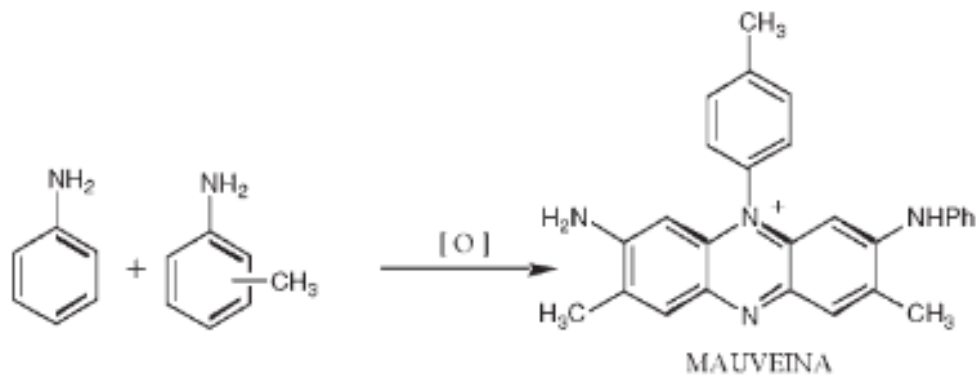


Fig. 2: Molécula de Mauveina

Los colorantes sintéticos se caracterizan por poseer estructuras aromáticas complejas que los hacen muy estables en ambientes naturales y resistentes a la degradación. Sus moléculas se componen de dos elementos fundamentales, los cromóforos, responsables de producir el color y los auxocromos, que pueden complementar el cromóforo y hacer que la molécula sea soluble en agua y darle una mayor afinidad hacia las fibras. Los cromóforos más importantes son los grupos azo, carbonilo, metino, nitro y quinoide. Y dentro de los auxocromos más importantes se encuentran los grupos amina, carboxilo, sulfonato e hidroxilo. (Suhas, 2009)

Los colorantes muestran una diversidad estructural considerable y se clasifican teniendo en cuenta diversos aspectos por ejemplo su estructura química, su aplicación al tipo de fibra o pueden identificarse dependiendo de su solubilidad. El sistema Color Index (CI), es el sistema de clasificación más utilizado. Este incluye el nombre de la clase de colorante (básico, disperso, ácido, etc), su color (rojo, azul, etc) y un número. El código del CI es asignado a un colorante cuando un fabricante revela la estructura química comparándolo con un medio de contraste. A pesar de que un colorante posea un CI, la pureza y composición química exacta puede variar dependiendo del nombre. (K, 2002)

2.4 Degradación de colorantes de tipo azo

Los colorantes textiles tienen gran persistencia en el ambiente, y los métodos de eliminación clásicos no son útiles debido a que oxidaciones o reducciones parciales pueden generar productos secundarios altamente tóxicos.

Los métodos actualmente utilizados incluyen procesos físicos, químicos y biológicos. Por lo cual, para el tratamiento de aguas residuales con colorantes, se han utilizado varias metodologías tales como adsorción, coagulación, degradación química y ozonificación, filtración por membranas e intercambio iónico. A pesar de que estos procesos físicos y químicos producen efluentes de buena calidad, en la mayoría de las ocasiones generan un alto costo y pueden generar subproductos aún de mayor toxicidad, razones por las cuales se han estudiado con mayor interés los procesos biológicos. (Etanal, Lizama, A, & J).

Tabla 1: Métodos Convencionales para el Tratamiento de Aguas Residuales de la Industria Textil

Nombre del método	Ventajas	Desventajas
PROCESOS FÍSICOS		
Adsorción	Se ha usado sílica y recientemente materiales celulósicos obtenidos de residuos agroindustriales (maíz cebada, etc.). Además de su eficiencia, es económicamente atractiva.	Pérdidas en la regeneración.
Filtración por membrana.	Se utiliza para remover colorantes que se encuentran en bajas concentraciones.	Tiene altos costos. Es ineficiente para la remoción de sólidos disueltos.
Intercambio iónico	Es un método muy efectivo para remover colorantes catiónicos y aniónicos	Los solventes orgánicos utilizados son caros.

Capítulo 2. Marco teórico (Antecedentes).

Nombre del metodo	Ventajas	Desventajas
PROCESOS QUIMICOS		
Electroquímico	Es un proceso relativamente nuevo que tiene una eficiente remoción de colorantes y la degradación de contaminantes sin generar subproductos tóxicos o lodos.	Los costos de la electricidad son altos.
Oxidación	La oxidación con Fenton es un método adecuado para el tratamiento de aguas residuales resistentes a un tratamiento biológico.	El reactivo de Fenton tiene como desventaja la formación de lodos
Fotoquímico	Se puede utilizar para degradar moléculas orgánicas en CO ₂ y agua, ya sea en lote o en un sistema continuo con cortos tiempos de exposición. No se generan lodos	Se pueden generar subproductos como halogenuros, metales, ácidos y aldehídos. Sólo es efectivo si las concentraciones de colorantes son bajas. Presenta altos costos.
Coagulación	Presenta buena eficiencia de remoción, se realiza en un periodo corto de tiempo y tiene bajos costos de inversión.	Se obtienen resultados pobres con colorantes ácidos y hay un alto costo.
PROCESOS BIOLOGICOS		
Bio absorción	Son efectivos en cuanto a costos y periodos cortos de tratamiento.	Está en etapa de investigación, por lo que no se ha utilizado para tratar grandes volúmenes de agua
Bio degradación	Efectivo en cuantos costos de tratamiento. Equipo accesible y no necesita mucha energía de ingeniería.	Es necesaria más información fisiológica y genética.
Enzimático	Eficiente en la decoloración de aguas residuales.	El aislamiento y purificación de las enzimas es difícil.

Cortazar Martinez, y otros, 2010

2.5 Coagulación y floculación

Dentro de los tratamientos fisicoquímicos; se adicionan sustancias que alteran el equilibrio eléctrico de los componentes inorgánicos y orgánicos en estado coloidal al romper este equilibrio precipitan o se insolubilizan (MASSIEU, 2008).

La coagulación es el proceso más importante para la remoción de partículas coloidales y suspendidas del agua; ya que este debe presentarse para dar lugar al inicio de la floculación. La coagulación se refiere al proceso de la desestabilización de las partículas suspendidas de modo que se reduzcan las fuerzas de separación entre ellas, y la floculación a la aglomeración de partículas pequeñas suspendidas, formando flocs (o flóculos) más pesados y fáciles de sedimentar. La sedimentación comprende la precipitación de sólidos, incluyendo los sólidos debidos a la contaminación y los sólidos generados por los químicos.

La velocidad y la eficiencia del proceso de floculación dependen de la composición del agua residual, la temperatura, pH y la velocidad de mezcla.

Con el fin de remover los contenidos de materia orgánica los cuerpos de agua se debe controlar la dosis del coagulante utilizado y el pH al cual se desarrolla el proceso. Con valores bajos de pH se favorece la remoción de materia orgánica; con menos dosis del coagulante mejora la eficiencia de los mecanismos de adsorción y de neutralización de cargas (Puentes, 2005).

2.6 Agentes naturales empleados en la coagulación

Los coagulantes naturales son sustancias solubles en agua, procedentes de materiales de origen vegetal o animal que actúan de modo similar a los coagulantes y desinfectantes sintéticos, aglomerando las partículas en suspensión que contiene el agua cruda, facilitando su sedimentación y reduciendo la turbidez. El creciente desarrollo y uso de coagulantes naturales, extraídos a partir de microorganismos, tejidos de plantas o animales; son biodegradables y seguros para la salud humana. (Caldera, Mendoza, Briceño, García, & Fuentes, 2007).

2.6.1 Coagulantes con mayor uso

El proceso de tratamiento de aguas, tanto potables como residuales, se basa en un tratamiento primario o químico a base de coagulantes y floculantes para remover la mayoría de contaminantes. En la actualidad, los coagulantes más usados son sales minerales de hierro y aluminio; no obstante, estos compuestos químicos son arrastrados durante la sedimentación, lo cual se convierte en un problema ambiental, ya que en altas dosis pueden llegar a ser tóxicos. Además, al ser productos especializados y de alta demanda comercial poseen un precio elevado. (J, 1986)

Como alternativa a estos coagulantes inorgánicos, al inicio de la década de los setenta, en varios países latinoamericanos se propuso utilizar coagulantes naturales extraídos de especies vegetales. Ejemplos de esto podemos mencionar a la *Moringa oleífera*, el frijol, el maíz, almidón (plátano, arroz, yuca, papa, trigo), nopal entre otros. Estos presentan una alta efectividad para aguas con una baja turbidez, buena eficiencia en aguas industriales (Solís, Laines, & Hernández, 2012).

2.7 Moringa Oleífera

La *Moringa Oleífera* es originaria de la región del Himalaya al Noreste de India. Se ha vuelto nativa en muchos países de África, Madagascar, Arabia, el sureste de Asia, la zona del Pacífico, las Islas del Caribe y América del Sur. Es un árbol ideal para zonas Áridas, semiáridas, tropicales y subtropicales.

Desde hace milenios, todas las partes de la *Moringa oleífera* han sido utilizadas por el hombre. Las hojas, las flores, los frutos y las raíces son apreciados por su valor nutritivo y pueden ser usados tanto en la alimentación humana como en la animal. Solo a finales del siglo XX este árbol empezó a recibir una atención merecida por parte de la comunidad científica (Sutherland, 1998).

Desde entonces los investigadores han estado examinando el potencial de la semilla de la *Moringa oleífera* en tratamientos de agua, para una mejor sedimentación.

Los extractos de las semillas de la planta *Moringa oleífera* son bastante efectivas en el caso de aguas con alta turbidez y al utilizar su ingrediente activo (un polielectrolito) se puede purificar agua con baja turbidez. Por tanto, los extractos de *Moringa oleífera* se recomiendan como una excelente alternativa para el tratamiento de agua (Camareno Vargas & Romero Esquivel, 2006).

Sus hallazgos muestran que la semilla triturada, un coagulante natural, podría ser alternativa viable para remplazar parcial o completamente el sulfato de aluminio y los demás productos químicos utilizados en el tratamiento de agua.

2.8 Estudios realizados

En el 2006 se realizó el estudio “Eficiencia de las semillas de *Moringa oleífera* como coagulante alternativo en la potabilización del agua” en el cual proponen una metodología a partir de los parámetros turbidez, color, pH y alcalinidad para la evaluación de la eficiencia de las semillas *Moringa oleífera* como coagulante natural (Caldera, Mendoza, Briceño, García, & Fuentes, 2007).

El estudio “Tratamiento de aguas residuales de rastro mediante semillas de *Moringa oleífera* como coagulante” realizado en el año del 2008 utilizaron semillas machacadas de dos formas: en solución y en suspensión, midiendo su eficiencia con base en la reducción de los valores de absorbancia de las partículas suspendidas en aguas residuales generadas en un rastro, utilizando dos tipos de aguas residuales: agua residual de fosa y agua residual de laguna. Y midiéndose así los parámetros: Tiempo de reacción y tipo de agua y dosis de semillas para el análisis de la utilización de *Moringa oleífera* como tratamiento fisicoquímico del tipo coagulación-floculación que puede utilizar en la remoción de materia orgánica de las aguas residuales en rastos (Avelino, Méndez, & Tamayo, 2009).

“Valuation of oil extraction residue from *Moringa oleifera* seeds for water purification in Burkina Faso”. En esta investigación se reutilizaron los residuos generados de la extracción de aceite de la semilla de *Moringa oleífera*. Dicho residuo (torta de aceite residual) retiene la proteína cargada positivamente de la semilla; un componente activo en el proceso de atracción y captura de partículas en suspensión en las aguas. Se demostró una comparación con el coagulante inorgánico sulfato de aluminio ($Al_2(SO_4)_3$) y el coagulante natural derivado de la torta de aceite residual de *Moringa oleífera* en la reducción del parámetro turbidez del agua (Amante, López-Grimau, & Smith, 2015).

El trabajo denominado “Alternativas de Solución Para El Tratamiento De Efluentes Textiles” realizado en la ciudad de Puebla por la especialidad de ingeniería textil, el cual consistía en sugerir algunas alternativas para el tratamiento de efluentes textiles que contienen colorantes siendo así como principal solución el uso de absorbentes naturales de bajo costo, como los carbones activados preparados a partir de desechos vegetales lignocelulósicos. Finalmente concluyen que es viable la implementación del tratamiento de la adsorción ya que se reduce su DQO hasta un 93% y a su vez recomiendan la combinación de dos procesos los cuales son la absorción y floculación-coagulación (Peláez Cid, 2013).

Capítulo 3

Planteamiento del problema

3.1. Identificación.

La pérdida de la calidad del agua por diversos elementos ha provocado que aumente la necesidad del tratamiento de aguas residuales en todo el mundo. Siendo la utilización intensiva de colorantes sintéticos en la industria textil, un problema latente tanto en megalópolis como en municipios pequeños (Moroleón-Uriangato); donde su principal actividad económica radica en la fabricación de prendas textiles.

Durante el teñido son generados grandes volúmenes de aguas contaminantes; debido al conglomerado de elementos que conforman al colorante sintético. La presencia de colorantes, aun en concentraciones mínimas de 1.0 ppm, es suficiente para ocasionar el deterioro estético del paisaje. No obstante, la repercusión más drástica es observada en los procesos fotosintéticos, donde la reducción de la penetración de la radiación solar disminuye la capacidad de auto-regeneración del recurso hídrico, afectando la biota acuática. También así, se ha demostrado la capacidad carcinogénica, mutagénica y teratogénica en diferentes organismos, impactando, en la salud humana. (Brown & De Vito, 1993)

Debido ante tales efectos, se han desarrollado, a través de los años, múltiples metodologías de tratamiento; con altas eficiencias de decoloración, sin embargo, se encuentran asociadas con elevados costos, remoción incompleta o fraccionamiento del colorante, así como la generación de lodos y subproductos aún más tóxicos, ante lo cual han generado la necesidad de desarrollar nuevas alternativas.

Frente a la magnitud de la problemática de efluentes coloreados e inconvenientes derivados de los procedimientos tradicionales, la presente investigación ha

enfocado sus actividades en identificar un elemento que mejore o iguale las condiciones del uso de coagulantes sintéticos mediante un coagulante natural. Para lo cual el proceso de investigación inicio con la identificación de los colorantes sintéticos con mayor uso en la industria textil, posteriormente fueron desarrolladas cada una de las etapas necesarias para el cumplimiento de los objetivos descritos.

3.2. Justificación.

El progreso tecnológico, el acelerado crecimiento demográfico y la búsqueda por mejorar la comodidad y calidad de vida de las personas son algunas de las causas que convergen en la alteración del ambiente, generando un agotamiento constante de los recursos naturales.

El agua, uno de los recursos naturales más apreciados para el sostenimiento de la vida en el planeta, es un recurso arduamente explotado y día con día de difícil acceso; debido a la concentración de contaminantes incorporados tras su uso en diversos procesos; lo cual vuelve su tratamiento un desafío.

En el último informe de Estadísticas del Agua en México 2016, ubica el consumo de agua en 201.262 m³/seg por la industria, catalogándola dentro de los primeros lugares de consumo. Se dice que la industria textil consume alrededor de 100 L de agua por Kg de tejido teñido, durante el cual es desechado hasta un 50% del colorante usado, generando en una ciudad textil entre 7000 y 8000 m³ de agua residual al día. (Kuhad & K.K, 2004)

Son pocos los tratamientos eficientes utilizados en la decoloración de aguas; esto debido a la compleja mezcla de colorantes y compuestos empleados en el teñido, hace que las aguas residuales de la industria textil sean difíciles de tratar sólo por sistemas convencionales. Por consecuencia se necesitan de equipos novedosos, de difícil acceso y costos elevados.

Ante lo cual identificar un tratamiento con mayor eficiencia es indispensable en la industria textil. Abarcando la situación local de los municipios de Moroleón-Uriangato; donde la principal actividad económica se basa en la producción textil, resulta ser un tema ampliamente necesario por lo que la presente investigación pretende aportar información relevante sobre un coagulante natural efectivo, y económicamente viable en el tratamiento de aguas textiles.

3.3. Alcance.

El proyecto desarrollado tuvo como alcance determinar la eficiencia de la semilla de Moringa Oleífera en el tratamiento de un agua residual textil sintética; preparada a partir de colorante negro 601 mariposa y agua destilada. También así determinar la cantidad óptima de ésta e identificar si la temperatura juega un papel preponderante en el tratamiento realizado. Así como la determinación del tiempo necesario de coagulación - floculación para remover el colorante Negro 601 Mariposa

Capítulo 4

Objetivos

4.1 Objetivos generales.

Esta investigación busca eliminar colorantes textiles en muestras sintéticas mediante bioadsorción a partir de semilla de *Moringa Oleífera*, así como estudiar la cinética en el proceso de adsorción.

4.2 Objetivos específicos

- Determinar la eficiencia que posee la semilla de *Moringa Oleífera* en la remoción del colorante industrial negro 601 mariposa en un agua residual sintética.
- Identificar como la temperatura influye en el proceso de coagulación-floculación durante la experimentación.
- Construir una curva cinética de remoción del colorante Negro 601 Mariposa.

Capítulo 5

Metodología

El trabajo de investigación se llevó a cabo en el laboratorio de Química del Instituto Tecnológico Superior del Sur de Guanajuato; donde se analizó la eficiencia del polvo de semilla de Moringa oleífera (MO), en el tratamiento de un agua residual sintética a base de “Colorante Negro 601 Mariposa y Agua Tridestilada”.

Como instrumentos de medición, se utilizaron un espectrofotómetro de luz visible (marca Dinámica modelo Halo–Vis20 con lámpara de xenón óptica) y una balanza analítica (modelo 220G Explorer marca OHAUS). Así mismo, se manejaron como instrumentos de apoyo celdas de poliestireno (de forma rectangular con dimensiones de 1 cm y 10 mm de grosor de capa; con capacidad de 4.5 ml), placas de agitación (Velp Scientifica MST con capacidad de agitación de 5 litros sin calefacción), barras de agitación magnética de PTFE; con una longitud de 20 mm y diverso instrumental de laboratorio (pipetas, vasos de precipitado, espátulas, mortero, tamiz, un frasco ámbar, tubos de ensayo, etc.).

El proceso de investigación fue seccionado en dos etapas; el primer referente a la búsqueda, organización, clasificación y procesamiento de información y una segunda enfocada en el manejo de variables experimentales, en condiciones rigurosamente examinadas, con el fin de obtener respuestas ante los objetivos planteados.

Dado la naturaleza de la investigación; la descripción de las etapas solo se enfocará en la segunda, puesto que fue en esta donde se llevó a cabo la investigación experimental.

5.1. Extracción del polvo de semilla de Moringa Oleífera (MO):

Las semillas de Moringa Oleífera, se adquirieron secas y sin uniformidad de tamaño en centros naturistas de la región. Para la extracción del polvo, se removió la cascara manualmente y mediante un mortero se trituro hasta obtener una molienda

uniforme; el polvo resultante, se tamizó y depositó en un frasco de vidrio ámbar con tapa para evitar la introducción de microorganismos e impurezas del ambiente.

5.2. Determinación de la longitud óptima del colorante “Negro 601 Mariposa”

Para la respectiva elaboración de esta etapa se inició indicando al equipo el cero (mediante agua tridestilada), posteriormente se preparó una solución madre con 0.7 g de colorante Negro 601 Mariposa en 1L de agua tridestilada; de la solución anterior se depositaron 3 ml en una celda y se realizó un Scan en el rango visible (340-800 nm).

5.3. Curva de calibración del colorante “Negro 601 Mariposa”

A partir de la solución madre con concentración $0.7 \frac{g}{L}$, se procedió a realizar una serie de diluciones con agua tridestilada para obtener concentraciones de 0.7, 0.5, 0.3, 0.1 y $0.08 \frac{g}{L}$. Finalmente, se tomó la lectura en el espectrofotómetro UV a la longitud de onda óptima. Los valores resultantes se graficaron relacionando la concentración de las soluciones estándar con la absorbancia de cada una de ellas.

5.4. Determinación de la cantidad óptima de bioabsorbente.

Para la determinación de la cantidad óptima de bioabsorbente, se tomaron 7 muestras de 30 ml de la solución madre, agregándose diferentes cantidades de *Moringa Oleífera*. Posteriormente se utilizaron planchas agitadoras con el fin de mezclar el polvo de semilla de *Moringa oleífera* con el agua sintética y acelerar el proceso de floculación- coagulación, por ello se agitó la mezcla a 130 revoluciones/minuto (RPM) a temperatura ambiente (21,5°C) durante 5 minutos. Consecutivamente se colocaron en tubos de ensayo y puestas en reposo durante 24 horas. Luego de transcurrido el proceso de floculación-coagulación y

sedimentación, se extrajo el sobrenadante, para ser vertido sobre papel filtro, con el fin de atrapar las partículas más voluminosas que hubiesen quedado suspendidas.

Con el espectrofotómetro se determinaron las absorbancias de las diferentes muestras preparadas, antes y después del proceso; realizándose por triplicado.

5.4.1 Método de Mínimo Cuadrados

5.5. Cinéticas de Coagulación-floculación bajo diversas temperaturas

Finalmente fue incorporado el proceso de cinéticas de Coagulación-Floculación observado bajo diferentes temperaturas (25, 30, 35 y 40 °C); usando como solución de estudio la resultante del siguiente proceso:

30 ml de solución madre de colorante fueron colocados con la cantidad óptima de *Moringa Oleífera* en un vaso de precipitado; se agitó por 5 minutos, posteriormente se vertió una alícuota en una celda de plástico y se colocó dentro del espectrofotómetro, se midieron las absorbancias continuamente durante 1 hora. Así para cada temperatura estudiada.

5.6. Método de reflujo abierto: Determinación de Demanda Química de Oxígeno (DQO)

5.6.1 Preparación de solución patrón con dicromato de potasio:

Disolver 12.259 g de $K_2Cr_2O_7$, de calidad estándar primaria, secado previamente a 103 °C durante 2 hrs, en agua destilada y diluir hasta 1 L.

5.6.2 Preparación de reactivo ácido sulfúrico:

Añadir Ag_2SO_4 , en cristales o en polvo, a H_2SO_4 concentrado, proporción de 5.5 g de $\frac{Ag_2SO_4}{Kg\ de\ H_2SO_4}$. Dejar en reposo de uno a dos días para disolver Ag_2SO_4 .

5.6.3 Preparación de solución patrón con Sulfato de amonio ferroso:

Diluir 47 g de sulfato ferroso amoniacal en agua destilada. Agregar 20 ml de ácido sulfúrico ($\rho=1.84\ g/ml$). Enfriar y diluir con agua a 1000 ml.

5.6.4 Tratamiento de las muestras con DQO > 50 $\frac{mg\ O_2}{L}$:

Se introducen 10 ml de la muestra en un matraz Erlenmeyer de 250 ml. Agregar 1 g de H_2SO_4 y luego 5 ml de la solución de $K_2Cr_2O_7$ y mezclar. Acoplar el refrigerante y hacer circular en agua fría. Agregar 15 ml de la solución de ácido sulfúrico a través del extremo abierto del refrigerante. Se continúa con la agitación mientras se añade ácido sulfúrico.

Cubrir el extremo abierto del refrigerante para evitar la entrada de materiales extraños a la mezcla de reflujo y someter a reflujo por dos horas. Enfriar y lavar el condensador con agua destilada. Desconectar el condensador de reflujo y diluir la mezcla hasta aproximadamente el doble de su volumen con agua destilada. Enfriar a temperatura ambiente y determinar el exceso de $K_2Cr_2O_7$ con sulfato de aluminio ferroso, utilizando 0.10-0.15 ml de indicador de ferroina. Se toma como punto final de la titulación el primer cambio de color manifiesto desde el azul verdoso al marrón rojizo.

La concentración de la cantidad de sustancia (c), expresada en moles por litros, de sulfato ferroso amoniacal está dada por la siguiente expresión:

$$C_{FAS} = \frac{V(K_2Cr_2O_7)c(K_2Cr_2O_7)6}{V_{FAS}}$$

Dónde:

C (FAS): Concentración de sulfato ferroso amoniacal en mol/L

V(Fas): Volumen de la disolución de sulfato ferroso amoniacal consumido en ml

$C(K_2Cr_2O_7)$: Concentración de cantidad de sustancia de dicromato de potasio de potasio en mol/L

$V(K_2Cr_2O_7)$: Volumen de la disolución de dicromato de potasio, 10 ml

Capítulo 6 Resultados

6.1 Lugar de experimentación

El trabajo de investigación se llevó a cabo en el laboratorio de química de ingeniería ambiental en el Instituto Tecnológico Superior del Sur de Guanajuato. Para lo cual fueron utilizados como objetos de prueba polvo de semilla de Moringa Oleífera y soluciones de colorante Negro 601 Mariposa. Cada uno de estos adquiridos en comercios locales.

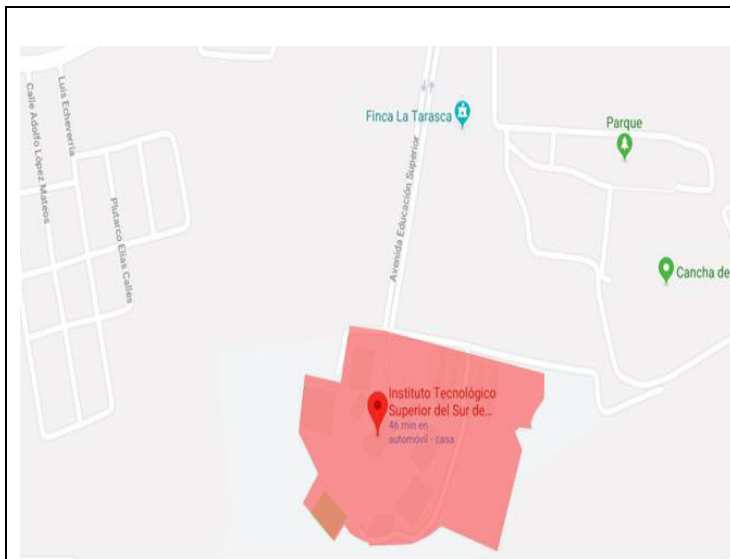


Fig. 4: Croquis del Instituto Tecnológico Superior del Sur de Guanajuato (ITSUR)

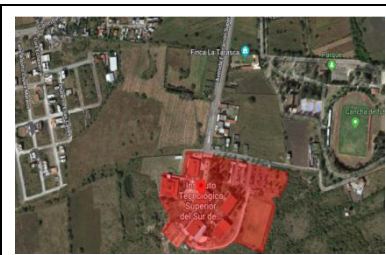


Fig. 3: Vista aérea del ITSUR



Fig. 5: Vista frontal del Edificio A del ITSUR

6.2 Curva de calibración del colorante Negro 601 Mariposa.

En el siguiente gráfico se observan los datos necesarios para generar la curva de calibración del colorante negro 601 Mariposa a la longitud de onda de 516 nm, donde se analizaron soluciones con diversas concentraciones de colorante.

Tabla 2: Soluciones para una curva de calibración

Concentración (g/L)	Absorbancia
0.7	1.787
0.5	1.242
0.3	0.759
0.1	0.248
0.08	0.188

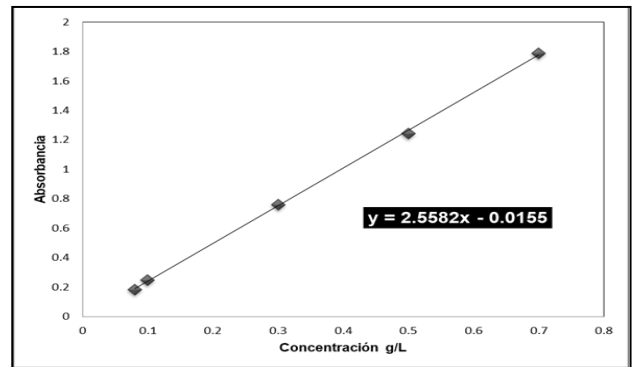


Fig. 6: Curva de calibración del Colorante Negro 601 Mariposa

Cabe destacar que la muestra de agua empleada para la experimentación fue preparada artificialmente con el fin de reducir las variables y parámetros de interferencia, así como asegurar la reproducibilidad en los ensayos, al no variar las condiciones iniciales de los mismos.

6.3 Dosis óptima del coagulante

En la **Tabla 3**, se presentan los resultados correspondientes a los ensayos (donde se observa el diseño experimental de bloques al azar con 3 repeticiones) realizados para determinar la cantidad óptima de *Moringa oleífera*. Donde se muestran diversas soluciones cuya concentración inicial (C_o) corresponde a 0.7 g/L comparada con las diversas concentraciones finales (C_f) después de su tratamiento y así mismo se muestra el porcentaje de remoción. Finalmente, puede ser observada como la cantidad de 0.1 g de polvo de semilla de *Moringa oleífera*, en comparación con las otras, presenta una mayor remoción equivalente a un 98.72 por ciento de colorante en un lapso de 24 hrs.

g Moringa O	C_o [g/L]	C_f [g/L]	% Remoción
0.1	0.7	0.0089	98.72
0.125	0.7	0.011	98.42
0.15	0.7	0.01322	98.11
0.25	0.7	0.03029	95.67

6.4 Cinética del Colorante Negro 601 Mariposa

La **Tabla 4**, muestra las absorbancias obtenidas en el tratamiento de agua residual sintética; donde 0.05 g de Moringa Oleífera fueron agregados a la solución y 25 °C la temperatura bajo la cual se realizó el proceso. Cabe destacar como el objetivo de la Cinética de absorción fue determinar la cantidad de colorante removido durante las etapas de Coagulación - Floculación en un periodo de 120 min.

Tabla 4: Colorante Removido en 120 minutos de Tratamiento

Tiempo (min)	Abs1	Abs2	Abs3	Promedio	Concentración final (g/L)	% de Remoción
0	1.63	1.721	1.628	1.65966667	0.654822401	6.45394269
5	1.477	1.601	1.45	1.50933333	0.596057123	14.84898236
10	1.387	1.473	1.395	1.41833333	0.560485237	19.93068043
15	1.268	1.362	1.314	1.31466667	0.519961952	25.71972108
20	1.126	1.208	1.224	1.186	0.469666172	32.90483264
25	0.94	1.041	1.1	1.027	0.407513095	41.78384355
30	0.792	0.846	0.951	0.863	0.34340552	50.94206864
35	0.653	0.663	0.87	0.72866667	0.290894639	58.44362293
40	0.562	0.64	0.788	0.66333333	0.265355849	62.09202155
45	0.515	0.572	0.706	0.59766667	0.239686759	65.75903444
50	0.463	0.522	0.631	0.53866667	0.216623668	69.05376176
55	0.416	0.488	0.597	0.50033333	0.201639173	71.1944038
60	0.393	0.443	0.555	0.46366667	0.187306179	73.24197445
75	0.371	0.361	0.51	0.414	0.167891486	76.01550197
90	0.35	0.314	0.47	0.378	0.153819092	78.02584406
105	0.35	0.295	0.392	0.34566667	0.141179996	79.83142909
120	0.26	0.264	0.377	0.30033333	0.123459203	82.36297099

El **gráfico 8**, muestra las absorbancias reportadas y el tiempo (min) en la que actuó el polvo de semilla de Moringa Oleífera en la muestra con colorante Negro 601 Mariposa.

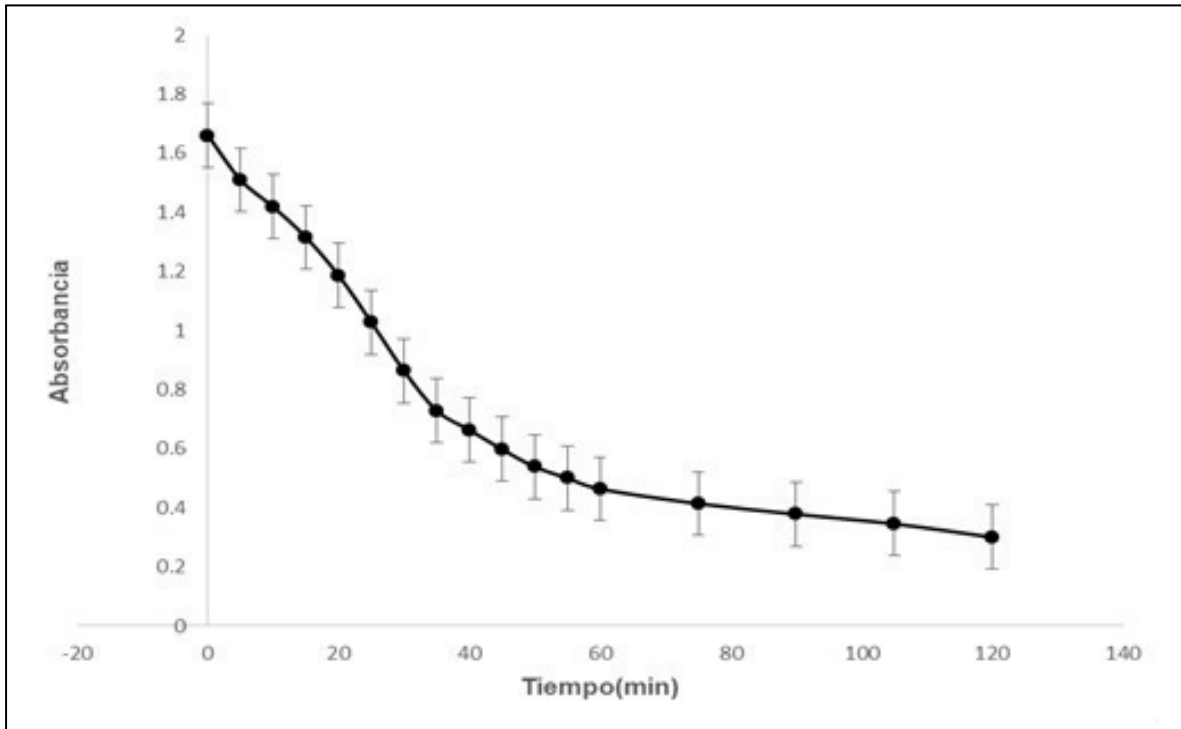


Fig. 7: Cinética a Temperatura Ambiente

6.5 Cinética del colorante Negro 601 Mariposa a diversas temperaturas

La **Tabla 6**, muestra las absorbancias obtenidas en el tratamiento de agua residual sintética; donde 0.05 g de *Moringa Oleífera* fueron agregados a la solución y 25, 30, 35 y 40 °C las temperaturas bajo las cuales se realizó el proceso.

Cabe destacar como el objetivo de la Cinética de absorción fue determinar la influencia de la temperatura en la cantidad de colorante removido durante las etapas de Coagulación - Flocculación en un periodo de 60 min. Donde se observa como un incremento de la temperatura contribuye sobresalientemente en la formación de flóculos y por ende en el porcentaje de remoción del colorante negro 601 mariposa. Tal es el caso que la temperatura con mayor eficiencia se presenta en 40 ° C con un 89.11 por ciento hasta el minuto 60.

Tabla 3: Colorante removido a diversas temperaturas

Tiempo	Temperaturas							
	25 °C		30°C		35 °C		40°C	
	Abs Promedio	%Remoción	Abs Promedio	%Remoción	Abs Promedio	%Remoción	Abs Promedio	%Remoción
0	1.55	12.76	1.58	10.66	1.77	0.15	1.60	9.88
5	1.51	14.94	1.49	15.81	1.64	7.49	1.41	20.27
10	1.43	19.17	1.37	22.50	1.44	18.80	1.11	37.08
15	1.40	20.80	1.17	33.87	1.15	34.71	0.74	57.69
20	1.33	24.87	0.99	44.11	0.92	48.03	0.54	69.13
25	1.24	29.82	0.74	57.58	0.76	56.89	0.45	73.86
30	1.17	33.98	0.70	59.84	0.59	66.41	0.36	79.18
35	0.95	46.34	0.58	66.49	0.50	71.35	0.31	81.55
40	0.83	52.95	0.57	67.53	0.47	72.87	0.27	84.06
45	0.78	55.81	0.54	68.75	0.43	75.14	0.25	84.95
50	0.67	61.67	0.46	73.46	0.38	78.14	0.22	86.81
55	0.61	65.27	0.52	70.20	0.36	79.26	0.21	87.36
60	0.59	65.92	0.43	75.16	0.35	79.65	0.18	89.11

6.6 Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Para la obtención de la DQO se analizaron dos muestras de colorante Negro 601 Mariposa; con una concentración de 0.7 g/l titulado a 250 ml con agua destilada y tratada con 0.05 g de polvo de semilla de Moringa Oleífera aplicada a 30 ml de agua con colorante. Posteriormente se dejó en reposo y se analizaron las muestras.

Los valores de la **Tabla 7** muestran el volumen de titulación y el resultado del DQO de las muestras tratadas y sin tratar.

Tabla 7: Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Muestra	Vol. de SAF utilizado en la titulación.	DQO
Negro sin tratamiento	1.9 ml	1635 mgO ₂ /l
Negro con tratamiento	5.9 ml	96 mgO ₂ /l

Capítulo 7

Análisis de Resultados

7.1 Determinación de la cantidad óptima de Moringa Oleífera

Los resultados obtenidos demuestran la eficiencia que tiene el polvo de la semilla de Moringa Oleífera en el tratamiento de un agua residual textil, llegando a un 98.72 por ciento de remoción promedio, esto debido a que la Moringa Oleífera, entre sus componentes contiene proteínas catiónicas que permiten estabilizar las superficies coloidales de los sólidos disueltos para generar el proceso de coagulación y por consiguiente el proceso de floculación.

Con respecto a la formación de coágulos, estos inician su formación durante el primer minuto al colocar el polvo de semilla de Moringa oleífera en agitación. En la sedimentación, se puede notar que la Moringa Oleífera tarda aproximadamente 2 horas en sedimentar el 82 por ciento de floculo, sin embargo aun después de 2 horas no todos los flóculos se han sedimentado, esto se debe a que la Moringa Oleífera después del inicio del tratamiento sigue generando flóculos, es decir que con el pasar de las horas la Moringa Oleífera puede llegar a aumentar su rendimiento de remoción.

Color: La disminución del color por parte del polvo de la semilla de Moringa Oleífera demostró su eficiencia concordando con la investigación de Mendoza 2000; donde demostraron como cualquier concentración del polvo de semilla de Moringa Oleífera ayuda a la disminución del color residual. Sin embargo es esencial considerar dentro de investigaciones futuras el punto de inflexión donde la dosis de Moringa Oleífera deja de tener efecto coagulante o en caso contrario continua.

Demanda química de oxígeno:

Mediante la determinación de la demanda química de oxígeno se confirmó que efectivamente se removió el contaminante, no lo redujo a un número de oxidación diferente cambiando el color, sino que la semilla de la moringa efectivamente atrapó

el colorante y lo sedimentó esto se puede ver al reducir el DQO originalmente en 1632 mg/L hasta 96ml/L.

7.2 Influencia de la temperatura en el proceso de coagulación-floculación

Con base en las diversas cantidades de Moringa Oleífera contempladas en el estudio y observadas bajo el incremento de la temperatura puede ser deducido como la formación de flóculos es mayor durante temperaturas altas sin embargo es esencial continuar con la investigación a fin de identificar la temperatura óptima para el proceso.

Capítulo 8

Conclusiones

El estudio reveló como el polvo de semilla de Moringa Oleífera es un método efectivo en el tratamiento de aguas residuales sintéticas textiles. Por lo cual mediante el análisis de los datos experimentales nos conduce a las siguientes conclusiones:

- El polvo de semilla de Moringa Oleífera es efectivo como coagulante y floculante natural para el tratamiento de aguas residuales sintéticas contaminadas con colorante negro 601 mariposa.
- La dosis apropiada de polvo de semilla de Moringa Oleífera para aguas residuales sintéticas contaminadas con colorante negro 601 mariposa corresponde con 4.1667 grL^{-1} mediante la cual se obtuvo una eficiencia del 99.01 por ciento.
- Un incremento en la temperatura del agua influye positivamente en el proceso de floculación, observándose así mejores resultados a una temperatura de $40 \text{ }^{\circ}\text{C}$ y logrando una remoción de 89 por ciento al minuto 60. Por lo cual se demuestra la importancia del control de la temperatura durante el proceso de coagulación-floculación. Así mismo, es necesario identificar la temperatura ideal bajo la cual se observe una mayor remoción de colorante.
- Finalmente puede ser demostrado como los métodos convencionales pueden ser sustituidos por métodos naturales con un menor impacto al medio ambiente y con altos porcentajes de efectividad.

Capítulo 8. Conclusiones

Sin embargo, se pretende continuar con la investigación donde se contemplará el análisis de parámetros tales como turbidez, pH, color, temperatura, entre otros. Así mismo, el análisis experimental en diversos colorantes, y aguas industriales textiles.

Referencias bibliográficas

- AB. Dos Santos, Cervantes, F.J., & Van Lier, JB. (2007). Review paper on current technologies for decolourisation of textile wastewaters: Perspectives for anaerobic biotechnology. *Bioresor. Bioresour Technol*, p.p.2369-2385,s.n.
- Aguinaga, S. (1996). Eutrofización de ecosistemas acuáticos: causas, consecuencias y estrategias de conservación y rehabilitación, s.n, p.p. 1-5.
- Amante, B., López-Grimau, V., & Smith, T. (2014). Valuation of oil extraction residue from Moringa oleifera seeds for water purification in Burkina, *p.p. 2773-2747,s.n.*
- Avelino, M. F., Méndez, N. R., & Tamayo, D. M. (2009). Tratamiento de aguas residuales de rastro mediante semillas de Moringa oleifera lam como coagulante. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, p.p. 523-527, s.n..
- Brown, M., & De Vito, S. (1993). Predicting azo dye toxicity. *Crit. Rev. Environ. Sci.Technologys*, p.p. 249-324, journal.
- Calderón Mólgora, César G. (2005). *Inventario Nacional de Plantas Municipales de Potabilización y de Tratamiento de aguas residuales en operación Mexico*, p.p. 1-30,SEMARNAT.
- Camareno Vargas, M., & Romero Esquivel, L. G. (2006). Aprovechamiento de algunos materiales en el desarrollo de coagulantes y floculantes para el tratamiento de aguas en Costa Rica, *p.p. 37-41, Tecnología en marcha.*
- Cortazar Martinez, A., Coronel Olivares, C., Escalante Lozada, A., & Gonzalez Ramirez, C. (s.f.). *Contaminación generadora por colorantes de la industria textil*, p.p. 1-6, s.n.
- Cortazar Martinez, A., Gonzalez Ramirez, C., Coronel Olivares, C., escalante Lozada, J., Castro Rosas, J., & Villagomez Ibarra, J. (2010). Biotechnology applied to the degradation of textile industry dyes. *Universidad y Ciencia Tropico Humedo*, p.p. 187-199,SciELO.
- Eddy, M. &. (2000). *Wastewater Engineering Treatment and reuse*, p.p. 1-25,s.n.

Referencias bibliográficas

- Etanal, M., Lizama, H., A, G., & J, R. (2018) *Tratamiento de residuos líquidos de la industria de celulosa y textil*, p.p. 1-5, s.n.
- F. Braña, M., Cacho, M., & Guisado, C. (2006), Plan de monitoreo para la planta de tratamiento de aguas residuales en el sur de Ahuachapan, El Salvador, C.A.P.P.1-52, s.n.
- Hansen, A., León Zavala, A., & Bravo Inclán, L. (1995), Fuentes de contaminación y enriquecimiento de metales en sedimentos de la cuenca Lerma-Chapala, p.p. 1-6, s.n.
- Hunter, K. (2002). *Industrial Dyes*, p.p. 50-10, Wiley-VCH.
- INEGI. (2016). *Indicador Mensual de la Actividad Industrial*. México, s.n.
- J, S. (1986). *Revisión de la teoría de coagulación del agua*. p.p. 9-26, Gainesville.
- J.C., C., & G.G., B. (2016). Efficiency comparison of ozonation, photolysis, photocatalysis and photoelectrocatalysis methods in real textile wastewater decolorization, p.p. 1-6, *Elsevier*.
- Kuhad, R., & K.K, S. (2004). *Developments in microbial methods for the treatment of dye effluents*, p.p. 1.6, s.n.
- Marín Ocampo, A., & Osés Pérez, M. (2013). Operación y mantenimiento de plantas de tratamiento de aguas residuales con el proceso de lodos activados (tomo 1), p.p. 20-30, s.n.
- Massieu, B. S. (2008). *Tratamiento de aguas residuales*, p.p. 1-15, s.n.
- Molano Moreno, L. A. (2011), Molecular variants of human papillomavirus (HPV) type 16: An updated and unified criterion for clustering and nomenclature, p.p. 1-6, *el sevier*.
- Olivero Verbel, R. E., Mercado Martínez, I. D., & Montes Gazabán, L. E. (2013), Remoción de la turbidez del agua del río Magdalena Usando el mucilago del nopal *Opuntia ficus-indica*, p.p. 1-9, PL.
- Peláez Cid, A. A. (Ed.). (2013). Alternativas de solución para el tratamiento de efluentes textiles, 1-44, AI.
- Puentes, N. A. (2005). *Remoción de materia orgánica por coagulación-floculación*, p.p. 1-113, s.n.

Referencias bibliográficas

- Ramsay, J., & Nguyen, T. (2002). Decoloration of textile dyes by *Trametes versicolor* and its effect on dye toxicity. *Biotechnol*, p.p. 1757-1761, s.n.
- Revista del consumidor*. (2000). p.p.1-15,s.n.
- SEMARNAT. (2011), Analisis de agua-Determinacion del pH-Metodo de prueba,p.p.1-26,s.n.
- Solís, S. R., Laines, C. J., & Hernández, B. J. (2012). Mezclas con potencial coagulante para clarificar aguas superficiales, p.p.13-15, *Revista internacional de contaminación ambiental*, 28(3).
- Suarez Oquedo, V. E., & Trujillo Villa, D. F. (2011), Diseño y construccion de un equipo de prueba de jarras para la tratabilidad de aguas residuales, p.p. 1-131, s.n.
- Suhas, V. G. (2009). Application of low-cost adsorbents for dye removal a review. *Journal of environmental management*, p.p. 2342, elservier.
- Sutherland, G. F. (1998), Application of low-cost adsorbents for dye removal,p.p. 1-8,ScienceDirect.
- Teorema Ambiental*. (2001). La problemática hidraulica en Guanajuato, p.p. 1-40,s.n.
- V, B., M, C., & Gutierrez Bouzan, C. (2015). Reuse of textile wastewater after homogenization-decantation treatment coupled to PVDF ultrafiltration membranes. *Elsevier*, p.p. 265, s.n.
- Walters, A., Santillo, D., & Johnnton, P. (2005), Composition in Eastern Aegean Coasts, p.p. 7, Scientific Research