



Escola de Camins
Escola Tècnica Superior d'Enginyeria de Camins, Canals i Ports
UPC BARCELONATECH

Estudio comparativo de un coagulante natural frente a coagulantes químicos

Treball realitzat per:
Héctor Manuel Salas Olivares

Dirigit per:
Martí Crespi Rosell

Màster en:
Enginyeria Ambiental

Barcelona, data
23 de Setembre de 2016

Departament d'Enginyeria Química

TREBALL FINAL DE MÀSTER

Resumen

La escasez del agua es un problema global. Uno de los principales problemas en la industria textil es la eliminación de color de los efluentes residuales, así como la alta concentración de sal residual en estos efluentes. Los colorantes reactivos que son los más empleados en este mercado son responsables en gran parte de este problema debido a su gran porción residual en los baños de tintura, así como su alta solubilidad.

El tratamiento de los efluentes textiles y la reutilización de agua en los procesos de tintura es una opción viable para amortiguar esta problemática, por lo que en este trabajo se aporta información considerable para seguir desarrollando la tecnología para lograr este objetivo de forma eficiente, medioambiental y económicamente viable.

Se evaluó la capacidad de coagulantes naturales obtenidos a partir de *Moringa Oleifera* y *Acacia Mearnsii* a 1000 y 2000 ppm, en distintos efluentes textiles, así como se comparó su eficiencia frente a coagulantes químicos, específicamente FeCl_3 y TIDEC 700.

Respecto a la *Moringa Oleifera*, en la extracción de aceite se genera un residuo alrededor del 75 % en peso, el cual se puede emplear para hacer soluciones de este mismo, que a una concentración de 1000 ppm se pueden tratar aguas textiles con concentraciones de colorante reactivo igual o menor a 2000 unidades Pt/Co/L, mientras que efluentes con mayor concentración de color se puede tratar eficientemente con 2000 ppm de *Moringa Oleifera*, sin necesidad de ajustar el pH y con una remoción de salinidad de alrededor del 7 al 35%.

Así como con el tratada del baño de tintura de color morado o del primer lavado se lograron hacer eficientemente nuevas tinturas en fibra de algodón con colorantes Yellow Porcion H-EXL y Crimson Porcion H-EXL.

El extracto de *Acacia Mearnsii* logró remover eficientemente colorante reactivo en efluentes sintéticos a un pH igual o menor de 9 y tiene alta capacidad de remoción de meteria en suspensión, cerca del 90%, independientemente del pH.

Sin embargo estos coagulantes naturales, aunque tuvieron resultados buenos no logran tener la eficiencia de productos coagulantes y decolorantes especializados a base de dicianidamida, tanto en calidad y precio.

Por otro lado el FeCl_3 no fue efectivo para la remoción de color, sin embargo es muy eficiente en la remoción de materia en suspensión.

Abstract

Water scarcity is a global problem. One of the main problems in the textile industry is the removal of color in the waste effluents and the high concentration of residual salt in these effluents. The reactive dyes which are most used in this market are largely responsible for this problem because of its high residual portion in the dye baths, as well as its high solubility.

The treatment of textile effluents and the reusing of water in the dyeing process is a viable alternative to reduce this problem, so in this work, important information is provided to continue developing the technology to accomplish this objective in an efficient way, environmentally and economically viable.

The capacity of Natural coagulants obtained from *Moringa Oleifera* and *Acacia Mearnsii* at 1000 and 2000 ppm, in various textile effluents was evaluated and its efficiency was compared versus chemical coagulants, specifically FeCl_3 and 700 TIDEC.

Regarding the *Moringa Oleifera*, in the oil extraction a residue of about 75% in weight was generated, which can be used to make solutions of the same, that at a concentration of 1000 ppm can treat textile waters with reactive dye concentrations equal or minor to 2000 units Pt/Co/L, while effluents with greater color concentrations can be efficiently treated with 2000 ppm of *Moringa Oleifera*, without needing to adjust the pH and with a removal salinity of about 7 to 35 %.

As with the purple treated water obtained from the dyeing bath or from the first wash it was possible to make new dyes in cotton fiber with colorants Yellow H-EXL Portion and Crimson Portion H-EXL.

Acacia extract mearnsii managed to efficiently remove reactive colorant from a synthetic effluent at a pH equal or minor to 9 and it had a high removal capacity of matter in suspension, about 90%, regardless of the pH.

Although they had good results, these natural coagulants failed to achieve the efficiency of coagulants products and based on dicyandiamide specialized bleaches, both in quality and price.

On the other hand, the FeCl_3 was not effective for the removal of color; however, it is very efficient in removing suspended solids.

Agradecimientos

En primer lugar quiero agradecer a mis tutores que hicieron posible este Trabajo Final de Master (TFM), por su constante apoyo, instrucción e comprensión:

A la Doctora M. Merce Vilaseca Vallve y al Doctor Víctor López Grimau, así como al Dr. Martí Crespi Rosell director del INTEXTER responsable de la dirección del proyecto.

Quiero extender mis agradecimientos a las personas que me brindaron su apoyo en el laboratorio Montse Raspall, Irene Gelabert y a los estudiantes de grado Raúl y Max. Así como a otras personas con quienes conviví y me llegaron a aconsejar en el laboratorio: Valentina Buscio, Carmen Gutiérrez Bouzán.

Agradezco el apoyo incondicional que me blindaron personas más cercanas a mi persona como mi prometida Ana Catalina González, a su padre el Dr. Carlos González, y a mis padres Ma. Del Refugio y Manuel Salas.

Por ultimo agradecer a mis compañeros de piso Jahir, Carlos y Henry por las horas que compartimos en casa trabajando individualmente en sus respectivos TFM.

Tabla de Contenido

TABLA DE CONTENIDO	IV
ÍNDICE DE TABLAS	VI
ÍNDICE DE FIGURAS	VIII
CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN	1
1.1 MARCO TEORICO	1
1.1.1 <i>El agua</i>	1
1.1.2 <i>Aguas residuales industriales</i>	2
1.1.3 <i>Efluentes residuales del marco textil</i>	2
1.1.4 <i>Regulación del agua residual vertida</i>	4
1.1.5 <i>Colorantes empleados en los tejidos</i>	7
1.1.6 <i>Métodos de eliminación de colorantes en agua residuales industriales</i>	14
1.1.7 <i>Los coagulantes</i>	16
1.2 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	22
1.3 OBJETIVO	23
1.4 REFERENCIAS	25
2. CAPITULO 2: METODOLOGIA	29
2.1 MUESTRAS, REACTIVOS Y EQUIPOS	29
2.1.1 <i>Muestras Empeladas</i>	29
2.1.2 <i>Reactivos</i>	31
2.1.3 <i>Equipos y Materiales</i>	35
2.2 MÉTODOS ANALÍTICOS	41
2.3 EXPERIMENTAL	44
2.3.1 <i>Preparación de las soluciones coagulantes</i>	44
2.3.2 <i>Tratamientos de las muestras</i>	46
2.3.3 <i>Tinturas con el agua reciclada</i>	47
2.3.4 <i>EXPERIMENTOS REALIZADOS</i>	49
BOMBA PARA AIREACIÓN	50
2.4 REFERENCIAS	55
3. CAPITULO 3: RESULTADOS Y DISCUSIÓN	57
3.1 EXTRACCIÓN DE ACEITE DE LAS SEMILLAS DE MORINGA.	57
3.2 EXPERIMENTO I : TRATAMIENTO Y RECICLADO DE AGUAS DE TINTURA DE LA EMPRESA TEXTIL 1 CON MORINGA	58
3.2.1 <i>Experimento I – A: Tratamiento de aguas de tintura con Moringa</i>	58
3.2.2 <i>Experimento I – B: Reciclado de aguas de tintura tratadas con Moringa</i>	65
3.3 EXPERIMENTO II: TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL HOMOGENIZADA DE LA EMPRESA TEXTIL 2 CON COAGULANTES NATURALES	67
3.4 EXPERIMENTO III: TRATAMIENTO DE 2DO TIPO DE AGUA RESIDUAL HOMOGENIZADA DE LA EMPRESA TEXTIL 2 CON COAGULANTES NATURALES	74
3.5 EXPERIMENTO IV: TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL HOMOGENIZADA DE LA EMPRESA TEXTIL 3 CON COAGULANTES NATURALES	77

3.6	EXPERIMENTO V: TRATAMIENTO Y RECICLADO DE AGUAS DE TINTURA DE LA EMPRESA TEXTIL 3 CON COAGULANTES NATURALES	83
3.6.1	<i>Experimento V – A: Tratamiento y reciclado de aguas de tintura con coagulantes naturales</i>	83
3.6.2	<i>Experimento V – B: Reciclado de aguas de tintura con Moringa</i>	89
3.7	EXPERIMENTO VI: EFECTO DEL EXTRACTO DE ACACIA M. EN SOLUCIONES DE COLORANTE REACTIVO	92
3.8	ANÁLISIS DE LA SAL REMOVIDA CON MORINGA O.	94
3.9	DISCUSIONES GENERALES.....	95
3.10	REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA	101
4.	ANÁLISIS ECONÓMICO	104
4.1	<i>Referencias</i>	109
5.	CONCLUSIONES	111
5.1	REFERENCIAS	112

Índice de Tablas

Tabla 1-0-1 Caracterización típica de las aguas residuales procedentes de diferentes sectores textiles.....	5
Tabla 1-0-2 Límite de Vertido a Aguas Continentales.....	6
Tabla 1-0-3 Límites de vertido depuradora municipal.....	7
Tabla 1-0-4 Clasificación de las fibras empleadas en la industria textil.....	8
Tabla 1-0-5 Tipología de colorantes por sus características químicas particulares.....	9
Tabla 1-0-6 Grado estimado de fijación y perdida en los efluentes.....	10
Tabla 1-0-7 Consumos promedio de reactivos en promedio los diferentes subsector textiles.....	10
Tabla 2-1 Muestras empleadas en la parte experimental.....	29
Tabla 2-2 Tintura Cibacrons a 60° C con Carbonato.....	30
Tabla 2-3 Colorantes Empleados.....	33
Tabla 2-4 Lista de Reactivos y su Uso.....	35
Tabla 2-5 Consideraciones del tratamiento de las muestras con coagulantes.....	47
Tabla 2-6 Ciclos del Proceso de tintura.....	48
Tabla 3-1 Caracterización demás muestras L-016-16, L-017.16, L-018-16 y L-018-16.....	59
Tabla 3-2 Muestras tratadas con Moringa O. a distintas concentraciones.....	59
Tabla 3-3 Tratamiento de muestras de agua de tintura y lavado morado con varios coagulantes.....	61
Tabla 3-4 Distintos tipos de agua y tinturas realizadas con estas.....	65
Tabla 3-5 Resultados de la evaluación de las telas teñidas con Navy Porcion.....	66
Tabla 3-6 Teñido con Yellow empleando agua de lavado (L-019-16) y agua de tintura (L-018-16) tratada con 1000 ppm de moringa.....	66
Tabla 3-7 Teñido con Crismón empleando agua de lavado (L-019-16) y agua de lavado (L-018-16) tratada con 1000 ppm de moringa.....	67
Tabla 3-8 Caracterización de las muestras de entrada a planta L-051-16 y salida L-052-16.....	68
Tabla 3-9 Muestra L-051-16 tratado con diferentes coagulantes.....	69
Tabla 3-10 Caracterización de la muestra L-061-16.....	74
Tabla 3-11 Tratamiento de la muestra con distintos coagulantes.....	74
Tabla 3-12 Caracterización de a muestra L-064-16.....	78
Tabla 3-13 . Tratamiento de la muestra de agua de entrada a planta de tratamiento L-064-16 con distintos coagulantes.....	78
Tabla 3-14 Caracterización de las muestra de agua de tintura L-065-16 y agua de primer lavado L-066-16.....	83
Tabla 3-15 Tratamiento de la muestra de agua de agua de tintura L-065-16. con distintos coagulantes.....	84
Tabla 3-16 Tratamiento de la muestra de agua de agua de tintura L-065-16. con distintos coagulantes.....	86
Tabla 3-17 Distintos tipos de agua y tinturas realizadas con estas.....	89

Tabla 3-18 Teñido con Navy empleando agua de lavado (L-066-16) tratada con 1000 ppm y 2000 ppm de Moringa O.....	90
Tabla 3-19 Teñido con Yellow empleando agua de lavado (L-066-16) tratada con 1000 ppm y 2000 ppm de Moringa O.....	91
Tabla 3-20 Teñido con Crimson empleando agua de lavado (L-066-16) tratada con 1000 ppm y 2000 ppm de Moringa O.....	91
Tabla 3-21 Teñido con Tricromía empleando agua de lavado (L-066-16) tratada con 1000 ppm y 2000 ppm de Moringa O.....	91
Tabla 3-22 Evaluación de la reducción de la concentración de sal.....	94
Tabla 4-1 Diferentes precios de las semillas de Moringa.....	105
Tabla 4-2 Diferentes precios del Aceite de Moringa.....	105
Tabla 4-3 Precios de la torta de semilla de moringa desengrasada.....	106
Tabla 4-4 Eficiencia de obtención de aceite y de torta a partir de la semilla de Moringa O.....	107
Tabla 4-5 Comparación de cantidad y costes coagulante para tratar el un volumen definido de agua.....	108

Índice de Figuras

Ilustración 1-0-1 Reacciones que se producen en las diferentes etapas de tintura con colorantes reactivos.....	12
Ilustración 1-0-2 Curvas de aplicación de colorantes de baja reactividad. Nota: Extraído de Marco Ángel, 2004.	14
Ilustración 1-0-3 a) Árbol de moringa Oleífera b) Vainas de moringa Oleífera	20
Ilustración 1-0-4 Árbol de acacia mearnsii.....	22
Ilustración 2-1 Semillas de Moringa Oleífera.....	31
Ilustración 2-2 FLOX-QTH 25% m/m	32
Ilustración 2-3 Estructura de los colorantes empleados.....	34
Ilustración 2-4 Medidor de pH marca Crison GLP 21, con anexo de agitador magnético...36	
Ilustración 2-5 Conductímetro GLP 31 Crison con agitador magnético.	36
Ilustración 2-6 Digestor de DQO marca ISCO.....	37
Ilustración 2-7 Balanza analítica Explorer Ohaus.	37
Ilustración 2-8 Estufa Memmert.....	38
Ilustración 2-9 Espectrofotómetro UV-2401PC Shimadzu, con ordenador anexo.....	38
Ilustración 2-10 Analizador de Carbón Orgánico Total, TOC-L, Shimadzu.....	38
Ilustración 2-11 Cromatógrafo Iónico, Dionex con automuestreador y ordenador Anexo.....	39
Ilustración 2-12 Equipo Espectrofotómetro CM-3600d, Konica minolta con ordenador anexo.	39
Ilustración 2-13 Molinillo comercial, Braun.	39
Ilustración 2-14 Equipo Ti-color OTX200, con capacidad de 12 racionales tubulares individuales de acero inoxidable para la tintura de 100 ml, empleando un método “all in”.....	40
Ilustración 2-15 Curva de Color de 5 a 100 Unidades Unidades Pt/Co del espectrofotómetro.	42
Ilustración 2-16 Curva Visual de Color de 30 a 60 Unidades Pt/Co	42
Ilustración 2-17 Coordenadas cromáticas detectadas por el espectrofotómetro.....	44
Ilustración 2-18 Semillas de Moringa Oleífera sin cascara molida.....	45
Ilustración 2-19 Temperaturas del proceso de tintura a) Ciclo de Tintura	48
Ilustración 3-1 Porcentaje de extracción de aceite de moringa y obtención de harina de moringa desengrasada.....	57
Ilustración 3-2 Reducción de color de las muestras de agua L-016-16 (tintura color negro), L-017-16 (lavado color negro), L-018-16 (tintura color morado) y L-019-16 (lavado color morado) tratadas con a diferentes concentraciones de Moringa O., durante 24 h.	60
Ilustración 3-3 a) Muestra de agua Morado – Tintura (L-018-16) a la izquierda y tratada con 2000 ppm de Moringa O. 24 h a la derecha. b) Muestra de agua Lavado-Morado (L-019-16) a la izquierda y tratada con 2000 ppm de Moringa O. 24 h a la derecha...61	
Ilustración 3-4 Grafica de volumen de fangos a 30 minutos empleando coagulantes distintos. L-018-16 y L- 019-16.....	62

Ilustración 3-5 Porcentaje de reducción de color con los distintos coagulantes. L-018-16 y L- 019-16	63
Ilustración 3-6 Porcentaje de reducción de TOC con distintos coagulantes. L-018-16 y L-019-16	64
Ilustración 3-7 Conductividad determinada con distintos coagulantes. L-018-16 y L-019-16	64
Ilustración 3-8 a) Equipo empleado para la realización de las tinturas. b) Telas teñidas terminadas con (de arriba para abajo) Navy, Yellow y Crimson.....	65
Ilustración 3-9 Muestra de agua de entrada a planta (L-051-16 a la izquierda) y salida (L-052-16 a la derecha).....	68
Ilustración 3-10 Muestra L-051-16 tratada (de izquierda a derecha) con Moringa O. 1000 ppm 30` , Moringa O. 2000 ppm 30` , Acacia 1000 ppm 30` , Acacia 2000 ppm 30` ...	69
Ilustración 3-11 Fangos generados con los distintos tratamientos de la muestra de agua de entrada a planta de tratamiento L-051-16	70
Ilustración 3-12 Porcentaje de eliminación de color con los distintos tratamientos de la muestra de agua de entrada a planta de tratamiento L-051-16	70
Ilustración 3-13 Concentración de DQO obtenida con los distintos coagulantes en la muestra L-051-16.....	71
Ilustración 3-14 Concentración de carbón orgánico obtenido con los distintos coagulantes en la muestra L-051-16	72
Ilustración 3-15 Porcentaje de eliminación de eliminación de MES con la muestra tratada con los distintos coagulantes en la muestra L-051-16	72
También se evaluó el comportamiento de la turbiedad, la cual se comportó de una manera muy similar que la materia en suspensión, aunque en menor porcentaje de remoción, en donde se obtuvieron los mejores resultados con Cloruro de hierro y Moringa a 2000 ppm (mayor al 80%), seguido por la acacia a 2000 ppm. (Ilustración 3-16). Así también coincide con la buena eficiencia que tiene la acacia de eliminar turbiedad (Skoronski, 2014), así como la eficiencia de la moringa (Mercè Vilaseca, 2014.) y la del Cloruro de hierro (OxyChile, 2004). Ilustración 3-17	72
Ilustración 3-17 . Porcentaje de eliminación de eliminación de MES con la muestra tratada con los distintos coagulantes en la muestra L-051-16	73
Ilustración 3-18 Comportamiento de la conductividad con los distintos tratamientos de la muestra de agua de entrada a planta de tratamiento L-051-16	73
Se puede observar en las imágenes que durante el tratamiento de las muestras con Acacia se generó, aparte de fango floculante, fango flotante el cual no se contabilizó. (Ilustración 3-19)	74
Ilustración 3-20 Tratamiento de la muestra L-061-16 con (de izquierda a derecha) 1000 ppm de Moringa O.; 2000 ppm de Moringa O., 1000 ppm de Acacia; 2000 ppm de Acacia; 1000 ppm de FeCl ₃ , a 30 minutos.....	75
Los coagulantes favorecieron eficientemente la formación de floculos a partir de la materia coloidal disuelta, principalmente materia orgánica. Se observa que los coagulantes con mayor volumen de fango generado fueron Cloruro de hierro y la Acacia a 1000 ppm a 24 h. (Ilustración 3-21) Se observa que con este último coagulante no se da el efecto de la disminución o compactación del volumen de los fangos de 30 minutos a 24 h, como era de esperarse, esto debido a la fracción de fango flotante generada la cual precipito más tarde.	75

Ilustración 3-22 Fangos generados con los distintos tratamientos de la muestra de agua de entrada a planta de tratamiento L-061-16	75
Ilustración 3-23 Porcentaje de remoción de TOC con los distintos coagulantes de la muestras	77
Ilustración 3-24 Comportamiento de la conductividad frente a los coagulantes empleados.	77
Ilustración 3-25 Muestra L-064-16 sin tratar.....	78
Ilustración 3-26 Muestras L-064-16 a los 30 min, (de izquierda a derecha) sin tratar, con 1000 ppm de FeCl ₃ ; 2000 ppm de Moringa; 1000 ppm de Moringa; 2000 ppm de Acacia; 1000 ppm de Acacia.	79
Ilustración 3-27 Fangos generados con los distintos coagulantes de la muestra de agua de entrada a planta de tratamiento L-064-16	79
Ilustración 3-28 Porcentaje de eliminación del color con distintos coagulantes de L-064-16	80
Ilustración 3-29 Porcentaje de eliminación de MES con los distintos coagulantes de la muestra L-064-16.....	81
Ilustración 3-30 Porcentaje de eliminación de turbiedad con los distintos coagulantes L-064-16	81
Ilustración 3-31 . Porcentaje de eliminación del color con distintos coagulantes L-064-16 82	
Ilustración 3-32 Comportamiento de la conductividad con distintos coagulantes en la muestra L-064-16.....	82
Ilustración 3-33 Fangos generados con los distintos coagulantes de la muestra de agua de tintura L-065-16	84
Ilustración 3-34 Porcentaje de remoción de color con los distintos coagulantes de la muestra de agua de tintura L-065-16	85
Ilustración 3-35 Porcentaje de remoción de MES con los distintos coagulantes de la muestra de agua de tintura L-065-16	85
Ilustración 3-36 Porcentaje de remoción de MES con los distintos coagulantes de la muestra de agua de tintura L-065-16	86
Ilustración 3-37 Muestras L-066-16 tratadas 24h (De izquierda a derecha) Muestra original, Acacia 1000 ppm, Acacia 2000 ppm, Moringa 1000 ppm, Moringa 2000 ppm.	87
Ilustración 3-38 Fangos generados con los distintos coagulantes de la muestra de agua de lavado L-066-16.....	87
Ilustración 3-39 Porcentaje de eliminación de MES con los distintos coagulantes de la muestra de agua de lavado L-066-16	88
Ilustración 3-40 Porcentaje de eliminación de MES con los distintos coagulantes de la muestra de agua de lavado L-066-16	88
Ilustración 3-41 Porcentaje de eliminación de TOC con los distintos coagulantes de la muestra de agua de lavado L-066-16	89
Ilustración 3-42 a) Equipo empleado para realizar las tinturas, b) Tinturas realizadas con los distintos colorantes.....	90
Ilustración 3-43 Influencia de la concentración de Acacia en la eficiencia de remoción de colorante.....	92
Ilustración 3-44 Influencia del pH en la eficiencia de remoción de colorante con Acacia ..	93
Ilustración 3-45 Porcentaje de reducción de la cloruros.....	95
Ilustración 3-46 Capacidad de reducción de color de Moringa a 1000, 2000, 5000 ppm. Comparado con TIDEC a 1000 ppm.	97

Ilustración 3-47 Comportamiento de la eliminación de MES con Moringa O. a 1000 y 2000 ppm.	98
Ilustración 3-48 Comportamiento de la eliminación de MES con Acacia comparada con la de FeCl ₃ y TIDEC 700.	99
Ilustración 4-1 Algunos productos de Moringa Oleífera	104

ESTUDIO COMPARATIVO DE UN COAGULANTE NATURAL FRENTE A COAGULANTES QUÍMICOS

CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN

En este capítulo se hará una breve introducción de la situación actual del agua a nivel global. Posteriormente se evaluará este recurso hídrico a nivel industrial, específicamente para el uso textil donde se verán los contaminantes que se generan y algunas regulaciones impuestas a las aguas residuales de esta industria. Se repasará de manera general el proceso de tintura.

Se abordará el tema de la eliminación de contaminantes de los efluentes antes mencionados, y se harán menciones de algunos investigadores que han manejado el tema anteriormente y se conducirá el tema hacia el empleo de coagulantes para este fin.

Para finalizar el capítulo se justificará la investigación y el objetivo de la misma.

1.1 MARCO TEORICO

1.1.1 El agua

El agua impregna todos los aspectos de la vida en la Tierra. Proporciona servicios vitales para la salud humana, los medios de subsistencia y el bienestar y contribuye a la sostenibilidad de los ecosistemas. La escasez de agua dulce surge de una combinación de la variabilidad hidrológica y el alto uso humano. (Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas [WWAP], 2016, p.10).

La escasez del agua es un problema global. Hay muchos sectores que dependen del agua y de los recursos naturales. En el informe de las Naciones Unidas sobre el agua del año 2016 se destaca 3 sectores: la agricultura, la energía y la industria. Respecto a este último sector a medida que avanzan la tecnología industrial y la comprensión del papel esencial del agua en la economía y aumentan las tensiones ambientales a que se somete dicho recurso. La industria también se está esforzando por aprovechar y reciclar el agua, mejorando la calidad del agua a utilizar y orientándose hacia una producción más limpia. (WWAP, 2016)

La comunidad internacional se ha planteado nuevos objetivos para manejar la problemática del agua; En la Cumbre para el Desarrollo Sostenible, que se llevó a cabo en septiembre de 2015, los Estados Miembros de la ONU aprobaron la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, que contiene un conjunto de Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). Dichos objetivos, construidos sobre la base de los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM) que se centraba básicamente en el suministro de agua y saneamiento, para volver ahora a la visión esencial del ciclo integral del agua. (WWAP, 2016, p.58)

El aumento de la demanda de agua en los sitios donde el recurso es escaso o cuando existe una alta competencia por el agua crea la necesidad de utilizar las llamadas “fuentes no convencionales” del agua. Se continúan desarrollando las tecnologías de las fuentes alternativas de agua. (WWAP, 2016)

Los tratamientos de los efluentes residuales suele representar un gasto importante para las industrias. Sin embargo una de las ideas sobre las fuentes no convencionales del agua radica en la calidad o nivel de tratamiento de agua utilizada requerido para adaptarlo al uso que se dará a esa agua, por lo que estas aguas no dependerían de las normas establecidas para el tratamiento de agua para proteger el medio ambiente. (WWAP, 2016)

1.1.2 Aguas residuales industriales

Las aguas residuales industriales antes de ser vertidas al sistemas de alcantarillado municipal o a otro sistema de tratamiento de agua residual, se tratan previamente haciendo una ecualización de distintos tipos de aguas generadas en la industria, con la finalidad de favorecer la neutralización y estabilización de los efluentes, y posteriormente se les da un tratamiento burdo pero específico para eliminación de los contaminantes. (Gupta & Suhas, 2008, p. 2314)

La reutilización de las aguas residuales industriales es muy importante, especialmente para industrias de gran consumo de agua. (Avlonitis 2008, p. 259).

1.1.3 Efluentes residuales del marco textil

El 80% de la industria textil de la comunidad europea se concentra fundamentalmente en cinco países: Italia, Alemania, Reino Unido, Francia y España. (Canales-Canales, 2004, p. 13)

Las aguas residuales generadas por la industria textil, son las más contaminantes de todo el sector industrial. La contaminación, causada por las pérdidas de colorante durante el teñido y acabado, ha sido un problema ambiental importante por muchos años. La principal fuente de las aguas residuales generadas por la industria textil se origina desde el lavado y blanqueo de fibras naturales, proceso de tintura y etapas de acabado. (Avlonitis et al., 2008, p. 260).

Los efluentes de aguas residuales que proceden las plantas de la industria textil, pueden ser tratados por procesos biológicos, físicos, químicos o por una combinación de estos. Sin embargo, muchos de estos contaminantes, como los colorantes, son sintéticos y consisten en moléculas muy complejas y altamente estructuradas, lo que los hace muy estables y, por ende, difíciles de degradar; por esta razón los procesos biológicos son poco efectivos para dicha tarea. (Gupta & Suhas, 2008, p. 2313)

Las aguas residuales de la industria textil contienen variedad de compuestos recalcitrantes, que provienen de diversas etapas del proceso de teñido, son distintas dependiendo de las fibras, colorantes y aditivos empleados. Por lo que difieren considerablemente en su composición. Por ejemplo, como se menciona en Canales-Canales (2004), las principales problemáticas ambientales del pretratamiento del algodón y lana están relacionadas por la contaminación originada por las impurezas propias de la materia prima (pesticidas y lubricantes) y otras sustancias generadas en el desencolado y descruzado, mercerizado y blanqueo. Las fibras sintéticas también contienen muchas impurezas y aditivos potencialmente dañinos y pueden suponer una fracción importante de la contaminación resultante del pretratamiento.

Generalmente los efluentes que vienen del teñido, contienen colorantes sin reaccionar, sales, agentes dispersantes, agentes tensoactivos, agentes humectantes, agentes de fijación, suavizantes y compuestos orgánicos del material que se somete a la tintura. (Santana et al., 2008, p. 10; Gupta & Suhas, 2008, p. 2313; Sundrarajan et al., 2007, p. 273; Wu, Doan, & Upreti, 2008, p. 156; Navarro-Alconchel, 2008, p. 166). Son realmente grandes las variantes de los compuestos y concentración de los mismos en estos efluentes, que dan lugar a variaciones extremas de pH, alta DQO y alta concentración de sales disueltas, además de que estos suelen tener altas temperaturas. (Sundrarajan et al., 2007, p. 273).

Los fabricantes de colorantes continuamente tratan de mejorar sus productos, y bajo la presión de desarrollar colorantes eficientes con menor impacto medioambiental; sin embargo la mayoría de la empresas textiles dependen del mercado de la moda (Navarro-Alconchel, 2008). No obstante, las grandes marcas podrían hacer mucho por mejorar la calidad ambiental de sus procesos y productos, siendo empresas socialmente responsables o amigables con el medio ambiente, por lo que pueden invertir en materias primas de menor impacto ambiental. De esta manera, el tratamiento de los efluentes generados sería más fácil de manejar, sin embargo, esto pocas veces sucede.

Se puede ver que en la industria de acabado de algodón las aguas residuales suelen tener una conductividad de 6 - 7 mS/cm y tienen un DQO mayor en las fábricas que utilizan colorantes de tina (alrededor de 800 mg O₂/L), en comparación a las que utilizan colorantes reactivos (600-700 mg O₂/L), estas últimas suelen tener una relación de DQO/DBO₅ alrededor de 4. Las fábricas de acabados de poliéster generan generalmente agua residual con un alto nivel de DQO (800 - 2300 mg/kg) que es debido en parte al uso de colorantes dispersos, así como una relación de DQO/DBO₅ bastante variable (2 - 6) y una conductividad de 5 - 2 mS/cm. Por otro lado las fábricas de acabado de lana, acrílico y/o viscosa suelen generar un agua residual con una DQO de (500 - 1000 mg O₂/L) y una relación de DQO/DBO₅ de 2 a 5. (Canales-Canales, 2004)

Además de contaminante, la industria textil es una consumidora importante de agua, específicamente en el proceso de aclarado y lavado del tejido, principalmente cuando se emplean colorantes de alta sustentividad que son más difíciles de eliminar que los de baja sustentividad, pues es necesario el consumo de grandes cantidades de agua (Navarro-Alconchel, 2008). En una planta de típico teñido y acabado se pueden consumir alrededor de 120- 280 litros de agua por cada kilogramo de tela de algodón procesada se consume. (Perkins W.S., 1999 citado en Senthilkumar & Muthukumar, 2007, p. 251) Los gastos de

agua y reactivos, así como el volumen de agua residual generada pueden variar dependiendo de las propiedades del colorante y la tela, así como la técnica empleada en el teñido y aclarado de la misma. (Canales-Canales, 2004, p. 65).

La cantidad de colorante vertido al ambiente es incierta, pero se estima que un 15% del total de los colorantes usados en el procesos de teñido terminan en las aguas residuales. (Dalvand et al., 2016b, p. 179). Algunos autores mencionan aproximadamente 2.200 toneladas de algunos tintes peligrosos se descargan anualmente en obras de tratamiento de propiedad pública. (EPA, Toxics Release Inventory, 1995 citado en Santana et al., 2008, p. 10). Por otro lado se estima que aproximadamente unas 105,000 Ton anualmente de colorantes se pierden durante el proceso de tintura en distintas industrias (Hai, Yamamoto, & Fukushi, 2007, p. 1) que pueden llegar a vestirse en el ambiente. (Gupta & Suhas, 2008 pp. 2314)

Las empresas textiles se pueden diferenciar por el destino del vertido de sus aguas residuales tratadas, pues pueden verter directamente a una acequia publica, que es igual que verter directamente al ambiente o pueden verter sus aguas depuradas a la red de alcantarillado urbano. (Navarro-Alconchel, 2008).

Las empresas textiles que vierten directamente al ambiente, deben de tratar sus aguas hasta tener una calidad aceptable y que cumpla los lineamientos de la normativa antes de realizar el vertido, esto significa que la empresa debe de disponer de su propio sistema de tratamiento de aguas residuales adecuado, el cual generalmente se trata de una depuradora mixta con un tratamiento primario fisicoquímico y una secundario que sería biológico. (Navarro-Alconchel, 2008). El tratamiento primario incluye un tamizado para la separación de materias de gran tamaño, seguido de una homogenización del efluente y por ultimo un proceso de sedimentación, coagulación-floculación o flotación. El tratamiento secundario puede ser por métodos fisicoquímicos o biológicos, como los son los lodos activados.

Las empresas prefieren verter las aguas residuales al alcantarillado urbano, pero también deben de cumplir cierta regulación para que no sean rechazadas por las depuradoras municipales principalmente por la excesiva coloración que contienen. Generalmente solo se le da un tratamiento primario a este tipo de efluentes previo del vertido.

1.1.4 Regulación del agua residual vertida

1.1.4.1 Parámetros más característicos de las aguas residuales textiles

Estos parámetros son la contaminación orgánica DQO (demanda química de oxígeno) , la DBO (demanda biológica de oxígeno) y el TOC (carbón orgánico total), Nitrógeno y Fósforo (indicadores de nutrientes), MES (materias en suspensión), Conductividad (presencia de sales), MI (indicador de toxicidad e inhibición bacteriana), Color y Tensoactivos. (López-Grimau & Crespi-Rosell, 2015)

Se presenta la carga contaminante típica de las aguas residuales procedentes de diferentes sectores textiles. (Tabla 1-01) (López-Grimau & Crespi-Rosell, 2015). De la cual se pueden destacar los parámetros de la carga contaminante del tejido de algodón el cual suele tener un pH alcalino entre 8 -13; una DQO entre 500- 1500 mg O₂/L; una DBO de 400 – 1000 mg O₂/L, una carga de materia en suspensión de 100 -200 mg/L y un color entre los 200 y 1500 unidades de Platino-Cobalto por litro.

Tabla 1-0-1 Caracterización típica de las aguas residuales procedentes de diferentes sectores textiles.

PARÁMETRO	FLOCA	HILO	TEJIDO ALGODÓN	TEJIDO LANA	LAVADO LANA
pH	42711.00	42681.00	41487.00	5,5-8	42682.00
DQO (mg O ₂ /l)	3000- 7000	500- 1000	1500-3000	300- 1500	20000- 60000
DBO (mg O ₂ /l)	1000- 2200	200- 350	400-1000	100- 600	6000- 20000
MES (mg/l)	100- 300	50- 150	100-300	100- 200	6000- 20000
Volumen/ peso (l/Kg)	44105.00	40-80	100-200	70-300	43952.00
COLOR (Pt-Co/l)	400- 4000	400- 1000	400-3000	200- 1500	100-200

Nota: Adaptado de “Gestión de los efluentes de la industria textil: Proyecto mejora de las economías regionales y desarrollo local” por López-Grimau & Crespi-Rosell, 2015, *Cuaderno tecnológico*, 18, p.18. Copyright 2015 por el Instituto Nacional de Tecnología Industrial.

1.1.4.2 Normativa de vertido

Se muestra a continuación en la tabla 1-02, que fue extraída del Real Decreto 849/1986, de 11 de abril, que es modificado por el Real Decreto 606/2003, de 23 de mayo, referente a la aprobación del Reglamento del Dominio Público Hidráulico, que desarrolla los Títulos preliminar, I, IV, V, VI y VIII de la Ley 29/1985, de 2 de agosto, de Aguas. En la que se muestra el límite de vertido de aguas al medio ambiente. (BOE, 1986), (BOE, 2003). En esta se tabla se muestran los límites del vertido son muy pequeños respecto a los parámetros de DQO, DBO5 y MES en comparación a los efluentes teóricos generados en la industria textil. Por los que un tratamiento muy completo y eficiente previo al vertido es necesario para los efluentes generados para logren cumplir esta normativa.

Tabla 1-0-2 Límite de Vertido a Aguas Continentales

Parámetro - Unidad	Valores límites	Parámetro - Unidad	Valores límites
pH	Comprendido entre 5,5 y 9,5	Selenio (mg/l)	0,03
Sólidos en suspensión (mg/l)	80	Estaño (mg/l)	10
Materias sedimentables (ml/l)	0,5	Cobre (mg/l)	0,2
Sólidos gruesos	Ausentes	Cinc (mg/l)	3
D.B.O.5 (mg/l)	40	Tóxicos metálicos	3
D.Q.O. (mg/l)	160	Cianuros (mg/l)	0,5
Temperatura (° C)	3°	Cloruros (mg/l)	2
Color	Inapreciable en disolución: 1/20	Sulfuros (mg/l)	1
Aluminio (mg/l)	1	Sulfitos (mg/l)	1
Arsénico (mg/l)	0,5	Sulfatos (mg/l)	2
Bario (mg/l)	20	Fluoruros (mg/l)	6
Boro (mg/l)	2	Fósforo total (mg/l)	10
Cadmio (mg/l)	0,1	Idem	0,5
Cromo III ((mg/l)	2	Amoníaco (mg/l)	15
Cromo VI (mg/l)	0,2	Nitrógeno nítrico (mg/l)	10
Hierro (mg/i)	2	Aceites y grasas (mg/l)	20
Manganeso (mg/l)	2	Fenoles (mg/l)	0,5
Níquel (mg/l)	2	Aldehídos (mg/l) .	1
Mercurio (mg/l)	0,05	Detergentes (mg/l)	2
Plomo (mg/l)	0,2	Pesticidas (mg/l)	0,05

Nota: Adaptado de RDL 606/2003, de 23 de mayo, p.22093; RDL 849/1986, de 11 de abril, pp. 22071-22096

Por otro lado también se muestra en la tabla 1-03 información que se extrae del Decreto 130/2003, de 13 de mayo, por el que se aprueba el reglamento de los servicios públicos de saneamiento, que está basado en la normativa europea como la Directiva 91/271 / CEE y la Directiva 2000/60 / CE del Parlamento Europeo, en donde se establecen los límites permisibles para el vertido al sistemas de saneamiento. (DOGC, 2003) (Ruza Rodríguez, Javier 2007). La tabla está dividida en dos bloques, el bloque 1 hace referencia los parámetros tratables en las EDAR y con impacto poco significativo sobre los objetivos de calidad del medio receptor; mientras que el bloque 2 hace referencia a los parámetros contaminantes difícilmente tratables en las EDAR y con significativo impacto sobre los objetivos de calidad del medio receptor y los usos potenciales de las aguas depuradas.

Tabla 1-0-3 Límites de vertido depuradora municipal

Parámetros Bloque 1	Valor Límite		Parámetros Bloque 2	Valor Límite
T (°C)	40 °C		Cromo total	3 mg / l Cr
PH (intervalo)	6-10 pH		estanque	5 mg / l sn
MES (Materias en suspensión)	750 mg / l		hierro	10 mg / l fe
DBO5	750 mg / l O ₂		manganeso	2 mg / l Mn
DQO	1.500 mg / l O ₂		mercurio	0,1 mg / l Hg
Aceites y grasas	250 mg / l		níquel	5 mg / l ni
cloruros	2.500 mg / l Cl-		plomo	1 mg / l Pb
conductividad	6.000 µS / cm		selenio	0,5 mg / l se
Dióxido de azufre	15 mg / l SO ₂		zinc	10 mg / l Zn
sulfatos	1.000 mg / l SO ₄ ²⁻		MI (Materias inhibidoras)	25 equitox
sulfuros totales	1 mg / l S ₂ ⁻		color	Inapreciable dil. 1/30
sulfuros disueltos	0,3 mg / l S ₂ ⁻		nonilfenol	1 mg / l NP
fósforo total	50 mg / l P		Tensioactivos aniónicos	6 mg / l LSS
nitratos	100 mg / l NO ₃ ⁻		plaguicidas totales	0,10 mg / l
amonio	60 mg / l NH ₄ ⁺		Hidrocarburos aromáticos policíclicos	0,20 mg / l
Nitrógeno orgánico y amoniacal (1)	90 mg / l N		BTEX (3)	5 mg / l
Parámetros Bloque 2	Valor Límite		triazinas totales	0,30 mg / l
cianuros	1 mg / l CN ⁻		hidrocarburos	15 mg / l
Índice de fenoles	2 mg / l C ₆ H ₅ OH		AOX (4)	2 mg / l Cl
fluoruros	12 mg / l F ⁻		cloroformo	1 mg / l Cl ₃ CH
aluminio	20 mg / l Al		1,2 dicloroetano	0,4 mg / l Cl ₂ C ₂ H ₄
arsénico	1 mg / l As		Tricloroetileno (TRI)	0,4 mg / l Cl ₃ C ₂ H
Bario	10 mg / l Ba		Percloroetileno (PER)	0,4 mg / l Cl ₄ C ₂
Boro	3 mg / l B		triclorobenceno	0,2 mg / l Cl ₃ C ₆ H ₃
cadmio	0,5 mg / l Cd		Tetracloruro de carbono	1 mg / l Cl ₄ C
cobre	3 mg / l Cu		tributilestaño	0,10 mg / l
Cromo hexavalente	0,5 mg / l Cr (VI)			

Nota: Adaptado de DOGC, 2003, pp.11149-11150

Se puede interpretar que estos son los límites de contaminante que son permisibles verter a la EDAR (Estación depuradora de aguas residuales) en lugar de verterlo directamente al ambiente, por lo que estos son más holgados, y se puede comparar con algunos de los parámetros de los efluentes estimados de la industria textil, en donde se observa que algunos valores están sobre el valor permisible y otros están ligeramente sobre los valores permisibles, por lo que también se requiere aplicar un tratamiento previo para mejorar la calidad del efluente antes de verter a la EDAR.

1.1.5 Colorantes empleados en los tejidos

Las moléculas de colorante están compuestas por uno o varios grupos cromóforos, responsables de producir el color, que vienen dados por los diferentes tipos de enlaces moleculares; por otra parte, están los grupos auxocromos, que completan y afectan a los cromóforos, que también afectan directamente factores específicos como solubilidad en agua y la afinidad hacia las fibras. Por lo que a mayor número de grupos cromóforos mayor es la solubilidad y la capacidad de teñido (Gupta, Suhas, 2008, p. 2313)

Gupta y Suhas en 2008 clasificaron y expusieron los colorantes en “tintes dispersos, colorantes directos, colorantes reactivos, colorantes solventes, tintes de azufre y tintes de tina”. (p.2314)

Dos tercios de los colorantes usados para fibras de celulosa son colorantes reactivos, y también se emplean para el teñido de lana, seda y nylon. Aproximadamente 25% del total del mercado global está ocupado por esta clase de colorantes. (López-Grimau, V. 2015) Y aproximadamente el 60 % o 70 % de los colorantes textiles usados son colorantes azoicos, los cuales se pueden reducir a aminas, por lo que estos colorantes están regulados para evitar o reducir la producción de sustancias cancerígenas. (Canales Carmen, 2004, pp. 39)

1.1.5.1 Colorantes en el Proceso de tintura

Los colorantes en los procesos de pintura, dependen directamente del tipo de tela que se desee teñir, por lo que, se deben de conocer los diferentes tipos de fibras que hay. Las cuales se pueden clasificar en fibras de origen natral y fibras químicas. De las primeras las más comunes son la lana, la seda, el algodón y el lino, entre otras. Mientras que las fibras químicas las más comunes son el poliéster, la poliamida, entre otras. Tabla 1-04.

Tabla 1-0-4 Clasificación de las fibras empleadas en la industria textil.

Fibras de origen natural	Origen animal	lana, pelo, seda	
	Origen vegetal	Algodón, cáñamo, lino, ramio, yuste	
	Origen mineral	Asbesto	
Fibras químicas	Fibras artificiales (de polímero natural)	Acetato, cupro, liocel, triacetato, viscosa	
	Fibras sintéticas (de polímero sintético)	Polímeros inorgánicos	Metal (fibra de metal) Vidrio (fibra de vidrio)
		Polímeros orgánicos	Acrílico (PAC) Elastano (EL) Poliamida (PA) Poliéster (PES) Polipropileno (PP)

Nota: Extraído de, *Guía de Mejores Técnicas Disponibles en España del Sector Textil*, por Canales -Canales et al., 2004, p.19. Copyright 2004 por el Centro de Publicaciones Secretaría General Técnica Ministerio del Medio Ambiente

También se debe de conocer la amplia variedad de colorantes que se emplean en la industria, los cuales se pueden clasificar en varios tipos: ácidos, tintes catiónicos, dispersos, directos, colorantes directos, reactivos, solventes, colorantes de azufre y colorantes de tina. Los cuales tienen diferentes propiedades y características químicas particulares, se pueden observar estas propiedades en la Tabla 1-05.

De esta tabla, podemos destacar a los colorantes reactivos que se caracterizan por contener grupos cromóforos, los cuales son responsables de la coloración. Dentro de este grupo de colorantes podemos encontrar a: los colorantes azo, antraquinona, triarilmetano, ftalocianina, formazano, oxazina, entre otros.

Tabla 1-0-5 Tipología de colorantes por sus características químicas particulares

Tipo de colorante	Material/Fibra/Tela	Química Característica	Propiedades frecuentes
Ácidos	Nylon, lana, seda, acrílicos modificados. Papel, cuero, impresión por chorro de tinta, alimentos y cosméticos.	Principales clases químicas de estos tintes son azo, antraquinona, trifenilmetano, azina, xanteno, nitro y nitroso.	Solubles en agua
Tintes Catiónicos (básicos)	Papel, poliacrilonitrilo, nylons modificados, poliésteres modificados, tereftalato de polietileno teñible. Seda, lana y el algodón tanino-mordentado. Medicinas.	Principales clases químicas son diazahemicyanine, triarilmetano, cianina, hemicianina, tiazina, oxazina y acridina.	Solubles en agua. Producen cationes de colores.
Dispersos	Poliéster, nylon, celulosa, acetato de celulosa, y fibras acrílicas.	Contienen grupos azo, antraquinona, estirilo, nitro, y benzodifuranona.	Tintes no iónicos. Insolubles en agua
Colorantes directos	Algodón y rayón, papel, cuero y nylon.	Compuestos poli azo, estilbenos, ftalocianinas y oxazinas.	Aniónicos solubles en agua
Reactivos	Algodón y otros materiales celulósicos; seda, lana y nylon	Contienen grupos cromóforos: azo, antraquinona, triarilmetano, ftalocianina, formazano, oxazina, etc.	Forman un enlace covalente con la fibra. Tinturas son más brillantes
Solventes	Plásticos, gasolina, lubricantes, aceites y ceras	Clases químicas azo y antraquinona, ftalocianina y triarilmetano. Carecen de grupos solubilizantes polares.	Disolventes solubles (Insoluble en agua). No polar
De azufre	Algodón y rayón; fibras de poliamida, seda, cuero, papel y madera.	Estructuras intermedias	Bajo costo y resistencia al lavado.
De tina	Algodón, fibras celulósicas, rayón y lana.	Clases químicas antraquinona e indigoides.	Insolubles en agua

Nota: Tabla generada de la información extraída de “Application of low-cost adsorbents for dye removal-A review”, por Gupta & Suhas, *Enviromental Manage* 2008, 90, p. 2314.

El grado de fijación en cada uno de los colorantes es variable dependiendo de la tela empleada. Se muestran algunos grados de fijación típicos, así como el porcentaje de pérdida en el efluente residual de las tinturas. Tabla 1-06. Se observa que los colorantes reactivos suelen tener una fijación del 50-90% cuando se tiñen fibras de algodón, por los que el resto de colorante queda residual en el efluente. Como es razonable a mayor cantidad de colorante fijado, menor es la cantidad de colorante hidrolizado que queda en el agua. (Navarro-Alconchel, 2008).

Tabla 1-0-6 Grado estimado de fijación y pérdida en los efluentes.

Tipo de colorante	Fibra	Grado de Fijación (%)	Perdida en el efluente (%)
Ácido	Poliamida	89 - 95	5- 20
Básico	Acrílico	95 100	0 -5
Directo	Celulosa	70 - 95	5 – 30
Complejo Metálico	Lana	90 - 100	0 – 10
Reactivo	Celulosa	50 - 90	10 – 50
Sulfúrico	Celulosa	60 . 90	10 - 40
De tina	Celulosa	80 - 95	5 - 20

Nota: Adaptado de “Optimización de la tintura con colorantes reactivos”, por Navarro-Alconchel, 2008.

Normalmente la cantidad de colorante empleado depende del tipo de fibra a teñir, y por lo tanto del tipo de colorante empleado así como puede variar dependiendo del proceso empleado, sin embargo las cantidades típicas de colorante se muestran en la tabla 1-07. En donde también se muestra el consumo de productos auxiliares y las cantidades comunes de sustancias químicas empleadas como álcalis.

Tabla 1-0-7 Consumos promedio de reactivos en promedio los diferentes subsector textiles

Subsector	Colorante (g) por Kg de sustrato textil	Auxiliares (g) por Kg de sustrato textil	Sustancias químicas básicas (g) por Kg de sustrato textil
Acabados de Hilados de algodón.	25	70 g	400
Acabados de Hilados de poliéster.	18 - 36	80 – 130	95 - 125
Acabados de Hilados: Lana, acrílico y/o viscosa.	13-18	36 -90	85-325

Nota: Adaptado de, *Guía de Mejores Técnicas Disponibles en España del Sector Textil*, por Canales -Canales et al., 2004. Copyright 2004 por el Centro de Publicaciones Secretaría General Técnica Ministerio del Medio Ambiente

Los colorantes son un tipo de contaminante preocupante ya que tienen muchos efectos adversos a diferentes escalas. Muchos de ellos son tóxicos, cancerígenos y mutagénicos, que pueden dañar la salud debido a la ingestión oral, la inhalación, el contacto con la piel y los ojos a los cuales también causa irritación (Christie, R.M., 2007., citado en Gupta & Suhas, 2008 p. 2314; Dalvand et al., 2016a, p. 1). Como los son, los colorantes directos con cobre complejo (Bae & Freeman, 2007, p. 131), los colorantes tipo azo, disazo y catiónicos. (Navarro Alconchel, Raquel. 2008, p. 170). Además (incluyendo los colorantes que no son tóxicos) son perceptibles fácilmente debido a que generan color al agua y más allá del rechazo por la estética del agua, pueden perjudicar a los ecosistemas acuáticos debido a que afectan a la transmisión de la luz y alteran los procesos de metabolismo biológicos. (Gupta & Suhas, 2008, p. 2314; Wu et al., 2008, p. 156; Navarro-Alconchel, 2008)

Se debe de señalar que los principales factores que afectan el acabado textil son el sustrato, el colorante y el agua.

Desde el punto de vista de la estructura química de los colorantes reactivos constituidos fundamentalmente por cuatro partes (Marco, Ángel, 2004 citado en Navarro-Alconchel, 2008):

Grupos solubilizantes, que suelen ser los grupos sulfónicos. Es que grupo que faculta la solubilidad del colorante en agua.

Molécula coloreada o cromóforos. Es el grupo al cual se le atribuye el color del colorante.

Grupo puente. Este grupo es la parte de la molécula que une el grupo reactivo con el resto de la molécula del colorante.

Grupo reactivo. Es el grupo que reacciona con la fibra a teñir, logrando una fijación química del mismo.

La tintura de fibras celulósicas con colorantes reactivos se da en 3 etapas (Figura 1-01) (Marco, Ángel, 2004 citado en Navarro-Alconchel, 2008):

Absorción de colorante por la fibra en un medio neutro y con la adición de electrolito.

Durante esta etapa, se da la difusión del colorante soluble al interior de la fibra y es absorbido por la fibra. En esta etapa solo se presentan fenómenos y cambios físicos. Se ve afectado por el tipo de fibra y relación del baño. Sin embargo la situación de equilibrio del colorante absorbido depende del pH, naturaleza (afinidad) del colorante, concentración de electrolito, y temperatura.

A un pH alcalino la absorción es mayor que a un pH neutro; la afinidad del colorante La presencia de electrólitos aumenta la afinidad del colorante; a mayor temperatura aumenta la solubilidad del colorante, por lo que el transporte del mismo desde el medio acuoso hacia la fibra mejora con alta temperatura.

Reacción en medio alcalino de colorante con los grupos hidroxilos de la celulosa y el agua.

Posteriormente de alcanzar el equilibrio de absorción se añade al álcali a la solución de tinte. Esto modifica el pH de 7 a 10 u 11. En esta fase se propicia la absorción de más colorante.

Los grupos hidroxilo de la celulosa se ionizan y reaccionan con el colorante por un mecanismo de sustitución en presencia de un halógeno lábil en un sistema heteroaromático o por un mecanismo de adición debido a un doble enlace carbono-carbono del sistema reactivo.

El colorante que no haya reaccionado con la fibra se hidroliza el cual se encuentra tanto en la fracción líquida del baño como adsorbido en la fibra.

Posteriormente se hace la eliminación del colorante hidrolizado que no fue fijado covalentemente a la fibra.

El colorante que se desea mantener es el colorante que ha reaccionado con la tela. Por lo que en esta fase se hacen los lavados para eliminar por arrastre la mayor cantidad posible de colorante adsorbido por la fibra.

También se desea eliminar la mayor cantidad de colorante adsorbido el cual depende de los factores mencionados de la etapa 1. La cantidad de esto colorante puede variar según las condiciones de equilibrio, por lo que para facilitar la extracción de la mayor cantidad posible de colorante adsorbido se modifican las condiciones de concentración de electrolitos y a temperatura empleando agua descalcificada caliente. (Navarro-Alconchel, 2008)

	Solución externa	Fibra celulósica	
	Colorante de la solución externa	Col. en solución en el baño inter-micelar	Col. adsorbido en las moléculas de la celulosa
Fase de tinteura neutra Absorción	Col - Cl	Col - Cl	Col --- (Fibra) Cl
Fase intermedia alcalina Absorción y reacción	Col - Cl ↓ Col - OH	Col - Cl ↓ Col - OH	Col --- (Fibra) Cl ↓ Col --- (Fibra) O ↓ Col --- (Fibra) OH
Fase final; todo el colorante ha reaccionado	Col - OH (1)	Col - OH (2)	Col --- (Fibra) OH + Col --- (Fibra) O (3) (4)

Ilustración 1-0-1 Reacciones que se producen en las diferentes etapas de tinteura con colorantes reactivos.

Nota: Extraído de “Optimización de la tinteura con colorantes reactivos”, por Navarro-Alconchel.

1.1.5.2 Procesos y Técnicas de tinteura de interés

La práctica de la tinteura textil con colorantes reactivos a nivel industrial se puede hacer por distintas técnicas:

1. Agotamiento. Consiste en la tintura, aclarado, jabón a ebullición y aclarado final.
2. Pad Batch. Consiste en dejar reposar en frío el tejido en una solución de colorante y álcali en frío para que se impregne la misma, seguido de un lavado y enjabonado.
3. Tintura Continua. Es la aplicación de colorante sobre un tejido largo que va avanzando por distintas etapas del teñido y estas se van realizando al mismo tiempo.

Para este trabajo solo es de interés la técnica de teñido por agotamiento, ya que es la técnica que se emplea en la industria con la cual se colaboró, así como fue la técnica que se empleó para el teñido experimental.

Técnica de teñido por Agotamiento

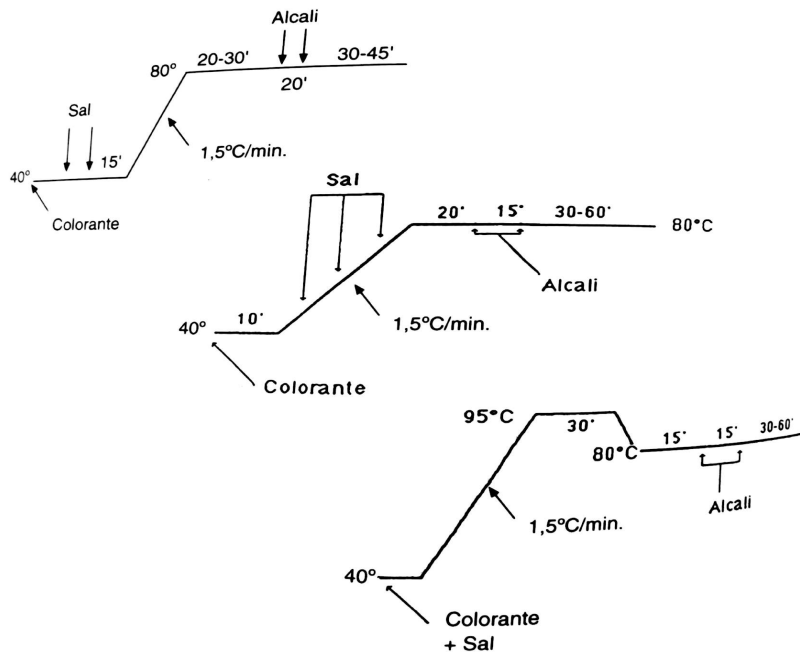
También conocido como tintura en baño largo y pueden ser dosificados de diferentes formas, puede ser por procesos “All in” o por proceso convencional.

En el proceso “All in” o todo dentro, antes de que llegue la tela se forma una solución a temperatura ambiente donde se agrega el colorante, el electrólito y el álcali, en la cual reaccionaran los colorantes de alta reactividad, después se calienta de manera lenta y constante. Se agrega la tela cuando se alcanza la temperatura óptima de reacción (80 – 90 °C) y se mantiene de 30 a 60 minutos, posteriormente se aclara y enjabona. Los colorantes recomendados son los de baja reactividad.

La tintura por procesos convencional puede ser dependiendo del colorante de alta reactividad o baja reactividad (Marco, Ángel, 2004 citado en Navarro-Alconchel, 2008):

Los colorantes de alta reactividad (baja temperatura) y baja sustentividad, es decir, baja capacidad de absorción del colorante en la fibra. Suelen ser del tipo Porción MX, Levafix, Cibacron F; Remazol y Sumifix Supra. Se hace por agotamiento secundario, donde se va dosificando el álcali de manera progresiva exponencialmente. El tiempo de dosificación del álcali va de 30 – 90 minutos. Suelen incorporarse secuestrantes, poliacrilatos o polifosfatos, en el baño para evitar los posibles precipitados que pueden proceder del sustrato (la fibra), el agua o de la sal. Posteriormente se aclara con agua para eliminar al máximo los electrolitos, el álcali y el colorante que no ha reaccionado. Posteriormente se hace un lavado con jabón a 90 – 100 °C y se vuelve a aclarar con agua.

Los colorantes de baja reactividad (alta temperatura) son de sustentividad elevada. Suelen ser del tipo Porción HE, HEXL, XL+, Cibracon LS, Drimaren X. En este sistema se controla el agotamiento primario. Se empieza a 40°C con el electrolito y el colorante, posteriormente se calienta hasta la temperatura óptima (80 – 90° C), manteniéndose de 20 – 30 minutos, posteriormente se añade al álcali y se mantiene la temperatura durante 30 – 60 min. Posteriormente se vacía y se aclara con agua caliente, seguido de lavado con jabón a 100° C. Figura 1-02 Requiere una mayor labor de eliminación del colorante debido a su alta sustentividad. Permite un agotamiento importante del colorante y permite la migración y difusión del mismo de manera homogénea, por lo que se puede obtener una igualación óptima.



*Ilustración 1-0-2 Curvas de aplicación de colorantes de baja reactividad.
Nota: Extraído de Marco Ángel, 2004.*

Hay que tener en cuenta que no hay ningún colorante que se agote al cien por ciento sobre las fibras, por lo que queda abundante colorante sin reaccionar tanto en la fibra como en el baño. (Navarro-Alconchel, 2008) Por lo que siempre se necesitara añadir un exceso de colorante para que interactúe de manera eficaz con la tela para que se dé una fijación óptima o prácticamente total.

Las máquinas que se emplean para la tintura por agotamiento se pueden clasificar en: máquinas de tintura en madejas, de bobina cruzada y de **tintura en jiggers**.

1.1.6 Métodos de eliminación de colorantes en agua residuales industriales

Los métodos de tratamiento de aguas residuales incluyen precipitación, coagulación / flotación, sedimentación, filtración, proceso de membrana, las técnicas electroquímicas, intercambio iónico, proceso biológico, y las reacciones químicas. (Vieira et al., 2009, p. 274)

En primera instancia se tiene la sedimentación que actualmente viene de ligado al tratamiento químico de las aguas residuales de colorante, se suelen añadir agentes coagulantes y

floculantes químicos (Zhou et al., 2008, p. 310) previo a los depósitos de sedimentación, y clarificadores. (Gupta & Suhas, 2008, p. 2315)

La tecnología de filtración incluye microfiltración, ultrafiltración, nanofiltración y ósmosis inversa a través de diferentes tipos de membranas y ésta ha dado resultados favorables y permite el reciclado de las aguas. (Avlonitis et al., 2008, p. 266),

La oxidación química y la oxidación asistida (utilizando cloro, peróxido de hidrógeno, reactivo de Fenton, ozono, o permanganato de potasio) con luz UV, catalizadores, ultrasonido o carbón activado es un método que dependen del pH, de la dosis de ozono y de la temperatura que se utilizan para el tratamiento de los efluentes. Este proceso es aliciente porque tiene la capacidad teórica de generar como residuo dióxido de carbono y agua, por lo que en teoría no deja ningún lodo y como no se deben de gestionar estos, los costos y tiempo de eliminación se reducen. (Gupta & Suhas, 2008, p. 2315; Wu et al., 2008, p. 160; Sundrarajan et al., 2007, pp. 252-273).

La ozonización llevada a cabo por el ozono generado a partir de oxígeno ha sido estudiado por diversos investigadores (Gupta & Suhas, 2008, p. 2315) y se ha encontrado para ser una forma muy eficaz de decolorante efluentes textiles mejorando la biodegradabilidad de soluciones acuosas que contengan colorantes reactivos. (Wu et al., 2008, p. 160). En el estudio de (Sundrarajan et al. 2007. Pp 277) determinaron eliminación del color del efluente casi al 90% se puede lograr en 5 min de contacto colorantes en forma de mezcla en tonos amarillo y azul, en un consumo de ozono de 37,5 y 36 mg/L; aunque este método no siempre conlleva la reducción significativa de DQO y TOC. Generalmente la reducción de la DQO durante la ozonización se atribuye a la reducción del carbono orgánico total (TOC) y la oxidación parcial de sustratos orgánicos. (Senthilkumar & Muthukumar, 2007, p. 253)

Santana et al. (2008) experimentaron con soluciones acuosas que contienen el colorante azo comercial Naranja Reactivo 122 (RO 122) que fueron ozonizadas. Determinaron que en el tratamiento de ozonización el pH afecta tanto a la cinética de decoloración y eliminación de la DQO-TOC y es más pronunciada para las condiciones alcalinas. En este caso revelaron que la ozonización constituye una tecnología eficiente para la remoción del color y de materia orgánica. En su investigación se logró un grado considerable de mineralización ($\geq 70\%$) después de 1 h de ozonización utilizando una tasa de aplicación baja de ozono (0,25 g h⁻¹) (pp. 10-17).

El método electroquímico logra la decoloración por electro-oxidación o por electro-coagulación. Varios materiales de ánodo con diferentes condiciones experimentales, se han utilizado con éxito en el electrón-degradación de colorantes (Dogan & Turkdemir, 2005; Faouzi et al., 2007; Oliveira et al., 2007.).

Se ha investigado también la remoción de colorantes reactivos (azul reactivo 19) en aguas residuales por medio de la adsorción empleado nano partículas de Fe₃O₄ modificadas con L-arginina. Proceso que tiene dependencia a la dosis de adsorbente, el pH y la concentración inicial de colorante, siendo las condiciones óptimas de un pH de 3, una dosis de adsorbente de 0.74 g/L y una concentración inicial de colorante de 50 mg/L, logrando reducción de hasta un 96%. (Dalvand et al., 2016b, pp. 188).

También se pueden emplear procesos de remoción de color como de Adsorción con carbón activado, Bioeliminación o Adsorción en biomasa, Biodegradación y Fotodegradación. (Gupta & Suhas, 2008)

Algunas técnicas, como en las que se emplea la tecnología de membranas y procesos de oxidación avanzada siguen siendo de costo elevado y requieren tecnología avanzada. (B. Kayranli. 2011 citado en Dalvand et al., 2016b, p. 179)

1.1.7 Los coagulantes

Muchas impurezas en el agua y las aguas residuales están presentes en forma de sólidos coloidales, que no se sedimentan fácilmente ya que se encuentran finamente dispersadas y suspendidas estas partículas que producen turbidez y color del agua, las cuales no se pueden eliminar de manera eficiente por la sedimentación ordinaria. Las partículas coloidales generalmente llevan una carga eléctrica negativa. Su diámetro varía desde 10^{-4} hasta 10^{-6} mm. (Pritchard & Craven, 2010, pp. 798-799). Estas partículas están rodeadas por una doble capa eléctrica, es decir que está compuesta de una capa difusa y una capa dura, lo que evita el contacto entre sí (Bache and Gregory, 2007).

La adición de un coagulante y mezclar el agua provoca la compresión de la doble capa y por lo tanto la neutralización del potencial de la superficie electrostática de las partículas. Las partículas desestabilizadas resultantes se pegan entre si al contacto hasta la formación de sólidos de conocidos como "floculos". La mezcla rápida durante unos pocos segundos es importante después de la adición de un coagulante para asegurar una dispersión uniforme del coagulante y también para aumentar la oportunidad de contacto de partícula a partícula. Posteriormente mezcla suave y prolongado (al menos 15 min) ayuda en la formación de floculos. (Pritchard & Craven, 2010, p. 798) Una vez que se generan estas partículas de mayor tamaño y se encuentran suspendidas son normalmente removidas del líquido por medio de la sedimentación. (Devesa, Cruz, & Moldes, 2012, p. 591)

1.1.7.1 Coagulantes inorgánicos

Coagulantes y / o polímeros inorgánicos se utilizan normalmente durante el proceso de tratamiento del agua para eliminar los sólidos en suspensión, bacterias y virus. (Pritchard & Craven, 2010, p. 799)

El proceso típico implica la adición de agentes, que tengan iones férrico (Fe^{3+}) aluminio (Al^{3+}) o de calcio (Ca^{2+}) al efluente de colorante e induce la floculación. (Mishra y Bajpai, 2006; Mishra et al, 2006;.. Yue et al, 2008). Los coagulantes primarios más utilizados son las sales de aluminio y hierro (III) (Okuda et al. 1999 citado en Vieira et al., 2009, p. 273). A veces combinación de dos también pueden añadirse para mejorar el proceso. (Wang et al.,

2007. Gupta & Suhas, 2008). Los coagulantes inorgánicos más comunes en la en el tratamiento de efluentes residuales textiles suelen ser el alumbre, cloruro férrico y sulfato férrico. (Huang et al. 2014 citado en Dalvand et al., 2016a, p. 2)

Generalmente, el procedimiento es económicamente viable con eliminación satisfactoria de dispersión, azufre y colorantes de tina. Sin embargo, el principal inconveniente del proceso es que el producto final es un lodo concentrado producido en grandes cantidades también, además de esto, la eliminación depende del pH. (Lee et al., 2006; Gupta & Suhas, 2008) También presentan problemas con colorantes altamente solubles, colorantes azo, reactivos, ácidos y colorantes básicos (Hai et al., 2007. Gupta & Suhas, 2008).

El sulfato de aluminio (alumbre) $Al_2(SO_4)_3$ es una sal inorgánica y es el coagulante más ampliamente utilizado en el tratamiento de agua y aguas residuales (S.A. Muyibi. 2001, citado en Bhatia, Othman, & Ahmad, 2007, p. 206.) debido a su rendimiento probado, su rentabilidad, su manejo relativamente fácil y la disponibilidad. (Madrona, Serpelloni, & Vieira et al., 2010, p. 409).

En España los efluentes textiles que suelen ser tratados con estas sales y un polielectrólito aniónico se logra eliminar más del 95% del color; mientras que la reducción de la DQO es inferior a 75 – 80%. (Navarro-Alconchel, 2008)

También se debe de indicar que algunos coagulantes, como sales de aluminio, tienen el inconveniente de ser señalados como perjudiciales para la salud, generando enfermedades como el Alzheimer, demencia senil y problemas neurológicos similares. (Bhatia et al., 2007, p. 206; Madrona et al., 2010, p. 410; Vieira et al., 2009, p. 273)

1.1.7.2 Coagulantes orgánicos

Dentro de los coagulantes orgánicos existen los polímeros sintéticos orgánicos y los coagulantes naturales. (Madrona et al., 2010, p. 409)

Una de las grandes ventajas que tienen los coagulantes orgánicos contra los coagulantes inorgánicos es que la gestión de los lodos generados es mucho más fácil y de menor costo. (Bhatia et al., 2007, p. 206). Algunos de los extractos de plantas naturales que se pueden emplear como coagulantes están Moringa oleífera, la Jatropha curcas, la Goma guar, la Strychnos potatorum, la Hibiscus sabdariffa, la Clidemia angustifolia (Pritchard & Craven, 2010, pp. 798–805) ácido acético, lactato de calcio, lactato de sodio y ácido cítrico (R. Devesa-Rey et al., 2016, p. 592).

Devesa-Rey et al. (2016) obtuvieron en su estudio que uno de los mejores coagulantes naturales para tratar agua de río es el ácido láctico con valores de hasta un 94.3% de reducción en la absorbancia en 120 min, mismos valores que se alcanzan empleando $AlCl_3$. (p. 593)

1.1.7.2.1 Uso de Moringa como coagulante

En particular, la Moringa oleífera (mencionada en este trabajo como M. Oleífera, Moringa O. o simplemente Moringa) ha sido clasificado como uno de los mejores extractos aplicables como coagulante en plantas de tratamiento de agua (Pritchard, Mkandawire, Edmondson, O'Neill, & Kululanga, 2009, p. 805). Se ha encontrado que el componente activo de M. oleífera que causa la coagulación es una proteína soluble que actúa como un polielectrolito catiónico natural durante el tratamiento y causa la coagulación en agua turbia. (Pritchard & Craven, 2010, pp. 798–805)

La Organización para la Alimentación y la Agricultura (FAO) lo ha recomendado como forma adecuada y conveniente para el tratamiento de agua. (Beltrán-Heredia and Sánchez-Martín. 2009, p. 129)

El uso de M. Oleífera como coagulante puede emplearse tanto en el tratamiento del aguas domésticas y como en aguas industriales. (Nkurunziza et al. 2009 citado en Madrona et al., 2010, p. 410)

Muchas investigaciones se han centrado en el uso de M. oleífera como co-coagulante junto con alumbre. Así como se ha utilizado M. oleífera como un pre-tratamiento de las aguas. Pritchard y Craven (2010) determinaron que con dosis de 25 mg/l (25 ppm) se logra eliminar alrededor de un 80% de la turbiedad del agua que emplearon su investigación y empleando dosis mayores no hay un aumento en rendimiento remoción que sea significativo. Destacan el uso de filtros de arena, después de la coagulación de M. oleífera, para reducir aún más los niveles de turbidez y bacterias.

Bhatia et al. (2007) trataron efluentes de las fábricas de aceite de palma efluentes de las fábricas de aceite de palma. Determinaron que los valores óptimos de las variables del proceso fueron un pH de 5, un tiempo 114 min y 3469 mg / L de M. oleífera, y 6.736 mg / L de floculante (NALCO 7751) con resultados favorables con la recuperación de los lodos de 87% en peso y la remoción de sólidos suspendidos en un 99%.

Durante la coagulación la moringa puede modificar el pH y la conductividad. También se sabe que el volumen de los lodos producidos por la moringa son menores a los generados con la alúmina (Bhatia et al., 2007. Pp 206).

La coagulación empleando Moringa Oleífera es de cuatro a cinco veces menor en volumen que el lodo químico producido por la coagulación de alumbre. (Ndabigengesere et al. 1995 citado en Vieira et al., 2009, p. 274)

Beltrán-Heredia, Sánchez-Martín, y Barrado-Moreno (2012), determinaron que el extracto de semilla de M. Oleífera es un agente coagulante competitivo para la remoción de detergentes aniónicos de cadena larga de efluentes contaminados, con mejores resultados que los coagulantes tradicionales donde determinaron que la remoción se ve poco afectado por la variación de pH y temperatura. Evaluaron en su estudio que las condiciones óptimas son empleando 76 mg/L de agente tensoactivos y 234 mg/L de coagulante.

También se ha estudiado el uso de las vainas moringa oleífera como adsorbente, catalogado como residuo de la actividad agrícola, para la eliminación de pesticidas, (Zolgharnein J. Et al. 2011 citado en Dalvand et al., 2016a, p. 2) como lo es el metil paratión, con una capacidad de adsorción de 0.36 mmol/g en un tiempo de contacto de 2 horas y un pH de 6. (Ahmad et al., 2010, pp. 240-242). También sus propiedades adsorbentes se han probados para la eliminación de contaminantes orgánicos y metales (Akhtar et al. 2007 y Sharma et al. 2006 citados en Vieira et al., 2009) con resultados muy positivos.

Sánchez-Martín et al. (2010) emplearon la M. Oleífera y el extracto purificado de la misma para tratar agua de río en Holanda, enfocándose en la remoción de la turbiedad y del Carbono Orgánico Disuelto (COD). Aunque sus resultados muestran que la remoción de la turbidez es de forma logarítmica, determinaron que la dosis optima es de 0.5 mg/L empleando el extracto purificado en 2 etapas y que a una dosis mayor de al optimo contribuye al aumento de COD. Puntualizaron que M. oleífera es más eficaz del agua de alta turbidez en comparación con baja turbidez (Ndabigengesere and Narasiah, 1998, citado en Sánchez-Martín et al., 2010)

Moringa empleada en efluentes con color

Se sabe que la moringa es una planta cuyas semillas contienen una proteína que se puede utilizar como un coagulante orgánico natural para tratar agua y aguas residuales. (Bhatia et al., 2007, p. 206).

Pritchard & Craven, 2010, emplearon M. Oleífera para tratar agua de embalse con color considerable 72.1 (abs/m) con el fin de eliminar el color donde probaron dosis de 250, 500 y 750 ppm obteniendo una reducción del 19.3%, 40.9% y 52.4% respectivamente.

Madrona et al., 2010, usaron la Moringa oleífera para tratar color y turbidez del agua bruta con el fin de obtener agua potable, aprovechando sus propiedades coagulantes y comestibles de la planta. Determinaron que la cantidad de proteínas es mayor durante la extracción utilizando mayor concentración de sal (KCl 1 M); también a esta concentración de sal se observó mayor tasa de remoción de turbiedad y color a un pH óptimo de 8.

Se ha estudiado la eficiencia comparativa del extracto de semilla Moringa stenopetala en comparación al alumbre y el coagulante híbrido M. stenopetala- alumbre para eliminar colorantes azo 23 Rojo Directo de aguas residuales textiles. En su estudio determinaron que la máxima remoción de colorante es de 98.5, 98.2 y 98.3 % usando 240, 120, y 80 mg/L usando el coagulante híbrido de alumbre y moringa a un pH 7. Hacen hincapié en que la Moringa Stenopetala es un coagulante más eficiente que la Moringa oleífera para la remoción de colorante ya que contienen mayor contenido de proteína y menos grasa. (Dalvand et al., 2016a, p. 1)

Vieira et al. (2009) obtuvieron resultados positivos empleando M. Oleífera para tratar aguas residuales de la industria láctea y determinaron la eficiencia de remoción de hasta 98%, tanto para el color y la turbidez, se alcanzaron utilizando 0,2 g MO y 0,2 L de solución de sorbato de 1,0 g/L . Los resultados obtenidos mostraron que las semillas MO mantienen su poder de adsorción bajo un rango de pH entre 5 y 8.

El árbol y la semilla de moringa

El árbol de *M. oleífera*, típicamente de hasta 10 m de altura, es fácil de cultivar y está muy extendida en algunas partes de África y la India, con especies similares que se encuentran en la América tropical, Sri Lanka y Malasia y en general se puede encontrar en todo el trópico. (Bhatia et al., 2007, p. 206; Pritchard, & Craven, 2010, p. 799)

Esta planta tropical de *Moringa* pertenece a la familia Moringaceae, se conocen 14 especies diferentes hasta el momento han sido identificados (Madrona et al., 2010, p. 410), todos los cuales dan semillas producidas en las vainas, que varían en longitud desde 150 hasta 1.200 mm entre las especies y ubicación. Fig. 1-03. La calidad de las semillas pueden variar entre las vainas de la misma longitud y semillas individuales se ha demostrado que variar en peso entre 150 y 300 mg. El árbol de *M. oleífera* puede producir alrededor de 2.000 semillas por año. Los árboles pueden, sin embargo, ser cultivadas para producir unos cinco a diez veces este rendimiento (es decir 10.000-20.000 semillas). (Pritchard, & Craven, 2010, p. 799; Bhatia et al., 2007, p. 206).

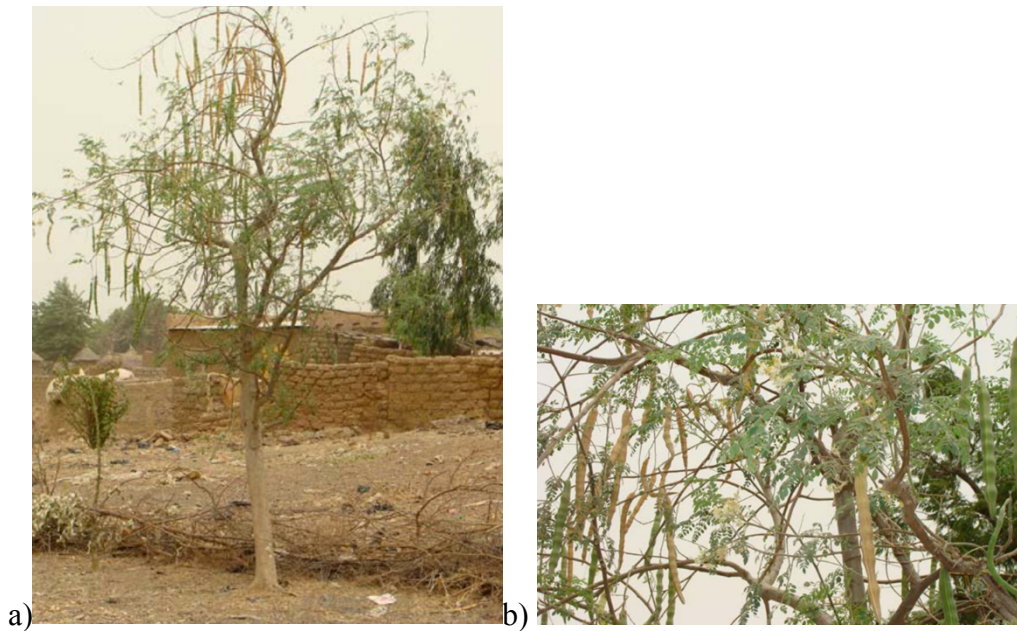


Ilustración 1-0-3 a) Árbol de moringa Oleífera b) Vainas de moringa Oleífera

Nota: Extraído de Chalamon, A. (2016). *Moringa, L'arbre de la renutrition*. [Fotografía] Recuperado de: /react-text <http://www.burkinafaso-cotedazur.org/arbres>

La *Moringa* tiene muchos nutrientes y vitaminas y es bueno como alimento humano y existen gran variedad de recetas en las cuales se puede emplear. También como se puede usar como alimento para animales. Toda la planta en general puede ser consumida, las hojas, flores y raíces se utilizan como ingredientes de platillos o en cosmética. (Madrona et al., 2010, p. 410) Esta planta es de usos múltiples (Beltrán-Heredia & Sánchez-Martín. 2009, p. 128), ya que se puede emplear como fertilizante, como fuente útil de medicamentos y limpiar el agua sucia. (Bhatia et al., 2007, p. 206). Actualmente a nivel industrial se emplea en la extracción de aceite cosmético y nutricional. (Lalas. S et al. 2002 citado en Beltrán-Heredia & Sánchez-Martín, 2009, p. 129).(Chalamon, A. 2016).

Un dato importante es que la torta de semillas, producido después de la extracción de principios activos de las mimas contiene altos niveles de proteínas coagulantes. (Bhatia et al., 2007, p. 206). Ésta contiene un complejo de proteínas se compone de dos subunidades con una carga positiva es por eso que esta densamente cargada con atenuadores catiónicos. Tienen un peso molecular de aproximadamente 13 kDa y el valor pH isoelectrico de 10 y 11, respectivamente. (A. Ndabigengesere. 1995 citado en Bhatia et al., 2007, p. 206). Algunos autores hacen la simplificación refiriéndose solo a una proteína o polímero orgánico natural catiónico que desestabiliza las partículas contenidas en un medio líquido. (Madrona et al., 2010, p. 2; Vieira et al., 2009, p. 273)

La M. Oleífera se puede usar como fuente de para obtener carbón activado. Beltrán-Heredia & Sánchez-Martín, 2009 p. 129)

1.1.7.2.2 Acacia como coagulante

La acción coagulante de la Acacia mearnsii es debido a los taninos que contiene, en específico el extracto de taninos que se obtiene por procesos no exhaustivos, tienen estructura de anillos flavonoides que tienen un grupo catecol, y que pueden formar complejos con proteínas, macromoléculas y minerales (Grasel et al., 2016; Skoronski, 2014; Beltrán-Heredia, 2011). Los taninos tienen propiedades coagulantes y se pueden utilizar de manera gelificados. La acacia tiene la ventaja igual que muchos coagulantes naturales de que es barato y fácil de manejar. (Sánchez-Martín, 2012)

Se comprobó la efectividad de coagulante para varios colorantes, pues se probó con 200 ppm de Acacia con diferentes colorantes a 100 ppm y se observó que tiene una capacidad de remoción de 20 a 90 % dependiendo del colorante. El pH de remoción óptimo está alrededor del pH 5 +/- 1. La reducción de la concentración es directamente proporcional a la concentración de coagulante empleada y esta se comporta como una reducción exponencial, logrando remover fácilmente hasta 50% de la concentración de los colorantes. (Sánchez et al., 2012)

El tratamiento de agua bruta de río para su potabilización . alcalinidad de las muestras después de las pruebas de tratabilidad mostró decaimiento en proporción al aumento de la dosis de coagulante . El pH se redujo de manera poco significativa por el aumento de dosis de coagulante. La conductividad tampoco se vio afectada realmente con el aumento de la concentración de coagulante, se observó un ligero aumento. En el caso de la turbiedad y del color aparente se comportaron de manera similar entre sí, teniendo un decremento exponencial hasta una concentración óptima donde se elimina casi totalmente a dosis moderada, pues posteriormente esta aumenta ligeramente. También remueve eficientemente sólidos suspendidos. (Skoronski et al., 2014).

El árbol de Acacia mearnsii

La acacia mearnsii es de una variedad comúnmente como acacia negra, es endémica de Australia pero se puede encontrar en muchas regiones África, sur de Asia, sur, parte sur de norte América, centro y sur América. Suele crecer en diversidad de climas, pero se ve favorecida por suelos fértiles y áreas de mucha lluvia. Los arboles tienen corteza dura, áspera, longitudinalmente miden entre 6 – 25 m, son de color gris a gris muy oscuro amarronado. Figura 1-04 (Orwa, 2009)



Ilustración 1-0-4 Árbol de acacia mearnsii.

Nota: Extraído de Greening Australia (Florabank), 2008.

http://www.florabank.org.au/lucid/key/species%20navigator/media/html/Acacia_mearnsii.htm

Del árbol de acacia es aprovechada la madera para varios fines, mientras que de la corteza se obtiene un extracto que es rico en taninos vegetales, los cuales son usados en la manufactura de adhesivos, en el curtido de cuero y coagulante para el tratamiento del agua (Orwa, 2009; Grasel, 2016).

1.2 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

M. Oleífera es uno de los coagulantes naturales más efectivos para el tratamiento de aguas residuales. (Sciban et al., 2009 citado en Sánchez-Martín, J., 2010, p. 6259)

Pritchard & Craven, 2010, determinaron que la M. Oleífera no es tan eficaz como alumbre o férrico, M. oleífera mostró la suficiente capacidad de eliminación para fomentar su uso para el tratamiento de aguas turbias en los países en desarrollo. Destacan que se requiere un trabajo adicional para evaluar el potencial de M. oleífera para eliminar el color siendo un coagulante natural, que puede tener ciertas ventajas sobre los coagulantes químicos de color.

Es necesario seguir desarrollando coagulantes orgánicos que logren competir con los inorgánicos ya que estos presentan problemáticas como es la necesidad de ajuste de pH, la producción de grandes cantidades de lodo que contendrán productos químicos inorgánicos no deseables como el aluminio, el hierro, sulfato y cloruro que pueden llegar al medio

ambiente. (Huang et al. 2014 citado en Dalvand et al., 2016a, p. 2) Mientras que los coagulantes orgánicos como la moringa oleífera que son naturales, renovables, no corrosivos, no tóxicos para el medio ambiente, biodegradables y suelen ser más baratos. (Dalvand et al., 2016a. p. 2; Khiari et al. 2010 citado en Devesa-Rey et al., 2012, p. 591) También tiene la ventaja de que el uso de moringa como coagulante no es tecnológicamente difícil de operar por personal no cualificado y es fácil de manejar. (Beltrán-Heredia, J. 2009, p. 129). También destacar que muchas veces las empresas suelen preferir remediar bajo coste que prevenir algunas situaciones haciendo invenciones importantes.

Numerosos informes de reciclaje de agua se han reportado en la literatura pero hay poca información disponible sobre la calidad del agua reciclada utilizada para el éxito del proceso de reutilización y la calidad de las telas en términos de diferencia de color y la equilibrio de la tintura. (Senthilkumar & Muthukumar, 2007, p. 252)

1.3 OBJETIVO

El tratamiento de los efluentes textiles residuales previo al vertido busca disminuir considerablemente la concentración de contaminantes, siendo el color uno de los más importantes para este ramo industrial y los procesos de físico-químicos resultan muy adecuados para esta labor y son una opción viable a nivel industrial, aunque normalmente requieren coagulantes especializados para aguas con mucho color.

En este trabajo se enfoca en probar la eficiencia de remoción de contaminantes de varios efluentes textiles con el uso de coagulantes naturales, así como comprobar la eficacia de estos en relación a la bibliografía encontrada. Los coagulantes naturales que se manejaron para este ensayo fueron Moringa Oleífera en primera instancia, secundariamente se probó la eficiencia de la Acacia mearnsii. Y se comparó su funcionamiento contra dos tipos de coagulantes comerciales; el primero de estos se empleo un coagulante químico tradicional que es el Cloruro de Hierro III ($FeCl_3$) y por otro lado se empleó un coagulante/decolorante TIDEC 700.

Como se sabe un solo proceso de teñido puede tener ligeras variaciones en relación al agua residual generada, así como los distintos teñidos de distintas telas tiene una variación considerable en la composición de esta aguas. En el estudio se centró en el tratamiento de efluentes en 3 puntos del proceso de generación de agua residual con alta concentración de colorante, que son:

1. El agua residual del baño de tintura
2. El agua residual primer lavado
3. Balsa de homogenización de la planta de tiramiento físico-químico

En el estudio se consideró que los efluentes residuales generados eran a partir de colorantes reactivos, así como solo se trabajó con las empresas que colaboran con el laboratorio de INTERTEX.

El objetivo principal en este trabajo es:

Comparar el comportamiento de coagulantes naturales (Moringa Oleífera, Acacia mearnsii) frente a coagulantes químicos (FeCl_3 y TIDEC 700) para el tratamiento de efluentes textiles con colorantes reactivos.

Los objetivos específicos son:

- Comprobar el funcionamiento de coagulantes naturales (M. Oleífera, Acacia mearnsii) a distintas dosis para la remoción de contaminantes y decoloración de distintos efluentes residuales textiles.
- Determinar si los coagulantes naturales pueden ser una alternativa respecto a los coagulantes químicos comerciales, para el tratamiento de estos efluentes.
- Determinar si las características del agua generada después del tratamiento de coagulación son aceptables para su vertido.
- Estudiar la posibilidad del reciclaje del agua del baño de tintura y del primer lavado para emplearlo para un nuevo proceso de tintura.

1.4 Referencias

- Ahmad, T., Rafatullah, M., Ghazali A., Sulaiman O., Hashim, R., & Ahmad, A. (2010). Removal of Pesticides from Water and Wastewater by Different Adsorbents: A Review. *Journal of Environmental Science and Health, Part C: Environmental Carcinogenesis and Ecotoxicology Reviews*, 28(4), 231-271, doi:10.1080/10590501.2010.525782
- Avlonitis, S.A., Poullos, I., Sotiriou, D., Pappas, M. & Moutesidis, K. (2008). Simulated cotton dye effluents treatment and reuse by nanofiltration. *Desalination*. 221(1-3) pp 259. 260, 266. (259-267). doi:10.1016/j.desal.2007.01.082
- Bae, J.S., & Freeman, H.S. (2007). Aquatic toxicity evaluation of new direct dyes to the *Daphnia magna*. *Dyes Pigments*, 7 (1) pp 126-131. doi:10.1016/j.dyepig.2005.10.015
- Beltrán-Heredia, J., Sánchez-Martín, J., Barrado-Moreno, M. (2012). Long-chain anionic surfactants in aqueous solution. Removal by *Moringa oleifera* coagulant. *Chemical Engineering Journal*, 180, 128–136 pp. 128–136. doi:10.1016/j.cej.2011.11.024
- Beltrán-Heredia, J., Sánchez-Martín, J., & Jiménez-Giles, M. (2011). Tannin-based coagulants in the depuration of textile wastewater effluents: Elimination of anthraquinonic dyes. *Water, Air, and Soil Pollution*, 222(1–4), 53–64. doi:10.1007/s11270-011-0803-z
- Bhatia, S., Othman, Z., Ahmad, A.L. (2007). Coagulation–flocculation process for POME treatment using *Moringa oleifera* seeds extract: optimization studies. *Chemical Engineering Journal*, 133(1-3), 205-212. p. 205. doi:10.1016/j.cej.2007.01.034
- BOE, 2003, REAL DECRETO 606/2003, DE 23 DE MAYO, POR EL QUE SE MODIFICA EL REAL DECRETO 849/1986, DE 11 DE ABRIL, POR EL QUE SE APRUEBA EL REGLAMENTO DEL DOMINIO PÚBLICO HIDRÁULICO, QUE DESARROLLA LOS TÍTULOS PRELIMINAR, I, IV, V, VI Y VIII DE LA LEY 29/1985, DE 2 DE AGOSTO, DE AGUAS. Ministerio de Medio Ambiente, BOE núm. 135, de 6 de junio de 2003. https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2003-11384
- BOE, 1986, REAL DECRETO 849/1986, DE 11 DE ABRIL, POR EL QUE SE APRUEBA EL REGLAMENTO DEL DOMINIO PÚBLICO HIDRÁULICO, QUE DESARROLLA LOS TÍTULOS PRELIMINAR I, IV, V, VI Y VII DE LA LEY 29/1985, DE 2 DE AGOSTO, DE AGUAS, Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo BOE núm. 103, de 30 de abril de 1986. https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-1986-10638#analisis
- Canales-Canales, C., Rius-Sant, J., & Vara-Blanco, A. (2004). *Guía de Mejores Técnicas Disponibles en España del Sector Textil*. Madrid:España.Centro de Publicaciones Secretaría General Técnica Ministerio del Medio Ambiente. Recuperado de <http://www.magrama.gob.es/es/agua/publicaciones/Manual para la gestion de vertidos tc m7-28966.pdf>
- Chalamon, A. (2016). *Moringa*, L'arbre de la renutrition.[Fotografía]Recuperado de la página Consulat du Burkina Faso de Nice <http://www.burkinafaso-cotedazur.org/arbres>

- Dalvand, A., Gholibegloo, E., Reza Ganjali, M., Golchinpoor, N., Mohammad, K., Kamani, H., Sadat Hosseini, S., Hossein Mahvi, A. (2016a). Comparison of Moringa stenopetala seed extract as a clean coagulant with Alum and Moringa stenopetala-Alum hybrid coagulant to remove direct dye from Textile Wastewater. *Environmental Science and Pollution Research International*, 23 (16), pàg.:1 -10 (16396–16405). doi: 10.1007/s11356-016-6708-z.
- Dalvand, A., Nabizadeh, R., Ganjali, M.R., Khoobi, M., Nazmara, S. & Mahvi A.H. (2016 b). Modeling of reactive blue 19 azo dye removal from colored textile wastewater using l-arginine-functionalized Fe₃O₄nanoparticles: optimization, reusability, kinetic and equilibrium studies. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 404, 179-189. doi: [10.1016/j.jmmm.2015.12.040](https://doi.org/10.1016/j.jmmm.2015.12.040)
- Devesa-Rey, R., Cruz, G.B.J.M. & Moldes, A.B. (2012). Evaluation of non-conventional coagulants to remove turbidity from water. *Water Air Soil Pollution*, 223(2), 591–598. doi: 10.1007/s11270-011-0884-8
- DOGC, 2003, DECRETO 130/2003, DE 13 DE MAYO, POR EL QUE SE APRUEBA EL REGLAMENTO DE LOS SERVICIOS PÚBLICOS DE SANEAMIENTO. Departamento De Medio Ambiente, Publicado en DOGC núm. 3894 de 29 de Mayo de 2003. Extraído de: <http://portaldogc.gencat.cat/utillsEADOP/PDF/3894/342984.pdf>
- España.. Real Decreto 606/2033 de 23 de mayo por el que se modifica el Real Decreto 849/1986 de 11 de abril por el que se aprueba el Reglamento del Dominio Público Hidráulico. *Boletín Oficial del Estado*, 6 de junio 2003, núm. 135, pp 22071-22096
- España. Real Decreto 849/1986 de 11 de abril por el que se aprueba el Reglamento del Dominio Público Hidráulico. *Boletín Oficial del Estado*. 30 de abril 1986, núm.103, pp 15500-1553
- Generalitat de Catalunya (29 de mayo de 2003). Decreto del 13 de mayo de 2003 por el que se aprueba el reglamento de los servicios públicos de saneamiento, [Decreto 130 de 2003]. DO: 3894.
- Grasel, S., Fuck, W. F., Wolf, C. R., Graeff, J. C., & Vantuir, P. (2016). Development of products from Acacia mearnsii: a case of sustainability in the leather industry the leather industry. *Journal of aqeic*, 67(1), 12–22. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/301637678_Development_of_products_from_Acacia_mearnsii_a_case_of_sustainability_in_the_leather_industry
- Grove Advanced Chemicals. (2016). Let Nature Take Care of Nature:Grove Advanced Chemicals. [Institutional Brochure]. Recuperado de la página de Groove Advanced Chemicals http://grovechemicals.com/pdf/institucional_brochure.pdf
- Gupta, V. K., & Suhas, J. (2008). Application of low-cost adsorbents for dye removal – A review. *Environ. Manage*, 90(8), 2313-2342. doi: 10.1016/j.jenvman.2008.11.017
- Hai, F.I., Yamamoto, K. & Fukushi, K. (2007). Hybrid treatment systems for dye wastewater. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 37(4), 315-377 doi:[10.1080/10643380601174723](https://doi.org/10.1080/10643380601174723) (

- López-Grimau V., & Crespi-Rosell, M. (2015). Gestión de los efluentes de la industria textil: Proyecto mejora de las economías regionales y desarrollo local, *Cuaderno tecnológico*, 18, 7-33. Recuperado de <http://www.ue-inti.gob.ar/pdf/publicaciones/cuadernillo18.pdf>
- Madrona, G.S., Serpelloni, G.B., Vieira, A.M. et al. (2010). Study of the effect of saline solution on the extraction of the Moringa oleifera seed's active component for water treatment, *Water Air Soil Pollution*, 211(1), pp 409–415. doi:10.1007/s11270-009-0309-0
- Marco Ángel , 2004, Los Colorantes Reactivos en la tintura de fibras celulósicas y sus mezclas, Asociación Española de Químicos y Coloristas Textiles, Primera Edición, Barcelona. Pp 82, 174.
- Maslin B.R., & McDonald M.W. (2004). *Acacia Search- Evaluation of Acacia as a woody crop option for southern* (Publicación No. 03/17) Recuperado del sitio de Internet Rural Industries Research and Development Corporation <https://rirdc.infoservices.com.au/items/03-017>
- Navarro-Alconchel, R. (2008). *Optimización de la tintura con colorantes reactivos* (Proyecto/Trabajo final de carrera, Escola Universitària d'Enginyeria Tècnica Industrial de Barcelona - E. T. Industrial). Recuperado de <http://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/6122>
- Office of Pollution Prevention and Toxics. *Toxic Release Inventory: Public Data Release, 1995*. Whashington, DC:U.S. Environmental Protection Agency Recuperado de <https://www.epa.gov/nscep> (**correcta**)
- Orwa, C.; Mutua, A.; Kindt, R.; Jamnadass, R.; Anthony, S., 2009. Agroforestry Database: a tree reference and selection guide version 4.0. World Agroforestry Centre, Kenya. http://www.worldagroforestry.org/treedb/AFTPDFS/Acacia_mearnsii.PDF
- Pérez-López, O.A., (2001). *Cinética y Extracción de Colorantes Naturales para la Industria Textil*. (Tesis de maestría, Universidad de las Américas Puebla). Recuperado de: http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/meiq/perez_l oa/portada.html
- Pritchard, M. & Craven, T. (2010). A comparison between Moringa oleífera and chemical coagulants in the purification of drinking water – An alternative sustainable solution for developing countries. *Physics and Chemistry of the Earth*, 35 (13-14), 798-805. p. 804, 805 doi:10.1016/j.pce.2010.07.014
- Pritchard, M., Mkandawire, T., Edmondson, A., O'Neill, J.G. & Kululanga, G. (2009). Potential of using plant extracts for purification of shallow well water in Malawi. *Physics and Chemistry of the Earth Journal*, 34(13-16), 799–805. doi:10.1016/j.pce.2009.07.001
- Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas. *Informe de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo: Agua y Empleo, 2016*. París: Francia. UNESCO. Recuperado de <http://unesdoc.unesco.org/images/0024/002441/244103s.pdf> (**correcta**)
- Ruza-Rodríguez, J., Bordas-Martínez M.A., Espinosa-Expósito, G. & Puig-Infante, A. (2007). *Manual para la gestión de vertidos: Autorización de vertido*. Madrid: España. Centro de Publicaciones Secretaría General Técnica Ministerio de Medio Ambiente. Recuperado de

[http://www.magrama.gob.es/es/agua/publicaciones/Manual para la gestion de vertidos tc m7-28966.pdf](http://www.magrama.gob.es/es/agua/publicaciones/Manual_para_la_gestion_de_vertidos_tc_m7-28966.pdf)

- Santana, H.M., Da Silva, M.L., Freitas, A.C., Boodts, J.F., Fernandes, K.C. & De Faria, L.A. (2008). Application of electrochemically generated ozone to the discoloration and degradation of solutions containing the dye Reactive Orange 122. *Journal of Hazardous Materials*, 164 (1), 10-17. doi:[10.1016/j.jhazmat.2008.07.108](https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.07.108)
- Sánchez-Martín, J., Beltrán-Heredia, J., & Rodríguez-Sánchez, M. T. (2012). Removal of Erioglaucine (Acid Blue 9) with a new coagulant agent from *Acacia mearnsii* tannin extract. *Coloration Technology*, 128(1). doi:[10.1111/j.1478-4408.2011.00342.x](https://doi.org/10.1111/j.1478-4408.2011.00342.x)
- Sánchez-Martín, J., Ghebremichael, K., & Beltrán-Heredia, J. (2010) Comparison of single-step and two-step purified coagulants from *Moringa oleifera* seed for turbidity and DOC removal. *Bioresource Technology*, 101(15), 6259–6261. doi:[10.1016/j.biortech.2010.02.072](https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.02.072) (
- Senthilkumar, M. & Muthukumar, M. (2007). Studies on the possibility of recycling reactive dye bath effluent after decolouration using ozone. *Dyes Pigments*, 72(2), 251–254. doi:[10.1016/j.dyepig.2005.08.019](https://doi.org/10.1016/j.dyepig.2005.08.019)
- Skoronski, E., Niero, B., Fernandes, M., Alves, M.V., & Trevisan, V. (2014). Estudo da aplicação de tanino no tratamento de água para abastecimento captada no rio Tubarão, na cidade de Tubarão, SC. *Revista Ambiente & Água*, 9(4), 679-687. doi:[10.4136/ambi-agua.1303](https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1303)
- Vieira, A. M. S., Vieira, M. F., Silva, G. F., Araújo, A. A., Fagundes-Klen, M. R. Veit, M. T., et al. (2009). Use of *Moringa oleifera* seed as a natural adsorbent for wastewater treatment. *Water, Air, Soil Pollution*, 206, 273-281. doi:[10.1007/s11270-009-0104-y](https://doi.org/10.1007/s11270-009-0104-y)
- Wu, J., Doan, H. & Upreti, S. (2008). Decolorization of aqueous textile reactive dye by ozone. *Chemical Engineering Journal*, 142 (2), 156–160. doi:[10.1016/j.cej.2007.11.019](https://doi.org/10.1016/j.cej.2007.11.019)

2. CAPITULO 2: METODOLOGIA

En este capítulo se hará mención de las muestras, los reactivos y los equipos empleados en el trabajo realizado, así como los coagulantes empleados. También se hace mención a la metodología empleada para realizar las pruebas analíticas. Estos ensayos se llevaron a cabo en el laboratorio de química ambiental del edificio INTEXTER.

Se expone también el procedimiento llevado a cabo en cada experimento.

2.1 MUESTRAS, REACTIVOS Y EQUIPOS

2.1.1 Muestras Empeladas

La de las concentraciones y composiciones de las muestras recibidas es desconocido en todas las muestras. Las muestras que se recibieron fueron de tres naturalezas distintas, agua residual del baño de tintura, agua del primer lavado la fibra del proceso de tintura y agua de entrada a planta de tratamiento de aguas residuales. TABLA 2-1

Tabla 2-1 Muestras empleadas en la parte experimental.

ID Muestra	Empresa	Descripción
L-016-16	EMPRESA TEXTIL 1	1-Agua de Baño de tintura de negro reactivo. Fibra de algodón 100%
L-017-16		2-Agua de primer lavado de la tintura con color negro reactivo.
L-018-16		A-Baño de tintura color morado. Fibra de Poliéster-Algodón .
L-019-16		B- Agua de primer lavado de la tintura con color morado.
L-051-16	EMPRESA TEXTIL 2	Agua Entrada de planta de tratamiento
L-052-16		Agua Salida de planta de tratamiento
L-061-16	EMPRESA TEXTIL 2	Agua Entrada de planta de tratamiento
L-064-16	EMPRESA TEXTIL 3	Agua entrada Homogeneizador
L-065-16	EMPRESA TEXTIL 3	Baño Tintura
L-066-16		Baño Lavado

Se tiene la orden del proceso de tintura de la muestra L-018-16, que es la tintura de color morado de la fibra Poliéster-Algodón, de la empresa Textil 1 TABLA 2-2. Donde se menciona de manera muy elemental el proceso de tintura que se lleva a cabo.

Tabla 2-2 Tintura Cibacrons a 60° C con Carbonato

Relación	Reactivo	
Llenado a 45°C con:		
270 g/L	Sal Hidrolizada	891 L
0.7 Cc/L	Persol L	2.310 L
Subir a 60°C, 5 min y añadir:		
0.9 %	Amarillo Drimaren CL-2R	2376 g
1.1 %	Rubi Novacron S-3B	2904 g
1.9 %	Deep Night Movacron S-R	5016 g
Mantener 10 min a 60°C y dosificación del álcali 60 min		
20 g/L	Carbonato Sódico	66 kg
30 min a 60°C		
Muestreo		
Vaciado		

Se identificaron los colorantes empleados

Amarillo Drimaren CL-2R

Es un colorante azoico reactivo que se encuentra en la lista de las materias Fabricación Restringido para la ropa e industria del calzado. (MRSL), en la sección de colores para celulosa, ya que algunas sustancias o sustancias nocivas generadas a partir de ellas podrían estar presentes en productos terminados y también ser vertidas al medio ambiente. Por lo que se limita el uso de este. (Archroma, 2014)

Rubi Novacron S-3B

Es un colorante reactivo (Ximena Enriqueta, 2013), que se encuentra en la lista de colorante restringido Cero descarga de productos químicos peligrosos, Huntsman Textile Effects en la sección de tintes para celulosa (Huntsman, 2013)

Deep Night NOVACRON S-R

También es un colorante reactivo y se encuentra en la lista de colorante restringido Cero descarga de productos químicos peligrosos, Huntsman Textile Effects en la sección de tintes para celulosa (Huntsman, 2013)

2.1.2 Reactivos

2.1.2.1 Coagulantes

- Moringa Oleifera
- Acacia mearnsii (Acacia Negra)
- Cloruro de Hierro (III), FeCl₃
- TIDEC-700

Moringa Oleífera

Se obtuvieron las semillas de Moringa Oleífera provenientes de Burkina Faso, y se obtuvieron las semillas completas con cascara. Fig. 2-1



Ilustración 2-1 Semillas de Moringa Oleífera

Las semillas de Moringa Oleífera son semillas redonda de color café oscuro- negro, de aproximadamente 0,8 cm de diámetro, con tres alas de color amarillento. (Chalamon, 2016)

Acacia mearnsii (Acacia Negra)

Se trata de un producto comercial de extracto de Acacia mearnsii llamado Flox-QTH de marca GROVE Advance Chemicals.



Ilustración 2-2 FLOX-QTH 25% m/m

Este producto coagulante para el tratamiento de aguas, comprende polímeros orgánicos catiónicos de bajo peso molecular producido a partir de tanino extraído de corteza del árbol *Acacia mearnsii* (Acacia Negra). Tiene una aplicación en un amplio espectro de pH. (Grove Advanced Chemicals. 2016).

Cloruro de Hierro (FeCl_3)

Este coagulante que se empleó fue de grado reactivo comercial de marca Panreac.

Cloruro de Hierro (III), $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, PRS Panreac.

Algunas de las propiedades más relevantes obtenidas de la hoja de seguridad se muestran a continuación:

Forma: Sólido, Color: Amarillo moreno, valor pH a 20 °C: 1,8

Riesgos

Clasificación con arreglo a la Directiva 67/548/CEE o Directiva 1999/45/CE

Xn; Nocivo

Nocivo por ingestión.

Xi; Irritante

Irrita la piel. Riesgo de lesiones oculares graves.

Xi; Sensibilizante

Posibilidad de sensibilización en contacto con la piel.

TIDEC-700

Este producto es un producto coagulante sintético de naturaleza orgánica, el cual es también decolorante, es comercializado por la compañía T.I.D.E. 2000, S.L.

Referente al producto TIDEC-700 se incluye alguna información del producto TIDEC-700 a destacar de la hoja de seguridad

Identificación: Diciandiamida base coagulante en solución acuosa
Guanidina, ciano-m polímero con cloruro de amonio y formaldehído.
Componentes N°-CAS: 55295-98-2
% PESO 25 – 60

Propiedades

Forma: Líquido denso; Color: Claro; pH: 4 – 6

Riesgos

Xn Nocivo - Precaución: evitar el contacto con el cuerpo humano.

Naturaleza de los riesgos específicos atribuidos a las sustancias y preparados peligrosos:
Nocivo en caso de ingerir.

Peligroso para los organismos acuáticos, puede causar efectos a largo plazo en el medio acuático

Consejos de prudencia relativos a las sustancias y preparados peligrosos:

Evítese verter al medio ambiente

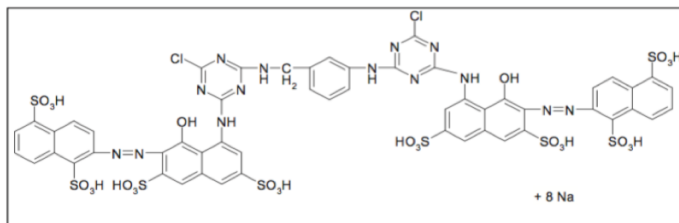
En caso de ingerir, no provocar vómito. Acudir inmediatamente al médico y enseñarle la etiqueta.

2.1.2.2 *Colorantes Empleados*

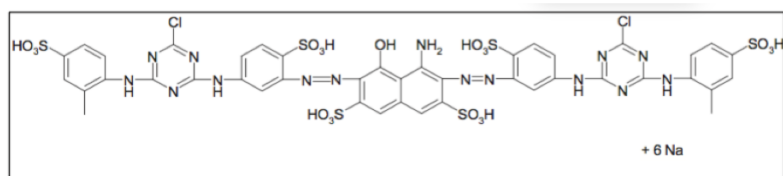
Se emplearon 3 colorantes distintos, los cuales son demarca DyStar, y ya se contaba con estos en el laboratorio donde se realizarían los ensayos.

Tabla 2-3 Colorantes Empleados

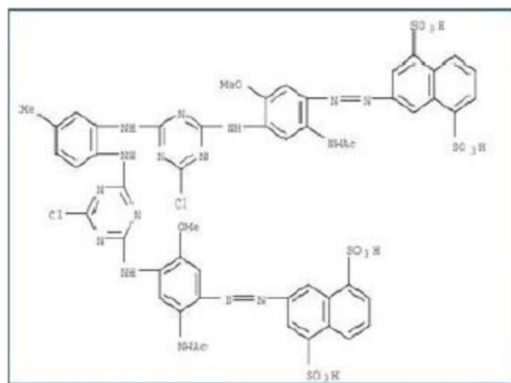
	Nombre	Tipo	Grupo cromófoto
1)	Procion Crimsom H-EXL o Reactive Red 231	Colorante Reactivo	Azo
2)	Procion Navy H-EXL	Colorante Reactivo	Azo
3)	Porcion Yellow H-EXL	Colorante Reactivo	Azo



1) Procion Crimsom H-EXL



2) Procion Navy H-EXL



3) Procion Yellow H-EXL

*Ilustración 2-3 Estructura de los colorantes empleados
(Extraído de: Vilaseca, 2014)*

2.1.2.3 Otros reactivos empleados

Además se señala en la siguiente tabla algunos de los reactivos empleados para distintos análisis o en distintos puntos del experimento.

Tabla 2-4 Lista de Reactivos y su Uso

Reactivo y descripción	Marca	Uso
Polielectrólito, Hyfloc SS. Poliacrilamida aniónica en polvo.	Derypol	Auxiliar de coagulante, promueve la floculación.
Etanol 96%, para análisis ACS.	Scharlau	Extracción de aceite de moringa
Ácido Clorhídrico 37%	Merck	Ajuste de pH
Hidróxido de Sodio, lentejas	Scharlau	Ajuste de pH
Ferroína, Solución 0.0025 mol/l. Indicador redox	Scharlau	Indicador, determinación de la DQO
Sal de Mohr, Amonio y hierro (II) sulfato, solución – 0,12 mol/L (0,12N)	Scharlau	Determinación de la DQO
Sulfato de Plata, solución 1% en ácido sulfúrico	Scharlau	Determinación de la DQO
Dicromato de Potasio 0.04ml/L/mercurio (II) sulfato 80 g/L, solución en ácido sulfúrico	Scharlau	Determinación de la DQO
Ácido Sulfúrico 95-97%	Scharlau	Determinación de la DQO
Agua destilada	--	Análisis Varios
Agua bidestilada	--	Análisis Varios (TOC y Cl)
Cloruro de Sodio, NaCl		Tintura
Carbonato de sodio, Na ₂ CO ₃	--	Tintura
COTEMOLL TLTR	--	Detergente para lavado de tintura

2.1.3 Equipos y Materiales

En el punto 2.1.3.1 y 2.1.3.2 se enlistan los equipos y materiales empleados en general para los experimentos realizados. Estos se enlistan mencionando la marca o modelo expuesto en el equipo a continuación.

2.1.3.1 Equipos



Ilustración 2-4 Medidor de pH marca Crison GLP 21, con anexo de agitador magnético



Ilustración 2-5 Conductímetro GLP 31 Crison con agitador magnético.



Ilustración 2-6 Digestor de DQO marca ISCO.



Ilustración 2-7 Balanza analítica Explorer Ohaus.



Ilustración 2-8 Estufa Memmert



Ilustración 2-9 Espectrofotómetro UV-2401PC Shimadzu, con ordenador anexo



Ilustración 2-10 Analizador de Carbón Orgánico Total, TOC-L, Shimadzu



Ilustración 2-11 Cromatógrafo Iónico, Dionex con automuestreador y ordenador Anexado



Ilustración 2-12 Equipo Espectrofotómetro CM-3600d, Konica minolta con ordenador anexo.



Ilustración 2-13 Molinillo comercial, Braun.



Ilustración 2-14 Equipo Ti-color OTX200, con capacidad de 12 racionales tubulares individuales de acero inoxidable para la tintura de 100 ml, empleando un método “all in”.

- Bomba de vacío mecánica, Buchi anexado a Matraz Kitasato y embudo y base de vidrio de Borosilicato.
- - Equipo de extracción soxhlet anexado a parrilla eléctrica
- Bomba para aireación
- Conos de sedimentación o Imhoff de 500 ml

2.1.3.2 Materiales

- Filtros de Borosilicato GMFF Sharlau 24mm
- Papel Filtro
- Pipetas Volumétricas (diferentes volúmenes)
- Pipetas Pasteur
- Bureta de 50 ml
- Probetas (diferentes volúmenes)
- Tubos de ensaye
- Tiras indicadoras de pH
- Vasos de precipitado diferentes volúmenes
- Matraces de diferentes volúmenes

- Matraces volumétricos diferentes volúmenes
- Agitadores
- Tela de algodón (trozos de aproximadamente 10 g)

2.2 MÉTODOS ANALÍTICOS

Las muestras de agua que se desean obtener serán agua residual con colorante azoico que se emplean en la maquinaria industrial de los baños de tintura por agotamiento.

Para esto se analizara Demanda química de oxígeno (DQO), Carbono Orgánico Total (TOC), Materia en suspensión (MES), Concentración de sal (Cloruros), Unidades de color, pH y Conductividad.

Posteriormente del tratamiento del agua con los coagulante, se le harán los mismos ensayos de caracterización.

Demanda química de oxígeno (DQO)

Se realizó en base al procedimiento marcado por “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater Methods: 5220 C Chemical Oxygen Demand (COD).

También se determinó el DQO estimado, en relación que se conoce con el Carbono Orgánico Total (TOC), considerándolo como el triple del TOC. Este se empleó como referencia para comprar los resultados obtenidos.

La DQO leída se utilizó sol de referencia, ya que debido a la importante concentración de sal de las muestras se tuvieron que hacer múltiples diluciones con pequeñas concentraciones para su medición por lo que se genera mayor error en los resultados, además destacar que el método volumétrico puede ser afectado por la subjetividad y/o el error humano, mientras que por otro lado la determinación instrumental del TOC se ve poco afectada por estos factores durante la lectura de los resultados.

Carbono Orgánico Total (TOC)

Se realizó en base al procedimiento marcado por la Norma Española UNE-EN 1484 de marzo de 1998. Empleado el equipo analizador de Carbón Orgánico Total, TOC-L.

Materia en suspensión (MES)

Se realizó en base al procedimiento marcado por “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater Methods: 2540 D Total Suspended Dried at 103 – 105 °C.

Concentración de sal (Cloruros)

Se realizó en base al procedimiento marcado por “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater Methods: 4110 Cromatografía Ionica” empleando el cromatógrafo iónico.

Unidades de color.

Se realizó en base al procedimiento marcado por “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater Methods: 2120 Color”. Tanto por el método visual como por el instrumental empleando el espectrofotómetro a longitud de onda de 456 nm. Se mencionara en el trabajo como “SM 2120”.

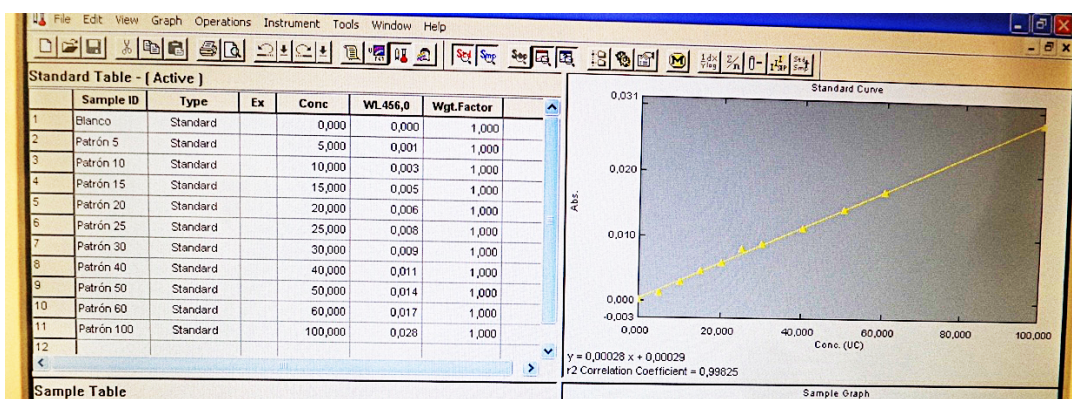


Ilustración 2-15 Curva de Color de 5 a 100 Unidades Unidades Pt/Co del espectrofotómetro.

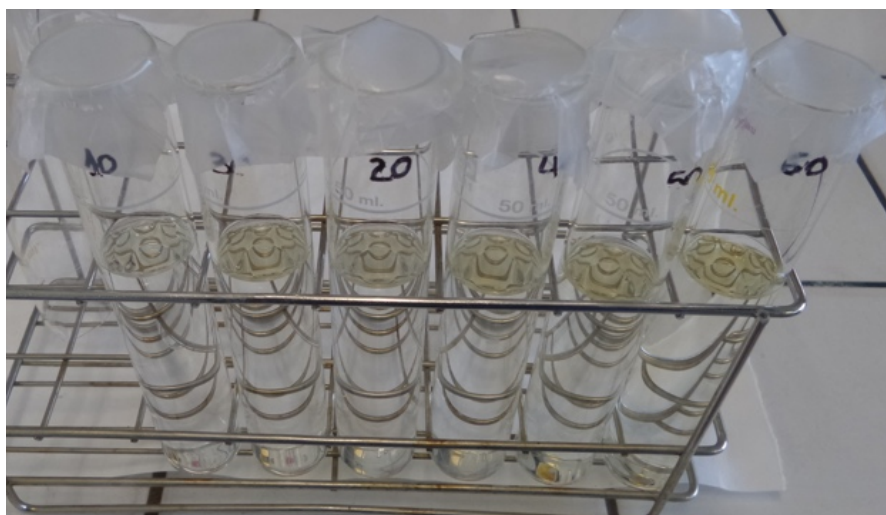


Ilustración 2-16 Curva Visual de Color de 30 a 60 Unidades Pt/Co

También se determinó la reducción del color en relación al SAC (coeficiente de absorción espectral)

El agua a analizar contiene sustancias con una amplia variedad de características ópticas y variaciones de color, por lo que cada una de estas sustancias tiene un factor de correlación diferente. (WTW, 2010) A partir del espectro de absorción se obtuvo el valor de longitud de onda (λ) al que las sustancias que generan color de cada muestra inicial presentan la mayor absorbancia (λ máx.). Dicho λ se utilizará a la hora de hacer determinaciones cualitativas y cuantitativas de la reducción del color de cada muestra tratada, para este ensayo no se empleara curva de referencia. (Nieves Abril Díaz, 2005).

pH

Se realizó en base al procedimiento marcado por “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater Methods: 4500-H+ B, Electrometric Method. Se empleó el medidor de pH marca Crison GLP 21, con anexo de agitador magnético.

Conductividad.

Se realizó en base al procedimiento marcado por “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater Methods: 2510 B Laboratory Method”. Se empleó el conductímetro GLP 31 Crison con agitador magnético.

Volumen de Fangos

Se determinó el volumen de fango empleado conos de sedimentación o Imhoff de 500 ml a 30 min y 24 horas dependiendo del coagulante.

Evaluación de las telas resultantes de las tinturas

Para la evaluación de las tinturas se determinaran por medio de las diferencias de color (DECMC[1:C]), marcado por la norma UNE-EN ISO 105-J03. Se empleó el equipo Espectrofotómetro CM-3600d, este equipo se basa en una fibra coloreada de referencia para en base a la cual determina la diferencia de las coordenadas cromáticas. (Vilaseca Vallvé, M. Mercè, 2014, pp. 6575) (ISO, 2006).

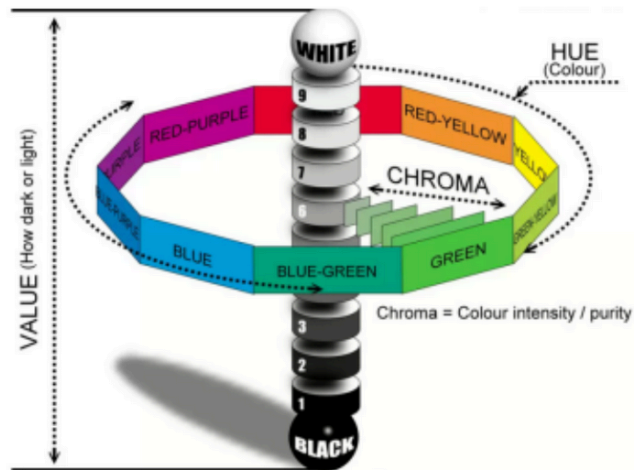


Ilustración 2-17 Coordenadas cromáticas detectadas por el espectrofotómetro

La diferencia de color se descompone en tres componentes:

- Claridad (L): puede tener valores entre 0 (negro) y 10 (blanco).
- Croma (C): permite diferenciar las intensidades de un mismo color.
- Matiz (H): puede tener valores entre 0 y 360°. Representa el recorrido que hace un tono hacia uno u otro lado del círculo cromático.

En base a las diferencias de estos componentes en relación al patrón, diferencial de L (DL), diferencial de C (DC) y diferencial de H (DH) se emplea la siguiente ecuación para obtener un valor único donde el valor aceptable de calidad del *DECMC* (2:1) es la unidad (≤ 1). (Vilaseca Vallvé, M. Mercè, 2014, pp. 6575) (ISO, 2006).

Ecuación 1. Ecuación para obtener el DECMC (2:1) que permite determinar la calidad de la tintura.

$$DECMC (2:1) = [(DL/2SL)^2 + (DC \cdot ab/Sc)^2 + (DH \cdot ab/SH)^2]^{(1/2)}$$

2.3 EXPERIMENTAL

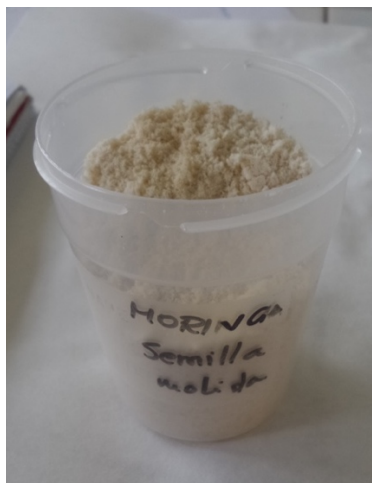
2.3.1 Preparación de las soluciones coagulantes

- Preparación de Moringa Oleífera
- Preparación de Acacia mearnsii (Acacia Negra)
- Preparación de Cloruro de Hierro (III), $FeCl_3$
- Preparación de TIDEC-700
- Polielectrólito

Preparación de Moringa Oleífera

Extracción del aceite de la moringa oleífera

Se removi6 manualmente la cascara del interior de la semilla, y se molio esta semilla empleando el Molinillo comercial Braun. Ilustraci6n 2-18.



Ilustraci6n 2-18 Semillas de Moringa Oleífera sin cascara molida.

Se coloc6 el producto molido (6-8 g) en un cartucho de papel filtro para ser extraído en extractor Soxhlet empleado 100 ml de etanol durante 2 h.

Obteniendo como resultado la harina de semilla de moringa desengrasada la cual se seca en estufa a 60 °C durante 24 h; ası como el aceite extraído con etanol de igual manera se seca en la estufa por 48 horas.

Soluci6n de moringa

Se prepar6 una soluci6n de 40 ml al 5% m/v con la harina de semilla de moringa oleífera desengrasada empleando agua destilada en agitaci6n r6pida durante 2 horas para extraer la mayor cantidad de proteınas hidrosolubles.

Preparaci6n de Acacia mearnsii (Acacia Negra)

Se prepar6 una soluci6n de 40 al 5% m/v empleado el extracto de Acacia mearnsii, Flox-QTH empleando agua destilada y con agitaci6n r6pida durante 2 h.

Se debe de hacer la observaci6n de que no se consider6 la relaci6n de la concentraci6n de taninos contenidos en el producto, sino que solo se consider6 el extracto de Acacia con una relaci6n 1:1, por lo que la se considera que 1g/L proporcional a 1000 ppm.

Preparaci6n de Cloruro de Hierro (III), FeCl₃

Se preparó una solución de 100 ml de Cloruro férrico al 10% m/v. Se agregaron 5 gotas de HCl y se puso en agitación rápida durante 5 min.

Preparación de TIDEC-700

No se preparó solución de TIDEC-700, se empleó de manera directa.

Se hizo la misma relación a la que se consideró en el uso de la acacia, considerando la relación donde 1g/L de TIDEC sea equivalente a 1000 ppm.

Polielectrólito

Es un producto floculante, no coagulante. Se preparó una solución viscosa de 50 ml de Polielectrólito Hyfloc SS en polvo al 0.1% m/v en agua destilada en una agitación lenta durante 6 h.

2.3.2 Tratamientos de las muestras

Se trataron las muestras las cuales son soluciones solución alcalina y salina que contenga colorante reactivo en su forma hidrolizada. Se debe de mencionar que previo a su tratamiento se ajustó el pH de 9.5 de las muestras a tratar con Cloruro de hierro y TIDEC 700, mientras que las muestras tratadas con Moringa O. y Acacia M., no se hizo este ajuste.

Se trataron volúmenes de 200 ml o 500 ml de muestra simulando una prueba de jarras primero con una a una agitación rápida (aprox. 150 rpm) durante 10 minutos y posteriormente una agitación lenta (aprox. 20 rpm) durante 30 minutos durante la cual, si es el caso, se agregan 0.4 % de la solución de polielectrólito. Se dejó decantar y para los coagulantes naturales (Moringa O. y Acacia m.) se hicieron muestro a los 30 min empleando una pipeta de 50 ml para tomar muestra del sobrenadante y posteriormente otro muestreo a las 24h por decantación del resto de sobrenadante. (Vilaseca , M. Merce 2014, pp. 6573) Se debe de aclarar que en los experimentos se hizo una diferencia entre las muestras obtenidas en un tiempo de decantación de 30 minutos (30') y veinticuatro horas (24h) de forma que en la sección de resultados se llegan a mencionar estos términos sin especificar que son tiempos de decantación.

Por otro lado con los coagulantes restantes se llevó acabo el mismo proceso de agitación rápida y lenta con (FeCl₃) o sin (TIDEC) polielectrólito. Posteriormente se dejó decantar y se hizo muestro a los 30 min por decantación del sobrenadante.

En la siguiente tabla se muestran algunas consideraciones del tratamiento de las muestras con coagulantes. Tabla 2-5.

Tabla 2-5 Consideraciones del tratamiento de las muestras con coagulantes.

Coagulante	Ajuste previo de pH de la muestra	Floculante añadido	Concentración	Tiempo de decantación
Moringa Oleífera	No	No	10000 ppm 20000 ppm 5000 ppm	30 min 24 h
		0.4 % de la solución de polielectrólito	1000 ppm	30 min 24 h
Acacia mearnsii (Acacia Negra)	No	No	1000 ppm 2000 ppm	30 min 24 h
Cloruro de Hierro (III), FeCl ₃	9.5	0.4 % de la solución de polielectrólito	1000 ppm	30 min
TIDEC-700	6 - 9	No	1000 ppm	30 min

2.3.3 Tinturas con el agua reciclada

Con el agua sobrenadante de algunas muestras tratadas se empleó para hacer nuevas tinturas. Se empleó el agua en una relación 70-30, es decir, 70% de agua reciclada filtrada en lana de vidrio y 30% de agua descalcificada ajustando a un pH neutro. Se usó el equipo Ti-color y para cada tintura se empleó un volumen de 100 ml totales de agua de baño de tintura y 10g de tela de algodón, manteniendo una relación de 1/10.

Se determinó por medio de cromatografía iónica la concentración de sal de cada solución a emplear y se completó con NaCl la concentración de sal para tener 60 g/L de NaCl total como el electrolito de teñido. En el caso de teñido de referencia o soluciones que no contienen sal alguna, se añadió el total de 60 g NaCl.

Se emplearon los 3 colorantes (Procion Crimsom, Navy y Yellow) empleando 3 g de colorante por litro, y una Tricromía mezcla de los 3 colorantes (0.88 g Yellow /L; 1.53g Crimsom/L; 7.12g Navy/L).

Proceso de tintura

Ciclo de Tintura

Durante el baño de tintura se agregan 1.6g de Carbonato de sodio, Na₂CO₃ posterior a 15 minutos a 15 °C y 30 minutos a 80 °C, esto para generar el pH alcalino. Posteriormente se hacen 9 lavados con la misma relación 1/10 con agua descalcificada (50°C) de los cuales dos de ellos se realizan con una solución jabonosa de 2g/L de Cotemoll TLTR (95°C).

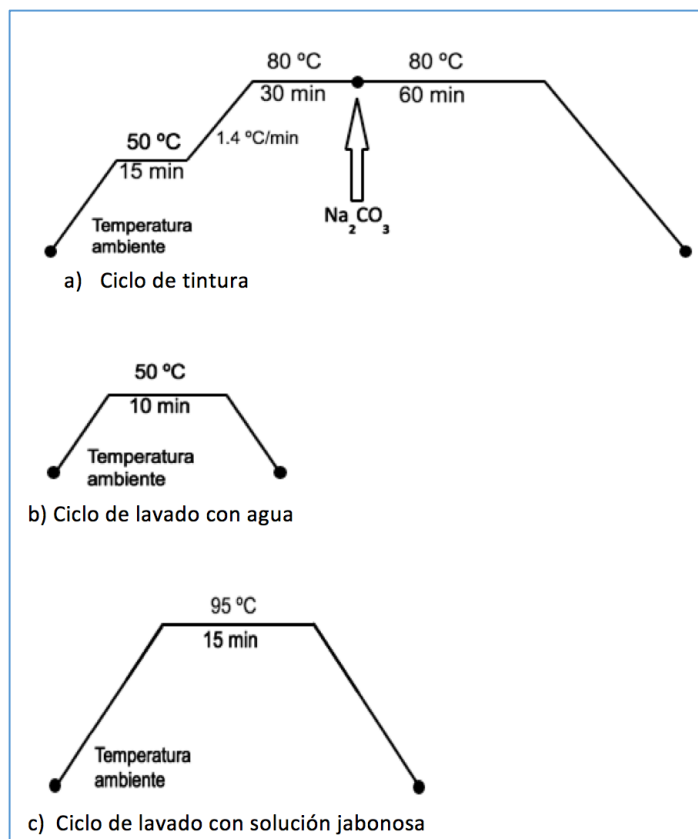


Ilustración 2-19 Temperaturas del proceso de tintura a) Ciclo de Tintura
 b) Ciclo de lavado con agua c) Ciclo de lavado con jabón

El proceso de tintura empleados en los ensayos se puede resumir en la siguiente (tabla 2-6):

Tabla 2-6 Ciclos del Proceso de tintura

Ciclo	Descripción	Tiempo (min)	Temperatura (°C)
1	Baño de tintura (Agua + NaCl + Colorante + Tela) aprox. 66 min Na ₂ CO ₃	(15) + (30) + (60) + tΔT	(50) (80) (80)
2	Lavado con agua	(10) + tΔT	(50)
3	Lavado con agua	(10) + tΔT	(50)
4	Lavado con agua	(10) + tΔT	(50)
5	Lavado con solución jabonosa	(15) + tΔT	(95)
6	Lavado con agua	(10) + tΔT	(50)
7	Lavado con solución jabonosa	(15) + tΔT	(95)
8	Lavado con agua	(10) + tΔT	(50)
9	Lavado con agua	(10) + tΔT	(50)
10	Lavado con agua	(10) + tΔT	(50)

tΔT = Tiempo de cambio de temperatura.

2.3.4 EXPERIMENTOS REALIZADOS

Se explica lo que se realizó en el experimento mencionando los métodos y equipos anteriormente listados..

2.3.4.1 Extracción de aceite de las semillas de moringa

Previamente a la parte experimental y tratamiento de las muestras se muestran las eficiencias de extracción del aceite de moringa, así como la de obtención de la torta de semilla molida desengrasada a empelar en los experimentos. Se hace referencia a la sección 2.3.1.

Para esta sección se emplearon los equipos:

- Molinillo comercial Braun para moler las semillas-
- Equipo de extracción soxhlet anexo a parrilla eléctrica para la extracción con etanol
- Estufa Memmert para el secado
- Balanza analítica Explorer Ohaus para determinar la masa inicial y final.

Como ya se ha mencionado, el resto de los coagulantes no requerían este procedimiento de extracción, como es el caso de la Acacia, ya que se empelo el producto comercial listo para diluir y usarse.

2.3.4.2 Caracterización de las muestras: Para todos los Experimentos (I,II, III, IV y V):

Se hizo una caracterización inicial y final de las muestras donde se determinó en basé a la sección 2.1 y 2.2:

MES: Se realizó siguiendo la metodología Standard Methods 2540 D.

Para esto se emplearon:

Filtros de borosilicato para filtrar la muestra junto con la
Bomba de vacío mecánica, Buchi anexo a Matraz Kitasato y embudo y base de vidrio de borosilicato.

Estufa Memmert para el secado

Balanza analítica Explorer Ohaus para determinar la masa inicial y final.

Color: Se determinó el color con el método Standard Methods 2120.

Se emplearon:

Matraces volumétricos para hacer las diluciones necesarias

Curva Visual de Color de 30 a 60 Unidades Pt/Co para en primera instancia determinar un valor aproximado del color.

Filtros de borosilicato GMFF Sharlau 24mm para filtrar la muestra

Espectrofotómetro UV-2401PC Shimadzu, con ordenador anexo en conjunto con Curva de Color de 5 a 100 Unidades Pt/Co del espectrofotómetro para determinar el color en unidades Pt/Co.

TOC: Se determinó el total de carbono orgánico de las muestras con el método UNE-EN 1484.

Se emplearon:

Agua bidestilada y matraces volumétricos para hacer las diluciones correspondientes.
Ácido Clorhídrico para el ajuste de pH ácido y tiras indicadoras de pH
Bomba para aireación
Analizador de Carbón Orgánico Total, TOC-L, Shimadzu para el análisis

DQO: Se hizo la determinación de la DQO de acuerdo a Standard Methods 5220 C.

Se emplearon para la digestión y valoración:

Matraces volumétricos para hacer diluciones.
Sulfato de Plata, solución 1% en ácido sulfúrico
Dicromato de Potasio 0.04ml/L/mercurio (II) sulfato 80 g/L, solución en ácido sulfúrico
Digestor de DQO marca ISCO
Bureta de 50 ml y matraces.
Sal de Mohr, Amonio y hierro (II) sulfato, solución – 0,12 mol/L (0,12N)
Ferroína, Solución 0.0025 mol/l. Indicador redox

pH: Se midió de acuerdo al Standard Methods 4500-H+ B.

Se empelo:

Medidor de pH marca Crison GLP 21, con anexo de agitador magnético

Conductividad: Se determinó de acuerdo a Standard Methods 2510 B.

Se empelo:

Conductímetro GLP 31 Crison con agitador magnético.

2.3.4.3 Experimento I: Tratamiento y reciclado de aguas de tintura con moringa de la empresa textil 1

Este experimento se hizo con la finalidad de observar la efectividad de la Moringa oleifera para eliminar color en las muestras de tintura, así como posteriormente comparar su efectividad con otros productos químicos. Así como comprobar la posibilidad de hacer nuevas tinturas con el reciclaje de agua tratada con Moringa.

Este experimento se dividió en dos fases, primeramente en el tratamiento de las muestras con distintos coagulantes y posteriormente el empleo del agua sobrenadante obtenida del tratamiento con los coagulantes naturales.

Experimento I A

Se trabajó en un inicio con 4 muestras :

- L-016-16 1-Agua de Baño de tintura de negro reactivo. Fibra de algodón 100%
- L-017-16 2-Agua de primer lavado de la tintura con color negro reactivo.
- L-018-16 A-Baño de tintura color morado. Fibra de Poliéster- Algodón .
- L-019-16 B- Agua de primer lavado de la tintura con color morado.

Se hizo la caracterización de las muestras ya mencionado de acuerdo al apartado 2.3.4.2.

Primeramente se trataron todas las muestras con Moringa O. a 1000, 2000 y 5000 ppm de acuerdo a la sección 2.3.2.

Se determinó el volumen de Fangos con los Conos de sedimentación o Imhoff de 500 ml, con un tiempo de decantación de 24 horas.

Se determinó el color de las muestras con el método ya mencionado en la caracterización.

Se trabajó con las muestras de color morado, L-018-16 que es el agua de tintura y L- 019-16 correspondiente al agua de lavado.

De acuerdo al procedimiento mencionado en el apartado 2.3.2 se trataron las muestras con: Moringa 1000 ppm, Moringa 1000 ppm + Polielectrólito, Moringa 2000 ppm, FeCl₃ 1000 ppm y TIDEC 1000 ppm.

Se determinó el volumen de Fangos con los Conos de sedimentación o Imhoff de 500 ml, con un tiempo de decantación de 30 minutos y 24 horas cuando se emplearon los coagulantes naturales.

Se determinó el color, el carbón orgánico total (TOC), la conductividad y el pH, en base a los métodos ya mencionado (Sección 2.3.4.2).

Experimento I B

Se replicó el tratamiento de agua de tintura morada L- 018-16 con 1000 ppm de moringa y el tratamiento de agua de lavado L- 019-16 con 1000 ppm de moringa.

Se emplearon las dos muestras de agua sobrenadante del tratamiento de agua L- 018-16 y L- 019-16, así como agua descalcificada con 1000 ppm de moringa y también se empleó agua descalcificada como referencia. Se realizaron las tinturas con

el agua antes mencionada con los colorantes Navy Porcion H-EXL, Yellow Porcion H-EXL y Crimson Porcion H-EXL de acuerdo a la sección 2.3.3. Empleando las telas de algodón y el equipo Equipo Ti-color OTX200.

Se analizaron las telas resultantes de las tinturas con el equipo Espectrofotómetro CM-3600d, Konica minolta con ordenador anexo.

2.3.4.4 Experimento II. Tratamiento de Agua Residual homogenizada de la empresa textil 2 con coagulantes naturales

Este experimento se hizo con la finalidad de observar la efectividad de la Moringa oleifera y la Acacia para eliminar color en las muestras de agua de entrada a planta del homogeneizador de la empresa Textil 2, así como comparar su efectividad con otros productos químicos.

Caracterizaron las muestras L-051-16 de agua de entrada de planta de tratamiento y L-052-16 de agua de salida de planta de tratamiento de acuerdo a la sección 2.3.4.2.

Se trató la muestra L-051-16 con: Moringa 1000 ppm, Moringa 2000 ppm, Acacia 1000 ppm, Acacia 2000 ppm y $FeCl_3$ 1000 ppm según la sección 2.3.2.

Se determinó el volumen de Fangos con los Conos de sedimentación o Imhoff de 500 ml, con un tiempo de decantación de 30 minutos y 24 horas cuando se emplearon los coagulantes naturales.

Se determinó el color, el carbón orgánico total (TOC), la DQO, la MES, turbidez, la conductividad y el pH, en base a los métodos ya mencionado (Sección 2.3.4.2).

2.3.4.5 Experimento III. Tratamiento de 2do tipo de Agua Residual homogenizada de la empresa textil 2 con coagulantes naturales

Este experimento se hizo con la finalidad de observar la efectividad de la Moringa oleifera y la Acacia para eliminar color en otra muestra de agua de entrada a planta del homogeneizador De la empresa Textil 2, así como comparar su efectividad con otros productos químicos.

Caracterizaron las muestra L-061-16 agua de entrada de planta de tratamiento de acuerdo a la sección 2.3.4.2.

Se trató la muestra L-061-16 con: Moringa 1000 ppm, Moringa 2000 ppm, Acacia 1000 ppm, Acacia 2000 ppm y $FeCl_3$ 1000 ppm.

Se determinó el volumen de Fangos con los Conos de sedimentación o Imhoff de 500 ml, con un tiempo de decantación de 30 minutos y 24 horas cuando se emplearon los coagulantes naturales.

Se determinó el color, el carbón orgánico total (TOC), la MES, la turbidez, la conductividad y el pH, en base a los métodos ya mencionado (Sección 2.3.4.2).

2.3.4.6 Experimento IV. Tratamiento de Agua Residual homogenizada de la empresa textil 3 con coagulantes naturales

Este experimento se hizo con la finalidad de observar la efectividad de la Moringa oleifera y la Acacia para eliminar color en las muestras de agua de entrada a planta del homogeneizador de la empresa Textil 3, así como comparar su efectividad con otros productos químicos.

Caracterizaron las muestra L-064-16 agua de entrada de planta de tratamiento de acuerdo a la sección 2.3.4.2.

Se trató la muestra L-061-16 con: Moringa 1000 ppm, Moringa 2000 ppm, Acacia 1000 ppm, Acacia 2000 ppm, FeCl₃ 1000 ppm y TIDEC 1000 ppm.

Se determinó el volumen de Fangos con los Conos de sedimentación o Imhoff de 500 ml, con un tiempo de decantación de 30 minutos y 24 horas cuando se emplearon los coagulantes naturales.

Se determinó el color, el carbón orgánico total (TOC), la MES, la turbidez, la conductividad y el pH, en base a los métodos ya mencionado (Sección 2.3.4.2).

2.3.4.7. Experimento V. Tratamiento y reciclado de aguas de tintura de la empresa textil 3 con coagulantes naturales

Este experimento se hizo con la finalidad de observar la efectividad de la Moringa oleifera y la Acacia para eliminar color en las muestras de tintura y comparar su efectividad con otros productos químicos. Así como comprobar la posibilidad de hacer nuevas tinturas con el reciclaje de agua tratada con Moringa O.

Este experimento, al igual que el experimento I, se dividió en dos fases, primeramente en el tratamiento de las muestras con distintos coagulantes y posteriormente el empleo del agua sobrenadante obtenida del tratamiento con los coagulantes naturales.

Experimento V A

Se caracterizaron las muestras L-065-16 de baño Tintura color morado y L-066-16 de baño Lavado de acuerdo a la sección 2.3.4.2.

Se trató la muestra L-065-16: Moringa 1000 ppm, Moringa 2000 ppm, Acacia 1000 ppm, Acacia 2000 ppm, FeCl₃ 1000 ppm y TIDEC 1000 ppm. Los mismo se ejecutó para la muestra L-066-16.

Se determinó el volumen de Fangos con los Conos de sedimentación o Imhoff de 500 ml, con un tiempo de decantación de 30 minutos y 24 horas cuando se emplearon los coagulantes naturales.

Se determinó el color, el carbón orgánico total (TOC), la MES, la conductividad y el pH, en base a los métodos ya mencionado (Sección 2.3.4.2).

Experimento V B

Se replicó el tratamiento de agua de lavado morada L- 066-16 con 1000 ppm de moringa y con 2000 ppm de moringa.

Se empelaron las dos muestras de agua sobrenadante del tratamiento de agua. Se realizaron las tinturas con el agua antes mencionada con los colorantes Navy Procion H-EXL, Yellow Porcion H-EXL y Crimson Porcion H-EXL y Tricromía de acuerdo a la sección 2.3.3. Empleando las telas de algodón y el equipo Equipo Ticolor OTX200.

Se analizaron las telas resultantes de las tinturas con el equipo Espectrofotómetro CM-3600d, Konica minolta con ordenador anexo.

2.3.4.8 Experimento VI. Efecto del extracto de Acacia M. en soluciones de colorante reactivo.

Este experimento se hizo con la finalidad de comprobar la efectividad de la acacia para eliminar colorantes reactivos a diferentes condiciones de concentración y de pH.

Se prepararon soluciones individuales de colorante a 0.1 g/L de colorante con Crimson Porcion H-EXL Navy Porcion H-EXL y Yellow Porcion H-EXL, así también se le agregaron 60 g/L NaCl a cada solución para simular las condiciones de alta concentración de sales típicas de las agua de tintura. Después de la prelación de la solución de color los colorantes se entrarían teóricamente en forma hidrolizada. (Vilaseca, 2014).

Se ajustó el pH a 9 y se probó la efectividad de la solución de extracto de Acacia m., a 250, 500, 750 y 1000 ppm. Esto habiendo determinado la concentración inicial y final de colorante en base a la reducción del color en relación al SAC (coeficiente de absorción espectral) de cada colorante (sección 2.2).

Posteriormente empleado las mismas soluciones de colorante se trataron con 750 ppm de Acacia variando el pH a 5, 7, 9 y 10. De nueva cuenta habiendo determinado la concentración inicial y final de colorante en base a la reducción del color en relación al SAC de cada colorante (sección 2.2).

2.4 Referencias

- Chalamon, A. (2016). Moringa, L'arbre de la renutrition. Recuperado de: /react-text <http://www.burkinafaso-cotedazur.org/arbres>
- Eugene W. Rice, Laura Bridgewater, American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, American Public Health Association, Edition 22, 2012. ISBN 0875530133, 9780875530130.
- Grove Advanced Chemicals. (2016). Let Nature Take Care of Nature: Grove Advanced Chemicals. [Institutional Brochure]. Recuperado de la página de Groove Advanced Chemicals http://grovechemicals.com/pdf/institucional_brochure.pdf
- GROVE Advanced Chemicals, CASE 04, Textile industry Case study Textile Industry. 2015. <http://www.grovechemicals.com/en/case-study-textile-industry.html>
- Huntsman, 2013, Textile Effects, Huntsman positive list for ZDHC, Edición 2013, China, 2013 http://www.huntsman.com/textile_effects2/Media%20Library/global/files/ZDHC-Huntsman_040.7131044a_HR.pdf
- ISO, 2006, TEXTILES -TESTS FOR COLOUR FASTNESS- Calculation of colour differences, International Standard, ISO 105-J03:1995/Cor.2:2006. <http://211.67.52.20:8088/xitong/BZ%5CISO-105-J03-Technical-Corrigendum-2-2006.pdf>
- López-Grimau, V., Vilaseca, M., & Gutiérrez-Bouzán, C. (2015). Comparison of different wastewater treatments for colour removal of reactive dye baths. *Desalination and Water Treatment*, 57(6), 2685–2692. JOUR. <http://doi.org/10.1080/19443994.2015.1031185>
- Nieves Abril Díaz, J. Antonio Bárcena Ruiz, Emilio Fernández Reyes, Aurora Galván Cejudo, Jesús Jorrín Novo, José Peinado-Peinado, Fermín Toribio Meléndez-Valdés, Isaac Túnez Fiñana. 2005, Espectrometría: Espectros de absorción y cuantificación colorimétrica de biomoléculas Departamento de Bioquímica y Biología Molecular, Proyecto de Innovación y Mejora de la Calidad Docente VI Convocatoria (2004-2005) – Universidad de Córdoba, recuperado de http://www.uco.es/dptos/bioquimica-biol-mol/pdfs/08_ESPECTROFOTOMETR%C3%8DA.pdf
- Norma Española UNE-EN 1484 de marzo de 1998. Análisis de agua. Directrices para la determinación de carbón orgánico total (COT) y de carbono orgánico disuelto. ANEOR, Asociación Española de Normalización y Certificación.. Madrid, España.

- Vilaseca, M., López-Grimau, V., & Gutiérrez-Bouzán, C. (2014). Valorization of waste obtained from oil extraction in *Moringa oleifera* seeds: Coagulation of reactive dyes in textile effluents. *Materials*, 6(9), 6569–6584. <http://doi.org/10.3390/ma7096569>
- W Rice Eugene, Standard methods for the examination of water and wastewater, American Public Health Association, Print book Inglés (eng) 2012 22. Ed Washington, DC American Public Health Association
- Wissenschaftlich-Technische Werkstätten (WTW), Catalogo: El mundo de la instrumentación en línea, Edición: agosto 2010, Alemania, recuperado de <http://www.vecoins.com/pdf/proceso.pdf>
- Ximena Enriqueta (2013), “Determinación De Tricromías Estándar Con Colorantes De Alta Reactividad (Novacron) Sobre Jersey Co.100% Aplicadas Con El Sistema De Coloración Pantone Tc Y Valoradas Por Espectrofotometría” Trabajo De Grado Previo A La Obtención Del Título De Ingeniero Textil, En La Universidad Técnica Del Norte, 1–93. recuperado de: <http://docplayer.es/14908993-Unive>

3. CAPITULO 3: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos en los diferentes experimentos.

Se evaluó la eficiencia de obtención de torta de Moringa O. y aceite de Moringa.

Se realiza el tratamiento de distintos coagulantes sobre aguas de tintura y lavado (experimento I-A y experimento V- A) que posteriormente son reutilizadas (experimento I-B y experimento V-B) .

También se lleva a cabo el tratamiento de decoloración con varios coagulantes sobre distintas aguas de salida de depuradoras (experimento II, III, IV) .

Se analizaron los resultados de la eficiencia de Acacia m. en soluciones de colorante reactivo(experimento VI)

Por último se analizó variación de la concentración de sal que genera el tratamiento de Moringa O.

3.1 EXTRACCIÓN DE ACEITE DE LAS SEMILLAS DE MORINGA.

Se observa que la extracción de aceite obtenido fue de 11 a 34% , y su contraparte se obtuvo la harina desengrasada casi en su totalidad, sin incluirá las perdidas mínimas de peso. Ilustración 3-1.

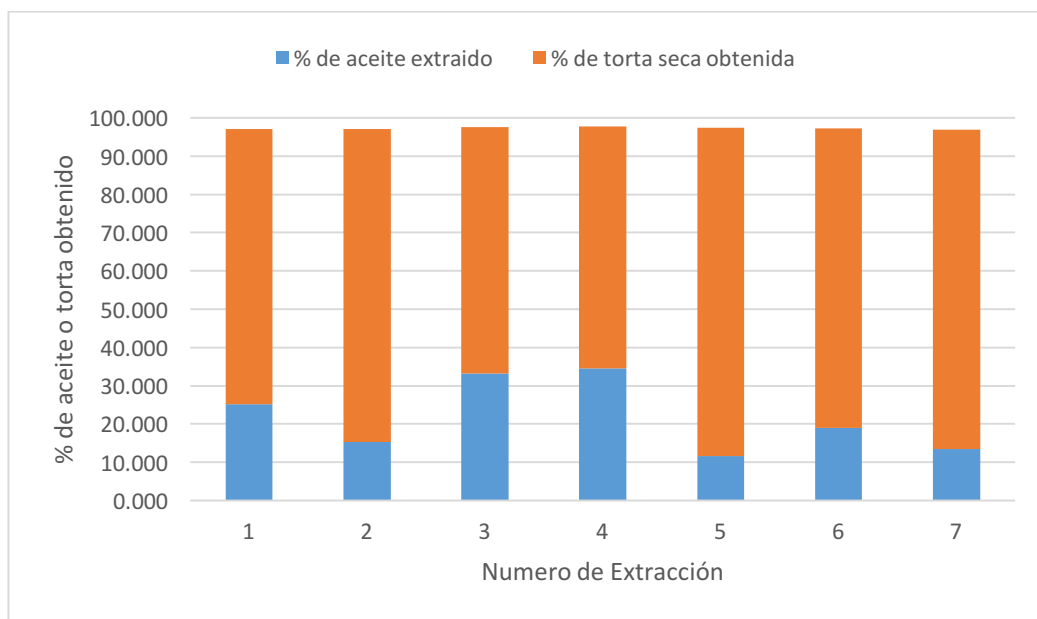


Ilustración 3-1 Porcentaje de extracción de aceite de moringa y obtención de harina de moringa desengrasada.

En promedio se obtuvo de la semilla 21.73 % en peso de aceite extraído, y por otro lado un 75.52 % de residuo que es la torta de moringa de semilla desengrasada, la cual se empleará en los siguientes experimentos.

Estos valores coinciden con la literatura en donde se mencionan valores alrededor del 25 % (Bhatia, 2007), 30 % (Palafox, 2012) o 36 % de aceite obtenido durante extracción (Mercè Vilaseca, 2014.) (Amante B. (2015).

3.2 EXPERIMENTO I : Tratamiento y reciclado de aguas de tintura de la empresa textil 1 con Moringa

3.2.1 Experimento I – A: Tratamiento de aguas de tintura con Moringa

Tratamiento de aguas de tintura con Moringa

Las primeras muestras que se analizaron fueron las muestras de agua de la empresa TEXTIL 1, cuyas muestras provienen directamente de las máquinas de tintura, tanto el agua de tintura como el agua del primer lavado, de dos procesos de tintura distintos,

Primeramente se hizo la caracterización de las muestras; se analizó el agua tintura de color morado de la fibra Poliéster-Algodón (L-018-16) y el agua de primer lavado (L-019-16) y por otro lado la tintura de color negro de la fibra de algodón (L-016-16) y la muestra de agua de primer lavado (L-017-16) Tabla 3-1. Se pueden hacer las siguientes observaciones: todas las muestras tienen un pH alcalino como era de esperarse, tanto las muestras de agua de la tintura morada (pH 10.7) como las de tintura de color negro (pH alrededor de 11.5); todas tienen relativamente baja concentración de MES (< 100 mg/L); las muestras de agua de tintura de ambos colores tienen más del doble de conductividad (aprox. 100 mS/cm), concentración de cloruros (alrededor de 50 g/L) y color que las aguas respectivas de lavado de agua, respecto a este último parámetro las muestras de agua de color negro están muy elevado en especial en el agua de tintura (228880 Unidades Pt/Co).

También se puede destacar la concentración de la DQO y se observa que las muestras de color morado tienen un DQO bajo (850 mg/O₂) en relación a los efluentes típicos de los efluentes de acabado textil de algodón, así como es menor del límite de la norma de vertido a EDAR tomando individual este parámetro. (DOGC, 2003). Mientras que en las muestras de color morado esta concentración es alta en relación a los valores típicos. (López Grimau, Víctor; Crespi Rosell, Martín, 2015)

Tabla 3-1 Caracterización demás muestras L-016-16, L-017.16, L-018-16 y L-018-16

Agua	ID Lab	Descripción	pH	MES (mg/L)	Conductividad (mS/cm)	TOC (mg/L)	NaCl (g/L)	DQO (mg/L)	Color ASTM (UP-C)	Color
Morado - Tintura	L-018-16	Agua de Baño de Tintura con Morado Reactivo Fibra: Poliéster - Algodón	10.75	47	99.9	473	74.91	246.4	4650	1.538 ($\lambda = 548 \text{ nm}$)
Morado - Lavado	L-019-16	Agua de lavado de Morado reactivo. Fibra: Poliéster - Algodón	10.78	35	31.5	697.5	20.97	828.8	1839	1.07 y 0.852 ($\lambda = 548 \text{ nm}$ y 607.nm)
Negro - Tintura	L-016-16	Agua de Baño de Tintura con Negro - Reactivo Fibra: Algodón	11.61	99	107.8	1187	85.91	3292.8	228880	---
Negro - Lavado	L-017-16	Agua de lavado de Negro Reactivo Fibra: Algodón	11.35	69	43.9	727	31.27	2464	79850	---

Se trataron las 4 diferentes muestras con moringa, con 1000, 2000 y 5000 ppm del extracto en solución de Moringa O. Tabla 3-2.

Tabla 3-2 Muestras tratadas con Moringa O. a distintas concentraciones.

Muestras	Tratamiento
L-018-16, L- 019-16.	Moringa 1000 ppm
L-016-19, L-017-16	Moringa 2000 ppm
	Moringa 5000 ppm

Se analizó en primera instancia la reducción de color de las muestras tratadas con Moringa O. después de decantar 24 horas. Figura 3-2. EL color fue determinado en base a SM 2120. Se observó que la mayor efectividad se da empleando 5000 ppm de moringa; sin embargo se observa que el efecto de reducción de color de las distintas aguas coloreadas se comportan de forma similar ante el extracto de moringa siendo la muestra de menor reducción cuando se empleó la menor concentración de Moringa (1000 ppm). También se puede observar la acción de remoción de la acacia en colorantes reactivos se comporta de forma exponencial, esto coincide con el comportamiento encontrado en la literatura . (López-Grimau Víctor, 2015) (Vilaseca Mercè, 2014) por lo que a moderadas concentraciones se obtienen buenos resultados, y amentando la dosis a partir de esta concentración los resultados mejoran pero

no considerablemente, sin embargo esta dosis depende también de la concentración de colorante a tratar, por lo que se observa que en las muestras de agua de lavado de color que tienen menor concentración de color que las otras muestras morado se obtienen mejores resultados empleado 1000 ppm de moringa (eliminación >60%), mientras que en las otras muestras 2000 ppm son necesarios para mostrar óptimos resultados (eliminación >70%).

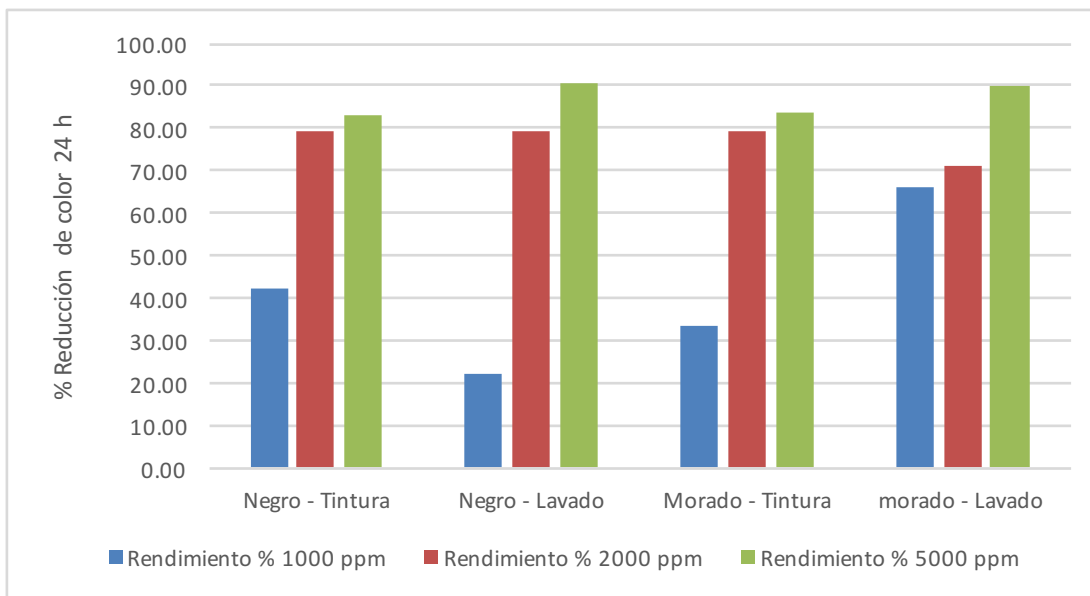


Ilustración 3-2 Reducción de color de las muestras de agua L-016-16 (tintura color negro), L-017-16 (lavado color negro), L-018-16 (tintura color morado) y L-019-16 (lavado color morado) tratadas con a diferentes concentraciones de Moringa O., durante 24 h.

También se debe de destacar que el porcentaje de reducción es similar entre el agua de lavado y baño de tintura, también se pueden destacar que aunque la reducción de colorante es bastante buena (80- 90%), en las aguas de color negro sigue habiendo un remanente considerable de colorante de color, siendo de 38975 Unidades Pt/Co del agua de tintura y 7737 para el agua de lavado, por lo que las aguas de color negro aun continuando teniendo mucho color, por lo que en estas muestras es difícil apreciar cambio a simple vista; sin embargo en las muestras de agua de color morado la reducción de color se puede apreciar a simple vista (Fig. 3-3), en especial en las muestras de agua de lavado de color morado ya que con 5000 ppm se redujo hasta 181 Unidades Pt/Co/L, con 2000 ppm a 533 Unidades Pt/Co/L y con 1000 ppm a 625 Unidades Pt/Co/L.

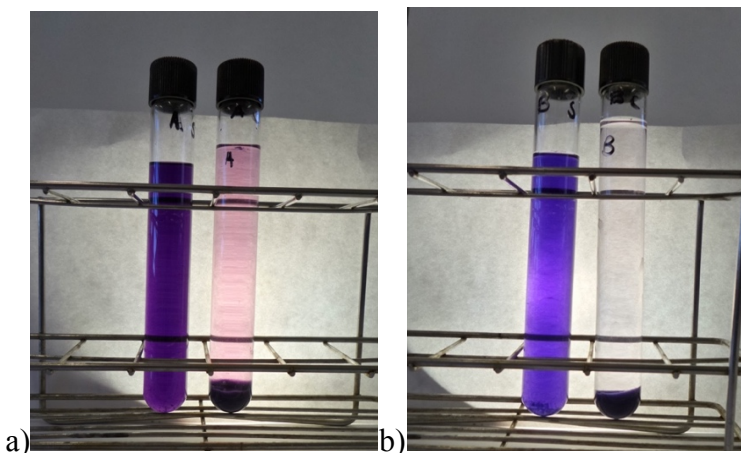


Ilustración 3-3 a) Muestra de agua Morado – Tintura (L-018-16) a la izquierda y tratada con 2000 ppm de Moringa O. 24 h a la derecha. b) Muestra de agua Lavado-Morado (L-019-16) a la izquierda y tratada con 2000 ppm de Moringa O. 24 h a la derecha.

Solamente en base a este parámetro y se compara con la normativa la cual menciona que el color en dilución debe de ser inapreciable. Como este razonamientos es muy subjetivo podemos considerar para este trabajo que una valor holgado de 40-60 Unidades Pt/Co es inapreciable o aceptable (misma concentración empleada en los parámetros de determinación de color por el método visual), por lo que estos valores son acatables tanto para la normatividad de vertido de aguas continentales (inapreciable a dilución 1/20)(BOE, 2003). y subsecuentemente por la de vertido a EDAR (inapreciable a dilución 1/30) (DOGC, 2003). Esta consideración se hizo suponiendo idealmente una reacción lineal entre la coloración de la solución y la dilución de la misma, por lo que se da a entender que es un resultado no comprobado. También el agua de tintura, tratada con 2000 y 5000 ppm de Moringa O. tiene el color suficiente para ser vertida en EDAR.

Se continuo haciendo pruebas con las aguas de teñido del color morado, tanto el agua de tintura (L-018-16), como con las agua de lavado (L- 019-16). Se dio tratamiento con más coagulantes, probando de nuevo la Moringa a 1000 y 2000 ppm, además de probar la moringa junto con un electrolito, además se trataron las muestras con coagulantes químicos como el Cloruro de hierro y el TIDEC 700 (Tabla 3-3).

Tabla 3-3 Tratamiento de muestras de agua de tintura y lavado morado con varios coagulantes.

Muestras	Tratamiento
L-018-16	Moringa 1000 ppm
	Moringa 1000 ppm + Polielectrólito
	Moringa 2000 ppm
L-019-16	FeCl ₃ 1000 ppm
	TIDEC 1000 ppm

Posteriormente se decidió trabajar con las muestras de agua de color Morado, tanto al agua de tintura como al agua de lavado.

Se comprobó que el comportamiento de pH no se ve modificado con el uso de la moringa y se redujo de manera insignificante con el uso de Cloruro de hierro y TIDEC 700.

Se debe de mencionar que los fagos leídos a 30 minutos tuvieron mayor volumen que los leídos a 24 horas, esto debido al apelmazamiento y compresión de los fangos por acción de la gravedad, o cual es aproximadamente un 25 % de decremento del volumen de lodos, pero con mayor densidad, este efecto es variable aunque es ligeramente menor la relación a la que decrece según la literatura en donde los fangos decrecen alrededor de un 50%. (Vilaseca, Mercè, 2014). También se obtuvieron volúmenes menores de fango empleando Moringa (60 – 90 ml/L) a 30 min en relación a la literatura ya mencionada, sin embargo a 24 horas el volumen de fango es similar, por lo que el lodo tiene facilidad de compactarse desde los 30 min con este tipo de agua.

Se puede observar que el TIDEC a 30 minutos genera mayor volumen de fangos en el baño de tintura, sin embargo en con el agua de lavado se mantiene alrededor de los 70 ml/L que es alrededor de lo que generan todos los coagulantes. También se puede observar que hay una disminución mínima en la generación de fangos empleando el polielectrólito. También se observa que a mayor concentración de moringa no mantiene la relación de tener mayor generación de fangos. (Fig. 3-4)

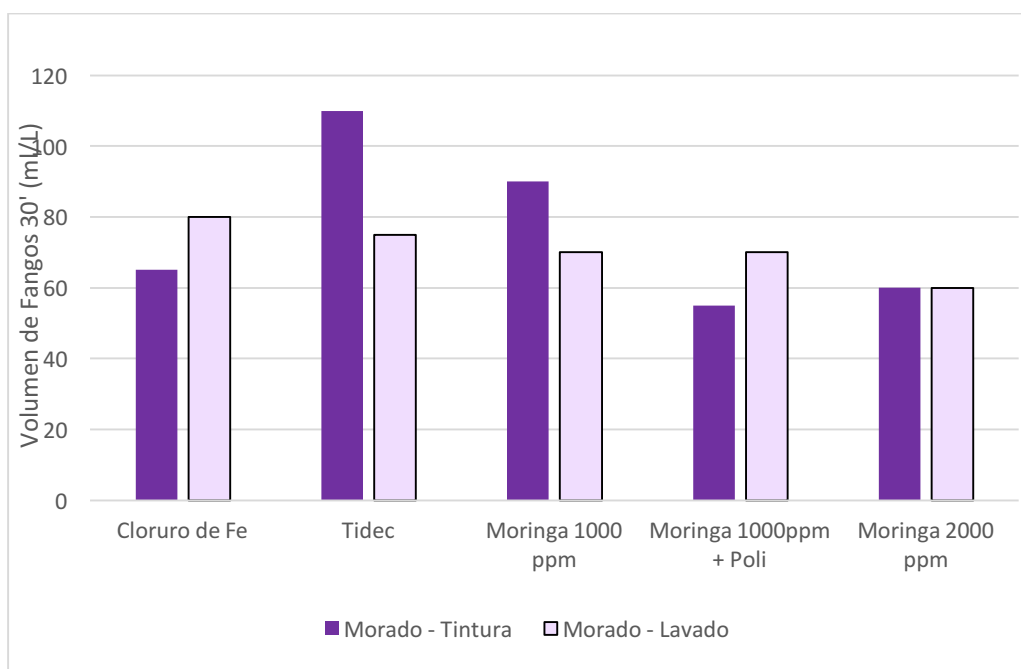


Ilustración 3-4 Grafica de volumen de fangos a 30 minutos empleando coagulantes distintos. L-018-16 y L- 019-16

Por otro lado se considera un punto importante la disminución del color de las muestras tratadas. Se puede observar que el Cloruro de hierro es poco eficiente para la reducción de color en estas muestras, así también se reporta en la literatura que este tiene una capacidad variable de remoción de colorantes reactivos (0 – 56%) de remoción, (Vilaseca Mercè, 2014).

y que el TIDEC es el coagulante más eficiente para la reducción de color; también resulto eficiente la moringa oleífera reduciendo cerca del 80% del color pues respecto al agua de

lavado empleando moringa en 2000 ppm se obtienen mejores resultados; respecto al agua de tintura empleando moringa a 1000 ppm dio buenos resultados. Fig. 3-5.

También se puede observar que el polielectrólito mejoró ligeramente la eficacia de la reducción de color respecto al agua de lavado. Sin embargo con este experimento no termina de ser concluyente la real eficacia del polielectrólito ya que en el caso del agua de tintura no tuvo los mismos resultados. También mencionar que la cantidad de fangos no generados no guarda realmente una relación con la remoción de color, aunque en la caso del TIDEC y Moringa se vio que a mayor cantidad de fangos generados a 30 min mayor fue la remoción de color.

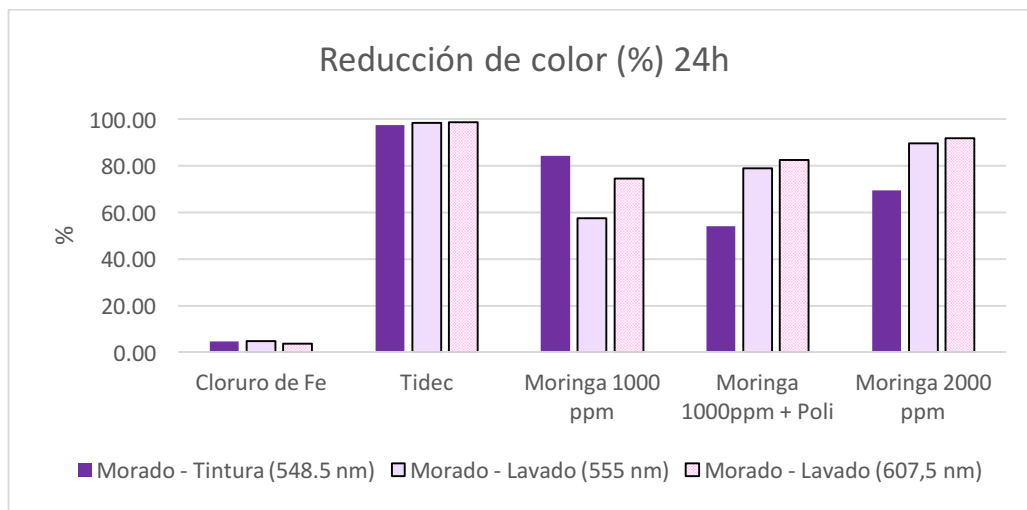


Ilustración 3-5 Porcentaje de reducción de color con los distintos coagulantes. L-018-16 y L-019-16

También se analizó la reducción de TOC en las muestras tratadas. Respecto la reducción del TOC a las 24h, se debe de considerar que al añadir moringa fomenta la carga orgánica de las muestras, esto se puede observar en el tratamiento de agua del agua de tintura de color morado, ya que con 1000 y 2000 ppm se mantiene una reducción del 30%. También se puede observar que el polielectrólito fomenta la floculación de la materia orgánica. Para el tratamiento del agua de lavado se observa que la moringa a 2000 ppm reduce en menor cantidad el TOC que empleando moringa a 1000 ppm, sin embargo son buenos resultados similares a los obtenidos con el Cloruro de hierro y TIDEC. Fig. 3-6. La concentración inicial de DQO de las muestras ya se consideraba baja antes del tratamiento, y posterior del tratamiento con moringa se puede estimar el proporcional porcentaje de reducción, por lo que el agua de lavado (70 % de reducción) y de tintura morado (30 % de reducción) con un DQO final aproximado de 180 - 250 mgO₂/L respectivamente, seguiría teniendo una concentración aceptable para ser tratada en EDAR, aunque no logra cumplir la calidad para ser vertida a aguas continentales. BOE, 2003.

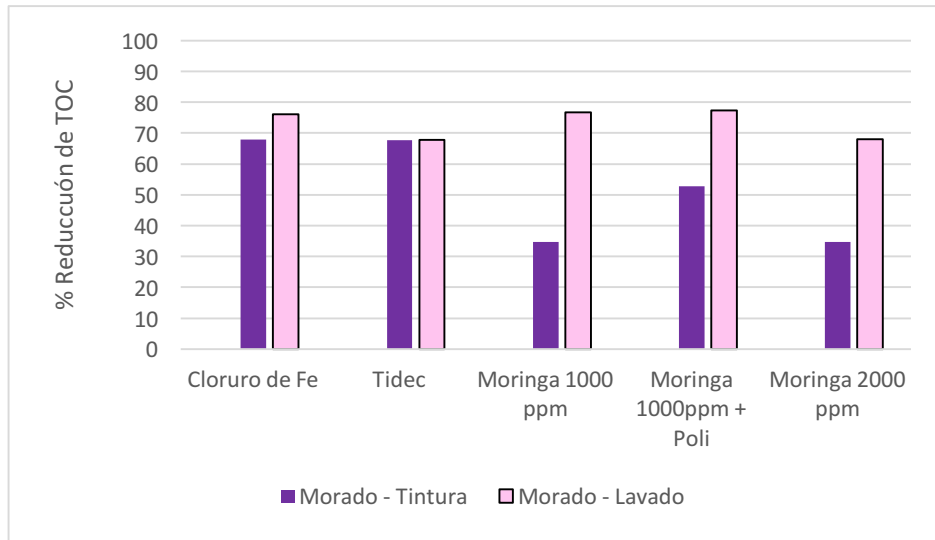


Ilustración 3-6 Porcentaje de reducción de TOC con distintos coagulantes. L-018-16 y L-019-16

Por último se observó el comportamiento de la conductividad

La conductividad, al igual que el pH se mantuvo relativamente constante durante los tratamientos. Fig. 3-7.

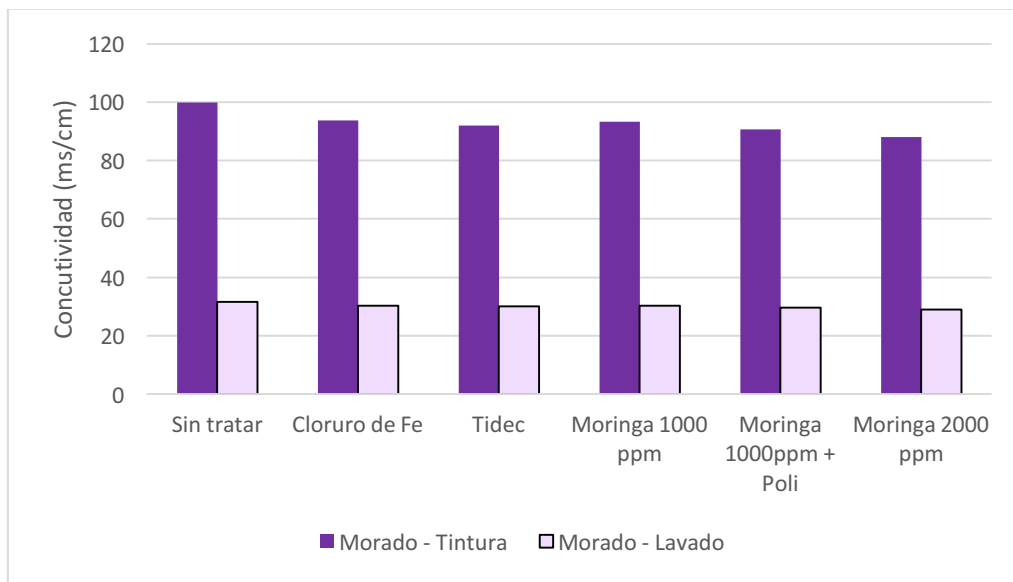


Ilustración 3-7 Conductividad determinada con distintos coagulantes. L-018-16 y L-019-16

3.2.2 Experimento I – B: Reciclado de aguas de tinte tratadas con Moringa

Se replicaron las pruebas coagulación con moringa 1000 ppm de las muestras de agua de tinte y lavado de color morado durante 24 min, así como se evaluó la interferencia a 1000 ppm de la moringa decantada por 30 minutos. Se hicieron tinturas con el agua de lavado de color morado tratada con 1000 ppm de moringa. Empelando los colores Navy Procion H-EXL, Yellow Procion H-EXL y Crimson Procion H-EXL. Así como se hizo tinte con el agua como referencia. Tabla 3-4.

Tabla 3-4 Distintos tipos de agua y tinturas realizadas con estas.

Muestras	Tintura con:
Sobrenadante del tratamiento de agua L- 019-16 con 1000 ppm de moringa	Navy Procion H-EXL
Sobrenadante del tratamiento de agua L- 018-16 con 1000 ppm de moringa	Yellow Procion H-EXL Crimson Procion H-EXL
Agua descalcificada con 1000 ppm de moringa	
Agua descalcificada	

Se recogió el sobrenadante a las 24 horas del tratamiento de con 1000 ppm de moringa O. de las muestras tratadas de agua de tinte (L-018-16) y agua de lavado (L-019-16) para realizar las tinturas con los colores Navy, Yellow y Crimson. Visualmente son buenas tinturas. Fig. 3-8.



Ilustración 3-8 a) Equipo empleado para la realización de las tinturas. b) Telas teñidas terminadas con (de arriba para abajo) Navy, Yellow y Crimson.

Análisis de las telas teñidas

NAVY

Teñido con Navy empleando agua de lavado (L-019-16) y agua de tintura (L-018-16) tratada con 1000 ppm de moringa. Se muestran los valores determinados instrumentalmente con el equipo. Se pueden observar los diferenciales de los teñidos de claridad (L), croma (C) o intensidad y matiz (H) en base en al teñido de referencia. Se puede observar que los valores discrepan en estas tres parámetros el teñido con el agua de tintura. Tabla 3-5.

Tabla 3-5 Resultados de la evaluación de las telas teñidas con Navy Porcion

Diferencia	DL	Dc	Dh		DE CMC 2:1
L-019-16	-0.322	0.1014	-1.2927		1.0233
L-018-16	2.391	0.6515	-2.7215		2.6864
Solo Moringa	-1.079	-0.1617	-0.4208		0.8138

Estos valores discrepantes de la muestra de agua de tintura (L-019-16) se ve traducido en el valor de DC CMC 2:1, el cual se observa que sobrepasa la unidad, por lo que se puede calificar como no aprobada, mientras que con el agua de lavado esta justo en el límite, por lo que se considera aprobada, y podemos ver también que la muestra que tuvo más compatibilidad con la muestra de referencia.

YELLOW

De la misma forma que con el colorante Navy, se muestran los resultados obtenidos de del teñido con Yellow empleando agua de lavado (L-019-16) y agua de tintura (L-018-16) tratada con 1000 ppm de moringa, así como del agua con Moringa a 1000 ppm. De igual manera se observan los diferenciales de los teñidos de claridad (L), croma (C) o intensidad y matiz (H). Se muestra que la muestra de agua de lavado en el parámetro de croma tiene muy marcada menor intensidad que la referencia empleada, mientras que por la contrario la muestra con solo moringa es la más similar los tres parámetros.

Tabla 3-6 Teñido con Yellow empleando agua de lavado (L-019-16) y agua de tintura (L-018-16) tratada con 1000 ppm de moringa

Diferencia	DL	Dc	Dh		DE CMC 2:1
L-019-16	2.8722	-6.6546	2.3585		1.3950
L-018-16	0.689	-2.1803	1.1267		0.40615
Solo Moringa	-0.3749	-0.4673	0.3237		0.1722

En base a estos valores se observa que el DE CMC 2:1 obtenido por el agua de lavado es un poco mayor a la unidad, por lo que se considera como no aprobada, aunque mejorando un poco la calidad de agua es posible que sea aprobada. Por el contrario empelando el agua de tintura, la muestra da resultados buenos, así como con el agua con solo moringa que presento el DE CMC 2:1 menor.

CRIMSON

Se muestran los resultados obtenidos de del teñido con Crimson empleando agua de lavado (L-019-16) y agua de tintura (L-018-16) tratada con 1000 ppm de moringa, así como del agua con Moringa a 1000 ppm. Se muestra los resultados en los instrumentales obtenidos, en los que se observa que la tintura teñida con agua de lavado discrepa en el criterio de croma y claridad, mientras que con el agua de teñido obtuvo buenos resultados y el agua con moringa sea muy similar a la muestra de referencia. En base al DE CMC 2:1 se puede determinar fácilmente que la tintura realizada con el agua de lavado está ligeramente sobre el la unidad, por lo que técnicamente es no aprobada, pero aun así es una tintura que está muy cerca de ser aprobada. Mientras que con las otras aguas las tinturas son satisfactorias.

Tabla 3-7 Teñido con Crismón empleando agua de lavado (L-019-16) y agua de lavado (L-018-16) tratada con 1000 ppm de moringa

Diferencia	DL	Dc	Dh		DE CMC 2:1
L-019-16	1.8324	0.1431	-2.3583		1.1221
L-018-16	0.7383	-0.0235	-1.0236		0.4588
Solo Moringa	0.4869	0.2153	-0.464		0.2867

Se puede confirmar que la moringa no modifica significativamente la calidad de la tintura y que el agua de tintura color morado tratada por 24 horas con Moringa O. (L.018-16) es útil para realizar las tinturas con color Yellow Porcion H-EXL y Crimson Porcion H-EXL, mientras que el agua de lavado color morado con el mismo tratamiento es útil para hacer tinturas con Navy Procion H-EXL, sin embargo se pueden obtener tinturas de baja calidad con los colores Yellow Porcion H-EXL y Crimson Porcion H-EXL, así cómo es posible mejorar ligeramente la calidad del agua para obtener tinturas satisfactorias.

3.3 EXPERIMENTO II: Tratamiento de agua residual homogenizada de la empresa textil 2 con coagulantes naturales

Se analizaron las muestras de la empresa TEXTIL 2, que provenían de la planta de tratamiento de aguas residuales de esta industria de tintura. La primera de la muestras corresponde a la muestra de agua de entrada (L-051-16) y agua de salida (L-052-16).

Se realizó caracterización de la muestras Tabla 3-8, en donde se pude destacar que ambas muestras contiene una concentración mínima de color disuelto, que tomando en cuenta solo este parámetro está por debajo de los límites de vertido a aguas continentales norma en base a la normatividad (BOE, 2003). Mientras que la muestra entrada a planta sin filtrar tiene un color medio respecto a la concentración de típica de color de las aguas provenientes del sector textil de los acabados de algodón (400-3000 unidades Pt-Co/L) (López G., Víctor; Crespi R, Martín, 2015).

Tabla 3-8 Caracterización de las muestras de entrada a planta L-051-16 y salida L-052-16.

Muestra	Color (U.Pt/Co) sin filtrar	Color (U.Pt/Co) filtrado	Turbiedad (UNT)	MES (mg/L)	pH	Conductividad (mS/cm)	TOC (mg/L)	DQO estimada (mg/L)	DQO leído (mg/L)
L-051-16	1600	225	200	643	10.74	6.29	550	1650	1169
L-052-16	400	223	--	12	8.43	5.44	215	645	18.5

Por otro lado la MES del agua de salida de planta (L-052-16) es mínima y también cumple en este parámetro con la norma de vertido a aguas continentales (BOE, 2003), mientras que el agua de entrada (L-051-16) contiene una concentración de MES elevada (643 mg/L) en relación los parámetros típicos de este tipo de aguas, así también se encuentra dentro de los parámetros aceptables para el tratamiento de en EDAR, aunque se encuentra cerca del límite máximo. (DOGC, 2003.) El pH de la muestra a de entrada a planta es típico (10.7) para esta agua, mientras que el pH del agua de salida a planta se encuentra regularizado (pH 8.4) para poder ser tratado en EDAR. La conductividad también es bastante baja en ambas muestras. También se observa que la DQO del agua de entrada a planta (1169 mg/L) es típica y se encuentra dentro de los límites permisibles de las aguas vertidas a EDAR.

Se trabajó con el agua de entrada a planta L-051-16 ya que el agua de salida era bastante clara, en comparación al agua de entrada; destacando también que el agua de entrada tenía un color azul-gris sin filtrar mientras que filtrado es muy claro, en particular se puede observar que el color se encuentra participado en la muestra al filtrar este es eliminado. Fig. 3-9.



Ilustración 3-9 Muestra de agua de entrada a planta (L-051-16 a la izquierda) y salida (L-052-16 a la derecha).

Se observa que la muestra de entrada es bastante oscura en comparación al agua de salida. Sin embargo el color se encuentra particulado y la filtración de la muestra es bastante lenta y posterior este la muestra carece de color disuelto, ya que el color filtrado es igual al color de la muestra de agua de salida de planta. Aunque prácticamente esta agua solo necesita la remoción de MES si se desea verter en EDAR.

De igual manera se intentó mejorar la calidad de esta agua de entrada a planta (L-051-16), dándole un tratamiento de coagulación-floculación tratado con diferentes coagulantes, 1000 y 2000 ppm de Moringa, 1000 y 2000 ppm de Acacia y 1000 ppm de Cloruro de hierro. Tabla 3-9. Para el tratamiento de agua con Cloruro de hierro se ajustó el pH a 9,5. Fig. 3- 10.

Tabla 3-9 Muestra L-051-16 tratado con diferentes coagulantes.

Muestras	Tratamiento
L-051-16	Moringa 1000 ppm
	Moringa 2000 ppm
	Acacia 1000 ppm
	Acacia 2000 ppm
	FeCl ₃ 1000 ppm



Ilustración 3-10 Muestra L-051-16 tratada (de izquierda a derecha) con Moringa O. 1000 ppm 30', Moringa O. 2000 ppm 30', Acacia 1000 ppm 30', Acacia 2000 ppm 30'.

Primeramente se debe de mencionar que la disminución del pH con los coagulantes fue prácticamente insignificante.

Respecto al color se observa que empleando Moringa se reduce bastante el color oscuro de la muestra. Así como se puede observar que con una concentración de 2000 ppm los fangos se compactan bastante después de 24 h. Empleando la acacia también se logran ver a simple vista buena eliminación de color. Se observó que hubo una compactación de los fangos. También se observa que la el volumen mayor de fangos se obtuvo con FeCl₃ (135 ml/L) seguido de la acacia 2000 ppm a 30 minutos (105 ml/L), seguido de Moringa 2000 ppm a 30 minutos (80 ml/L). Fig. 3-11.

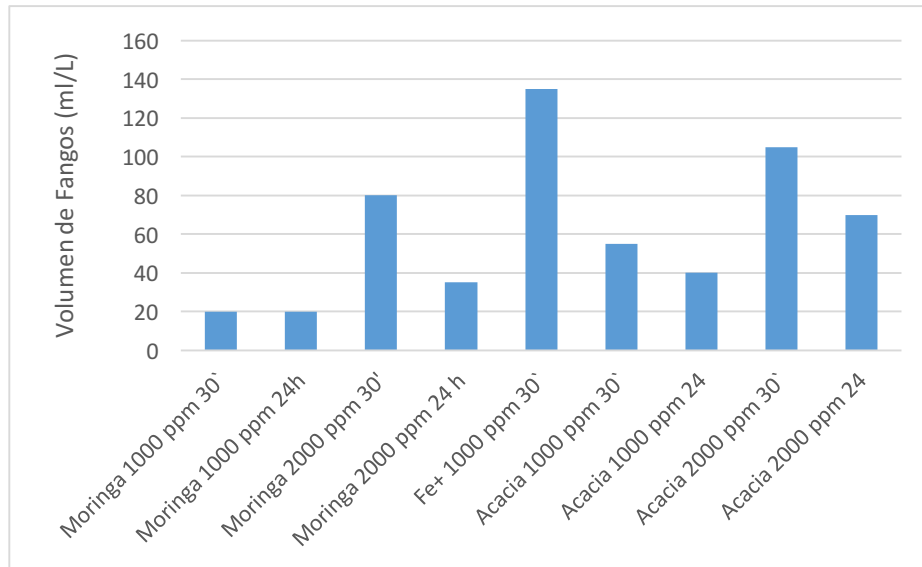


Ilustración 3-11 Fangos generados con los distintos tratamientos de la muestra de agua de entrada a planta de tratamiento L-051-16

Se observa que el mayor volumen de fangos se logra empleando el Cloruro de hierro, seguido posteriormente de la acacia a 2000 ppm y también empleando moringa a 2000 ppm genera un volumen considerable de fangos. Se sabe que el Cloruro de hierro genera un fango muy diluido y poco concentrable, por lo que generalmente genera un volumen considerable de fangos. (

Por otro lado se evaluó la capacidad para remover el color, en el que se observó que el mejor eliminador de color fue el Cloruro de hierro casi en su totalidad, se sabe que el cloruro férrico remueve en forma efectiva el color asociado a la presencia de orgánicos (OxyChile, 2004), por lo que se puede determinar que el olor es generado por estos compuestos y no por colorantes, aun así la moringa a 2000 ppm logro remover más de un 80% de color. Fig. 3-12.

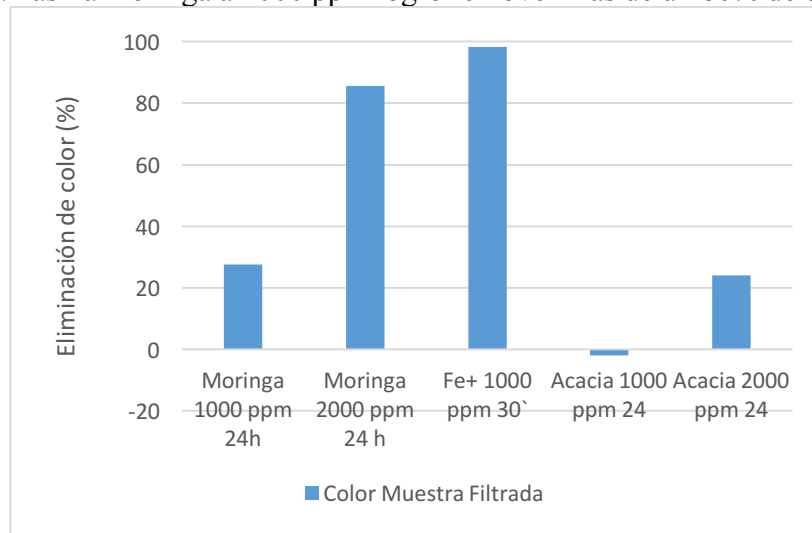


Ilustración 3-12 Porcentaje de eliminación de color con los distintos tratamientos de la muestra de agua de entrada a planta de tratamiento L-051-16

También se observa que la acacia es poco eficiente para remover este tipo de color y además se observa que añade cierto tono ligero de color café a la muestra. También la baja actividad para remover color se debe a que tiene mejor capacidad de remoción a un pH ácido (pH 4-5). (Sánchez-Martin, 2011.)

Se analizó también la concentración de DQO, en donde se observa que la DQO aumento con los coagulantes naturales, en donde aumenta la carga orgánica en solución, mientras que con el cloruro férrico se observó la reducción máxima (26 %) hasta 917 mg/L. Esto confirma que la eliminación es de la materia orgánica disuelta. Fig. 3-13.

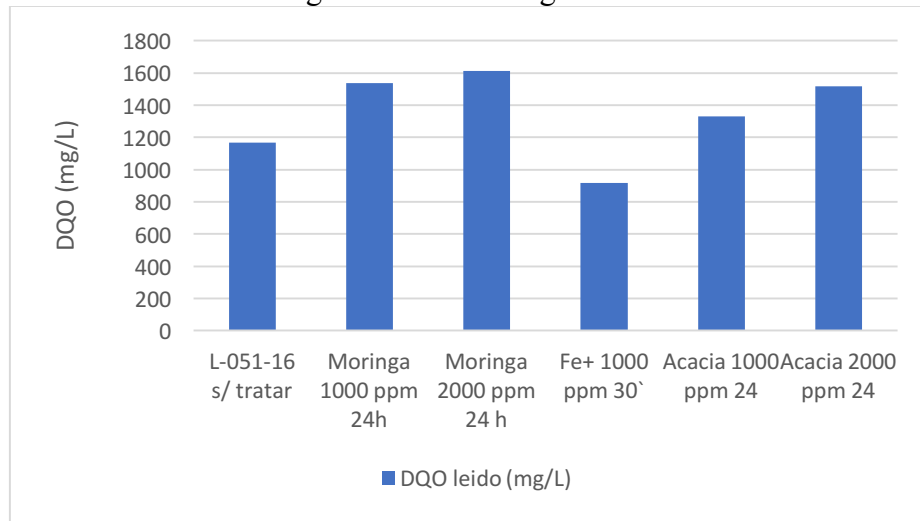


Ilustración 3-13 Concentración de DQO obtenida con los distintos coagulantes en la muestra L-051-16

Estos resultados de un aumento de la DQO empleando coagulantes naturales fueron respaldos por los valores de Carbón Orgánico determinado. Donde se observa que con Moringa a 2000 ppm se dio el mayor incremento.

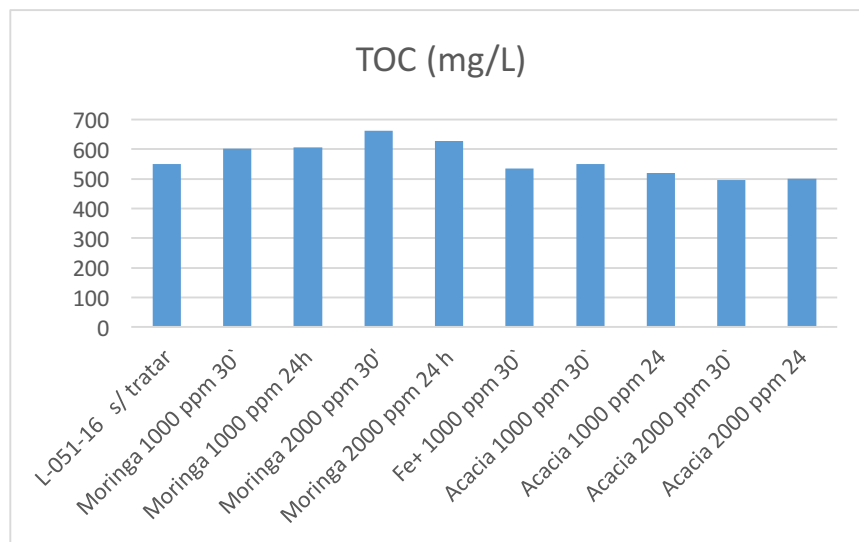


Ilustración 3-14 Concentración de carbón orgánico obtenido con los distintos coagulantes en la muestra L-051-16

Respecto a la eliminación de la materia en suspensión, se observó que con todos los coagulantes se obtuvieron buenos resultados (< 85 %) de remoción (Ilustración 3-16) , y en particular con el uso de Cloruro de hierro y Moringa O. a 2000 ppm se obtuvo la remoción de MES casi en su totalidad. Posteriormente la Acacia a 2000 ppm redujo cerca del 90% de MES (66 mg/L), por lo que con estos 3 últimos se logra obtener un valor de MES que está por debajo de la normatividad de vertido de aguas continentales (80 mg/L). (BOE, 2003). La eficiencia de la remoción de la MES e los coagulantes coincide con la bibliografía consultada (Skoronski, 2014).

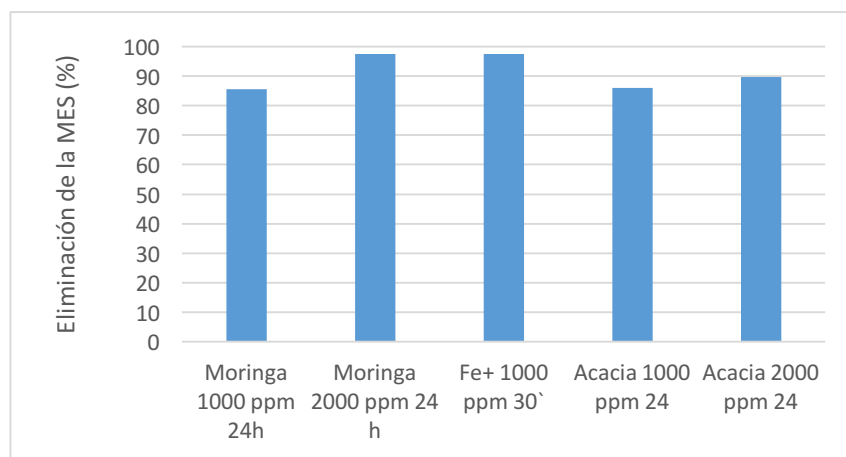


Ilustración 3-15 Porcentaje de eliminación de eliminación de MES con la muestra tratada con los distintos coagulantes en la muestra L-051-16

También se evaluó el comportamiento de la turbiedad, la cual se comportó de una manera muy similar que la materia en suspensión, aunque en menor porcentaje de remoción, en

donde se obtuvieron los mejores resultados con Cloruro de hierro y Moringa a 2000 ppm (mayor al 80%), seguido por la acacia a 2000 ppm. (Ilustración 3-16). Así también coincide con la buena eficiencia que tiene la acacia de eliminar turbiedad (Skoronski, 2014), así como la eficiencia de la moringa (Mercè Vilaseca, 2014.) y la del Cloruro de hierro (OxyChile, 2004). Ilustración 3-17

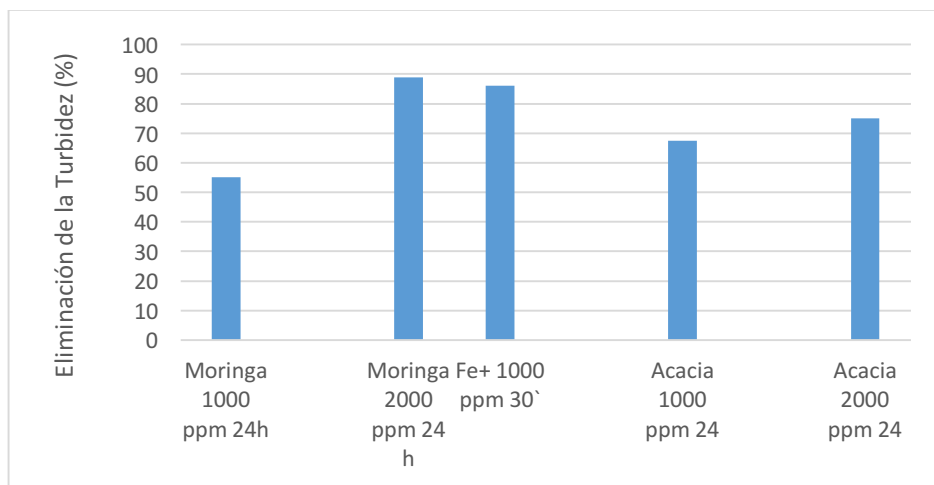


Ilustración 3-17 . Porcentaje de eliminación de eliminación de MES con la muestra tratada con los distintos coagulantes en la muestra L-051-16

Por último se evaluó la conductividad, y se observó que se mantuvo relativamente constante. (Ilustración 3-18).

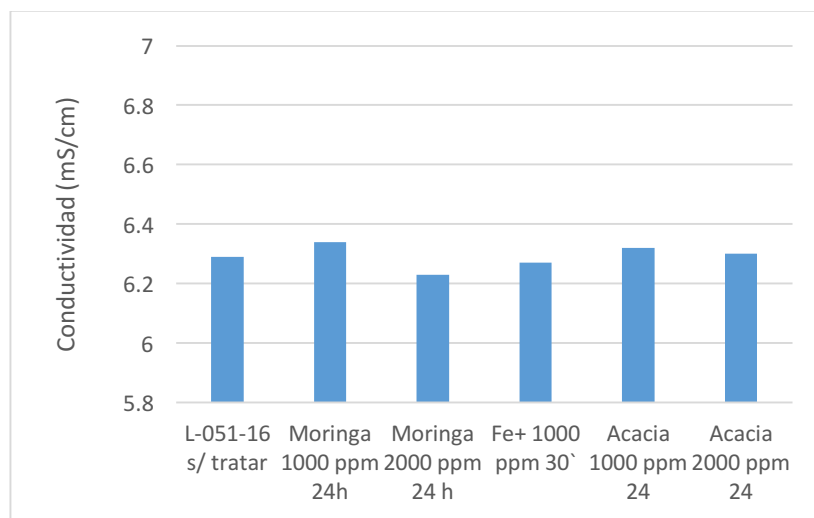


Ilustración 3-18 Comportamiento de la conductividad con los distintos tratamientos de la muestra de agua de entrada a planta de tratamiento L-051-16

Por lo que para el tratamiento de esta muestra L-051-16 el mejor coagulante fue el Cloruro de hierro, seguido por los resultados obtenidos por Moringa 2000 ppm y por la Acacia 2000

ppm. Aunque con los demás también se obtienen resultados moderadamente buenos para verter el agua a EDAR. No se logran alcanzar las condiciones de vertido en aguas continentales debido a la DQO que con Cloruro de hierro (que fue con el que se obtuvieron mejores resultados) disminuyó hasta 900 mg/L, cuando la normativa marca un máximo de 80 mg/L.

3.4 EXPERIMENTO III: Tratamiento de 2do tipo de agua residual homogenizada de la empresa textil 2 con coagulantes naturales

Se analizó la muestra L-061-16 la cual es agua de entrada a planta de tratamiento de la empresa Textil 2, la cual es una muestra de color café claro translúcida y de con olor característico.

Se realizó a caracterización de la muestra (Tabla 3-10) y se puede destacar que la muestra de color café claro translucido tiene una cantidad de materia en suspensión es casi nula y baja turbiedad. Tiene un pH moderadamente alcalino para este tipo de aguas, considerando que la empresa se dedique en su mayor parte a los acabados de algodón. Tiene un valor de DQO y TOC moderado para este tipo de aguas considerando los valores típicos de carga contaminante. (López Grimau, Víctor; Crespi Rosell, Martín, 2015)

Tabla 3-10 Caracterización de la muestra L-061-16

Muestra	pH	Conductividad (mS/cm)	Turbiedad (UNT)	TOC (mg/L)	Color U.Pt/Co	DQO estimado (mg/L)	MES (mg/L)
L-061-16	8.41	6.51	4.84	555.6	692.8	1666.8	5

La muestra se sometió a tratamiento con coagulantes distintos, los mismos del experimento anterior, es decir, 1000 y 2000 ppm de Moringa O., 1000 y 2000 ppm de Acacia y 1000 ppm de Cloruro de hierro. (Tabla 3-11)

Tabla 3-11 Tratamiento de la muestra con distintos coagulantes.

Muestras	Tratamiento
L-061-16	Moringa 1000 ppm
	Moringa 2000 ppm
	Acacia 1000 ppm
	Acacia 2000 ppm
	FeCl ₃ 1000 ppm

Se puede observar en las imágenes que durante el tratamiento de las muestras con Acacia se generó, aparte de fango floculante, fango flotante el cual no se contabilizó. (Ilustración 3-19)



Ilustración 3-20 Tratamiento de la muestra L-061-16 con (de izquierda a derecha) 1000 ppm de Moringa O.; 2000 ppm de Moringa O., 1000 ppm de Acacia; 2000 ppm de Acacia; 1000 ppm de FeCl₃, a 30 minutos.

Los coagulantes favorecieron eficientemente la formación de floculos a partir de la materia coloidal disuelta, principalmente materia orgánica. Se observa que los coagulantes con mayor volumen de fango generado fueron Cloruro de hierro y la Acacia a 1000 ppm a 24 h. (Ilustración 3-21) Se observa que con este último coagulante no se da el efecto de la disminución o compactación del volumen de los fangos de 30 minutos a 24 h, como era de esperarse, esto debido a la fracción de fango flotante generada la cual precipito más tarde.

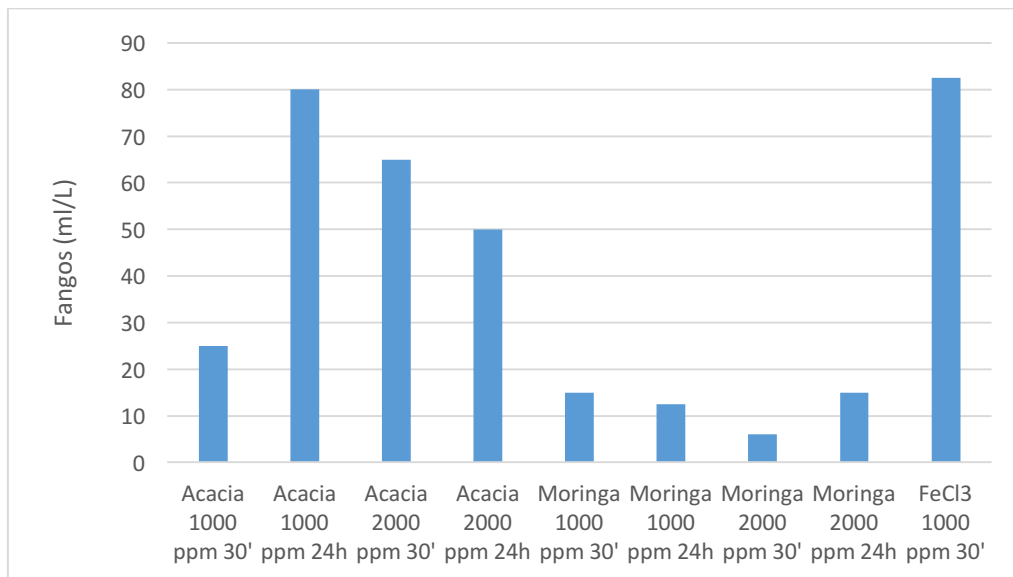


Ilustración 3-22 Fangos generados con los distintos tratamientos de la muestra de agua de entrada a planta de tratamiento L-061-16

Se muestra el porcentaje de remoción de color de la muestra, el cual contiene una concentración de color ligeramente bajo, sin embargo al añadir los coagulantes se observó una generación de turbidez con la Moringa O., mientras que con el Cloruro de hierro se generó un ligero color café característico de éste, mismo que se emplea en los pigmentos de hierro (y en la coloración de vidrios, cerámicas, azulejos, ladrillos) (OxyChile, 2004).

Mientras que la remoción más eficiente se dio empleando la Acacia se logra obtener una remoción del color en de hasta 50% con 1000 ppm.

Los resultados fueron un poco discrepantes con el tratamiento de moringa, este efecto se le puede atribuir en primer lugar a una fracción de la turbidez que no fue removible por filtración, así también al momento de hacer las diluciones para la lectura de color en el espectrofotómetro se generó una emulsión espontanea debido a que se genera una solución inestable de dos o más líquidos inmiscibles o parcialmente miscibles, esto favorecido por la fracción lipídica identificada en la muestra anteriormente con el fango flotante, y al hacer estas diluciones se afecta a los agente tensoactivos que suelen tener esta aguas textiles que mantienen el balance hidrófilo-lipófilo en la muestra, (Aranberri, 2006) por lo que se forman emulsiones de color blanco-lechoso. (Pereira, 2012).

Esta alta turbiedad generada por parte de la Moringa O. se puede observar en el grafico referente al porcentaje de remoción de turbidez desestabilizando la materia coloidal en solución pero no logra precipitar completamente, en el que se observa que empleando la acacia a 2000 ppm y Cloruro de hierro 1000 ppm se obtiene una reducción en un 27 %.

También la materia en flotación presente en la muestra tuvo impacto en el momento de determinar la materia en suspensión, por lo que se puede suponer se observa que en un principio los contaminantes se encontraban completamente disueltos en la muestra. Con la moringa se observa que de nuevo es el que genera mayor materia en suspensión en la fracción decantada con 2000 ppm (95.5 mg/L) y 1000 ppm (75.25 mg/L). Sin embargo esta concentración de MES aún se sigue considerando baja pues está cerca de los límites de vertido a aguas continentales (80 mg/L) de la norma (BOE, 2003) y sigue siendo baja en comparación a los límites de vertido depuradora municipal (750 mg/l)(DOGC, 2003.).

Una explicación posible a este fenómeno atípico puede estar basada en la sobredosificación de Moringa en la muestras, ya que al no poseer color y baja concentración de MES la concentración óptima de este coagulante para su tratamiento podía haber menor, aunque contiene una considerable concentración de materia orgánica. También se debe de señalar la buena capacidad de la Moringa O. para actuar como coagulante-floculante, haciendo énfasis en la capacidad floculante, porque se sabe que cuando se emplea en exceso un floculante se pueden obtener floculos de gran tamaño que tienden a flotar, así como una deficiente remoción de la turbidez. Así también se sabe que la Moringa oleífera es más eficaz del agua de alta turbidez en comparación con baja turbidez (Sánchez-Martín et al., 2010).

Por otro lado se logra una considerable reducción de la carga orgánica, empelando el Cloruro de hierro con más de un 70% de eliminación, mientras que con la acacia a 2000 ppm se logró eliminar poco más del 60%. Fig. 3-23.

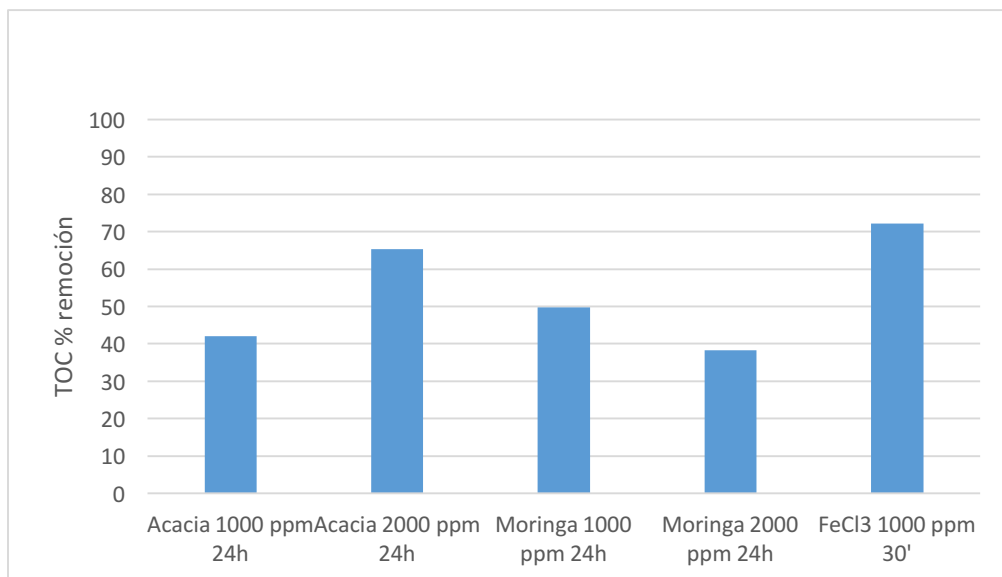


Ilustración 3-23 Porcentaje de remoción de TOC con los distintos coagulantes de la muestras

La conductividad de se mantuvo relativamente constante (6.3-6.5) con todos los coagulantes. Fig. 3-24

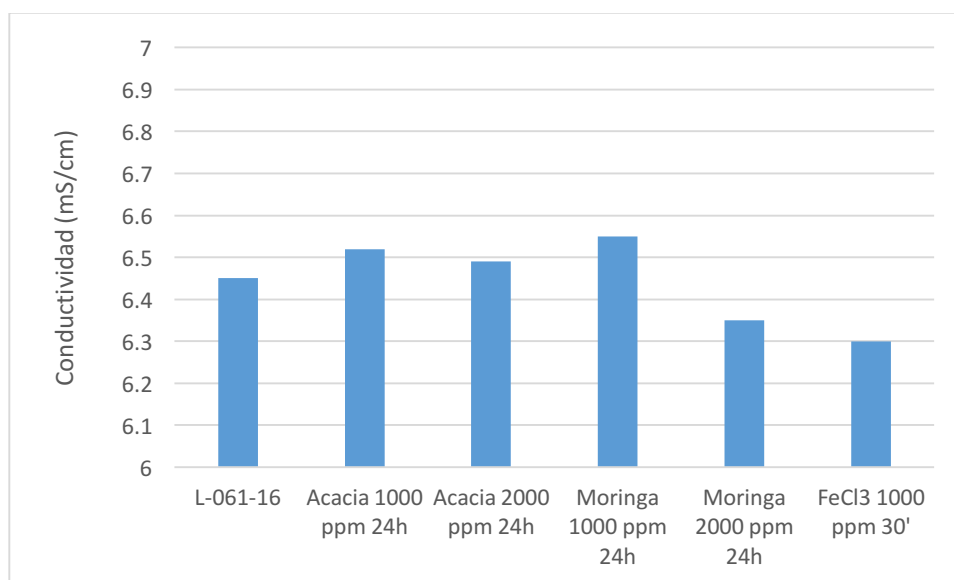


Ilustración 3-24 Comportamiento de la conductividad frente a los coagulantes empleados.

3.5 EXPERIMENTO IV: Tratamiento de agua residual homogenizada de la empresa textil 3 con coagulantes naturales

Se analizó la muestra L-064-16 la cual es agua de entrada a planta de tratamiento de agua residual de la empresa Textil 3, la cual presenta un color azul oscuro – gris, que pareciera estar suspensión. Fig. 3-25.

La caracterización de la muestra es la siguiente (Tabla 3-12) , en la que se observa que tiene un pH moderadamente alcalino, una conductividad baja, y un color menor a la concentración de color típica para esta aguas de industrias textiles de acabados de algodón. (López Grimau, Víctor; Crespi Rosell, Martín, 2015) También se observa que tiene una DQO baja en base a estos parámetros típicos. De hecho con estas características podría ser vertida la muestra a EDAR. (DOGC, 2003), Excepto por la MES que excede los límites y los valores típicos.

Tabla 3-12 Caracterización de a muestra L-064-16

Muestra	pH	Conductividad (mS/cm)	Turbiedad (UNT)	TOC (mg/L)	Color U.Pt/Co	DQO estimado (mg/L)	DQO leído (mg/L)	MES (mg/L)
L-064-16	8.65	5.84	41.8	165.35	232	496.05	627.9	2052



Ilustración 3-25 Muestra L-064-16 sin tratar.

La muestra se trató con 1000 y 2000 ppm de moringa O., 1000 y 2000 ppm de Acacia, 1000 ppm de FeCl₃ y 1000 ppm de TIDEC 700. Tabla 3-13

Tabla 3-13 . Tratamiento de la muestra de agua de entrada a planta de tratamiento L-064-16 con distintos coagulantes

Muestras	Tratamiento
L-064-16	Moringa 1000 ppm
	Moringa 2000 ppm
	Acacia 1000 ppm
	Acacia 2000 ppm
	FeCl ₃ 1000 ppm
	TIDEC 1000 ppm

Se obtuvieron de estos tratamientos muestras de sobre nadante bastante claras y translucidas. Fig. 3-26

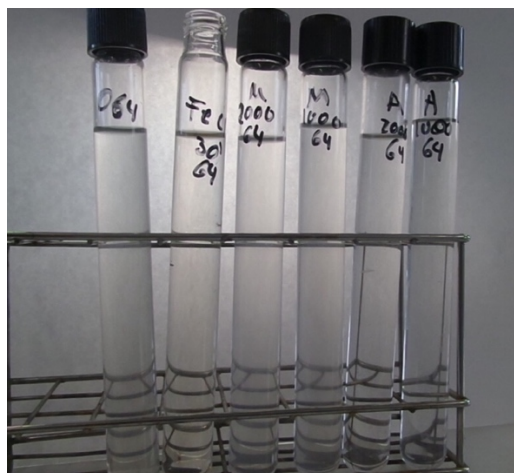


Ilustración 3-26 Muestras L-064-16 a los 30 min, (de izquierda a derecha) sin tratar, con 1000 ppm de FeCl₃; 2000 ppm de Moringa; 1000 ppm de Moringa; 2000 ppm de Acacia; 1000 ppm de Acacia.

Se obtuvieron resultados similares a los obtenidos en el experimento 2. Se observa que en la producción de fangos el FeCl₃ genero el mayor volumen de fangos (185 ml/L), esto concuerda con la literatura ya que genera fango muy diluido y poco concentrable (Crispi, M, 2015). Seguido por el TIDEC 700 y la Moringa O. con un volumen de alrededor de 100 ml/L. Fig. 3-27

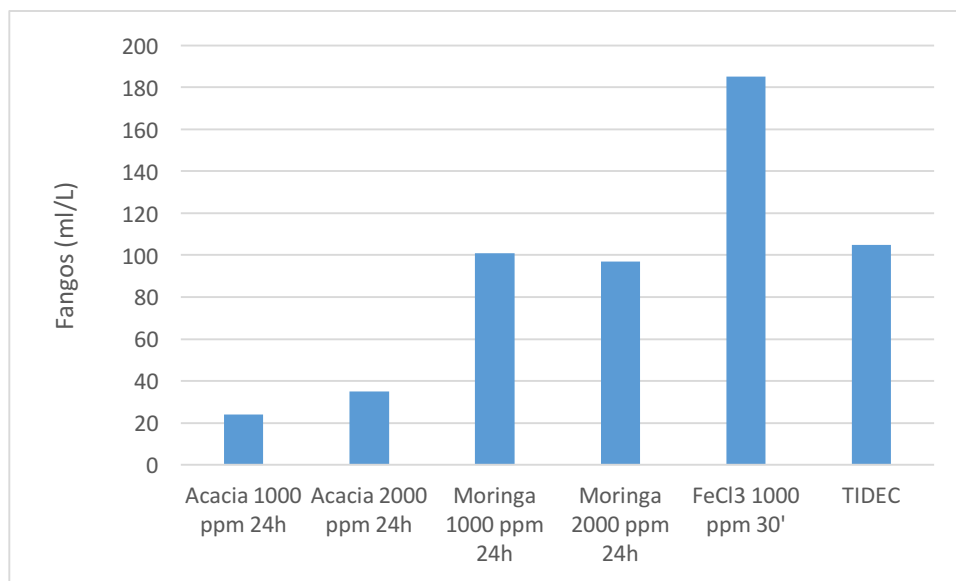


Ilustración 3-27 Fangos generados con los distintos coagulantes de la muestra de agua de entrada a planta de tratamiento L-064-16

Por otro lado se observó que esta muestra tuvo mayor respuesta de eliminación de color empleando el FeCl₃ (8 Unidades Pt/Co/L), por lo que se puede deducir que el color que fue removido era atribuido por compuestos orgánicos presentes en el agua. (OxyChile, 2004).

Por lo que no es una remoción de colorante, a que no es posible obtener estos porcentajes de remoción (Vilaseca, M, 2014) sino que este fue removido durante la filtración y la eliminación de la MES. También el uso de Acacia mostro buenos resultados de eliminación de estos compuestos, y se comprobó lo que marca a litera sobre la relación que guarda la eliminación de color aparente, respecto la turbiedad. (Skoronski, 2014). Fig. 3-28

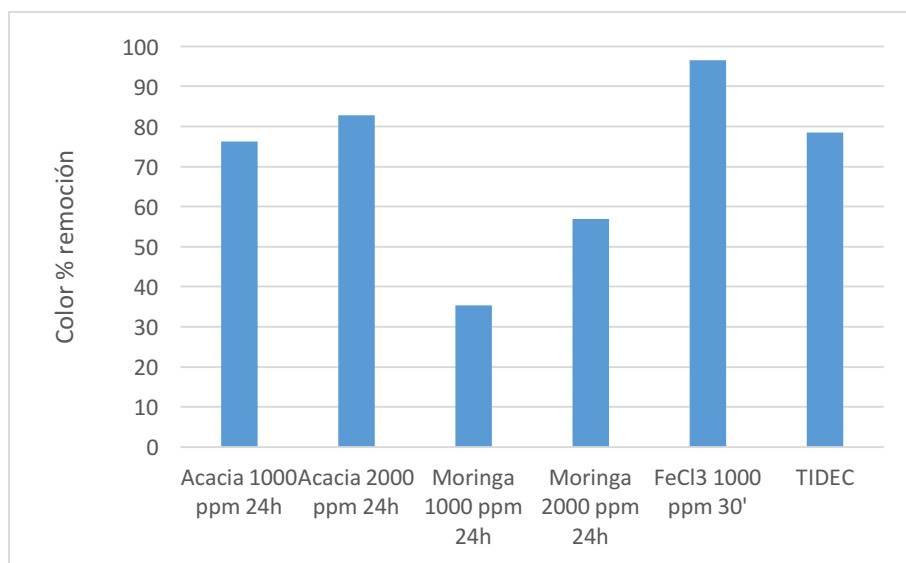


Ilustración 3-28 Porcentaje de eliminación del color con distintos coagulantes de L-064-16

Respecto la eliminación de la MES (Fig. 3-29) se observa que con todos los coagulantes se obtuvo una remoción mayor al 60%. Aunque la remoción con moringa fue la que dio ligeramente menor porcentaje de remoción de los demás coagulantes, con una concentración de 720 mg/L, el cual entra de los Límites permisibles para el vertido del agua en depuradora municipal. DOGC, 2003. El TIDEC que dio los mejores resultados elimino la MES hasta 43 mg/L, concentración que está por debajo del límite de vertido a aguas continentales (80mg/L) (BOE, 2003), y aunque otros coagulantes no alcanzan este mínimo, se logró reducir con la Acacia a 2000 ppm (134 mg/L) y con el FeCl₃ (240 mg/L) eficientemente la MES.

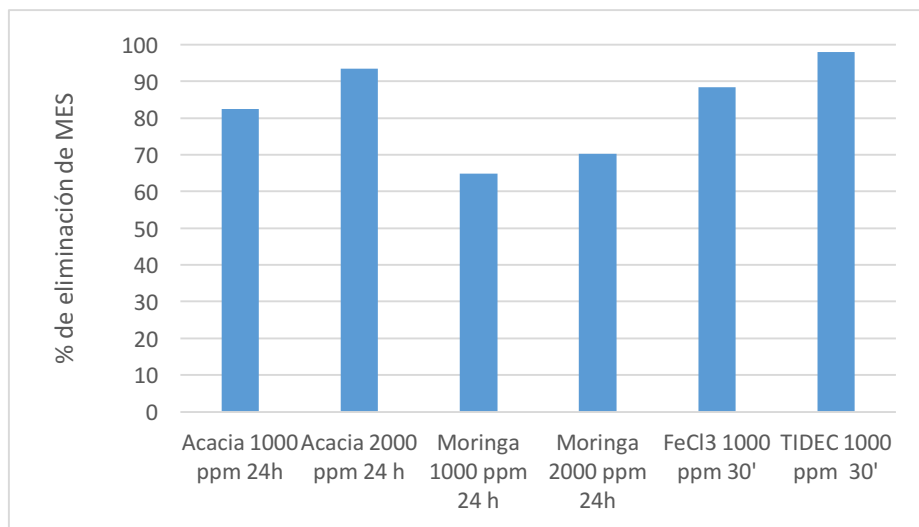


Ilustración 3-29 Porcentaje de eliminación de MES con los distintos coagulantes de la muestra L-064-16

Mientras que la turbiedad se comportó de manera muy similar a la MES, aunque se determinó que esta se logra determinar que empleado la acacia se logra eliminar cerca de un 90% de esta, efectividad confirmada en la literatura (Skoronski, 2014), mientras que su efectividad es seguida por el TIDEC con un 80% y muy cercano a los resultados obtenidos con FeCl₃. Sin embargo con Moringa O. se obtuvieron valores ligeramente superiores al 50%. Fig. 3-30.

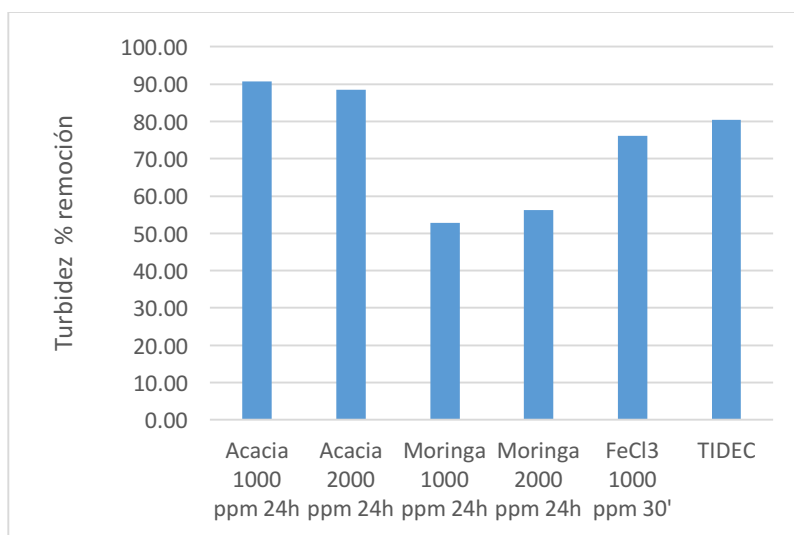


Ilustración 3-30 Porcentaje de eliminación de turbiedad con los distintos coagulantes L-064-16

También se puede observar respecto a la remoción de TOC (Fig. 3-31) que hay una remoción considerable de materia orgánica empelando el TIDEC, el FeCl₃ y la acacia a 2000 ppm. La cual sigue guardando un comportamiento similar respecto a la eliminación de color.

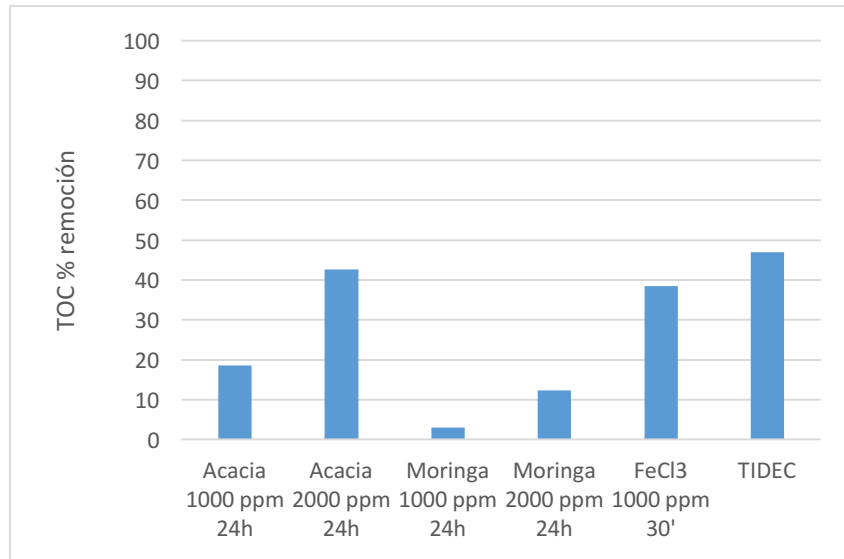


Ilustración 3-31 . Porcentaje de eliminación del color con distintos coagulantes L-064-16

Mientras que la conductividad se mantuvo relativamente constante, excepto por el FeCl₃, en el que se observó un aumento de esta. Fig. 3-32.

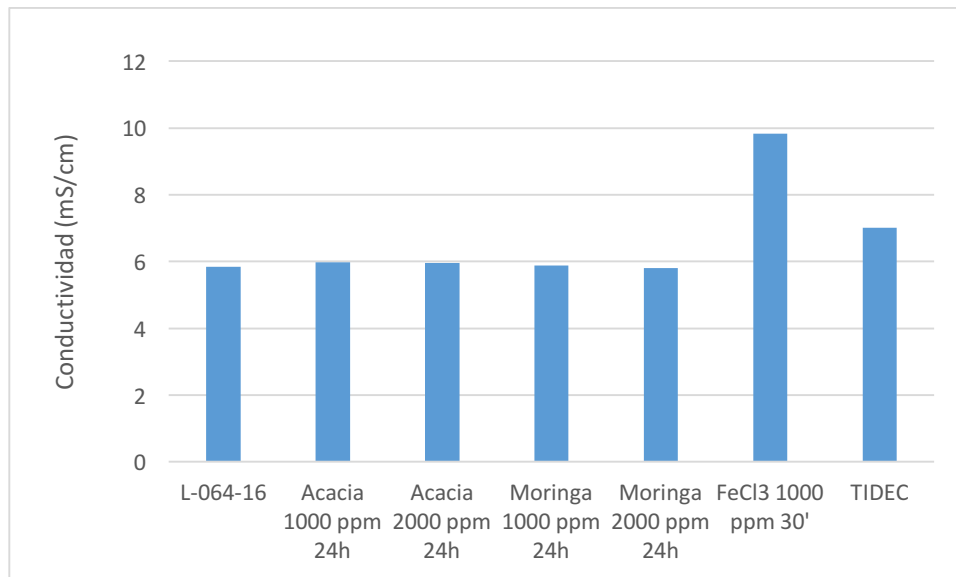


Ilustración 3-32 Comportamiento de la conductividad con distintos coagulantes en la muestra L-064-16

3.6 EXPERIMENTO V: Tratamiento y reciclado de aguas de tintura de la empresa textil 3 con coagulantes naturales

3.6.1 Experimento V – A: Tratamiento y reciclado de aguas de tintura con coagulantes naturales

En este experimento se analizaron dos muestras de agua; el agua del baño de tintura de la tintura con color morado (L-065-15) y agua del primer lavado de la tintura con color morado (L-066-15). Estas muestras son similares a las muestras analizadas en el experimento I.

Se realizó la caracterización de las muestras, y se observó que ambas muestras poseen un elevado pH y alta concentración de MES en relación a los parámetros típicos del sector textil de acabados de algodón. (López Grimau, Víctor; Crespi Rosell, Martín, 2015) Aunque se debe de señalar que concentración de MES del agua de tintura es menor a limitada en la norma de vertido a depuradora municipal (750 mg/l)(DOGC, 2003.) Mientras que el agua de lavado tiene muy elevada concentración de MES. También se puede destacar que la muestra L-065-16 del baño de tintura tiene alta conductividad en comparación a la muestra L-066-16 del agua de lavado. Mientras que La concentración de DQO es menor a la concentración de DQO típica, y es menor a la permisible de verter en EDAR (1500 mg/L). Tabla 3-14.

Tabla 3-14 Caracterización de las muestra de agua de tintura L-065-16 y agua de primer lavado L-066-16.

Muestra	pH	Conductividad (mS/cm)	Turbiedad (UNT)	TOC (mg/L)	Color (L= 546 nm)	Color (Pt/Co)	DQO estimado (mg/L)	MES (mg/L)	DOQ leído (mg/L)
L-065-16	10.41	86.8	3.16	357.75	1.386	3609	1073.25	476	250
					(L= 543.5 nm)				
L-066-16	10.65	27	75.2	260.5	1.29	1934	781.5	5220	390.75

Por otro lado el color de la muestra L-065-16 se determinó la absorbancia inicial en base al SAC (coeficiente de absorción espectral) a 546 nm, mientras que para la muestra se determinó a esta absorbancia inicial a 543 nm, cuyas longitudes onda soy muy cercanas, y haber evaluado ambas muestras a la misma longitud de onda o a una longitud de onda intermedia no hubiera generado un error considerable en esta medición ya que se trata de la evaluación del mismo colorante. Por lo tanto, como era de esperarse, las muestra de baño de tintura tiene una mayor carga de contaminantes en comparación a las muestras de primer lavado.

Tratamiento de la muestra L-065-16

Primeramente se hizo el análisis de los tratamientos con coagulante de la muestra de baño de tintura.

Se trató la muestra L-065-16 con los mismos coagulantes que el experimento anterior; 1000 y 2000 ppm de moringa, 1000 y 2000 ppm de Moringa; 1000 y 2000 ppm de Acacia; 1000 ppm de FeCl₃ y 1000 ppm de TIDEC. Tabla 3-15.

Tabla 3-15 Tratamiento de la muestra de agua de tintura L-065-16. con distintos coagulantes.

Muestras	Tratamiento
L-065-16	Moringa 1000 ppm
	Moringa 2000 ppm
	Acacia 1000 ppm
	Acacia 2000 ppm
	FeCl ₃ 1000 ppm
	TIDEC 1000 ppm

Se observó que con el uso de TIDEC 700 se obtuvo el volumen más grande de fangos (> 250 ml) en comparación a los generados con los otros coagulantes, y de todas las muestras. Por lo que se observa la superioridad que tiene este producto sobre otros coagulantes. Seguido por el la Moringa O. a 2000 ppm (100 ml/L). Fig. 3-33.

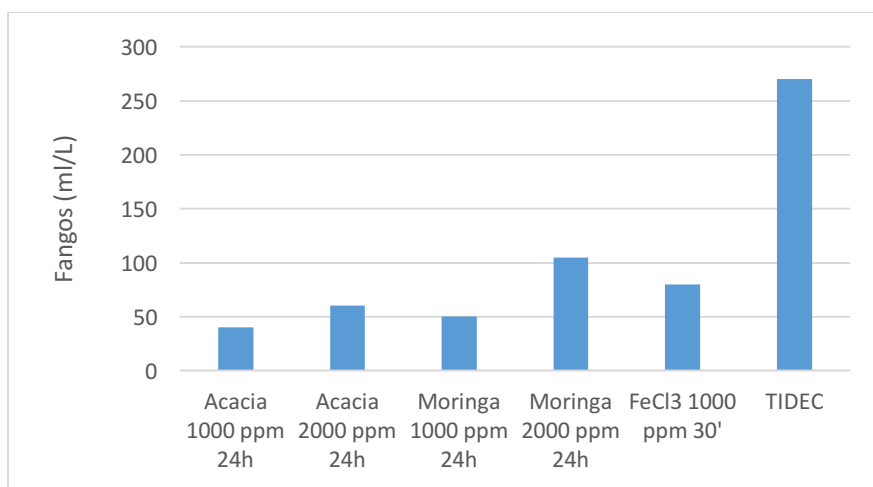


Ilustración 3-33 Fangos generados con los distintos coagulantes de la muestra de agua de tintura L-065-16

Respecto la remoción de color, se observó que la mayor remoción de color se logró con el producto TIDEC, logrando la remoción de alrededor del 80% de color de la muestra, mientras que fue seguido por la moringa a 2000 ppm con la remoción superior al 40%. La remoción con acacia no fue muy efectiva, y se observa que el FeCl₃ no elimino nada de color. Fig. 3-34.

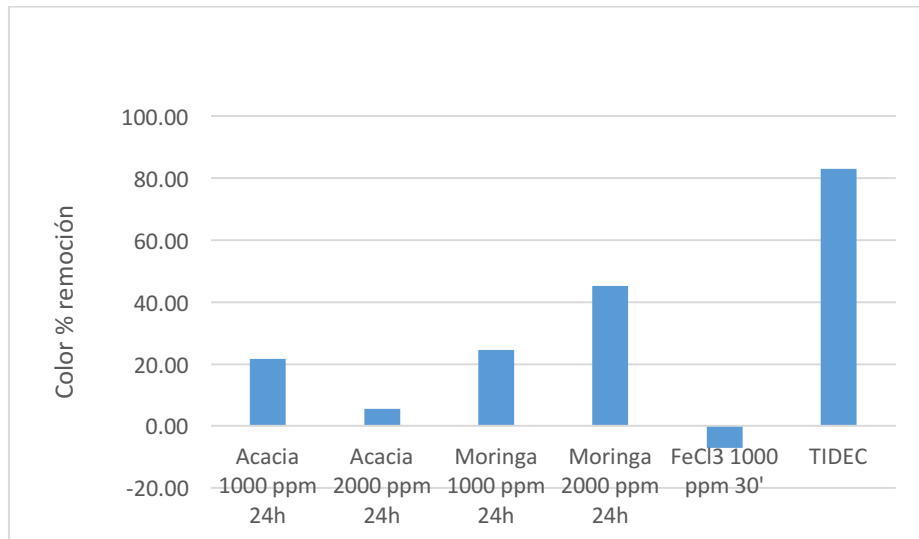


Ilustración 3-34 Porcentaje de remoción de color con los distintos coagulantes de la muestra de agua de tintura L-065-16

Por otro lado se observa que respecto la remoción de MES , todos los coagulantes actuaron satisfactoriamente removiendo más del 80%, donde el menor rendimiento lo tuvo el FeCl₃ reduciendo a 86 mg/L, los cuales están muy cercanos a los límites permisibles para el vertido a aguas continentales, que es 80 mg / l (BOE, 2003), se interpreta lógicamente que los demás coagulantes si alcanzan dicho límite de sólidos en suspensión y se observa que la acacia removió cerca del 95%, alcanzando los 20 mg/l de MES. Fig. 3-35.

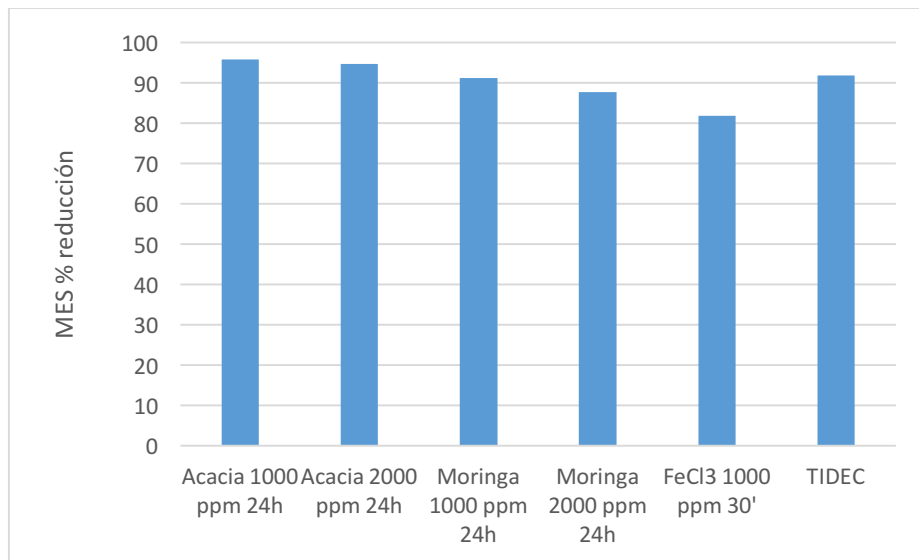


Ilustración 3-35 Porcentaje de remoción de MES con los distintos coagulantes de la muestra de agua de tintura L-065-16

Respecto a la carga orgánica, se analizó el TOC, el cual se observa que el TIDEC y el FeCl₃ es que fueron los más efectivos se logra una remoción de más de un 50% , pues como sabemos según la literatura es eficiente en la remoción de compuestos orgánicos (OxyChile, 2004), seguido por la eficiencia del TIDEC 700 con más de un 60% de remoción. Mientras que con la acacia y la moringa se obtiene una remoción aproximada del 10 al 20 % de TOC. Fig. 3-36.

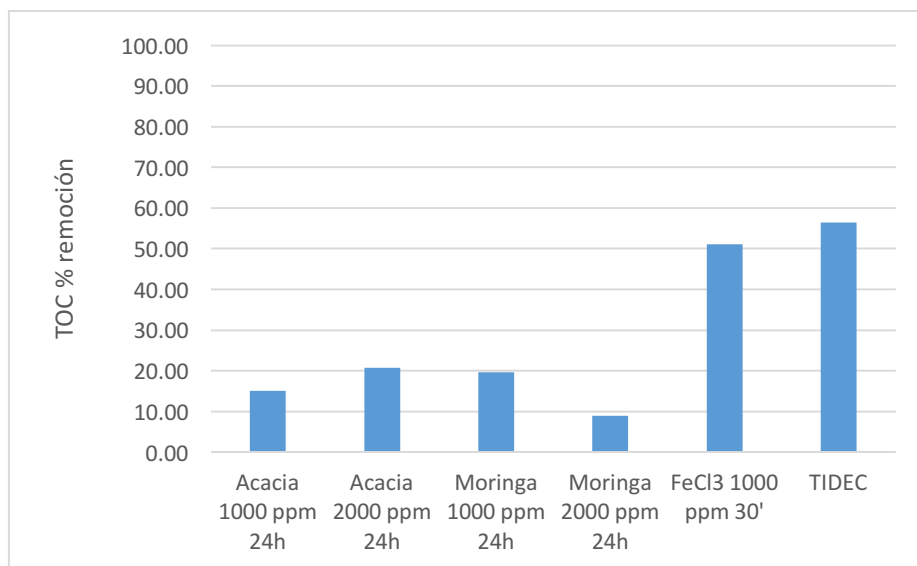


Ilustración 3-36 Porcentaje de remoción de MES con los distintos coagulantes de la muestra de agua de tintura L-065-16

En base a este parámetro, se puede suponer la reducción de la DQO, la cual tendría idealmente una relación directa de remoción, aunque realmente este parámetro de la muestra sin coagulante ya se encuentra dentro de límite permitido para el vertido a EDAR DOGC, 2003, por lo que se podría suponer que el TIDEC 700 tendría aproximadamente 110 mg/l.

Tratamiento de la muestra L-066-16

La muestra L-066-16, de agua de primer lavado del teñido color morado se sometió a los mismos coagulantes (Tabla 3-16).

Tabla 3-16 Tratamiento de la muestra de agua de agua de tintura L-065-16. con distintos coagulantes.

Muestras	Tratamiento
L-066-16	Moringa 1000 ppm
	Moringa 2000 ppm
	Acacia 1000 ppm
	Acacia 2000 ppm
	FeCl ₃ 1000 ppm
	TIDEC 1000 ppm

Se observó una a simple vista el cambio en la coloración de las muestras, en donde se observa que en las muestras tratadas con moringa se eliminó eficientemente el color Fig. 3-37, lo mismo sucedió con el TIDE 700.



Ilustración 3-37 Muestras L-066-16 tratadas 24h (De izquierda a derecha) Muestra original, Acacia 1000 ppm, Acacia 2000 ppm, Moringa 1000 ppm, Moringa 2000 ppm.

Se observó que el coagulante con mejores resultados fue el TIDEC 700, con un volumen de 110 ml/L. Mientras que con Cloruro de hierro y moringa a 2000 ppm se generaron cerca de 70 ml/L. Fig. 3-38. Se debe de destacar que la Moringa produce menor volumen de fango que el TIDEC 700, este último produce cerca de un 36% más de fangos.

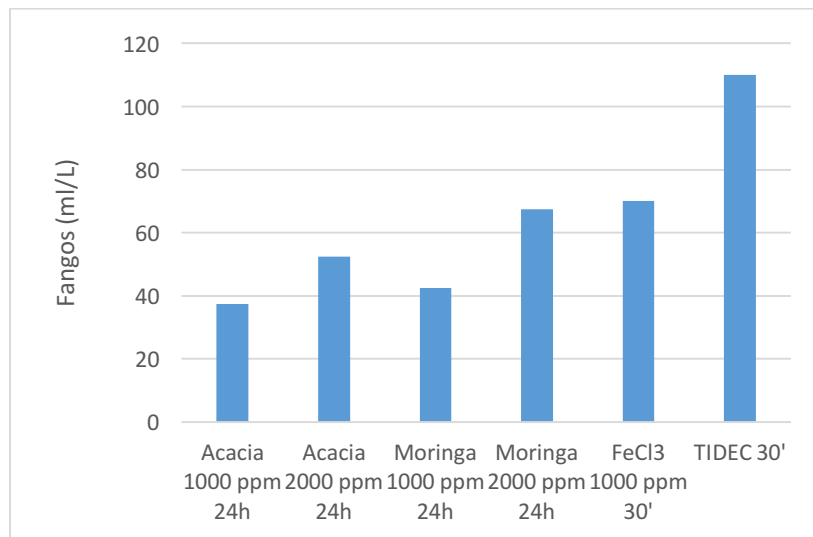


Ilustración 3-38 Fangos generados con los distintos coagulantes de la muestra de agua de lavado L-066-16

Se observó que la remoción de color fue bastante eficiente empleando TIDEC 700 y moringa a 2000 ppm, con una remoción del 83%, seguido de la Moringa a 1000 ppm con reducción de más del 70%. Mientras que los otros coagulantes no fueron eficaces para la eliminación del color. Fig. 3-39.

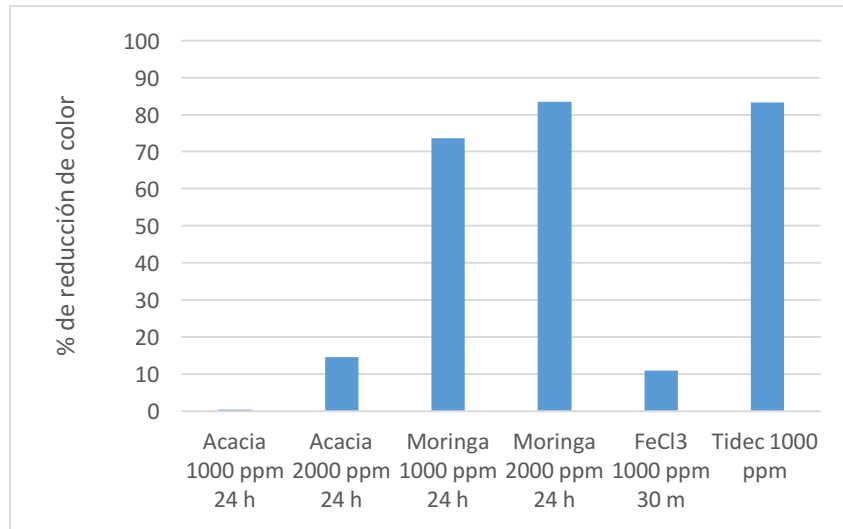


Ilustración 3-39 Porcentaje de eliminación de MES con los distintos coagulantes de la muestra de agua de lavado L-066-16

Se observa que en la remoción de MES se observó que el mismo comportamiento que la remoción que se dio con la muestra de agua de tintinara, solo, que se logró menor porcentaje de reducción con moringa y con FeCl₃ (desde 2580 mg/L) lo que supone es una concentración alta de MES, mientras que con la acacia se consiguió más que el 85 % de eliminación, cumpliendo los límites de vertido a EDAR, y con el TIDEC la eliminación es casi total (57 mg/L). Fig. 3-40.

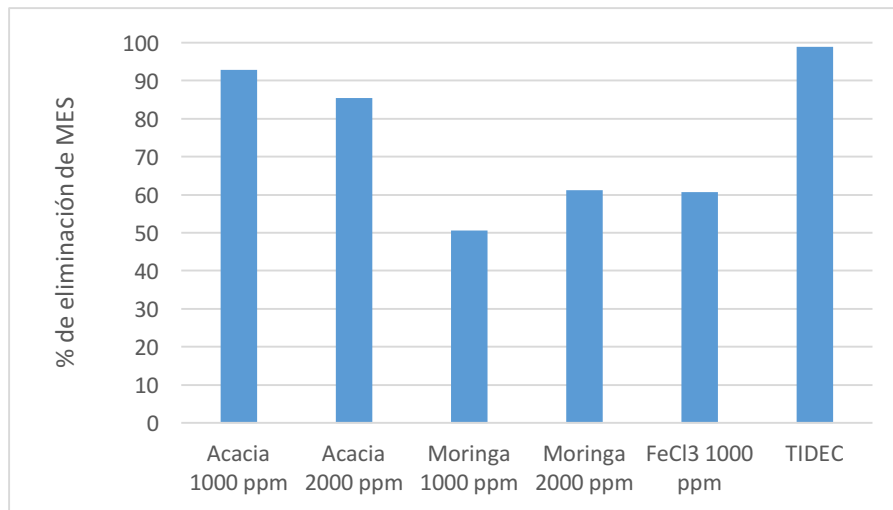


Ilustración 3-40 Porcentaje de eliminación de MES con los distintos coagulantes de la muestra de agua de lavado L-066-16

Se observó que en la eliminación del TOC, el TIDEC y la acacia a 1000 ppm dieron mejores resultado, mientras que la moringa a 2000 ppm que fue el que menor concentración de este parámetro elimino siendo del 22%. Fig. 3-41

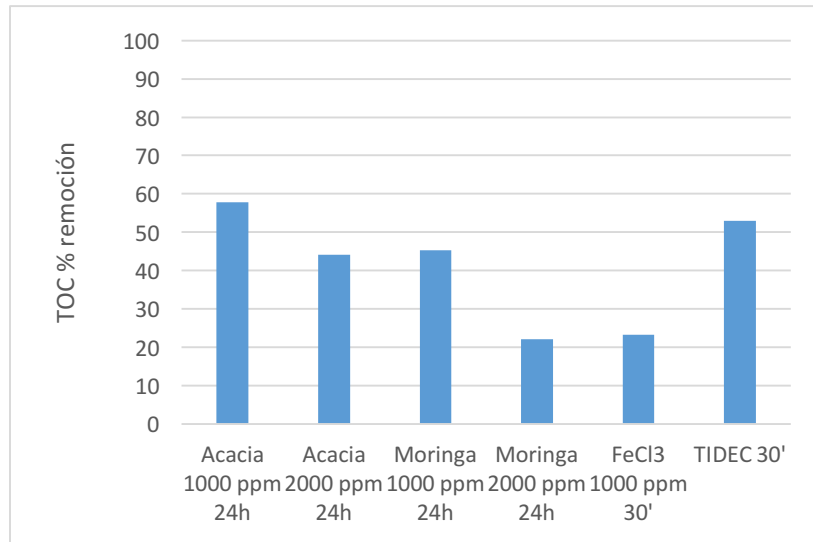


Ilustración 3-41 Porcentaje de eliminación de TOC con los distintos coagulantes de la muestra de agua de lavado L-066-16

De igual manera como se hizo con la muestra L-066-16, si se hace la suposición de la relación directa con la remoción de TOC con la de DQO, aunque sabemos de antemano que la muestra cumple con los límites de DQO para ser tratado en una EDAR en base solo a este parámetro. Por lo que se obtendría un valor aproximado de 312 mg/l empleado Moringa a 2000 ppm, mientras que con la acacia a 1000 ppm o el TIDEC se obtendría alrededor de 170 mg/L.

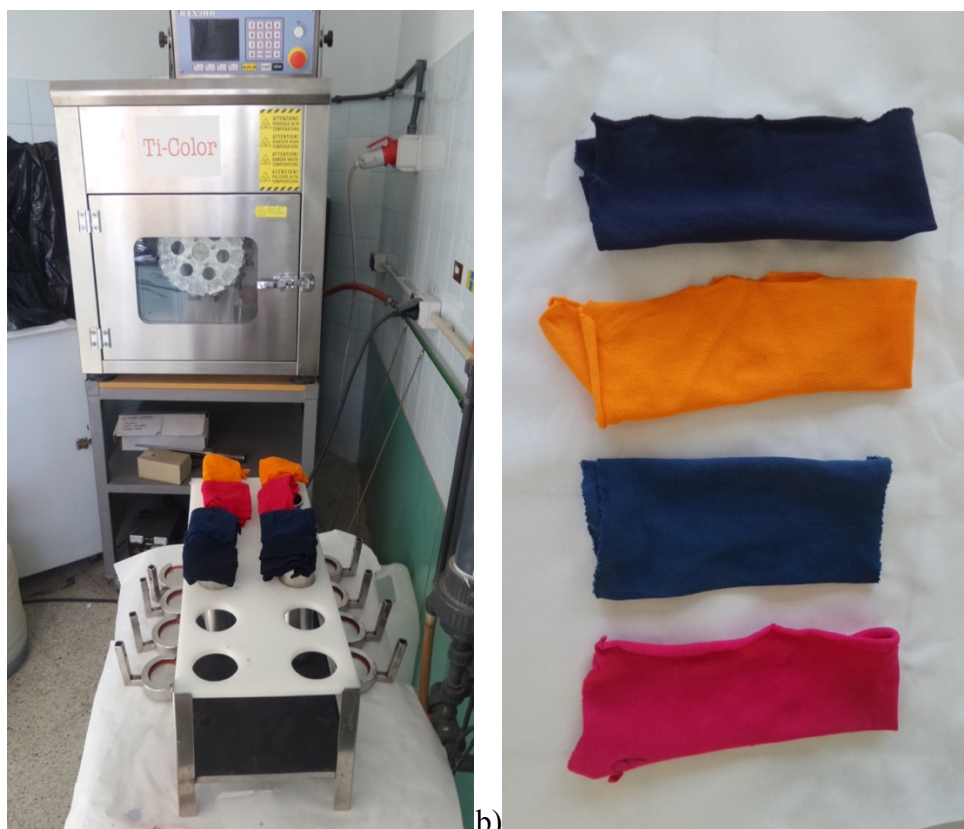
3.6.2 Experimento V –B: Reciclado de aguas de tintura con Moringa

Se replicó el tratamiento de agua del primer lavado con 1000 ppm y con 2000 ppm de moringa, para obtener agua sobrenadante, a partir del cual se efectuaron las tinturas, con los colorantes Navy Procion H-EXL, Yellow Porcion H-EXL, Crimson Porcion H-EXL y una Tricromía que combinaba los 3 colores anteriores. Tabla 3-17

Tabla 3-17 Distintos tipos de agua y tinturas realizadas con estas.

Muestras	Tintura con:
Sobrenadante del tratamiento de agua L- 066-16 con 1000 ppm de moringa O.	Navy Procion H-EXL Yellow Porcion H-EXL
Sobrenadante del tratamiento de agua L- 066-16 con 2000 ppm de moringa O.	Crimson Porcion H-EXL Tricromía

Posteriormente de obtener las telas, que visualmente se apreciaban estar realizadas correctamente. Fig. 3-42. Se prosiguió determinando la calidad de estas telas empelando el espectrofotómetro CM-3600d.



1. *Ilustración 3-42 a) Equipo empleado para realizar las tinturas, b) Tinturas realizadas con los distintos colorantes.*

Análisis de las telas teñidas

NAVY

Se determinaron las diferenciales de la calidad de los teñidos de evaluando la claridad (L), croma (C) o intensidad y matiz (H). Tabla 3-18. En caso de la tintura con Navy Procion H-EXL se observó que en el caso de la tintura con el sobrenadante del agua de la muestra L-066-16 tratado con 1000 ppm no sobrepaso la unidad en ninguno de los tres parámetros. Mientras que con el agua tratada con 2000 ppm de moringa se observa que la muestra tiene una diferencia en el matiz, que supera la unidad, misma que supera la unidad en DE CMC2:1.

Tabla 3-18 Teñido con Navy empleando agua de lavado (L-066-16) tratada con 1000 ppm y 2000 ppm de Moringa O.

L- 066-16 con:	DL	DC	CH	DE CMC 2:1
1000 ppm	-0.8096	-0.2055	-0.7893	0.8313
2000 PPM	-0.5681	-0.2645	-1.4698	1.2069

Por lo que para esta muestra que tiene una DE CMC 2:1 de 1.2069 no cumple la calidad óptima deseada en relación a la referencia empleada. Mientras que la tratada con 1000 si cumple la calidad esperada.

YELLOW

Se observa que las tinturas con Yellow Porcion H-EXL se ve menos afectado por las variaciones de croma y matiz, ya que aunque estos exceden la unidad, sin embargo el valor de DE CMC 2:1, es menor a la unidad, por lo que se considera que una tintura realizada correctamente con poca diferencia entre la referencia con ambas muestras de agua. Tabla 3-19. Por lo que con esta agua no se tiene problema para realizar tinturas de este color.

Tabla 3-19 Teñido con Yellow empleando agua de lavado (L-066-16) tratada con 1000 ppm y 2000 ppm de Moringa O.

L- 066-16 con	DL	DC	CH		DE CMC 2:1
1000 ppm	0.1057	-3.202	1.0297		0.3429
2000 PPM	0.4329	-2.1138	0.8667		0.3060

CRIMSON

También se evaluó la calidad de Crimson Porcion H-EXL, en la que se observa que hubo una diferencia de la claridad y el Croma tiene diferencia de mayor a la unidad, sin embargo la evaluación general de la calidad de la tintura se determinó que tiene una calidad correcta, menor a la unidad. Tabla 3-20. Por lo que el agua empleada es óptima para la tintura.

Tabla 3-20 Teñido con Crimson empleando agua de lavado (L-066-16) tratada con 1000 ppm y 2000 ppm de Moringa O.

L- 066-16 con	DL	DC	CH		DE CMC 2:1
1000 ppm	1.1141	1.6411	-0.0405		0.6709
2000 PPM	1.2558	1.6706	-0.3183		0.7500

TRICROMIA

Por último se evaluó la calidad la calidad de la tintura de la Tricromía y se observa que discrepa bastante en el matiz. Lo que se vio reflejado en el valor DE CMC 2:1, debido a este valor supera la unidad esta tintura no es aprobada.

Tabla 3-21 Teñido con Tricromía empleando agua de lavado (L-066-16) tratada con 1000 ppm y 2000 ppm de Moringa O.

L- 066-16 con	DL	DC	CH		DE CMC 2:1
1000 ppm	1.3573	1.3117	-4.295		6.8261
2000 PPM	1.4872	1.4593	-4.2545		6.8088

3.7 EXPERIMENTO VI: Efecto del extracto de Acacia M. en soluciones de colorante reactivo

Se evaluó la eficiencia de remoción de colorante empleando soluciones de colorante a 0.1 g/L de colorante (Crimson; Navy; Yellow) y 60 g/L NaCl a un pH de 9, empleando distintas concentraciones de coagulante de extracto de Acacia, a 250, 500, 750 y 1000 ppm.

Se midió el color en base al coeficiente de absorción espectral (SAC) donde se determinó la longitud máxima de onda (λ máx.) para cada colorante: 546 nm para Procion Crimson, 606 nm para H-EXL, Procion Navy H-EXL y 420 nm para Procion Yellow H-EXL.

Se observó que la eficiencia de remoción de colorante incrementa conforme aumenta la concentración de colorante, alcanzando una remoción cerca del 100% empleado una concentración de acacia de 1000 ppm, sin embargo a concentraciones de 750 ppm se obtienen buenos resultados remoción (>80%) empleando Acacia a una concentración de 750 ppm. Fig. 3-43.

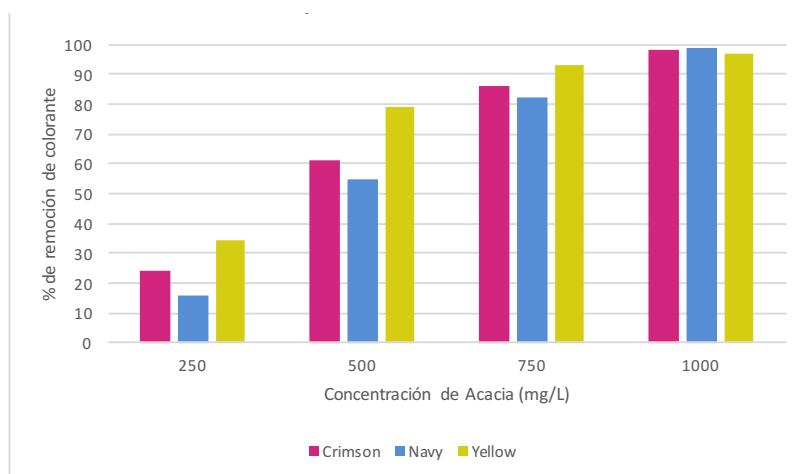


Ilustración 3-43 Influencia de la concentración de Acacia en la eficiencia de remoción de colorante

La capacidad de la acacia para eliminar colorantes está comprobada {Sanchez-Martin2012}, con los colorantes Alizarin violet 3R (colorante antraquinonico), Erioglauцина (colorante trifenilmetano), Indigo Carmine (colorante indigotindisulfonato) con una alta eficiencia.

Por otro lado estos valores se pueden contrastar con los resultados obtenidos con Moringa Oleífera {Vilaseca2014} en similares concentraciones y condiciones de colorante (0.1 g/L de colorante [Crimson; Navy] y 60 g/L NaCl a un pH de 9) donde se observó que a 750 ppm se obtuvo más del 90% de eliminación de colorante.

También se evaluó el efecto del pH en la eficiencia de remoción de colorante empleando soluciones de colorante a 0.1 g/L de colorante (Crimson; Navy; Yellow) y 60 g/L NaCl, empleando una concentración de coagulante de extracto de Acacia de 750 ppm.

Se observó que el coagulante de extracto de Acacia mantuvo su eficiencia de eliminación de colorante empleado soluciones colorantes de pH 5 y 9. Mientras que por el contrario esto no fue así en soluciones colorantes de pH 11, donde vio muy afectada removiendo un porcentaje mínimo de colorante (10 – 15 %). Se observa que la diferencia de eficiencia de remoción entre el pH 9 a 11 es muy marcado. Fig. 3-44.

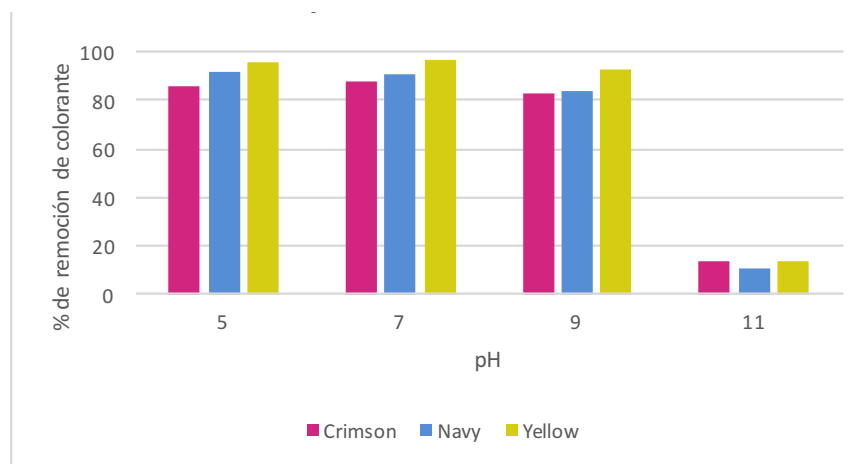


Ilustración 3-44 Influencia del pH en la eficiencia de remoción de colorante con Acacia

Estos resultados se pueden comparar contra resultados obtenidos por otros investigadores por se determinó que la eficiencia de eliminación con extracto de acacia del colorante Erioglaucina (trifenilmetano) y el colorante Alizarin Violet 3R, así como colorantes antraquinonicos que se vieron afectado por el pH, teniendo los mejores resultados a un pH ácido, mientras que a pH alcalinos la eficiencia decae. Sin embargo en este caso la eficiencia baja gradualmente. Se le atribuye este efecto de a la desnaturalización parcial de los taninos del extracto de acacia causada por los grupos hidroxilos generados a pH alcalino. (Sanchez-Martin2012)(Sanchez-Martin2011)(Beltran-Heredia2011) .

También se sabe que la eficiencia de eliminar surfactantes (tensoactivos) es mayor a un pH ácido (pH 5- 6) y muy bajo en medio alcalino. (Sanchez-Martin2011).

3.8 ANALISIS DE LA SAL REMOVIDA CON MORINGA O.

Se hizo el análisis de la reducción de sal con los tratamientos de moringa de las distintas muestras con alta concentración de sal. En el tratamiento de los efluentes de baño de tintura y de primer lavado se logra observar que hay un ligera eliminación de los cloruros de las muestras tratadas con Moringa Oleífera a 1000 y 2000 ppm, este varía dependiendo si se trata del baño de tintura o el agua de lavado, pues para el primero de ellos que tiene alta concentración de cloruros, mayo a 45000 mg/L, se observó una eliminación moderada del 36%, mientras que para el agua de primer lavado, que tienen una concentración 3.5 veces menor de sal, se obtuvieron resultados que están alrededor del 7 y 18 % de eliminación. Tabla 3-.22.

Tabla 3-22 Evaluación de la reducción de la concentración de sal.

Muestra	Baño de Tintura color morado		
Muestra A L-018-16	Cloruros (mg/L)	NaCl (g/L)	Conductividad (mS/cm)
Muestra Original	45215.2	74.91	99.9
Tratamiento con 1000 ppm de moringa	29153.7	48	93.2
Muestra	Agua de Lavado color morado		
Muestra B L-019-16	Cloruros (mg/L)	NaCl (g/L)	Conductividad (mS/cm)
Muestra Original	12657.3	20.97	31.5
Tratamiento con 1000 ppm de moringa	11691.6	19.37	30.3
Muestra	Agua de Lavado color morado		
Muestra A L-066-16	Cloruros (mg/L)	NaCl (g/L)	Conductividad (mS/cm)
Muestra Original	12151.1	20.03	27.2
Tratamiento con 1000 ppm de moringa	10289.0	16.96	26.3
Tratamiento con 2000 ppm de moringa	10014.1	16.5	26.1

Se pueden observar estos resultados expresados en porcentaje de reducción en la siguiente imagen. Fig. 3-32, Se observa que la reducción va desde 7 – 35% de remoción de NaCl, los cuales son buenos resultados, ya que se busca la reutilización de esta solución salina para tintura.

La eficiencia de la remoción de iones de salinidad que va de 60-70% y que es directamente proporcional a la dosis de moringa e independiente del pH del agua. (C. Martí, 2013.)

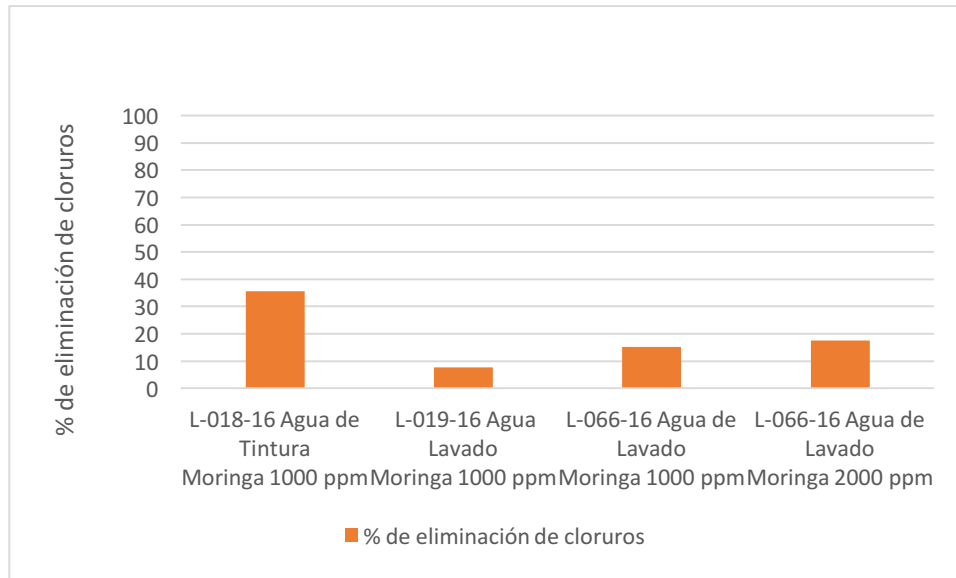


Ilustración 3-45 Porcentaje de reducción de la cloruros..

3.9 DISCUSIONES GENERALES

Se puede considerar una relación entre DQO y DBO₅, en relación a biodegradabilidad del efluente, y sabemos que los efluentes industriales del área textil, tejido y acabado de algodón son poco biodegradables. Por lo que se puede considerar una relación mayor a 5 ($DQO/DBO_5 > 5$) en las aguas de provenientes de baño de tintura y agua de lavado (Martí Crespi, 2015), mientras que en las aguas que provienen del homogeneizador de la planta de tratamiento son más biodegradables que las anteriores mencionadas, ya que en esta se mezclan todos los efluentes que se generan en la industria, incluyendo las aguas de los sanitarios, comedores y las aguas industriales en general, por lo que para estos últimos se pueden considerar efluentes con dificultades biodegradables con una relación de DQO/DBO₅ menor a 5.

Se logró hacer satisfactoriamente la reutilización de agua de procesos de tintura y lavado de color morado. Esto depende dos factores: el colorante empleado, en este caso se obtuvieron mejores resultados con el colorante Yellow Porcion H-EXL y Crimson Porcion H-EXL; y la calidad del agua reutilizada, que con un color menor 800 Unidades Pt/Co dio buenos resultados. Esta calidad de agua tratada se logra obtener con 1000 y 2000 ppm, y depende de la concentración inicial de colorante (esto probado con las aguas de tintura morada así como su lavado).

También se debe de considerar que las muestras aportadas de las empresas textiles fueron obtenidas del homogeneizador, para como su nombre lo dice obtener una muestra homogenizada general del agua de la industria, sin embargo se debe de considerar que puede existir cierta interferencia debido a la presencia de fangos recirculados para mantener la carga microbiana en esté tanque, sin embargo también estos fangos pueden contener una fracción de coagulante empleado en la industria.

Se pueden destacar algunos aspectos relevantes del uso de la solución de semilla de **Moringa Oleifera** desengrasada

Respecto la conductividad se vio poco afectado por la moringa en todas las muestras, aunque se observó una ligera disminución de esta. Así como una reducción de cloruros de hasta un 35%.

Se comprobó que la producción de fangos con Moringa Oleifera fue menor que la generada con las sales de aluminio, principalmente cuando eran muestras con alta concentración de materia en suspensión. (Bhatia et al., 2007) (Vieira et al., 2009)

Remoción de Color

Se puede hacer como mención general que la moringa resulta muy útil para remover el color de las muestras de agua de lavado del proceso de teñido empleando una concentración de 2000 ppm, aunque si se emplea mayor concentración se logran mejorar los resultados dependiendo de la concentración de colorante a remover. Pues se observó que con la misma concentración de moringa en las muestras de agua de tintura la moringa tuvo menor porcentaje de remoción.

También se sabe que la moringa tienen mayor eficiencia de remoción sobre colorantes reactivo que poseen más de 4 grupos sulfónicos, por lo que es de suponer que los colorantes obre los cuales tuvo mayor eficiencia la moringa posean esta característica pues estos grupos facultan la eliminación de color. (Vilaseca, M, 2014)

La remoción de colorante reactivo en las aguas de teñido, tanto de tintura como de lavado empleando la moringa se dio con el comportamiento que se observa en la figura Fig. 3-46, en el que se observa que a mayor cantidad de colorante la capacidad de remoción decrece de manera gradual, aunque se mantiene la capacidad de remoción en un amplio espectro después de este punto el cual va decayendo lentamente. Se observa que a mayor concentración de Moringa tiene mayor capacidad de eliminación de colorante. Por lo que soluciones de color menores a 2000 Unidades Pt/Co/L pueden ser tratadas eficientemente con soluciones de 1000 ppm de Moringa O. y soluciones de color con más de esta concentración de color se recomienda ser tratadas con 2000 ppm de Moringa O.

Otro punto importante a señalar es que se pueden eficiencias de remoción de color muy similares a las obtenidas con el TIDEC 700 con menor volumen de producción de fangos, siendo alrededor de 2/3 del volumen que se produce que el coagulante químico.

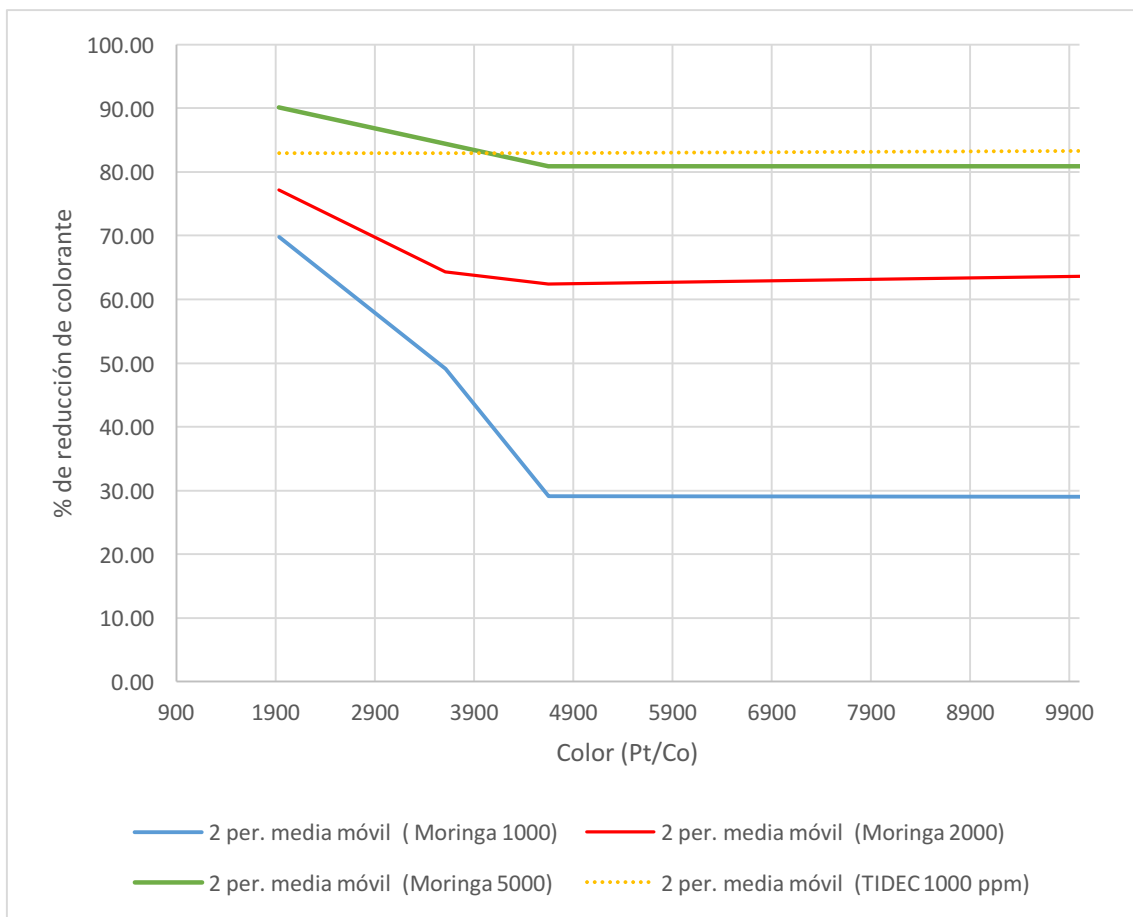


Ilustración 3-46 Capacidad de reducción de color de Moringa a 1000, 2000, 5000 ppm. Comparado con TIDEC a 1000 ppm.

Remoción de Carbón Orgánico

Se observó que tiene una capacidad de remoción de carbón orgánico moderada, logrando remover desde 0 hasta 70%, dependiendo de la concentración de MES presente en la muestra, a mayor MES menor reducción de TOC.

Así como se debe de señalar que en la bibliografía se encontró que a un pH de 5, se dan las condiciones óptimas de remoción de materia orgánica. (Hemapriya, 2015)

Materia en Suspensión

Por otro lado se identificó que el porcentaje de remoción de MES depende de la concentración de MES inicial de la muestra a tratar, ya que en muestras con baja concentración se obtienen buen porcentaje de remoción de es esta, pero en muestras con una MES elevada se reduce la capacidad de remoción. Así como también se obtuvieron mejores resultados con Moringa a 2000 ppm que con 1000 ppm. Fig. 3-47

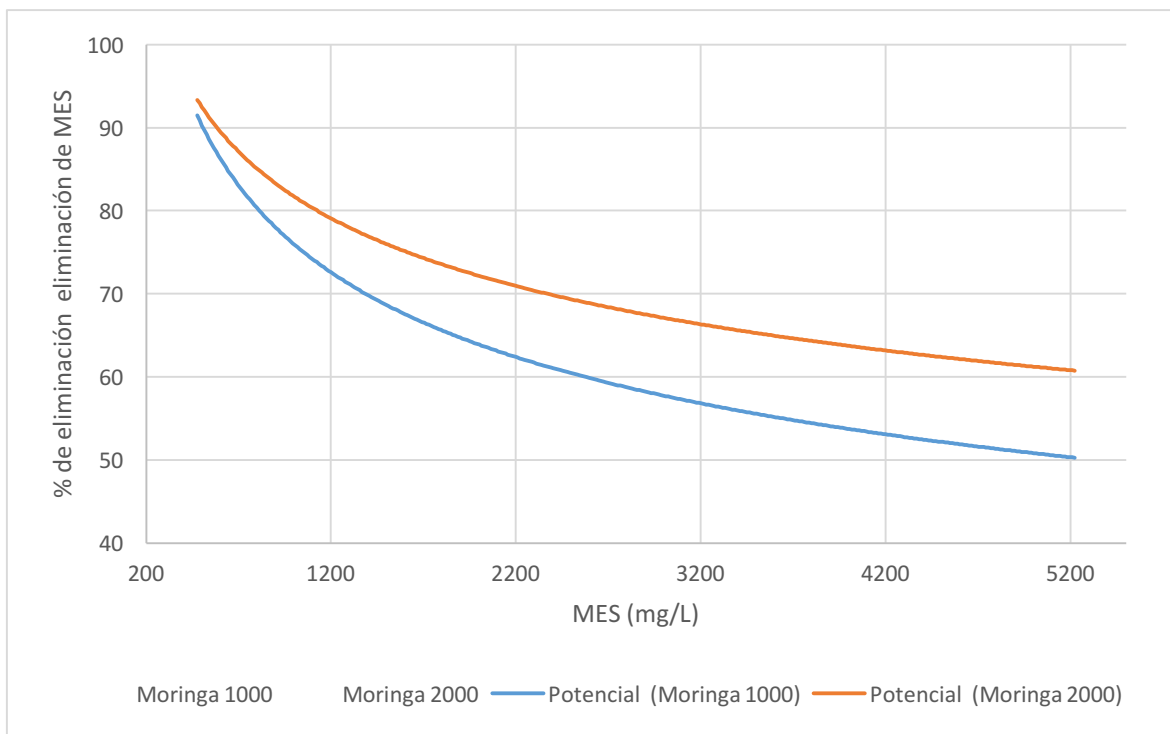


Ilustración 3-47 Comportamiento de la eliminación de MES con Moringa O. a 1000 y 2000 ppm.

En las muestras donde el color resulto estar en su mayor parte en suspensión, es decir con color aparente se logró remover con la Moringa a 1000 ppm de un 60 a un 85 % de MES, mientras que con la moringa a 2000 ppm logro remover de un 70 a un 95 %, siendo más eficiente mientras menos concentración de esta tuviera la muestra.

En la imagen 3-48 se puede observar la capacidad de remoción de MES por parte del $FeCl_3$ donde se observa que es superior la capacidad que tiene la Moringa sin embargo tiene suficiente capacidad de eliminación para fomentar su uso para el tratamiento de aguas turbias en los países en desarrollo (Pritchard & Craven, 2010, p. 805), así como en plantas textiles pequeñas que no tengas la capacidad económica para una instalación compleja de tratamiento de aguas residuales.

También aunque se sabe que el pH es independiente para la remoción de colorantes reactivos (López-Grimau, Víctor, 2015), algunos investigadores determinaron que se suele obtener una mayor tasa de remoción de turbiedad y color no proveniente de colorantes un pH de 8 (Madrona et al., 2010)

Aspectos relevantes respecto a la eficiencia de la solución de extracto de **Acacia Mearnsii**

Se observó que el extracto de Acacia M. no genera un cambio significativo en la conductividad de las muestras.

Remoción de Color

La acacia tiene baja capacidad de remover colorantes (0 -20%) a pH alcalinos algunas muestras donde el colorante se encuentra disuelto completamente en el agua en condiciones de alta alcalinidad (pH >10). Sin embargo a condiciones de alcalinidad moderada o pH menor a 9 tiene buena capacidad de remoción de colorantes reactivos (> 80%). También demostraron tener capacidad de eliminar una moderada (20 – 50%) cantidad de color en soluciones con que generan fango flotante.

Se sabe que un factor que puede influir en la capacidad de remoción de colorantes es la estructura química y peso molecular del colorante, ya que mayor tamaño de molécula más eficiente es la remoción de este. (Sánchez-Martin, 2012)

Materia en Suspensión

Por otro lado la acacia tiene alta capacidad de remover MES sin importar variaciones de pH o concentración de colorante, pues puede eliminar de un 65 a 95 % empleando Acacia a 1000 ppm, y de un 70 a un 97 % empleado acacia a 2000 ppm. También tiene facilidad para remover la turbidez del agua, cuya eficiencia de reducción podía ser comparado como o ligeramente menor respecto al porcentaje de eliminación de MES. Fig. 3-48

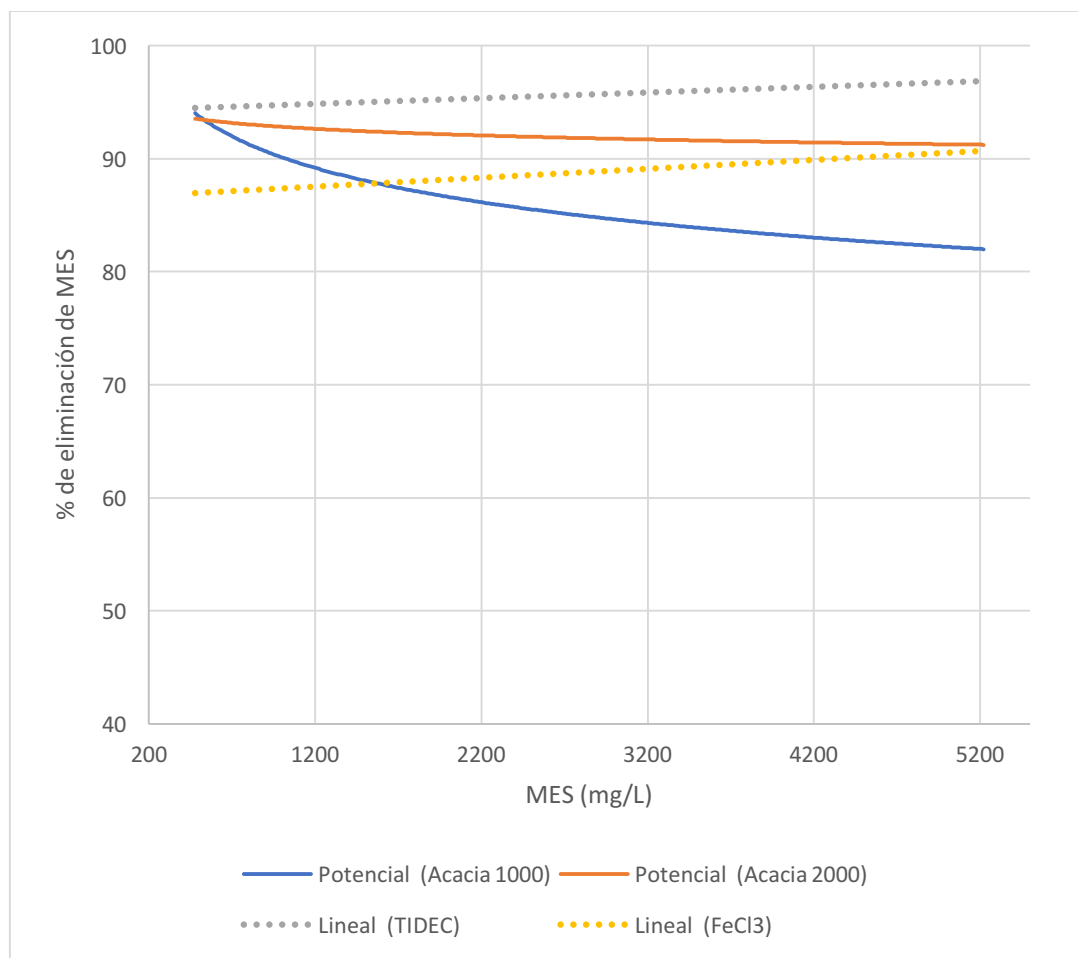


Ilustración 3-48 Comportamiento de la eliminación de MES con Acacia comparada con la de FeCl₃ y TIDEC 700.

Carbón Orgánico

También tiene una considerable capacidad de reducción de TOC empleando Acacia a 2000 ppm similar a la que se logra empleando TIDEC 700, cuyo porcentaje puede variar ya que siempre hay una fracción no removible. También se observó que la acción de eliminación de TOC se vio limitada en las muestras de agua de tintura, lo que se puede deber a la alta alcalinidad o alta salinidad de las muestras.

Eficiencia del Cloruro de hierro

Se observó que el Cloruro de hierro puede aumentar la conductividad de las muestras, principalmente en las muestras con una madreada concentración de sal, aunque por la naturaleza de las muestras tratadas generalmente no era el caso.

Remoción de color

El Cloruro de hierro tiene baja capacidad (0 – 10%) de remover colorantes reactivos disueltos en agua, e incluso puede aportar cierto color a la muestra. También es poco eficiente para la eliminación de color causado por compuestos orgánicos liposolubles.

Remoción de MES

También se observó que el Cloruro de hierro tiene gran capacidad de remover MES, sin embargo, los mejores resultados se obtuvieron en la remoción de compuestos orgánicos. Esto coincide con la literatura. (OxyChile, 2004).

Remoción de TOC

El Cloruro de hierro tiene alta capacidad de remoción de TOC principalmente cuando se tratan efluentes con una MES moderada, ya que cuando el efecto de remoción se satura con concentraciones altas de MES (5000 mg/L) y disminuye su capacidad para eliminar TOC.

TIDEC 700

El coagulante comercial TIDEC 700 dio buenos resultados con todas las muestras, tanto en la reducción de color, como eliminación de MES y TOC. Sin embargo en muchos casos se vio igualado por la capacidad de eliminar MES y TOC de la acacia. Mientras que la moringa casi igual la capacidad de este producto de eliminar color de este producto comercial.

No se evaluó la toxicidad de las muestras obtenidas, así como la actuación de los coagulantes naturales sobre compuestos tóxicos, sin embargo se sabe que estos tienen la capacidad de remover algunos otros contaminantes como metales pesados y tensoactivos de efluentes contaminados está comprobado. (Beltrán-Heredia, 2012)

3.10 Referencias y Bibliografía consultada

- Amante B. (2015). Valuation of oil extraction residue from *Moringa oleifera* seeds for water purification in Burkina Faso, (July 2014). <http://doi.org/10.1080/19443994.2015.1047408>
- Aranberri, I., Binks, B., Clint, J., & Fletcher, P. (2006). Elaboración y caracterización de emulsiones estabilizadas por polímeros y agentes tensioactivos. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 7(3)(3), 21. Recuperado de <http://www.ehu.es/reviberpol/pdf/AGO06/aranberri.pdf>
- Bhatia, S., Othman, Z., Ahmad, A.L. (2007). Coagulation–flocculation process for POME treatment using *Moringa oleifera* seeds extract: optimization studies. *Chemical Engineering Journal*, 133(1-3), 205-212. p. 205. [doi:10.1016/j.cej.2007.01.034](https://doi.org/10.1016/j.cej.2007.01.034)
- Beltrán-Heredia, J., Sánchez-Martín, J., Barrado-Moreno, M. (2012). Long-chain anionic surfactants in aqueous solution. Removal by *Moringa oleifera* coagulant. *Chemical Engineering Journal*, 180, 128–136. [doi:10.1016/j.cej.2011.11.024](https://doi.org/10.1016/j.cej.2011.11.024)
- Beltrán-Heredia, J., Sánchez-Martín, J., & Jiménez-Giles, M. (2011). Tannin-based coagulants in the depuration of textile wastewater effluents: Elimination of anthraquinonic dyes. *Water, Air, and Soil Pollution*, 222(1–4), 53–64. <http://doi.org/10.1007/s11270-011-0803-z>
- BOE, 1986, Real Decreto 849/1986, De 11 De Abril, Por El Que Se Aprueba El Reglamento Del Dominio Público Hidráulico, Que Desarrolla Los Títulos Preliminar I, Iv, V, Vi Y Vii De La Ley 29/1985, De 2 De Agosto, De Aguas, Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo BOE núm. 103, de 30 de abril de 1986. https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-1986-10638# analisis
- BOE, 2003, REAL DECRETO 606/2003, De 23 De Mayo, Por El Que Se Modifica El Real Decreto 849/1986, De 11 De Abril, Por El Que Se Aprueba El Reglamento Del Dominio Público Hidráulico, Que Desarrolla Los Títulos Preliminar, I, Iv, V, Vi Y Viii De La Ley 29/1985, De 2 De Agosto, De Aguas. Ministerio de Medio Ambiente, BOE núm. 135, de 6 de junio de 2003. https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2003-11384
- DOGC, 2003, DECRETO 130/2003, De 13 De Mayo, Por El Que Se Aprueba El Reglamento De Los Servicios Públicos De Saneamiento. Departamento De Medio Ambiente, Publicado en DOGC núm. 3894 de 29 de Mayo de 2003. Extraído de: <http://portaldogc.gencat.cat/utillsEADOP/PDF/3894/342984.pdf>
- Crespí Rosell M, 2015, NOTAS DE CURSO TRATAMIENTO DE EFLUENTES INDUSTRIALES CURSO 2015 – 2016. Master de Ingeniería Ambiental.

- Grupo Tradebe 2007, Secado Biológico De Lodos Contaminados Compost GRIS, III Jornades Técnicas De Gestión De Sistemas De Saneamiento De Aguas Residuales Tratamiento Y Valorización De Lodos, Barcelona, octubre de 2007, https://aca-web.gencat.cat/aca/documents/ca/jornadatecnica003/21_mompeo.pdf
- Hemapriya, G., District, P., Nadu, T., District, P., & Nadu, T. (2015). Textile Effluent Treatment Using Moringa Oleifera, *4*(4), 385–390.
- LIAO Xue pin, DENG Hui, LU Zhong bing, et al. 2003, COLLAGEN IMMOBILIZED TANNINS AND THEIR ADSORPTION FOR Cu²⁺[J]. , *23*(04): 11-16. <http://www.cifp.ac.cn/EN/Y2003/V23/I04/11>
- López-Grimau V., & Crespi-Rosell, M. (2015). Gestión de los efluentes de la industria textil: Proyecto mejora de las economías regionales y desarrollo local, Cuaderno tecnológico, *18*, 7-33. Recuperado de <http://www.ue-inti.gob.ar/pdf/publicaciones/cuadernillo18.pdf>
- López-Grimau, V., Vilaseca, M., & Gutiérrez-Bouzán, C. (2015). Comparison of different wastewater treatments for colour removal of reactive dye baths. *Desalination and Water Treatment*, *57*(6), 2685–2692. JOUR. <http://doi.org/10.1080/19443994.2015.1031185>
- Madrona, G.S., Serpelloni, G.B., Vieira, A.M. et al. (2010). Study of the effect of saline solution on the extraction of the Moringa oleifera seed's active component for water treatment, *Water Air Soil Pollution*, *211*(1), pp 409–415. doi:10.1007/s11270-009-0309-0
- OxyChile, MANUAL CLORURO FÉRRICO (FeCl₃) , Manual de Uso, OCCIDENTAL CHEMICAL CHILE LIMITADA, Occidental Petroleum Corporation ("Oxy"), Chile, 2004
http://www.oxychile.cl/rps_oxychile_v56/OpenSite/Oxy%20Espa%c3%b1ol/Productos%20y%20Servicios/Cloruro%20F%c3%a9rrico/20080408143356/ManualCloruroF%c3%a9rrico_OFICIAL.pdf
- Palafox, J. O. (2012). Extraction and Characterization of Oil from Moringa oleifera Using Supercritical CO₂ and Traditional Solvents. *American Journal of Analytical Chemistry*, *3*(12), 946–949. <http://doi.org/10.4236/ajac.2012.312A125>
- Pereira Juan, Garcia Ana, Ceballos Soleil, Lopez-Montilla Juan, Muñoz Aaron, Corone Victor (2012). Una metodología alternativa para evaluar la producción espontanea de emulsiones, revista FARAUTE de Ciencias y Tecnología, *7*(2), 38–42. Recuperado de <http://servicio.bc.uc.edu.ve/facyt/vol7n2/art02.pdf>
- Sánchez-Martín, J., Ghebremichael, K., & Beltrán-Heredia, J. (2010) Comparison of single-step and two-step purified coagulants from Moringa oleifera seed for turbidity and DOC removal. *Bioresource Technology*, *101*(15), 6259–6261. [doi:10.1016/j.biortech.2010.02.072](http://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.02.072)

- Sánchez-Martín, J., Beltrán-Heredia, J., & Dávila-Acedo, M. A. (2011). Optimum coagulant from *Acacia mearnsii* de wild for wastewater treatment. *Chemical Engineering and Technology*, 34(12), 2069–2076. <http://doi.org/10.1002/ceat.201100330>
- Sánchez-Martín, J., Beltrán-Heredia, J., & Rodríguez-Sánchez, M. T. (2012). Removal of Erioglaucine (Acid Blue 9) with a new coagulant agent from *Acacia mearnsii* tannin extract. *Coloration Technology*. <http://doi.org/10.1111/j.1478-4408.2011.00342.x>
- Vieira, A. M. S., Vieira, M. F., Silva, G. F., Araújo, A. A., Fagundes-Klen, M. R. Veit, M. T., et al. (2009). Use of *Moringa oleifera* seed as a natural adsorbent for wastewater treatment. *Water, Air, Soil Pollution*, 206, 273-281. doi:10.1007/s11270-009-0104-y
- Vilaseca, M., López-Grimau, V., & Gutiérrez-Bouzán, C. (2014). Valorization of waste obtained from oil extraction in *Moringa oleifera* seeds: Coagulation of reactive dyes in textile effluents. *Materials*, 6(9), 6569–6584. <http://doi.org/10.3390/ma7096569>

4. Análisis Económico

Primeramente se repasarán algunas de las utilidades de los productos y subproductos de las semillas de Moringa, pues como ha mencionado la Moringa Oleífera es un producto de usos múltiples y todas las partes de la planta pueden ser aprovechadas, lo que la convierte en un producto muy apreciado. Para este trabajo son de principal interés las semillas las cuales se pueden separar por procesos mecánicos en aceite y torta desengrasada, así como la obtención del residuo de la cascara de la semilla y de la vaina.

Se observó que en mercado existe una gran variedad de productos de moringa siendo los productos más populares los más comunes las hojas de moringa en polvo (polvo de moringa), capsulas de moringa que contienen polvo de moringa y algunas contienen molido de semilla de moringa y el aceite de moringa. Fig. 4-1. También se puede encontrar té de moringa, crema de moringa, afrodisiacos de moringa y fertilizante de moringa entre otros productos a los que se la adiciona la moringa al alimento o producto como son las galletas de moringa, chocolate de moringa, etc.



Ilustración 4-1 Algunos productos de Moringa Oleífera

Fuente: Moringa Vitalmor. (10 de septiembre de 2016). Título de la imagen. [Fotografía]. Recuperado de la página de Vitalmor <http://www.moringa.es/index.php/catalogo-productos-moringa>

En general las semillas pueden ser empleadas en la alimentación humana con diversas preparaciones desde crudas hasta platillos complejos e incluso en la producción de cerveza de moringa; también pueden ser empleadas en productos medicinales y productos

nutracéuticos para el tratamiento de males de todo tipo o como producto auxiliar de los tratamientos. (Martín, C., 2013.) Se realizó una búsqueda web para comprar los precios comunes de los que suelen tener las semillas de moringa, ya sea al por menor en donde se encontré que hay vendedores que llegan a vender semillas de forma individual para su cultivo en forma de paquetes de tamaño variable, que van desde 10 semilla individuales a un par de euros, sin embargo esta forma de compra fue descartada y solo se consideraron los precios de la venta a granel por kilogramo. Los resultados variaron un poco dependiendo de la nacionalidad del sitio de venta y/o origen de la semilla.

Tabla 4-1 Diferentes precios de las semillas de Moringa

Producto	Rango de Precio por Kg al por menor	Rango de Precio Kg al por mayor (>50 kg)	Marca/Origen
Semilla de moringa	€ 22 – 36	€ 6 -14	India ¹
Semilla de moringa	€ 20 - 40	€ 20	México ²
Semilla de moringa	€ 23	€ 10	Nigeria ³

Fuente: 1. Grenera obtenido de <https://spanish.alibaba.com/> agosto 2016.
2. mercadolibre.com.mx agosto 2016
3. <http://www.moringawealthandhealth.com> agosto 2016

El aceite extraído de la Moringa Oleifera tiene características similares a las del aceite de oliva, incluso es más resistente al deterioro y oxidación debido a la elevada concentración de ácido oleico El aceite también se puede emplear en perfumería y cosmética para elaboración de distintos productos. También se puede usar como lubricante de piezas mecánicas de precisión. Además se puede emplear en la producción de biodiesel. (Martín, C., 2013.) En la búsqueda web realizada se encontraron varios distribuidores de este producto que es uno de los más comercializados, probablemente por la presentación del producto. (Tabla 4-2). Algunos de los aceites no incluidos en la lista no mencionaban el grado de pureza, por lo que se puede inferir que se comercializa comúnmente bajo el nombre de aceite de moringa, pero puede ser una mezcla de aceites varios incluido el de Moringa. Se considera que la densidad de aceite de moringa a 25°C es 0.906.

Tabla 4-2 Diferentes precios del Aceite de Moringa

Producto	Rango de Precio Litro al por menor	Rango de Precio Litro al por mayor (>50 L)	Origen
Aceite de Moringa	€ 27 – 38 (> 1L)	€ 4.5 - 9	China ¹
Aceite de Moringa	€ 35 – 40 (> 1L)	€ 16 – 30	India ²
Aceite de Moringa	€ 110 - 400	---	México ³
Aceite de Moringa	€ 160 - 600	---	España ⁴

Fuente: 1. Shanghai Bonfeel Environment Technology Co., Ltd; Jian Hairui Natural Plant Co., Ltd.; obtenidos de alibaba.com agosto 2016.
2. MULTIKO PACKAGING, obtenidos de alibaba.com agosto 2016.
3. <http://colmoringa.com>, <http://listado.mercadolibre.com.mx/> agosto 2016.
4. <http://greenfoodspain.es/>, <https://puntobio.es> agosto 2016.

En específico la torta de prensado, posterior a la remoción al aceite de las semillas, tiene alto contenido de proteínas y puede ser utilizada en la alimentación animal y para el tratamiento de aguas turbias en general, agua duras y metales pesados, aunque su uso más demostrado es la purificación de agua potable, ya que aparte de tener propiedades coagulantes, también tiene efectos bactericidas. Así como para la obtención de principios activos farmacéuticos (C, Martín, 2013) y productos de suplemento vitamínicos y proteicos. En la búsqueda web se encontraron pocos distribuidores de este producto. Tabla 4-3.

Tabla 4-3 Precios de la torta de semilla de moringa desengrasada

Producto	Estimado de precio Kg al por menor	Rango de Precio Kg al por mayor (>50 kg)	Origen
Torta semilla de Moringa desengrasada	---	€ 5	China ¹
Torta semilla de Moringa desengrasada	€ 350	---	Israel ²

Fuente: 1. GRENERA obtenidos de alibaba.com agosto 2016.
2. Moringa4More obtenidos de <http://moringa4more.com> agosto 2016.

El residuo generado (de la utilización del aceite y de la torta de las semillas) serían las cascaras y las vainas las cuales se pueden emplear como material adsorbente para remoción de metales pesados, así como para la generación de carbón activado o puede valorado como residuo orgánico. (C, Martín, 2013.) Sin embargo para este producto no se encontró en la web una valor de compra o venta para este mismo.

Aunque mucha de la información sobre la infinidad de efectos y beneficios de la moringa son en su mayoría empíricos o manejados de forma publicitaria, hay contados números de análisis científicos que respaldan estos beneficios en áreas puntuales y frecuentemente con buenos resultados. (C, Martín, 2013.). Los precios de muchos de estos productos que son destinados al uso farmacéutico y cosmético han incrementado el valor de estos productos obtenidos a partir de las semillas de moringa.

En general se considera la Moringa oleífera como una planta de crecimiento rápido, y por ser una planta endémica de regiones áridas es resistente condiciones adversas, además tiene un alto rendimiento de aceite, y es considerada como una buena opción para la producción sostenible, (Guadalupe G., Andrea, 2013) principalmente para la producción de materia para forraje. (Pérez, Raymundo, 2010)

Durante el la parte experimental se obtuvieron los siguientes resultados respecto a la obtención de la torta seca de la semilla destinada al tratamiento de agua. Tabla 4-4.

Tabla 4-4 Eficiencia de obtención de aceite y de torta a partir de la semilla de Moringa O.

No. 1	Peso Moringa (g)	Peso Moringa Seca (g)	Peso Aceite Extraído (g)	% de aceite extraído	% de torta seca obtenida	% de peso perdido
1	6.0496	4.3459	1.5237	25.18	71.83	2.97
2	6.0123	4.9104	0.9219	15.33	81.67	2.99
3	7.0157	4.5114	2.3293	33.20	64.30	2.49
4	6.9101	4.3745	2.3849	34.51	63.30	2.18
5	8.0117	6.8739	0.9309	11.61	85.79	2.58
6	6.0227	4.7138	1.1389	18.91	78.26	2.82
7	6.0149	5.0195	0.8054	13.39	83.45	3.15
				21.73 %	75.52 %	2.74 %

Promedio de porcentaje de extracción de aceite con etanol en soxhlet durante 2 horas fue en promedio de 21.7 %. Que comparado con la bibliografía se ubica como un valor algo bajo en relación a la media, ya que según la bibliografía consultada el porcentaje de extracción de aceite de Moringa Oleífera con etanol en soxhlet está alrededor de los 36%. (Vilaseca Vallvé, M. Mercè, 2015). Sin embargo se tiene claro que este valor suele variar un poco en relación a las condiciones durante la extracción solido-líquido, como lo son la naturaleza de la semillas, la proporción y calidad del solvente y semilla empleados, el fino de la semilla molida, tiempo de extracción, entre otros; por ello se pueden encontrar en distintos trabajos variaciones, por ejemplo se tiene registrado que en extracción soxhlet durante 4 horas se tiene una eficiencia de alrededor del 28% (García Torres, Andrea G., 2013).

Para la implementación de la torta seca y desengrasada se podría hacer adquiriendo la semilla completa por el valor mínimo encontrado (6 €/kg), pelándola, moliéndola, desengrasarla y posteriormente considerar el aceite extraído como un subproducto destinado a las diferentes industrias interesadas considerando los precios al por mayor mínimo anteriormente encontrados (4.5 €/ kg). En este caso se considerarían las proporciones de aceite y de torta seca obtenidas durante el análisis como las cantidades estimadas que se obtendrían si se realizara el mismo proceso a una escala mayor.

Así también cabe la posibilidad de adquirir directamente la torta seca del molido de la semilla de moringa oleífera como subproducto de las diferentes industrias que están interesadas en la obtención del aceite, con un valor estimado al que se encuentra a la venta considerando el precio menor al por mayor anteriormente mostrados (5 €/kg).

Por otro lado se debe de considerar el posible ahorro con el empleo de Moringa Oleífera en las plantas de tratamiento de aguas de tintura en lugar de emplear algún producto comercial como es el TIDEC 7000. El precio de este último producto se obtuvo directamente de los distribuidores, el cual ronda entre 1.7 – 2 €/kg, y se considerara una media de 1,85 €/kg.

Para hacer las suposiciones de las concentraciones a emplear se toman en cuenta los experimentos antes realizados, así como las recomendaciones del fabricante. Hay que tener en cuenta la dosificación vendría dada por el tipo de efluente a tratar, por lo que

Se sabe que la dosis recomendada para el TIDEC 700 es de 300 ppm considerando la dosis máxima para obtener mejores resultados, es decir 0.3g/L, 1 kg de producto se pueden tratar 3333.3 L de agua residual, es decir, 33,33 m³. Empleando la Moringa a una dosis de 2000 ppm que mostro tener buenos resultados, por lo que se emplearían 2 g/L. Así también se considera la posibilidad de emplear 1000 ppm de moringa que como es lógico es equivalente a 1 g/L,. Por lo que para tratar la misma cantidad de agua que con el TIDEC 700 se requerirían 6.66 kg de semilla de moringa desengrasada.

También se podría emplear el coagulante de extracto de Acacia Mearnsii (Flox-TQH), y manejando concentraciones similares a las que se empelaron en los experimentos se plantea la posibilidad de usar concentraciones de 1000 ppm equivalente 1 g/L y 2000 ppm, 2 g/L para tratar un volumen de 33,33 m³ como se había planteado anteriormente en base al rendimiento de TIDEC 700. El precio del producto ronda de los 0.72 €/Kg a los 1.72 €/Kg, dependiendo del volumen de compra. Se considerara una media de 1.22 €/kg.

Los precios de los distintos coagulantes a emplear para el tratamiento del mismo volumen de agua (33.33 m³) se concentran en la tabla 4-5. Donde se observa a primera vista que la opción más viable económicamente es el TIDEC 700.

Tabla 4-5 Comparación de cantidad y costes coagulante para tratar el un volumen definido de agua.

Coagulante	Dosis (ppm)	m ³ de agua a tratar (m ³)	Cantidad de Coagulante (kg)	Precio (€)
TIDEC 700	300	33.33	1	1,85
Moringa O.	1000	33.33	3.3	16.5
Moringa O.	2000	33.33	6.6	33
Flox-TQH	1000	33.33	3.3	4.03
Flox-TQH	2000	33.33	6.6	8.06

Se puede observar en la tabla anterior que el empleo del extracto de Acacia, Flox-TQH ocupa el segundo puesto referente a la viabilidad económica del producto.

La Moringa Oleifera se muestra como la opción menos viable. Sin embargo se debe de considerar que este producto no es comercial, por lo cual no se tiene el sistema de compra optimizado. Sin embargo esta opción no se puede descartar ya que la obtención ideal del producto es la obtención como subproducto dela obtención del aceite de moringa, que es el producto más valorado proveniente de la semilla de moringa en especial en países donde esta semilla sea de fácil obtención, pensando en países donde la economía no permite la adquisición de los productos comerciales.

Así también se debe de considerar la ventaja de la Moringa frente a otros coagulantes es que no es necesario el ajuste de pH para tener un buen desempeño en la decoloración de efluentes textiles. Sin embargo el ajuste de del pH de los efluentes a un pH ácido es factible para optimizar la remoción de compuestos orgánicos, sin embargo se debe de evaluar la necesidad de esto en base a las características del efluente así como del agua resultante del tratamiento sin este ajuste.

También es cierto que los productos nutracéuticos o naturistas (aun no catalogados como farmacéuticos) han tomado mucha fuerza en el mercado a nivel mundial, por lo que la semilla y sus derivados, como el polvo de semilla se ha sobrevalorado aun cuando muchos de sus beneficios aún no han sido demostrados, sin embargo las investigaciones científicas sus beneficios sobre la salud se continúan realizando. (C. Martín, 2013).

Se debe de mencionar que en los valores mostrados no se consideran los precios del ajuste de pH, ya sea para obtener resultado considerablemente buenos con Acacia Mearnsii y TIDEC 700 a un pH 9, para obtener resultados óptimos a pH ácido con Acacia m. y Moringa O.

Por ultimo mencionar que en el análisis no se consideró el uso de cloruro de hierro para tratar estos efluentes debido a los resultados obtenidos en el capítulo 3.

4.1 Referencias

Barbosaa, Aída Liliana , Mazaa, Tatiana, de la Rosa, Orlando. Rojas b Lácides Guzmán , 2010, ACEITE DE MORINGA OLEÍFERA Y SU POTENCIALIDAD COMO MATERIA PRIMA EN BIOCOMBUSTIBLES, Universidad de Cartagena---- Facultad de Ciencias Exactas y Naturales-Laboratorio de Investigaciones en Catálisis y Nuevos Materiales LICATUC- Campus Zaragocilla Cartagena-Colombia.

Garcia Torres, Andrea Guadalupe; Martinez Cubias, Rocio Kathya Maritza; Rodriguez Diaz, Ingrid Arely, 2013, EVALUACIÓN DE LOS USOS POTENCIALES DEL TEBERINTO (Moringa oleífera) COMO GENERADOR DE MATERIA PRIMA PARA LA INDUSTRIA QUÍMICA, para optar al título de Ingeniera Químico, Universidad de El Salvador. San Salvador. Recuperado de <https://core.ac.uk/download/files/342/11228493.pdf>

Pereira Juan; Garcia Ana; Ceballos, Soleil: Lopez-Montilla, Juan; Muñoz, Aaron ; Coronel, Victor. “Una metodología alternativa para evaluar la producción espontánea de emulsiones” Laboratorio de Petróleo, Hidrocarburos y Derivados. Departamento de Química. Facultad Experimental de Ciencias y Tecnología. Universidad de Carabobo, Valencia, Venezuela FARAUTE, Vol. 7, No. 2, 38-42, 2012, p.p 39. <http://servicio.bc.uc.edu.ve/facyt/vol7n2/art02.pdf>

Martín, C, Martín, G, García, A, Fernández, Teresa, Hernández, Ena, & Puls, Jürgen. (2013). Potenciales aplicaciones de Moringa oleifera. Una revisión crítica. Pastos y Forrajes, 36(2), 137-149. Recuperado en 10 de septiembre de 2016, de

http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03942013000200001&lng=es&tlng=es.

Moringa Vitalmor. (19 de agosto de 2016). Productos de Moringa Vitalmor [Fotografía]. Recuperado de la página de Vitalmor <http://www.moringa.es/index.php/catalogo-productos-moringa>

Pérez Ángel Raymundo, 2010, Moringa, alternativa forrajera para ovinos, 2000Agro Revista Industrial del Camp, publicación de 3W México. México, Distrito Federal. Consultado Agosto de 2016. <http://www.2000agro.com.mx/agroindustria/granosyoleaginosas/moringa-alternativa-forrajera-para-ovinos/>

Vilaseca, M. Mercè. (2015). Eliminación del color de las aguas residuales procedentes de la tintura con colorantes reactivos. Memoria para optar al grado de Doctora por la Universitat Politècnica de Catalunya

5. Conclusiones

La solución de semilla de Moringa Oleifera desengrasada es efectiva para la remoción de colorantes disueltos provenientes de los procesos de tintura y lavado. La eficiencia de remoción de estos colorantes no se ve afectada por el pH alcalino, típico de las aguas residuales textiles de tintura con colorantes reactivos.

La eficiencia de remoción de colorante empleando Moringa está condicionada a la concentración de colorante a eliminar, por lo que agua de tintura con alta concentración de colorante (> a 2000 unidades Pt/Co/L) se recomienda ser tratado con 2000 ppm de Moringa o mayores concentraciones, mientras que las aguas de lavado que contienen menor concentración de colorante (< a 2000 unidades Pt/Co/L) pueden tratarse eficientemente con 1000 ppm de Moringa o mayores concentraciones.

Con este tratamiento del agua de tintura y lavado color morado se logra obtener un agua tratada con cerca de 800 Unidades Pt/Co/L con la cual se lograron hacer satisfactoriamente nuevas tinturas en tejido de algodón empleando colorante Yellow Porcion H-EXL y Crimson Porcion H-EXL.

El reciclaje de agua de los baños de tintura decolorados puede ser una opción viable para evitar la descarga de aguas con alta concentración de sales a la red de tratamiento de aguas, así como también la industria textil puede ahorrar en el uso de sales para el proceso de tintura.

El uso de moringa es popular para la purificación de agua en países subdesarrollados. Hasta ahora lo que los productos especializados comerciales de este producto no se han desarrollado o popularizado ya que no hay un interés económico de por medio, ya que si las miradas de los grandes laboratorios se posan sobre la eficiencia de la Moringa Oleifera, seguramente se elaborarán formulaciones de coagulantes para todas las áreas comerciales a partir del extracto de proteínas de Moringa Oleifera. También los coagulantes comerciales siguen dominando el mercado debido a legislaciones y poca flexibilidad normativa sobre el empleo de nuevos productos coagulantes y se limitan el uso de nuevos productos (Martín, C., 2013).

El extracto de Acacia Mearnsii resultó ser bastante eficiente en la remoción de colorantes reactivos cuando se controla el pH a valores de pH neutros o poco alcalinos; ya que a pH muy alcalinos se propicia la desnaturalización parcial de los taninos del extracto de acacia. Se debe mencionar la Acacia Mearnsii presentó una eficacia de remoción de color similar a la de Moringa Oleifera en efluentes sintéticos tal como aparece en publicaciones anteriores. (Vilaseca, 2014). Si bien los resultados con acacia son muy prometedores con efluentes sintéticos se debe comprobar esta eficacia con efluentes reales.

También estos coagulantes naturales presentaron claras ventajas frente a los coagulantes químicos tradicionales como son las sales de aluminio, en este caso FeCl_3 .

También la Moringa Oleifera y Acacia mearnsii mostraron tener buenos resultados, pero también deficiencia en algunos aspectos frente a coagulantes químicos artificiales

especializados a base de dicianidamida (TIDEC 700), por lo que cabe la posibilidad de emplearlos en conjunto con otro u otros coagulantes o productos para mejorar la eficiencia, dependiendo de las características del agua a tratar, así como se pueden emplear coagulantes híbridos o en distintos puntos del tratamiento de las aguas.

Si se deseara implementar la utilización de los coagulantes orgánicos, ya sea la Moringa Oleífera o el extracto de Acacia Mearnsii en plantas de tratamiento de la industria textil se sugiere hacer un estudio de dosis óptima para cada caso en específico.

5.1 Referencias

Martín, C, Martín, G, García, A, Fernández, Teresa, Hernández, Ena, & Puls, Jürgen. (2013). Potenciales aplicaciones de Moringa oleifera. Una revisión crítica. Pastos y Forrajes, 36(2), 137-149. Recuperado en 10 de septiembre de 2016, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03942013000200001&lng=es&tlng=es.

Vilaseca, M., López-Grimau, V., & Gutiérrez-Bouzán, C. (2014). Valorization of waste obtained from oil extraction in Moringa oleifera seeds: Coagulation of reactive dyes in textile effluents. Materials, 6(9), 6569–6584. <http://doi.org/10.3390/ma7096569>