



EDUCACIÓN

SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



Tecnológico Nacional de México

Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez



DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA Y BIOQUÍMICA

INFORME TÉCNICO DE RESIDENCIA PROFESIONAL

**“DECOLORACIÓN DE AGUAS RESIDUALES SINTÉTICAS USANDO
COLUMNAS DE ADSORCIÓN”**

PRESENTA:

Fuentes Velázquez Angélica

N° control: 17270597

Ingeniería química

Asesor Interno: Ing. Rene Cuesta Díaz

Asesor Externo: Dr. Arnulfo Rosales Quintero

Revisor: Ing. Roció Ferrera Alcanzar

TUXTLA GUTIERREZ, CHIAPAS. A 3 JUNIO DEL 2022

AGRADECIMIENTOS

Hubo días en que el tiempo parecía pasar lentamente, pero sin darme cuenta llegué a la meta. En este informe, quiero expresar el profundo cariño y agradecimiento a quienes con su ayuda, apoyo y comprensión me alentaron a lograr esta hermosa realidad.

A DIOS, por darme la oportunidad de existir y permitirme realizar uno de los sueños más importantes de mi vida, terminar con satisfacción una carrera profesional, gracias por haberme dado las armas necesarias para seguir adelante, gracias señor por estar siempre a mi lado.

A MIS PADRES, quienes me han heredado el tesoro más valioso que puede darse a un hijo amor. A quienes, sin escatimar esfuerzo alguno, han sacrificado gran parte de su vida para formarme y educarme. A quienes la ilusión de su vida ha sido convertirme en persona de provecho. A quienes nunca podré pagar todos sus desvelos ni aún con las riquezas más grandes del mundo. Por esto y más... GRACIAS INFINITAS.

Al **TECNM** campus Tuxtla Gutiérrez, Ing. Rene Cuesta Díaz, Doc. Arnulfo Rosales Quintero, les estoy infinitamente agradecida por fomentar el conocimiento y experiencia que tiene una vida laboral, en el cual también agradezco por la dedicación, esfuerzo, paciencia y el compromiso para mi desarrollo personal y profesional.

A MIS HERMANOS, que con su amor me han enseñado a salir adelante. Gracias por el gran apoyo que me han brindado no sólo económicamente si no también moralmente, mil gracias por siempre preocuparse por su hermana menor.

A MIS AMIGOS, por pasar momentos felices, divertidos y porque no también malos pero que sin duda fueron de mucha ayuda. Hoy nos graduamos y espero que sea solo el comienzo de alguno nuevo, les deseo lo mejor en esta vida. Muchos éxitos más.

Finalmente, pero no menos importante agradezco a las personas que creyeron en mí, me motivaron y apoyaron hasta el último momento, no me queda más que decir, MUCHAS GRACIAS.

A todos con mucho cariño, admiración y respeto,

FUENTES VELÁZQUEZ ANGÉLICA

«No vayas por donde guía el camino. Ve, en cambio, donde no hay camino y deja rastro»

Ralph Waldo Emerson.

«Tienes una educación. Tu certificación es tu título. Puede que pienses en él como un ticket para una buena vida. Déjame pedirte que pienses en una alternativa. Piensa en él como un ticket para cambiar el mundo»

Tom Brokaw.

«La educación es el arma más poderosa que puedes usar para cambiar el mundo»

Nelson Mandela.

«No necesitamos magia para cambiar el mundo, llevamos todo el poder que necesitamos dentro de nosotros mismos: tenemos el poder de imaginar algo mejor.»

J K Rowling.

RESUMEN

En la sociedad actual, un gran número de compuestos químicos son descargados al ambiente. Algunos de ellos reciben algún tratamiento previo ya sea físico, químico o biológico y son degradados fácilmente, sin embargo, existen algunos compuestos difíciles de eliminar, como son los colorantes sin recibir algún tratamiento de tipo convencional, por lo que se requiere algún método para eliminación de estos contaminantes en aguas residuales sintéticas.

En esta investigación se utilizará el método de adsorción para la eliminación del color, se evaluará la eficiencia del carbón activado y zeolita como tratamiento de las aguas residuales sintéticas usando diferentes adsorbentes en columnas empacadas para maximizar la remoción de color del agua residual proveniente de la sección de teñido de una empresa textil.

Los colorantes y pigmentos son compuestos que presentan características toxicológicas más allá de los aspectos estéticos en las aguas residuales.

A través de la generación de isothermas de adsorción se evaluará la eficiencia de remoción del color de acuerdo con los diferentes absorbentes que son la zeolita y carbón, resultando que por etapas de absorbentes del carbón activado-zeolita son lo mejor ya que nos presenta una eficiencia de remoción de color de gran mayor porcentaje que los absorbentes por separados, entre más etapas de absorbentes tenga la columna de absorción mejor resultados de obtendrá.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	8
2. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA	10
2.1. HISTORIA.....	10
2.2. ESCUDO	11
2.3. MISIÓN.....	12
2.4. VISIÓN	12
2.6. POLÍTICA AMBIENTAL.....	12
2.7. POLÍTICA DE EQUIDAD DE GÉNERO	12
3. PROBLEMA A RESOLVER	13
4. OBJETIVOS	14
4.1 GENERAL.....	14
4.2 ESPECÍFICOS	14
5. JUSTIFICACIÓN.....	15
6. MARCO TEÓRICO	16
6.1 PROCESO TEXTIL.....	16
6.1.1 Caracterización y jerarquización de las aguas de desecho.....	18
6.1.2 Normativa	18
6.2 COLORANTE.....	21
6.2.1 Clasificación por Método de Aplicación.....	23
6.3 TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	27
6.3.1 Tratamientos primarios	27
6.3.2 Tratamientos secundarios.....	28
6.3.2.1 Tratamientos aerobios.....	28
6.3.2.2 Tratamientos anaerobios.....	29
6.3.3 Tratamientos terciarios.....	30
6.3.4 Tratamientos biológicos	31
6.4 TRATAMIENTO DE LOS EFLUENTES DE LA INDUSTRIA TEXTIL.....	32
6.4.1 Adsorción.....	32
6.4.2 Coagulación-Floculación.....	34
6.4.3 Oxidación.....	35

6.4.4 Métodos Electroquímico.....	36
6.5 TIPOS DE ADSORBENTES	37
6.5.1 Carbón activado.....	37
6.5.2 Zeolita.....	39
6.6 Isotermas de adsorción	42
6.6.1 Isoterma de Freundlich.....	42
6.6.2 Isoterma de Langmuir.....	44
6.7 pH	45
6.8 Absorbancia	46
7. PROCEDIMIENTO	47
7.1 Actividades realizadas.....	47
8. RESULTADOS	50
8.1 Colorante sin algodón.....	50
8.2 Colorante con algodón	53
8.3 Isotermas de adsorción	57
8.3.1 Carbón activado.....	57
8.3.2 Zeolita.....	60
9. CONCLUSIONES	63
10. RECOMENDACIONES	64
11. EXPERIENCIA PROFESIONAL ADQUIRIDA	65
12. COMPETENCIAS DESARROLLADAS Y/O APLICADAS	66
12.1 Básicas.....	66
12.2 Capacidades y destrezas personales	66
13. FUENTES DE INFORMACIÓN	67
14. ANEXOS.....	71
A. Barrido espectral de la dilución solución madre	71
B. Carta de presentación y agradecimiento.....	72
C. Carta de aceptación	74
D. Carta de terminación	75

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Escudo del Tecnológico Nacional de México, campus Tuxtla Gutiérrez.....	12
Figura 2: Impacto medioambiental en la industria textil.....	17
Figura 3: Calidad del agua residual conteniendo diferentes tipos de colorantes.....	19
Figura 4: Impacto a la salud.....	20
Figura 5: Clasificación de los tratamientos convencionales.....	27
Figura 6: Carbón Activado Granular.....	38
Figura 7: Carbón Activado en polvo.....	38
Figura 8: Arreglo estructural de las capas planas del grafito.....	39
Figura 9: Estructura propuesta de las capas de carbón activado.....	39
Figura 10: Tetraedro con un átomo de Si.....	40
Figura 11: Tetraedro con un átomo de Al.....	40
Figura 12: Átomo palente.....	40
Figura 13: Isoterma de adsorción del AMP´5 a pH 7 sobre el WO ₃	43
Figura 14: pH.....	45
Figura 15: Longitud de onda.....	46
Figura 16: Columnas de adsorción sin algodón.....	50
Figura 17: Muestras de las columnas de adsorción sin algodón.....	51
Figura 18: Columnas de adsorción con algodón.....	54
Figura 19: Muestras de las columnas de adsorción con algodón.....	54
Figura 20: Preparación de las muestras para los isotermas de adsorción C.A.....	57
Figura 21: Agitación magnética C.A.....	57
Figura 22: Preparación de las muestras para los isotermas de adsorción Zeolita.....	60
Figura 23: Agitación magnética Zeolita.....	60

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Clasificación de los colorantes.....	22
Tabla 2: Parámetros de Freundlich para la adsorción de las biomoléculas sobre el WO ₃	43
Tabla 3: Resultado final de la columna de adsorción sin algodón.....	51
Tabla 4: Resultado final de la columna de adsorción con algodón.....	55
Tabla 5: Resultado de la agitación magnética C.A.....	58
Tabla 6: Resultado final del isoterma de adsorción.....	59
Tabla 7: Resultado de la agitación magnética Zeolita.....	61
Tabla 8: Resultado final del isoterma de adsorción Zeolita.....	62

ÍNDICE DE GRAFICAS

Grafica 1: Determinación de longitud de onda (nm) del colorante sin algodón.....	52
Grafica 2: Determinación de longitud de onda (nm) del colorante con algodón.....	56
Grafica 3: Isoterma Langmuir Carbón Activado.....	59
Grafica 4: Isoterma Langmuir Zeolita.....	62
Grafica 5: Barrido espectral de la dilución solución madre.....	71

1. INTRODUCCIÓN

Uno de los retos más importantes para el ser humano es desarrollar un método eficiente que ayude a controlar la contaminación ambiental.

La industria textil realiza mayores descargas de aguas residuales, ya que el agua es una de sus principales materias primas, pues en promedio se utiliza aproximadamente 167 litros de agua por kilogramo de producto. Utilizando el agua como el principal diluyente en el proceso de teñido, en donde se utilizan intensamente una gran cantidad de colorantes y coadyuvantes de naturaleza química compleja.

Los contaminantes liberados al ambiente son los residuos de colorantes. Por lo regular los colorantes textiles tienen gran persistencia en el ambiente y los métodos de tratamiento clásicos no son útiles en su remoción debido a que sus oxidaciones o reducciones parciales pueden generar productos secundarios altamente tóxicos.

Este efluente genera una carga orgánica muy alta, provocando un alto riesgo para el medio ambiente, la fuerte coloración de agua residual de descarga llega a destruir los procesos fotosintéticos en los cursos de agua, que a cierto tiempo puede acabar el oxígeno disuelto en la misma, por lo que su presencia debe de ser reducida. En México, la Comisión Nacional del Agua reporta que la industria textil emite (60,480) m³ /día de agua residual sintéticas. En general la industria textil requiere una gran cantidad de agua como materia prima y emite un enorme flujo de agua residual.

Este problema se vuelve crítica si la industria se localiza en una zona donde la disponibilidad del agua es limitada. Este es el caso de la zona del estado de Nuevo León, México, donde se capta solo el 9% de la precipitación pluvial total de México, la cual asciende a 777 mm/año. El agua total disponible en la zona asciende a 12,059 millones de m³ /año, de la cual 2,150 millones m³ /año son extraídos del subsuelo, lo que representa el 17.8% del total del agua disponible al año en la región, mientras que, por otro lado, la capacidad de recarga de los mantos acuíferos subterráneos asciende a 3,000 millones de m³ /año.

Por otro lado, existe el problema del tratamiento de los efluentes que la empresa textil genera, obligándolas con contar sistemas de tratamiento que permitan reusar sus efluentes ya que contiene una alta carga orgánica y así cumplir con las estrictas normas ambientales del país.

Ante esta situación, la industria textil de la región norte del país requiere encontrar alternativas que le permitan tener un uso eficiente del agua que utiliza en el proceso, que le permita contribuir al cuidado del medio ambiente al mismo tiempo que reduce costos de operación

2. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA

El Tecnológico Nacional de México, campus Tuxtla Gutiérrez es una institución pública con el objetivo de brindar una educación basada en la “ciencia y tecnología con sentido humano.” La institución se fundó en 1971, por iniciativa estatal para contrarrestar la falta de instituciones de educación superior en Chiapas.

Ubicación de la Organización:

Carretera Panamericana Km. 1080 Tuxtla Gutiérrez, Chiapas

C.P: 29050

Apartado Postal: 599

Fax: (961)61 5 16 87

Teléfono: (961)61 5 04 61

RFC: TNM140723GFA

Contacto: contacto@ittg.edu.mx

2.1. Historia

En la década de los 70's llegó al estado de Chiapas el movimiento nacional de extensión educativa para la Educación, con la intervención del gobierno del estado de Chiapas ante la federación. Esta gestión dio lugar a la creación del Instituto Tecnológico Regional de Tuxtla Gutiérrez (ITRTG), hoy Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez (ITTG).

- El 23 de agosto de 1971, se colocó la primera piedra de lo que pronto sería el centro educativo de nivel medio superior principal de la entidad.
- El 22 de octubre de 1972, con una infraestructura de dos edificios con ocho aulas, dos laboratorios y un taller en construcción abre sus puertas el Instituto Tecnológico Regional de Tuxtla Gutiérrez con las carreras de técnico en motores de combustión interna, en electricidad, en químico laboratorista y en máquinas y herramientas.
- En 1974 comenzó el nivel superior, con las carreras de Ingeniería Industrial en Producción e Ingeniería Bioquímica de Productos Naturales.
- En 1980, se amplía las oportunidades de educación para ingresar a las carreras de Ingeniería Industrial Eléctrica y de Ingeniería Química Industrial.
- En 1987 se abrió la carrera de Ingeniería en Electrónica.
- En 1989 se inicia el sistema abierto de la escuela secundaria y esta oferta se reorientó en los niveles superior de Ingeniería Eléctrica y Mecánica Industrial.
- En 1991 llega la licenciatura en Ingeniería en Sistemas Computacionales.

- Desde 1997, el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez ofrece la Especialización en Ingeniería Ambiental (Actualmente ya no existe), como su primer programa de postgrado.
- En 1998 se estableció el programa de posgrado interinstitucional con la Universidad Autónoma de Chiapas para enseñar en el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez la Maestría en Biotecnología.
- Desde 2000 abrió la Especialización en Biotecnología y un año después se inició la Maestría en Ciencias en Bioquímica y Licenciatura en Ciencias de la Computación.
- En el año 2012 se acredita el programa educativo de Ingeniería Mecánica, seguido por las carreras de Ingeniería en Electrónica e Ingeniería Industrial por el organismo acreditador CACEI.

2.2. Escudo

En 1974 ocupó el cargo de director del Instituto Ricardo Vidal Ramírez, quien vio la necesidad de adoptar un logotipo para identificar a la institución que se convirtió en el emblema de todos los miembros de la comunidad estudiantil y académica.

- Se compone de un matraz en la parte central que representa las Ciencias Químicas en los lados se ve reforzada por dos rayos que representan la física que implican la electricidad y las áreas de electrónica, el matraz es apoyado por medio de un cojinete con 13 de bolas que representan las áreas relacionadas con la mecánica.
- También representa los elementos que forman la base de la educación tecnológica que apoyan adecuadamente el desarrollo regional.
- En el interior del matraz es un libro abierto que representa el conocimiento que se destila a verter en la sociedad, en el libro hay una flecha Chamula Lacandona atravesada, estos elementos representan las riquezas de la condición étnica de Chiapas.
- Incluye la etiqueta redonda y arqueada de Tecnológico en la parte superior y Tuxtla Gutiérrez en la parte inferior, es necesario aclarar que, en el medio del libro fue inscrito con el número 27, esto correspondió a consecutiva que le fue asignado a la fundación de la institución, pero se retiró cuando el Instituto dejó de ser regional. los colores son representativos del Instituto de Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez: el rayo rojo, señales azules y blancas en el fondo.



Figura 1: Escudo del Tecnológico Nacional de México, campus Tuxtla Gutiérrez.

2.3. Misión

Formar de manera integral profesionales de excelencia en el campo de la ciencia y la tecnología con actitud emprendedora, respeto al medio ambiente y apego a los valores éticos.

2.4. Visión

Ser una Institución de excelencia en la educación superior tecnológica del sureste, comprometida con el desarrollo socioeconómico sustentable de la región.

2.5 Política de Calidad

“En el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez estamos comprometidos con la formación de profesionales altamente capacitados en el campo de la ciencia y tecnología, garantizando su formación integral a través del desarrollo de competencias, bajo el cumplimiento de los requisitos de un Sistema de Gestión de la Calidad con la responsabilidad de mantener su eficacia y mejora continua”

2.6. Política Ambiental

El Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, establece el compromiso de orientar todos sus procesos, actividades y servicios hacia el respeto al medio ambiente, cumplir con la legislación ambiental y otros requisitos aplicables; promover en su personal, clientes y partes interesadas la prevención de la contaminación, operación y mejora continua de un Sistema de Gestión, Ambiental conforme a la Norma ISO 14001:2004 y su equivalente nacional NMX-SSA-14001-IMNC-2004.

2.7. Política de Equidad de Género

“El SNIT manifiesta el compromiso de defender los derechos humanos del personal, combatir la discriminación, promover la igualdad de trato y de oportunidades entre hombres y mujeres, establecer acciones para la prevención, atención y sanación de cualquier tipo de hostigamiento, generar un ambiente organizacional libre de violencia, promover la conciliación de la vida laboral con la personal y familiar, asumiendo acciones de responsabilidad social hacia los grupos de interés del sistema”.

3. PROBLEMA A RESOLVER

La problemática de la industria textil es el suministro de agua y la disposición de los efluentes generados durante la producción. Los sistemas aéreos, terrestres y acuáticos son impactados por las actividades textiles, el mayor impacto recae en el agua debido a que los procesos de teñido utilizan grandes volúmenes de agua, elevadas cantidades de colorantes y productos químicos que sirven como auxiliares de teñido durante la decoloración de las telas y prendas por comercializar.

En el proceso de teñido se generan una gran cantidad de efluentes con colorantes ya que alrededor del 30% de estos compuestos se pierden debido a las ineficiencias del proceso de teñido y son descargados a los efluentes (SEMARNAT, 2018).

En la actualidad las industrias textiles de la región norte del país realizan descargas de aguas residuales que contienen metales pesados que sobrepasan los límites máximos permitidos por la legislación ambiental como son la temperatura máxima es 40°C, pH 11.9 – 8.7 y DQO debe encontrarse entre 200 y 240 mg/L. Esta situación nos lleva a la necesidad de realizar un tratamiento para estos efluentes industriales con técnicas eficientes que no perjudiquen el ambiente. Una de estas técnicas son las columnas de adsorción de carbón activado y zeolita como adsorbente y como filtro el algodón para obtener un mayor resultado.

4. OBJETIVOS

4.1 General

- Maximizar la remoción de color en aguas residuales sintéticas usando diferentes adsorbentes en columnas empacadas.

4.2 Específicos

- Determinar la remoción de color usando diferentes proporciones de carbón activado granular.
- Determinar la remoción de color usando diferentes proporciones de zeolitas.
- Determinar la remoción de color usando una combinación de carbón activado con zeolita.
- Determinar las isothermas de adsorción de cada sistema.

5. JUSTIFICACIÓN

Debido al incremento de la contaminación en el agua de nuestro planeta ha ido aumentando de una manera muy rápida. Es por ello que surge la necesidad de realizar alternativas de tratamiento de agua residual en una industria textil con el fin de permitir su reutilización, lo que provoca un uso más eficiente del agua utilizada en los diferentes procesos de la empresa.

Reduciendo la cantidad de agua potable que la empresa requiere, así como los efluentes de la misma, generando ahorros económicos para ella y ayudando a conservar los recursos naturales de la región.

Actualmente hay más de 3 mil 750 plantas maquiladoras en el país según la Secretaría de Economía. Generando un volumen aproximado de 64,196.00 litros/día (SEMARNAT, 2018) de aguas residuales, conteniendo un gran porcentaje de colorantes, por lo que es importante desarrollar tecnologías para eliminar estos contaminantes.

La generación de grandes volúmenes de efluentes apremia el desarrollo de tecnologías eficientes para reducir y eliminar el impacto de tintes tóxicos en el medio ambiente. Los absorbentes como son el carbón activado y zeolita representan una alternativa eficiente para la remoción de los colorantes del agua residual sintética en las prendas elaboradas con fibras sintéticas (algodón).

6. MARCO TEÓRICO

6.1 Proceso textil

La industria textil es uno de los sectores industriales clásicos de mayor complejidad, debido a que se trata de un sector muy fragmentado y heterogéneo, formando principalmente por pequeñas y medianas empresas (Pey, 2008).

El proceso textil comprende de tres fases: hilatura, tejeduría y acabados. Los efluentes industriales se generan principalmente en el proceso de acabados, realizado sobre el hilo o tejido para cambiar la apariencia, el tacto y su comportamiento, que comprende el descruce, blanqueo y teñido. En estas etapas se añaden una serie de insumos químicos, tales como tintes, detergentes, agentes estabilizantes, agentes humectantes, dispersantes y penetrantes, sales inorgánicas como sosa cáustica, sal textil, peróxido de hidrógeno, ácido acético, etc., los cuales son en su mayor parte lavados y retirados con el efluente (Salas 2003).

Los procesos de la industria textil no liberan grandes cantidades de metales; sin embargo, aun las pequeñas concentraciones involucradas pueden producir acumulación en los tejidos de animales acuáticos. Muchas veces los efectos se observan a largo plazo, y en la mayoría de los casos son difíciles y costosos de tratar. (Mansilla et al.)

El color es el primer contaminante en ser reconocido en el agua, afectando el valor estético de ésta, así como también la transparencia, la disolución del oxígeno y otros gases en lagos, ríos y otros cuerpos hídricos. Generalmente es más importante la remoción de color que de sustancias orgánicas incoloras (Moreno y Ospina 2008).

La industria textil se caracteriza por sus actividades que requieren grandes consumos de agua, energía y productos químicos auxiliares. Esto da como resultado la producción de grandes cantidades de aguas residuales que contienen altas concentraciones de colorantes, contaminantes orgánicos biodegradables y refractarios, sólidos en suspensión, tensioactivos, sales y compuestos clorados. Además, dado que en la gran mayoría de los casos la producción es discontinua, la cantidad y la naturaleza de la contaminación de las aguas residuales producidas varía ampliamente. Estas propiedades hacen que sea un agua residual industrial difícil de tratar.

Para conservar la energía y reutilizar el agua en la industria, requieren el desarrollo de nuevos procesos para eliminar la contaminación del agua y permitir que las aguas residuales se reincorporen al proceso de producción.

La industria textil se considera como uno de los principales consumidores de agua en el mundo, responsable de generar el 20% de las aguas residuales y el 10% de las emisiones de dióxido de carbono que se emiten a la atmosfera (Shawab, 2016).

Las prendas elaboradas con fibras sintéticas liberan micro-plásticos en cada lavado, cada vez existe más evidencia de que estas pequeñas partículas contaminan a los peces con productos químicos altamente tóxicos (INGURUGELA, 2018).

Las fibras naturales tampoco resultan ser mejor que las sintéticas, pero resulta más económico usar fibras sintéticas antes que las fibras naturales. Para las plantaciones de algodón se utilizan el 2.5% de las tierras cultivables del mundo, consumiendo el 25% de los pesticidas utilizados a nivel global (OCU, 2019). La elaboración de una camiseta de algodón se necesita alrededor de 2.700 litros de agua, lo que equivale a la cantidad de que se bebe en 3 años por persona (INGURUGELA, 2018).



Figura 2: Impacto medioambiental en la industria textil

Uno de los parámetros que debe eliminarse con el mayor esfuerzo a un costo razonable es el color. Los colorantes generalmente no son tóxicos, pero son muy poco biodegradables. En una planta de tratamiento de aguas residuales municipales, se estima que solo se elimina entre el 20 % y el 30 % del color de las aguas residuales. Además, los colorantes aparecen en el agua en concentraciones muy bajas, por lo que el rendimiento de eliminación debe ser alto. (Envitech, 2021)

La concentración de colorantes presentes en el agua residual textil, muestran variaciones, dependiendo del material que se procesa, de las tonalidades en que se coloree el material y del porcentaje de eficiencia del teñido. Dichos porcentajes de eficiencia o fijación, están determinados por el tipo de colorante y las variables del proceso (Colindres, 2015).

6.1.1 Caracterización y jerarquización de las aguas de desecho.

El agua residual resultó ser el desecho que más impacto ambiental presenta, por lo que se identifica en los diferentes tipos de descargas:

- a. Descargas de Proceso 667 m^3 /día, estos efluentes provienen principalmente de los procesos de teñido y secado.
- b. Descargas del Acondicionamiento del Agua Fresca 66 m^3 /día, estos efluentes se producen en la regeneración de los filtros de arena, regeneración de suavizadores y desmineralizadores.
- c. Descargas de Servicios 31 m^3 /día: Esta agua residual proviene de la purga de los equipos de servicio conectados al edificio, como los equipos de lavado de aire y las purgas de las calderas.

Las aguas residuales de proceso son las que mayor impacto tienen, siendo 374 m^3 /día sólo del proceso de teñido y 291 m^3 /día del tanque de almacenamiento del agua residual (Colindres, 2015).

6.1.2 Normativa

En el sentido ambiental se tomaron en cuenta la norma oficial de descarga de agua residual: NOM-001-SEMARNAT-2021 esta Norma Oficial Mexicana tiene como objetivo establecer los límites permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales, con el fin de proteger, conservar y mejorar la calidad de las aguas y bienes nacionales. En México, las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores de las industrias de colorantes y pigmentos, tanto de la fabricación como de la utilización no están regidas por la norma NOM-001-SEMARNAT-1996 que establece los límites máximos permisibles de pH, DBO5, grasas y aceites, sólidos sedimentables y sólidos suspendidos totales (DOF, 1996).

En cuanto a las descargas de colorante sólo indica que se establecerán condiciones particulares a la industria cuando se considere necesario. Comparando con las normativas de otros países se sabe que la comisión de la Unión Europea emitió en el año 2002 una directiva que prohíbe a partir de junio de 2004 la distribución y empleo de los colorantes textiles azo, pues en el año 2002 se demostró su carácter cancerígeno, evidenciando también que estas sustancias son dañinas para el medio ambiente, en especial el agua, en la que es una amenaza para los peces y otros organismos. En Estados Unidos algunos colorantes están clasificados como sustancias peligrosas por la US EPA, entre estos colorantes encontramos a los colorantes azo como más peligrosos (US EPA, 2013).

Calidad del agua residual conteniendo diferentes tipos de colorantes.

Tipo de Colorante	T (°C)	pH	Conductividad (mS/cm)	Sólidos totales (mg/L)	DQO (mg/L)
Verde Directo	50	9.2	54.8	50,330	652
Azul Directo	50	10.4	31.1	39,780	786
Azul Reactivo	40	11.5	46.9	30,290	3651
Rojo Reactivo	40	11.1	28.4	19,320	822
Gris Cuba	40	11.9	13.5	11,140	3360
Negro Cuba	40	8.7	8.6	17,590	19740

Figura 3: Calidad del agua residual conteniendo diferentes tipos de colorantes

La NORMA Oficial Mexicana NOM-002-ECOL-1996, establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal. Por ejemplo, el límite máximo permisible de la temperatura es de 40 °C, el cual en algunos casos es rebasado.

Con respecto al pH, que según la tabla anterior oscila entre 11.9 y 8.7, también se rebasa, ya que la norma establece que el intervalo permisible de pH en las descargas de aguas residuales es de 10 y 5.5 unidades.

La DQO debe encontrarse entre 200 y 240 mg/L, según la NORMA Oficial Mexicana NOM-CCA-014- ECOL/1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores provenientes de la industria textil y como se aprecia en la figura 4 estos valores de rebasan con mucho en los efluentes analizados. Las características de las aguas residuales mostradas en la tabla 1 indican que es difícil tratar los efluentes textiles debido a su elevada temperatura y alta coloración, además de que esta agua residual contiene una gran cantidad de sólidos en suspensión, alta DQO y un pH altamente fluctuante. Por lo tanto, es una necesidad la eliminación de los colorantes de teñido de las aguas residuales antes de que se mezclen con los cuerpos de agua receptores.

Substancias Químicas	Efectos sobre la Salud	¿Para qué se usan?	¿Dónde lo encontramos?
Antimonio	Cáncer de piel, Problemas gastrointestinales	Fabricar fibras, como el poliéster	Prendas deportivas
Ftalatos	Pueden afectar al sistema hormonal y reproductivo	Son aditivos que se usan en los plásticos para mejorar su flexibilidad, duración y transparencia	Bodis de bebés, Alfombras de juegos, Estampados en camisetas y pijamas, Botas de agua, Gorras, Disfraces
Azoicos y dispersantes	Pueden ser carcinogénicos como los azoicos o alergénicos como los dispersantes	Son colorantes y sustancias que se utilizan para tintes	Pijamas infantiles, Ropa interior de adulto
Metales pesados (cromo, plomo, níquel)	Son tóxicos a nivel sistémico	Suelen usarse en tintes o accesorios	Botones, Hebillas, Prendas de piel, Camisetas deportivas, Zapatos
Formaldehidos	Pueden provocar irritación en la piel, problemas respiratorios y se relacionan con procesos cancerígenos	Sustancias que se emplea para ayudar a la fijación de otros ingredientes o para mejorar las propiedades de las prendas	Pijamas infantiles
Nonilfenoles	Sustancia corrosiva para los ojos, piel y tracto respiratorio que puede causar edema pulmonar. También altera los mecanismos endocrinos	Sustancia corrosiva para los ojos, piel y tracto respiratorio que puede causar edema pulmonar. También altera los mecanismos endocrinos Son jabones que se utilizan en procesos de tinción	Ropa interior
Dimetilfumarato	Causa fuertes reacciones dérmicas por su alto poder alergizante. Puede dar síntomas respiratorios entre trabajadores expuestos	Conservante que se añade a los productos para evitar la proliferación microbiana en ambientes húmedos	Zapatos, Accesorios

Figura 4: Impacto a la salud

Fuente: (US EPA, 2013).

6.2 Colorante

En la industria textil generan grandes volúmenes de aguas residuales contaminadas con productos químicos como colorantes que, debido a su alto peso molecular, sus estructuras complejas y especialmente a su alta solubilidad en agua muestran gran persistencia en el ambiente, la descarga de estas sustancias a los sistemas acuáticos impide el desarrollo normal de plantas debido a que impiden el paso de la luz por tanto la fotosíntesis (Balderas et al., 2006).

Un colorante es un compuesto que al aplicarse a un sustrato (casi siempre a una fibra textil, pero también a cuero, papel, algún material plástico o alimento) le confiere un color más o menos permanente. Un colorante se aplica en solución o dispersión y el sustrato debe tener cierta afinidad para absorberlo (Wittcoff, 1987).

Los orígenes del teñido de artículos textiles son desconocidos, pues se han hallado materiales textiles coloreados en tumbas de diversas culturas de Asia y el norte de África con más de 4500 años de antigüedad. Es probable que el arte del teñido haya tenido su origen de manera accidental, por manchado de las vestimentas con jugos de frutas.

El color es una percepción visual que se genera en el cerebro al interpretar las señales nerviosas que le envían los fotoreceptores de la retina del ojo y que a su vez interpretan y distinguen las distintas longitudes de onda que captan de la parte visible del espectro electromagnético.

La cantidad de agua consumida en el proceso de producción textil depende del tipo de fibra procesada, el algodón es la fibra que más consume agua en su proceso de tintura: 30 - 150 L/kg de material textil (Castells, 2012). Un par de jeans necesita un mínimo de 42 litros de agua para ser teñidos, lavados y acabados.

Sánchez, Gutiérrez, Pérez, Uribe y Valle, (2018) indican que se consumen 54 millones de toneladas de fibras naturales/Año, 1 millón toneladas de colorantes y 7 millones de químicos para procesamiento textil/Año.

En la industria textil los colorantes artificiales son los más importantes, se clasifican en naturales y artificiales, la demanda de estos está relacionado al uso de fibras celulósicas para el cual se usa generalmente colorantes reactivos.

Las técnicas para eliminación de colorantes en aguas utilizan métodos químicos, biológicos y físicos. El tratamiento químico utiliza agentes coagulantes o floculantes para eliminar el color, pero no es muy eficaz para colorantes que son muy solubles (Shi et al., 2007; Angulo et al., 2013).

Por otro lado, el tratamiento biológico tiene dificultades para eliminar colorantes de efluentes de manera continua, además se requiere de tiempos más prolongados en los procesos de decoloración (Robinson et al., 2000) y, por último, los tratamientos físicos, como la filtración por membrana, la destrucción electroquímica, la irradiación, la ozonización y la adsorción, entre otros, se usan ampliamente para el tratamiento de colorantes en aguas residuales. La mayoría de estos procesos son costosos y conducen a la generación de lodos o a la formación de subproductos (Hameed y El-Khaiary, 2008); sin embargo, se conoce que la adsorción es uno de los métodos físicos más eficaces para la remoción de colorante.

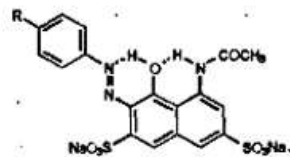
Los colorantes pueden ser clasificados de dos maneras, por su estructura química o por su método de aplicación. Para la industria textil, la clasificación por método de aplicación es más útil que la clasificación química.

Clase Química	Estructura Distintiva	Colores que producen	Aplicaciones Principales
Azo	-N=N-	Todas las tonalidades excepto el amarillo. El rojo es el más importante	Domina la mayoría de las aplicaciones, excepto los colorantes vat.
Carbonil	C=O	Todas las tonalidades. El azul es el más importante	Importante en la mayoría de las aplicaciones
Ftalocianina	Complejo metálico heterociclo de 16 anillos	Azul y verde solamente.	Pigmentos
Ion de Arilcarbonio	Átomo de carbono cargado positivamente	Todas las tonalidades excepto rojos. Los azules son los más importantes	Colorantes cationicos y pigmentos
Colorantes Sulfúricos	Complejo polimérico que incluye azufre	Principalmente colores oscuros: negros y cafés	Se considera una aplicación en si misma.
Colorantes Metin	-C=	Todas las tonalidades. Los amarillos son los más importantes	Dispersos, catiónicos
Nitro	-NO ₂	Principalmente amarillos.	Dispersos, colorantes de cabello

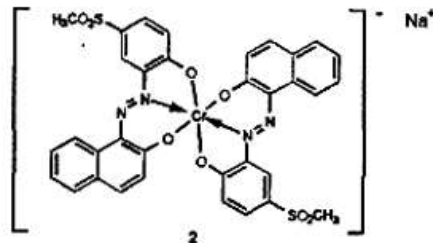
Tabla 1: Clasificación de los colorantes

6.2.1 Clasificación por Método de Aplicación

Colorantes ácidos: Contrario a lo que se cree, los colorantes pertenecientes a esta clasificación no son ácidos sino aniónicos (presentan una carga negativa); se aplican a la fibra en un medio ácido, de donde se toma el nombre de esta clasificación. Este tipo de colorante se utiliza principalmente para teñir fibras naturales de origen animal, aunque también se utilizan, en menor grado, para teñir poliamidas (por ejemplo, el Nylon). Una característica importante de estos colorantes es la presencia de por lo menos un grupo sulfonato (-SO₃⁻) en forma de sal sódica, el cual juega un papel doble: facilita la solubilidad del colorante en agua y además asegura que el colorante presente una carga negativa. Debido a lo anterior, el proceso de teñido se realiza en un medio ácido lo que ioniza positivamente la superficie de la fibra y, debido a la naturaleza aniónica del colorante, se adhiere a ella por medio de la fuerza iónica. La mayoría de los colorantes ácidos, en especial los amarillos, naranjas y rojos, pertenecen a la clase química azo, mientras que los azules y verdes pertenecen a la clase carbonil [Christie R.M, 2000].



1. R=H

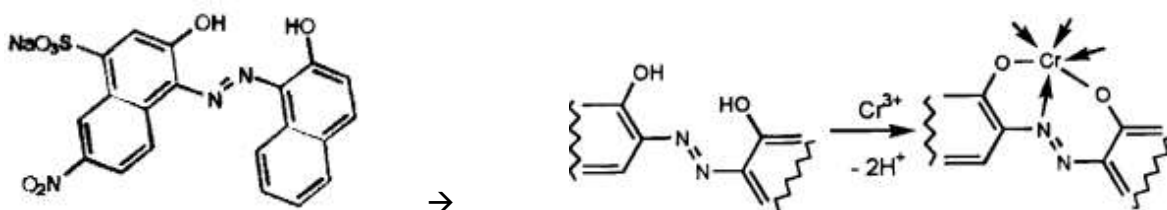


1. C.I. Rojo Ácido 1

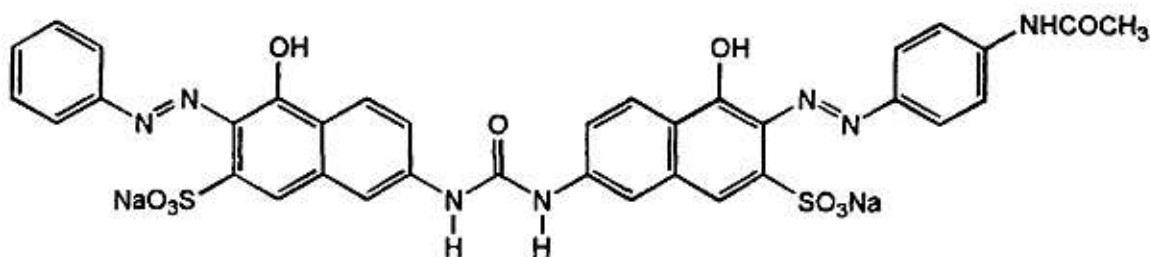
2. C.I. Violeta Ácido 78

Colorantes Mordantes: Poseen las mismas características que los colorantes ácidos, con la excepción de que los mordantes tienen la capacidad de formar un complejo estable con el cromo. El colorante característico de este grupo es el C.I. Negro Mordante 1. Su aplicación es similar a los colorantes ácidos con la diferencia de que se agrega una sal de cromo, normalmente dicromato de sodio o potasio, el cual se descompone para formar un complejo de cromo dentro de la fibra.

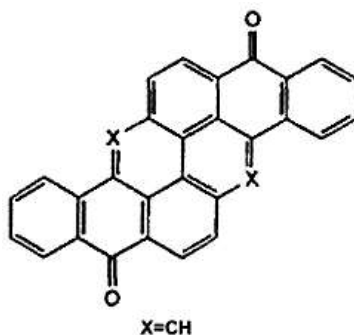
El principal problema de este color es ambiental. El efluente del teñido presenta residuos de cromo, que son considerados como peligrosos [Christie R.M, 2000].



Colorantes Directos: Este grupo de colorantes es el más utilizado en el teñido de fibras naturales vegetales como el algodón y es de aplicación directa, como su nombre lo indica. Los colorantes directos presentan características estructurales similares a los colorantes ácidos, como resultado de la presencia del grupo sulfonato, sin embargo, en los colorantes directos, este grupo sólo provee solubilidad en el agua, no influye en la adherencia del colorante a la fibra. Químicamente, los colorantes directos son invariablemente pertenecientes al grupo azo pues su estructura contiene dos o más grupos azo. El colorante C.I. Naranja Directo 25 es el ejemplo típico de esta clasificación [Christie R.M, 2000]

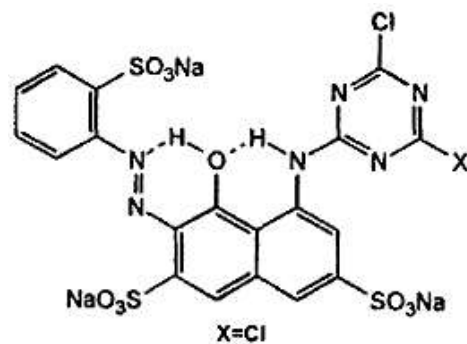


Colorantes amarillos Vat: Es un grupo de colorantes totalmente insolubles en agua y son esencialmente pigmentos, por lo que para su aplicación en fibras naturales vegetales es necesario acondicionarlos para solubilizarlos por medio de la adición de un agente reductor, Ditionito de Sodio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$) en presencia de hidróxido de sodio, lo que provoca que el colorante se solubilice, y es en este momento que se adhiere a la fibra.



Un paso final requiere volver a oxidar el colorante utilizando peróxido de sodio, lo que una vez más vuelve insoluble el colorante, pero ahora dentro de la fibra. Estos colorantes tienen una fuerte resistencia al lavado [Christie R.M, 2000].

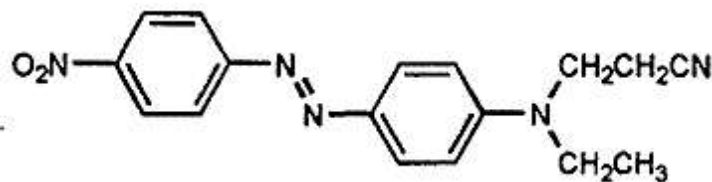
Colorantes Reactivos: Al aplicar estos colorantes a la fibra, reaccionan químicamente con ésta formando un enlace covalente, por lo que tienen una gran resistencia al lavado. Estos colorantes presentan características similares a los colorantes ácidos debido a la presencia de grupos sulfonatos que ayudan a solubilizar el colorante en el agua [Christie R.M, 2000].



rojo reactivo 1

Colorantes Dispersos: Estos colorantes son relativamente poco solubles en agua y se aplican como una dispersión fina en el agua, de donde toman su nombre. Se utilizan principalmente en fibras no polares como el poliéster. La importancia de este grupo reside en su afinidad con el poliéster, fibra difícil de teñir debido a sus características no polares e hidrofóbicas [Christie R.M, 2000].

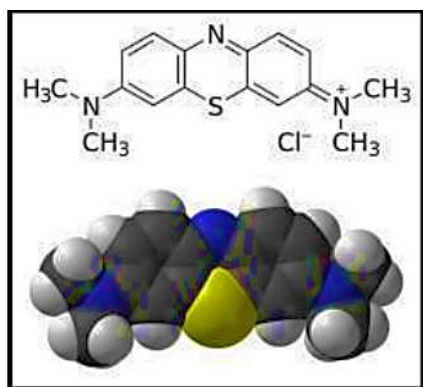
Una característica importante de este grupo es que en un medio acuoso se presentan en forma de dispersión coloidal, que, en la mayoría de los casos, tienen carga negativa superficial que genera un dipolo en el coloide. Esta propiedad permite que los coloides permanezcan en solución como una suspensión estable [DiGiano, 1974].



Naranja Disperso 25

Azul de metileno: Este colorante tiene forma de cristales o polvo cristalino, presenta un color verde oscuro, con brillo bronceado. Es inodoro y estable al aire, sus disoluciones en agua o en alcohol son de color azul profundo. Es fácilmente soluble en el agua y en cloroformo; también es moderadamente soluble en alcohol. Se emplea en el estampado y tinte de la seda algodón de diferentes tonos de color. (Restrepo, 2007).

Es un colorante aromático heterocíclico, un miembro de los colorantes de tiazina. Se utiliza ampliamente en los diferentes campos de la biología, la medicina, la química y la industria. En biología, el azul de metileno, se utiliza como colorante para un número de diferentes procedimientos de tinción. También se puede utilizar como un indicador para determinar si las células (tales como levadura) están vivas o no. También se utiliza ampliamente en la medicina por sus propiedades antisépticas. El uso del azul de metileno como colorante en la industria textil, ha disminuido ligeramente en los últimos años, debido a su alta sensibilidad a la luz. Sin embargo, todavía es ampliamente utilizado para la fabricación de lápices de colores y tintas poligráficas. (Garzón y Barragán 2008)



6.3 Tratamiento de aguas residuales

(Orozco et al., 2003) Los tratamientos convencionales utilizados para la eliminación de los contaminantes de aguas residuales industriales se engloban en una serie de procesos primarios y terciarios que se suelen aplicar frecuentemente en las industrias como son:

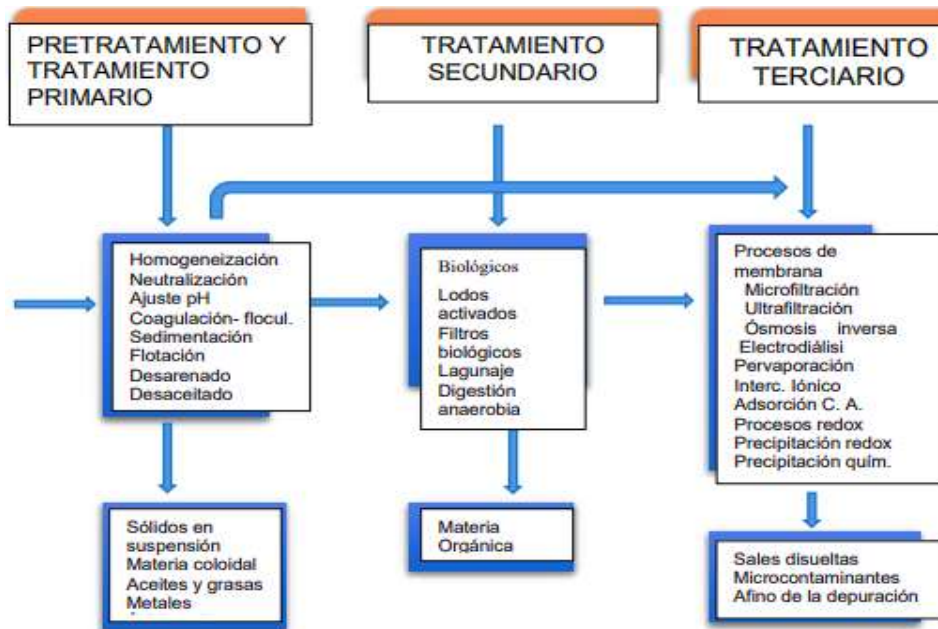


Figura 5: Clasificación de los tratamientos convencionales

6.3.1 Tratamientos primarios

Los tratamientos primarios implican la reducción de sólidos en suspensión y lograr las condiciones adecuadas para el tratamiento secundario, para esto se aplican los procesos de:

- Homogenización, es una operación unitaria que tiene como finalidad uniformar el flujo, la carga de contaminantes y las condiciones fisicoquímicas (pH, temperatura, etc.) de las aguas residuales en la planta de tratamiento.
- Neutralización, Antes de pasar a los tratamientos secundarios es importante efectuar la neutralización para lograr una mayor eficiencia de estos sistemas.
- Sedimentación, es la separación de partículas suspendidas más pesadas que el agua mediante la acción de la gravedad. Este se basa en la diferencia de gravedad específica entre el material sedimentable y el agua, por consiguiente, cualquier factor que afecte tal característica afectará la velocidad de sedimentación.

6.3.2 Tratamientos secundarios

Comprende tratamientos biológicos en los que los microorganismos sintetizan enzimas capaces de superar la resistencia a la degradación de los colorantes. Dentro de los cuales se tienen:

6.3.2.1 *Tratamientos aerobios*

- **Lodos activados:** Es un proceso de tratamiento por el cual el agua residual y el lodo biológico (microorganismos que utilizan nutrientes en solución para el crecimiento celular, contribuyendo a la limpieza del agua residual) son mezclados y aireados en un tanque denominado reactor. Los flóculos biológicos formados en este proceso se sedimentan en un tanque de sedimentación, lugar del cual son recirculados nuevamente al tanque aireador o reactor. En el proceso los microorganismos son completamente mezclados con la materia orgánica en el agua residual de manera que esta les sirva como sustrato alimenticio.
- **Lagunas aireadas:** Son balsas con profundidades de 1 a 4 metros en las que la oxigenación de las aguas residuales se realiza mediante unidades de aireación bien sean superficiales, turbinas o difusores. La diferencia fundamental entre lagunas aireadas y el sistema de lodos activados es que en este se lleva a cabo la recirculación del lodo como forma de controlar la cantidad de lodo biológico en el reactor de aireación. Las lagunas aireadas son sistemas sin reciclado de lodo.
- **Balsas de estabilización de aguas residuales:** En las balsas de estabilización no se utiliza equipo de aireación. El oxígeno necesario en las balsas se obtiene de la superficie natural de aireación y de las algas que producen oxígeno por la fotosíntesis. El oxígeno liberado por las algas se utiliza por las bacterias para la degradación aerobia de la materia orgánica. Los productos de degradación (CO₂, amoníaco, fosfatos) son utilizados de nuevo por las algas.
- **Filtros percoladores:** Estos pertenecen a los reactores de crecimiento asistido, en los que se utiliza algún tipo de soporte del crecimiento biológico, el cual se mantienen fijo en él. El filtro percolador es un relleno cubierto de limo biológico, a través del cual se percola el agua residual.

- Biodiscos: Su principal ventaja es el bajo consumo de energía y fácil mantenimiento. Su funcionamiento se basa en la rotación de un disco sumergido en el agua a tratar. Este movimiento provoca la transferencia de oxígeno entre la atmosfera y la flora microbiana aeróbica adherida a los rellenos contenidos en los discos. Está a través de procesos bioquímicos degrada y elimina la materia orgánica.

6.3.2.2 *Tratamientos anaerobios.*

- Biodigestor Es un aparato que facilita el crecimiento y la proliferación de un grupo de bacterias anaerobias metanogénicas que descomponen y tratan los residuos. El uso de digestores anaerobios es más común cada día, ya sea para el tratamiento de excretas animales, la producción de biogás, la purificación de aguas residuales, y la elaboración de biofertilizantes. Existen varios tipos de biodigestores y se clasifican según el régimen de carga y la dirección del flujo en su interior.

Régimen:

- ✚ Flujo continuo: son los que reciben su carga por medio de una bomba que mantiene una corriente continua.
- ✚ Flujo semi-continuo: son los que reciben una carga fija cada día y aportan la misma cantidad

Estacionarios: son los que se cargan de una sola vez y pasado el tiempo de retención se vacían completamente.

Dirección:

- ✚ Flujo horizontal (tubulares) se cargan por un extremo y la carga diaria va desplazando por su interior la precedente.
- ✚ Flujo ascendente la carga se inyecta en el fondo del recipiente y fluye hacia la parte superior

En este tratamiento los productos finales de la degradación son gases, como el metano, CO₂ y pequeñas cantidades de sulfuro de hidrógeno, mercaptano e hidrogeno, en el caso de los colorantes aromáticos como es caso de los azo y se tiene evidencia de que la reducción de estos colorantes origina aminas que son más tóxicas que el colorante original (Swamy y Ramsay, 1999).

6.3.3 Tratamientos terciarios

Se conoce también como tratamiento avanzado, es la serie de procesos destinados a conseguir una calidad del efluente superior a la del tratamiento secundario convencional.

- Eliminación de sólidos en suspensión: Los sólidos en suspensión, es la medida de los sólidos sedimentables y de los no sedimentables, que pueden ser retenidos en un filtro. La presencia de sólidos en suspensión incrementa la turbidez del agua y la de los sólidos disueltos. Estos sólidos en suspensión producen el color aparente en las aguas y disminuyen el paso de radiación solar, lo que lleva consigo una disminución de la fotosíntesis y muerte de las plantas a las que no les llega esta radiación.

La presencia de sólidos en suspensión en el agua puede dar lugar a la existencia de colonias bacterianas en lugares donde estos sólidos podrían acumularse por falta de flujos o flujos muy lentos. Para conseguir una mayor eliminación de sólidos en suspensión de los efluentes de los procesos de tratamientos biológicos y químicos se emplea la filtración, también se utiliza para la eliminación del fósforo precipitado por vía química, y como etapa previa de un proceso de electrodiálisis.

La filtración puede efectuarse de muchas formas: con baja carga superficial (filtros lentos) o con alta carga superficial (filtros rápidos), en medios porosos (pastas arcillosas, papel filtro) o en medios granulares (arena, antracita, granate o combinados), con flujo ascendente; descendente y mixto (parte ascendente y parte descendente). Por otro lado, el filtro puede trabajar a presión o por gravedad, según sea la magnitud de la carga hidráulica que exista sobre el lecho filtrante. (Otero, 2007).

- Oxidación química: Históricamente el uso de reactivos químicos oxidantes en el tratamiento de aguas se encaminó en sus comienzos hacia la esterilización del agua o, más exactamente, hacia la destrucción de gérmenes patógenos, ya sea como único método, o como una etapa final complementaria de otros tratamientos (Gomella y Guerre, 1997).

Los reactivos utilizados han sido el cloro y sus compuestos, el bromo, el yodo, el ozono y el permanganato potásico. Actualmente los reactivos que se utilizan con mayor frecuencia con objeto de destruir gérmenes patógenos, son el cloro y sus compuestos; sin embargo, debido a sus evidentes inconvenientes organolépticos y a su creciente complejidad de su forma de empleo, así como a las interferencias que producen con otras sustancias presentes en el agua tratada, la ozonización ocupa cada vez más un lugar preponderante.

- Osmosis inversa: es un proceso natural, en el cual un fluido pasa a través de una membrana semipermeable, de una zona de baja concentración a una de alta concentración hasta alcanzar el equilibrio, este fenómeno es debido al potencial químico de cada una de las sustancias, el cual está en función de la temperatura, presión y concentración de los sólidos disueltos.

En la ósmosis inversa el agua se inyecta a altas presiones sobre un conjunto de membranas semipermeables. No se trata de un proceso de filtración si no de un mecanismo de disolución-difusión.

Las sustancias que pueden disolver y difundir pasan. Retiene casi todo menos los compuestos orgánicos pequeños. La técnica de ósmosis inversa es la que tiene el mayor poder de retención, que alcanza hasta el no permitir el paso de las sales monovalentes disueltas. (García, 2002)

6.3.4 Tratamientos biológicos

En los últimos años, existe una tendencia a los tratamientos biológicos, por sus bajos costos de operación, viabilidad para el tratamiento de efluente y su capacidad para reducir DBO y DQO, comparados con los tratamientos químicos (Kornaros y Lyberatos, 2006).

Los sistemas de tratamiento que utilizan microorganismos son capaces de degradar los tintes recalcitrantes, hasta mineralizarlos. La efectividad de estos tratamientos depende de la supervivencia y adaptabilidad de los microorganismos durante el proceso de tratamiento. A pesar de que los procesos químicos y físicos producen efluentes de calidad aceptable en la mayoría de las ocasiones generan un alto costo. Mientras que los tratamientos biológicos resultan ser más económicos ya que requieren de materia prima menos costosa y se trabaja con recursos que en muchos casos resultan ser residuos de otras actividades (Moeller y Garzón, 2003).

Algunas técnicas de remediación emplean la degradación microbiana, la cual utiliza microorganismos como bacterias y hongos, fitorremediación que utiliza plantas, y la remediación a través de enzimas específicas. Los modos de biorremediación aplicados a la decoloración de colorantes incluyen mezclas de cultivos, organismos aislados y enzimas aisladas presentes en los microorganismos (Kandelbauer y Guebitz, 2005).

La utilización de comunidades microbianas lleva a que la decoloración de los efluentes textiles puede ser el resultado de la sinergia de varios microorganismos (Mittal et al., 2006).

6.4 Tratamiento de los efluentes de la industria textil

Los colorantes pueden ser removido de aguas residuales por métodos fisicoquímicos que incluyen: adsorción, coagulación-floculación, oxidación y métodos electroquímicos.

6.4.1 Adsorción

La adsorción es un proceso eficaz en la remoción de color en efluentes de la industria textil [McKay G., 1982], sin embargo, la mayor parte de los estudios realizados tratan de remover solamente el color, es decir, realizan los experimentos con soluciones preparadas con sólo el color, sin tomar en cuenta las interacciones, ventajas o desventajas de la presencia de los aditivos químicos que se utilizan en el proceso de teñido. Además de lo anterior es sabido que la adsorción es una herramienta poderosa en el tratamiento de aguas residuales de orígenes variados. Desde el punto de vista funcional, la adsorción de un adsorbato en carbón activado depende de la rapidez de transferencia de masa externa e interna, de éstas la crítica es la transferencia interna. Los procesos de transporte internos (intrínsecos al carbón) incluyen la difusión del adsorbato en la superficie del carbón y la difusión en los poros del mismo [McKay G., 1982].

La química del carbón permite que muchos compuestos orgánicos e inorgánicos se adhieran a los átomos del mismo, la fuerza de tal adhesión depende del enlace que se forme entre el carbón y el adsorbato. Se dice que el carbón está activado cuando éste se trata para producir una relación superficie/volumen muy grande. Normalmente, la adsorción se considera un proceso físico, pues los enlaces entre el adsorbato y el carbón son débiles (fuerzas de Van der Waals) y se pueden romper con facilidad relativa, regenerando el carbón para un uso posterior.

Desde el punto de vista industrial, la adsorción como tratamiento de remoción de contaminantes se utiliza en las plantas de tratamiento municipales (en los Estados Unidos) como tratamiento terciario o como parte de un tren de tratamiento fisicoquímico. El tratamiento terciario consiste principalmente en eliminar materia orgánica residual después de un tratamiento biológico, mientras que los tratamientos fisicoquímicos son aquellos que buscan por medios físicos y/o químicos eliminar toda materia orgánica en vez de utilizar medios biológicos.

Sin embargo, en la literatura existe mucha información relacionada con el tratamiento de aguas residuales con color utilizando carbón activado como adsorbente.

La literatura reporta [Sankar, 1992] la utilización de carbón activado para la remoción de los colores Direct Red 31, Acid Black 1 y Acid Green 16, todos pertenecientes a la familia de los colorantes diazo y trifenilmetanos, el autor utilizó Carbón Activado base Arroz (Rice Bran- based Activated Carbon) con buenos resultados para estos componentes, la prueba se realizó para los colores individuales sin mezclas entre ellos.

Otro artículo [Walker G.M, et al. 1997] reporta el tratamiento de colorantes ácidos utilizados en el teñido de alfombras de nylon, utilizando camas de carbón activado con un diámetro de partícula de 400 micras y el modelo BDST para sus cálculos, el autor encontró que la remoción del colorante es fuertemente dependiente de la cinética del sistema, por ejemplo un flujo y un tamaño de partícula menor favorecen la remoción del colorante, en otras palabras cualquier condición que permita que el tiempo de residencia del agua a tratar sea mayor, generará una remoción de colorante mayor. El autor también concluye que este proceso está controlado por la difusión interna del colorante, al comparar colorantes ácidos con básicos el autor concluye que éstos últimos tienen mayor facilidad para ser adsorbidos que los ácidos dado un mismo sistema de referencia.

McKay [McKay G., 1982]. reporta resultados que apoyan los hallazgos de Walker. McKay trató un colorante ácido (Deorlene Yellow) y uno básico (Telón Blue) en una cama de carbón activado con diámetro de 400 micras, los resultados fueron similares a los de McKay, cualquier condición que favorezca mayor tiempo de residencia del contaminante en la cama de carbón activado generará una mayor remoción del colorante.

Como se verá más adelante, existen diferentes tipos de colorantes, cada uno con características químicas diferentes, por lo tanto, con capacidades de adsorción diferentes. McKay [McKay G., 1982]. reporta otro estudio donde comparó la factibilidad y eficiencia de adsorción de colorantes ácidos, básicos, dispersos y directos, realizó estudios de adsorción batch. El resultado fue que, con excepción de los colorantes dispersos, los demás son perfectamente absorbibles. El colorante disperso presentó dificultades para adsorberse, el autor añadió sulfato de sodio y se mejoró en gran manera el nivel de remoción del colorante.

Aun y cuando el carbón activado presenta resultados positivos, tiene desventajas, es necesario regenerar la cama cada vez que esta llega a su punto de saturación, esto se hace con vapor o con algún solvente, lo que genera un gasto de operación extra, además los lodos que se producen en la regeneración de la cama requieren de un tratamiento extra, con lo que se aumentan aún más los costos de operación de un tratamiento de este tipo, sin mencionar los aspectos ambientales que se generan al tener este tipo de lodos.

6.4.2 Coagulación-Floculación

El proceso de coagulación/floculación se utiliza para remover sólidos suspendidos del agua, buscando desestabilizar las fuerzas que mantienen en suspensión a las partículas, permitiendo que las partículas colisionen entre sí para formar un floculo que puede sedimentarse.

La coagulación desestabiliza las cargas de las partículas, pues se añade al agua residual un compuesto químico (coagulante) que posee una carga opuesta a la de las partículas suspendidas, neutralizándolas, lo que las habilita para unirse entre sí, formando partículas más grandes llamadas microfloculos, no perceptibles a simple vista.

La floculación es un proceso donde el agua residual que contiene el coagulante se agita lentamente y se permite que los microfloculos se unan entre sí para formar macrofloculos, que es posible ya observarlos a simple vista y que conforme van aumentando en peso molecular, serán capaces de sedimentar.

En cuestión de agua residual textil, la coagulación tiene dificultad para remover colorantes solubles, pero ha mostrado buena eficiencia en la remoción de colorantes directos [Hao, 2000] utilizados principalmente en el teñido de poliéster.

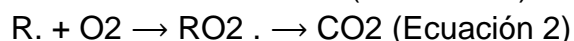
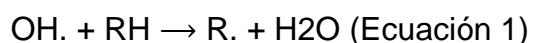
El tinte no fijado en la tela y removido por el agua en el efluente son partículas coloidales de gran volumen y poco peso con especiales propiedades superficiales y cargadas eléctricamente. Se caracterizan por su gran estabilidad, que impide que se junten, pudiendo mantenerse indefinidamente en el seno del líquido que los contiene. Esta estabilidad es debida a que la energía cinética que poseen es menor que la energía potencial resultante de la repulsión electrostática y fuerzas de Vander Waals entre partículas. Ya que, esto impide el choque de las partículas de tinte y que formen así masas mayores, llamados floculos, las partículas no se asientan.

La coagulación desestabiliza estos coloides, al neutralizar las fuerzas que los mantienen separados. Esto se logra por lo general añadiendo coagulantes químicos y aplicando energía de mezclado. Las sustancias químicas cancelan las cargas eléctricas sobre la superficie del coloide, permitiendo que las partículas coloidales se aglomeren formando flóculos.

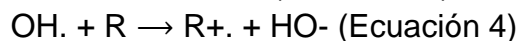
6.4.3 Oxidación

Los procesos de Oxidación avanzada prometen ser unos de los métodos más eficientes para la remoción de contaminantes no biodegradables contenidos en aguas superficiales y subterráneas. Implican la generación de especies intermediarias altamente reactivas (radicales) que inician la oxidación de compuestos orgánicos. En soluciones acuosas, el radical hidroxilo ($\text{HO}\cdot$), de elevado potencial de oxidación, es la especie principal que inicia la mayoría de los procesos de oxidación avanzada. Existen diferentes alternativas para la formación de estos radicales: UV/ H_2O_2 , UV/Ozono, Ozono/ H_2O_2 , Fe^{2+} / H_2O_2 (reactivo de fenton), UV/ TiO_2 (fotocatálisis heterogénea), oxidación supercrítica del agua, etc. (Colindres, 2010)

Los radicales $\text{HO}\cdot$. Generados en disolución son los responsables de la oxidación de los compuestos orgánicos (RH en la ecuación 1) por captura de hidrógeno y formación de un radical orgánico (ecuación 1), que puede reaccionar con el oxígeno atmosférico formando peroxirradicales (ecuación 2) que dan lugar a una serie de reacciones de degradación oxidativa, alcanzando en algunos casos la mineralización completa de la materia orgánica.



Los radicales hidroxilos pueden actuar frente a los compuestos orgánicos (R en la ecuación 3) mediante otros mecanismos de reacción, como la adición electrofílica (ecuación 3) o la transferencia de electrones (ecuación 4).



De igual forma se pueden producir recombinaciones entre radicales hidroxilos para formar peróxido de hidrógeno (ecuación 5), o se pueden formar radicales perhidroxilo en presencia de exceso de peróxido de hidrógeno (ecuación 6). Radical perhidroxilo que parece no contribuir a las degradaciones oxidativas, por su menor reactividad.

$\text{OH} \cdot + \text{OH} \cdot \rightarrow \text{H}_2\text{O}_2$ (Ecuación 5)

$\text{H}_2\text{O}_2 + \text{OH} \cdot \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{HO} \cdot$ 2 (Ecuación 6)

Los procesos de oxidación avanzada se clasifican en procesos fotoquímicos y no fotoquímicos, en función de la utilización o no de los radicales luminosos en el proceso. (Pey, 2008)

La desventaja se presenta en cuanto a un alto costo comparado con los procesos biológicos, sin embargo, el uso de un proceso de oxidación avanzada puede mejorar la biodegradabilidad de aguas residuales o lograr una casi completa remoción utilizándolo como pre-tratamiento o post-tratamiento respectivamente (García et al., 2011)

6.4.4 Métodos Electroquímico

Los métodos electroquímicos de tratamiento de aguas residuales como la electroflotación, electrodecantación y la electrocoagulación, involucran el uso de una celda electrolítica y un par de electrodos metálicos a través de los cuales se hace circular una corriente eléctrica. Con esta tecnología se han implementado diversas estrategias (directas o indirectas) realizando tanto oxidaciones como reducciones del contaminante. En la electrólisis directa, la especie es oxidada (en el ánodo) o reducida (en el cátodo) en la superficie de uno de los electrodos; mientras que en la indirecta la sustancia de interés es degradada por especies generadas electroquímicamente (Sarria et al., 2005).

De todas las técnicas electroquímicas conocidas se tiene mayor interés en emplear la electrocoagulación como método de tratamiento de aguas residuales que contengan metales pesados, residuos de grasa, tintes textiles, partículas suspendidas, suspensiones acuosas de partículas ultra finas, nitratos, fenoles, arsénico y contaminantes orgánicos, y se emplea para potabilizar agua.

La electrocoagulación es un método electroquímico de tratamiento de aguas donde un electrodo de sacrificio se corroe para que se lleve a cabo la coagulación, es un proceso complicado que envuelve varios mecanismos químicos y fenómenos físicos, que emplea electrodos consumibles para suplir iones en el agua residual. Un proceso de electrocoagulación involucra tres etapas sucesivas:

- Formación de los coagulantes por oxidación electrolítica del electrodo de sacrificio.
- Desestabilización de los contaminantes, partículas suspendidas y rompimiento de emulsión
- Agregación de las fases desestabilizadas para formar flocs.

6.5 Tipos de Adsorbentes

Un adsorbente es un sólido que tiene la capacidad de retener sobre su superficie un componente presente en corrientes líquidas o gaseosas. Se caracterizan por una alta superficie específica y por su inercia química frente al medio en el que se van a utilizar. Existen dos categorías principales de adsorbentes según su uso y modo de administración.

6.5.1 Carbón activado

El sólido universalmente utilizado en el tratamiento de aguas es el carbón activo, aunque en los últimos años se han desarrollado diversos materiales sólidos que mejoran, en ciertas aplicaciones, las propiedades del carbón activo. Hay dos formas clásicas de utilización de carbón activo, con propiedades diferentes y utilizándolo en diferentes aplicaciones:

El proceso de adsorción consiste en la captación de sustancias solubles en la superficie de un sólido. Un parámetro fundamental en este caso será la superficie específica del sólido, dado que el compuesto soluble a eliminar se ha de concentrar en la superficie del mismo. La necesidad de una mayor calidad de las aguas está haciendo que este tratamiento esté en auge. Es considerado como un tratamiento de refinado, y por lo tanto al final de los sistemas de tratamientos más usuales, especialmente con posterioridad a un tratamiento biológico.

Factores que afectan a la adsorción:

- Solubilidad: Menor solubilidad, mejor adsorción.
- Estructura molecular: Más ramificada, mejor adsorción.
- Peso molecular: Grandes moléculas, mejor adsorción.
- Problemas de difusión interna, pueden alterar la norma.
- Polaridad: Menor polaridad, mejor adsorción.
- Grado de saturación: Insaturados, mejor adsorción. Carbón activado

El sólido universalmente utilizado en el tratamiento de aguas es el carbón activo, aunque en los últimos años se han desarrollado diversos materiales sólidos que mejoran, en ciertas aplicaciones, las propiedades del carbón activo.

Hay dos formas clásicas de utilización de carbón activo, con propiedades diferentes y utilizándolo en diferentes aplicaciones:

Carbón activado granular (GAC): Se suele utilizar una columna como medio de contacto entre el agua a tratar y el carbón activado, en la que el agua entra por la parte inferior y asciende hacia la superior.

El tamaño de partícula en este caso es mayor que en el otro. Se suele utilizar para eliminar elementos traza, especialmente orgánicos, que pueden estar presentes en el agua, y que habitualmente han resistido un tratamiento biológico. Son elementos, que, a pesar de su pequeña concentración, en muchas ocasiones proporcionan mal olor, color o sabor al agua.



Figura 6: Carbón Activado Granular

Carbón activo en polvo (CAP): Este tipo de carbón se suele utilizar en procesos biológicos, cuando el agua contiene elementos orgánicos que pueden resultar tóxicos. También se suele añadir al agua a tratar, y pasado un tiempo de contacto, normalmente con agitación, se deja sedimentar las partículas para su separación previa. Suelen ser operaciones llevadas a cabo en discontinuo.



Figura 7: Carbón Activado en polvo

Propiedades del carbón activado

La estructura química del carbón activo puede definirse como una forma bruta de grafito, con una estructura amorfa aleatoria altamente porosa con poros de distintas dimensiones, desde cavidades y huecos visibles hasta otros de dimensiones moleculares.

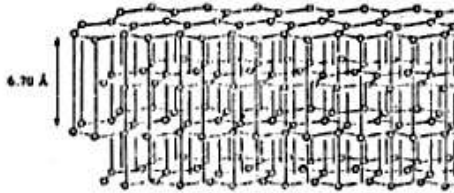


Figura 8: Arreglo estructural de las capas planas del grafito

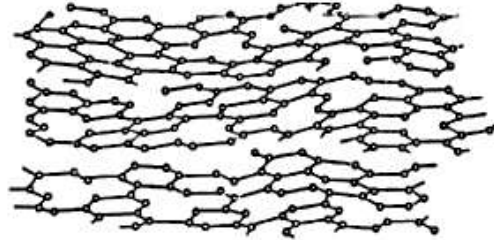


Figura 9: Estructura propuesta de las capas de carbón activado

La viabilidad económica de este proceso depende de la existencia de un medio eficaz de regeneración del sólido una vez agotada su capacidad de adsorción. El GAC se regenera fácilmente por oxidación de la materia orgánica y posterior eliminación de la superficie del sólido en un horno. Las propiedades del carbón activo se deterioran, por lo que es necesario reponer parte del mismo por carbón virgen en cada ciclo. Por otro lado, el CAP es más difícil de regenerar, pero también es cierto que es más fácil de producir.

El coste es un parámetro importante a la hora de la elección del adsorbente. Alternativas al carbón activo son las zeolitas, arcillas (montmorillonita, sepiolita, bentonita, etc.), los denominados adsorbentes de bajo coste, procedentes en su mayor parte de residuos sólidos orgánicos.

6.5.2 Zeolita

Las zeolitas naturales son formadas a partir de la precipitación de fluidos contenidos en los poros, tal como en las ocurrencias hidro-termales, o por la alteración de vidrios volcánicos. Las condiciones de presión, temperatura, actividad de las especies iónicas y presión parcial de agua son factores determinantes en la formación de las diferentes especies de zeolitas.

Existen cerca de 40 especies de zeolitas naturales conocidas, sin embargo, tan solo algunas especies son ampliamente utilizadas. Dentro de esas se incluyen: mordenita, clinoptilolita, heulandita, phillipsita, eroinita y chabazita.

Estructura y clasificación:

Las zeolitas son estructuradas en redes cristalinas tridimensionales, compuestas de tetraedros del tipo TO_4 ($T = Si, Al, B, Ge, Fe, P, Co$) unidos en los vértices por un átomo de oxígeno. Las estructuras se presentan en las principales unidades estructurales de las zeolitas, los principales tipos

En donde:

- A. Tetraedro con un átomo de Si (círculo lleno) en el centro y átomos de oxígeno en los vértices.

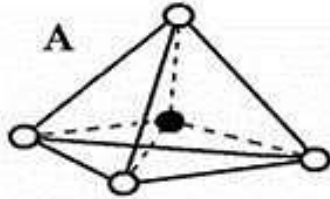


Figura 10: Tetraedro con un átomo de Si

- B. Tetraedro con átomo de Al sustituyendo el Si y unido a un catión monovalente para compensar la diferencia de carga entre el Si y el Al.

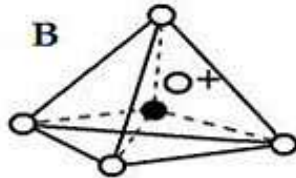


Figura 11: Tetraedro con un átomo de Al

- C. Átomo Palente para balancear las cargas entre el Al y el Si en una cadena múltiple de tetraedros.

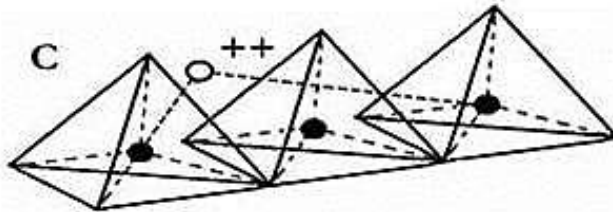


Figura 12: Átomo palente

Las propiedades más relevantes de las zeolitas naturales son:

Porosidad: Las zeolitas son formadas por canales y cavidades regulares y uniformes de dimensiones moleculares (3 a 13 nm) que son medidas similares a los diámetros cinéticos de una gran cantidad de moléculas.

Este tipo de estructura microporosa hace que las zeolitas presenten una superficie interna extremadamente grande en relación a su superficie externa. La IUPAC (The International Union of Pure and Applied Chemistry) reconoce tres tipos de poros atendiendo a su tamaño.

- ✚ Si son mayores de 50 nm se conocen como macroporos, si su diámetro está comprendido entre 2 y 50 nm se trata de mesoporos y si son menores de 2 nm, como es el caso de los poros de las zeolitas, son microporos.
- ✚ Cuando la distancia entre dos superficies es suficientemente corta, los potenciales de adsorción se suman, de forma que una molécula situada en el interior del poro se ve atraída por toda la superficie del poro aumentando la fuerza con la que se ve atraída. Es decir, a medida que disminuye el tamaño del poro más profundo se hace el pozo de potencial.
- ✚ En el caso de que el poro sea suficientemente ancho las moléculas se irán adsorbiendo formando una monocapa a una distancia determinada de la superficie (distancia de adsorción), y a medida que aumenta la cantidad adsorbida el adsorbato se ordena en capas sucesivas (llenado en multicapas).

Adsorción: La superficie de los sólidos es una región singular, que es responsable o al menos condiciona muchas de sus propiedades. Los átomos que se encuentran en ella no tienen las fuerzas de cohesión compensadas, como ocurre en los átomos situados en el seno del sólido que es, en definitiva, responsable de las propiedades de adsorción de los sólidos. A distancias suficientemente grandes, no existe una interacción apreciable entre una molécula acercándose a una superficie, por lo tanto, la energía de este sistema es próxima a cero. A medida que la molécula se acerca a la superficie la energía del sistema comienza a disminuir debido a que las fuerzas de cohesión de los átomos de la superficie empiezan a verse compensadas.

En otras palabras, el potencial de adsorción origina una fuerza atractiva que provoca el acercamiento de la molécula a la superficie:

- ✚ Cuando la distancia entre la superficie y la molécula libre comienza a disminuir, las fuerzas de repulsión (debidas a la proximidad de las capas de electrones de los átomos de la superficie con los átomos de la molécula libre) comienzan a ser importantes. Por lo tanto, existe una distancia para la cual la energía del sistema es mínima.
- ✚ La alta eficiencia de adsorción de las zeolitas está relacionada a la gran superficie interna que esta posee. Cuando el tamaño del poro disminuye se produce un incremento significativo del potencial de adsorción, ocasionado por el solapamiento de los potenciales de las paredes del poro.
- ✚ Para un mismo adsorbato, la interacción con las paredes del poro es mayor cuanto menor es el tamaño del poro, y, por tanto, mejor el confinamiento de la molécula adsorbida.

La zeolita ofrece un efecto en el filtrado superior al de la arena o al de los filtros de carbón, resultando en agua más pura con mejor productividad y requiriendo menos

mantenimiento. La estructura altamente porosa de las zeolitas puede capturar partículas contaminantes de hasta 4 micras.

6.6 Isotermas de adsorción

Una isoterma de adsorción es el equilibrio de la adsorción de un material en una superficie (de modo más general sobre una superficie límite) a temperatura constante. Representa la cantidad de material unido a la superficie (el sorbato) como una función del material presente en la fase gas o en la disolución.

Las isotermas de adsorción se usan con frecuencia como modelos experimentales, que no hacen afirmaciones sobre los mecanismos subyacentes y las variables medidas. Se obtienen a partir de datos de medida por medio de análisis de regresión.

Las isotermas de adsorción indican como las moléculas adsorbidas se distribuyen entre la fase líquida y la sólida cuando el proceso de adsorción alcanza un estado de equilibrio. Muchos modelos describen la adsorción, sin embargo, los investigadores usualmente utilizan los modelos de adsorción propuestos por Langmuir y por Freundlich para comprender el fenómeno de la adsorción.

6.6.1 Isoterma de Freundlich

Es una isoterma de adsorción, que es una curva que relaciona la concentración de un soluto en la superficie de un adsorbente, con la concentración del soluto en el líquido con el que está en contacto. La isoterma de adsorción de Freundlich se expresa matemáticamente de la siguiente manera:

$$\left(\frac{X}{M}\right) = k_p^{\frac{1}{n}} \text{ ó } \left(\frac{X}{M}\right) = k_c^{\frac{1}{n}} \text{ ecuacion 2}$$

Donde: x es la masa de adsorbato, m es la masa de adsorbente, p es la presión de equilibrio del adsorbato, c es la concentración de equilibrio del adsorbato en disolución y K y $\left(\frac{1}{n}\right)$ son constantes para un adsorbato y adsorbentes dados, y para una temperatura particular.

Ejemplo:

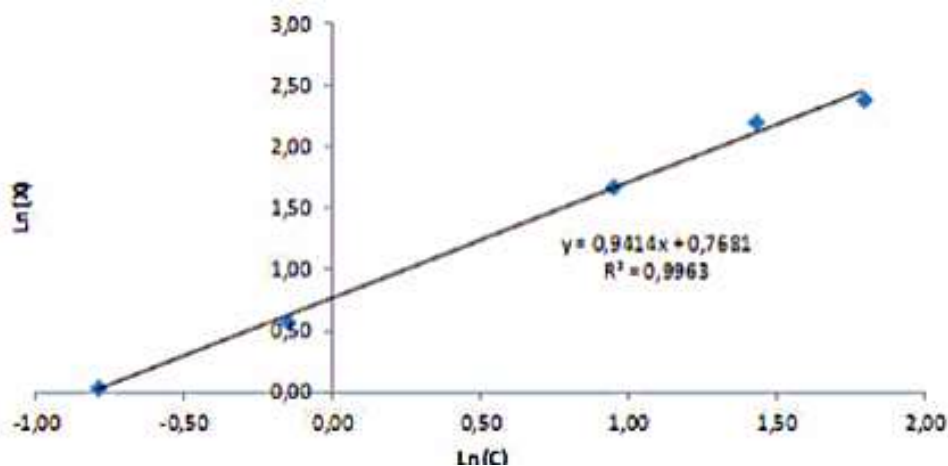


Figura 13: Isoterma de adsorción del AMP'5 a pH 7 sobre el WO3.

Modelo de Freundlich. El modelo de Freundlich fue empleado para analizar el equilibrio de adsorción de las biomoléculas sobre la superficie del WO3. La Figura 9 muestra la isoterma de 19 adsorción del AMP'5 sobre el WO3 a pH 7, donde la linealidad de los datos del Nucleótido se ajustó al modelo propuesto por Freundlich. En la tabla 3 se exhiben los parámetros de Freundlich para la adsorción de los componentes de ácidos nucleicos sobre el WO3. La isoterma de Freundlich fue utilizada para analizar la eficiencia del óxido de tungsteno en el proceso de adsorción de las biomoléculas.

Tabla 2: Parámetros de Freundlich para la adsorción de las biomoléculas sobre el WO3

Biomolécula	pH3		pH7		pH10	
	n	Kf	n	Kf	n	Kf
Adenina	1.45	5.13	1.48	3.57	1.25	2.33
Guanina	2.49	5.48	1.49	3.47	1.57	6.06
Citosina	1.35	4.72	1.47	3.65	1.64	3.13
Uracilo	5.58	6.43	2.08	4.86	2.5	4.67
Adenosina	1.77	5.07	1.51	3.94	1.25	3.22
Guanosina	1.4	5.11	1.07	1.99	1.56	6.42
Citadina	1.43	5.3	1.28	2.9	1.78	6.38
Uridina	1.9	5.77	1.42	3.26	1.37	2.19
AMP'5	1.53	5.55	2.16	1.06	1.33	2.53
GMP'5	1.29	4.48	1.12	2.21	1.28	2.95
CMP'5	1.38	4.54	1.16	2.62	1.23	2.88
UMP'5	1.48	4.83	1.17	2.46	1.21	3.1

En este estudio se utilizaron las isotermas de Langmuir y Freundlich para describir e ilustrar los procesos de adsorción de las biomoléculas sobre el óxido de tungsteno. Se demostró que las constantes resultaron útiles para la evaluación de la capacidad de adsorción y el ajuste a las ecuaciones de Langmuir y Freundlich permitieron determinar la extensión y factibilidad de la adsorción.

6.6.2 Isoterma de Langmuir

Es una ecuación mucho más exacta para las isotermas de adsorción del tipo uno, la ecuación de Langmuir relaciona la adsorción de moléculas en una superficie sólida con las presiones de gas o concentración de un medio que se encuentre encima de la superficie sólida a una temperatura constante. La isoterma de adsorción de Langmuir se expresa matemáticamente de la siguiente manera:

$$\theta = \left(\frac{V}{V_m} \right) = \left(\frac{\alpha P}{1 + \alpha P} \right) \text{ecuacion 3}$$

Donde:

θ es la fracción de cobertura de la superficie, V es el volumen del gas adsorbido por el sólido, V_m es el volumen de moléculas monocapa de gas que cubren toda la superficie del sólido y completamente ocupado por el adsorbente, α es la constante de adsorción de Langmuir, es mayor cuanto mayor sea la energía de ligadura de la adsorción y cuanto menor sea la temperatura y P es la presión parcial del adsorbente.

6.7 pH

El pH influye en la carga de la superficie del absorbante, el grado de ionización del material presente en la solución, la disociación de los grupos funcionales en los sitios activos del absorbante y la química de la solución del tinte. El efecto de la temperatura es otro parámetro significativo, porque modifica la capacidad de adsorción del absorbante. Si la absorción aumenta al aumentar la temperatura es un proceso endotérmico, pero si la adsorción disminuye con el aumento de la temperatura en un proceso exotérmico.

El pH describe el potencial de hidrógeno de una sustancia, en otras palabras, la concentración de iones de hidrógeno que hay en una solución. Se expresa con la escala de pH, donde los valores de las soluciones van de 0 a 14. Una solución con un pH bajo, de 0-6 (es decir, con un número elevado de iones de hidrógeno) es ácida, mientras que una solución con un pH de 8-14 (es decir, con un número reducido de iones de hidrógeno) es considerada básica. Según la escala, se considera neutra una solución con un pH de 7, equivalente a agua pura a una temperatura de 25 °C.

El pH es de gran importancia, ya que de no tenerse en cuenta en el proceso de fabricación y secado de las telas estas pueden variar su color o se puede afectar su textura. Antes del secado de las telas, varias de estas deben tener un pH entre 5.5 y 6.

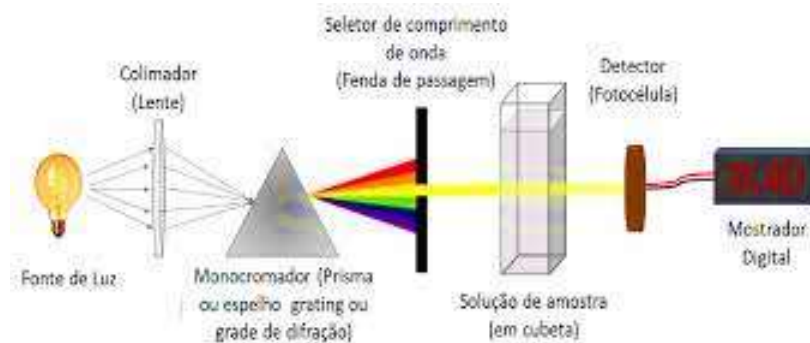


Figura 14: pH

6.8 Absorbancia

La absorbancia, también conocida como densidad óptica (DO), se define como la relación (logarítmica) entre la intensidad de la luz que incide en una muestra y la intensidad de esa misma luz transmitida a través de la muestra. Mientras que una longitud de onda de luz específica, generalmente seleccionada por un filtro, ilumina una muestra, parte de esta luz se absorbe. La luz no absorbida pasa a través de la muestra y es recogida por un detector ubicado frente a la fuente de luz, en el otro lado del pozo de la microplaca.

Dado que la cantidad de luz absorbida por una muestra se relaciona con su concentración (ley Lambert-Beer), la absorbancia se ha utilizado para la cuantificación de ácidos nucleicos y proteínas, así como en reacciones colorimétricas populares tales como las pruebas ELISA. BMG LABTECH ofrece una variedad de lectores de microplacas de absorbancia.



Longitud de onda

Type	Name	Wavelength
Ultraviolet	UV-C	100nm-280nm
	UV-B	280nm-315nm
	UV-A	315nm-400nm
Visible light	Purple	400nm-435nm
	Blue	435nm-480nm
	Patina	480nm-490nm
	Blue green	490nm-500nm
	Green	500nm-560nm
	Yellow green	560nm-580nm
	Yellow	580nm-595nm
Infrared	Orange	595nm-610nm
	Red	610nm-750nm
	Red purple	750nm-800nm
	IR-A	800nm-1400nm
	IR-B	1400nm-3000nm
	IR-C	3000nm-100萬nm

Figura 15: Longitud de onda

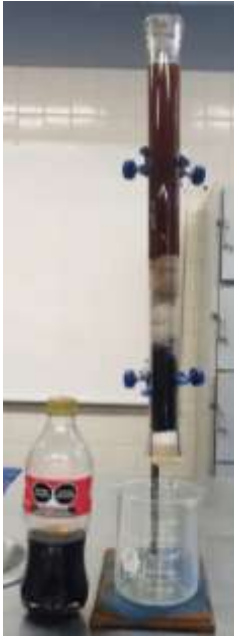
7. PROCEDIMIENTO

Se realizó el montaje y empacado de 5 columnas de adsorción con diferentes alturas y en diferentes métodos, el primer método no se utilizó un filtro en la parte inferior de la columna y el segundo método fue utilizando un filtro, el filtro utilizado fue el algodón, esto se realizó así para conocer cuál de los 2 métodos nos arroja mejor resultado limpiado más el agua residual. Se realizó una curva patrón preparando una solución madre del agua residual sintética con el colorante caballito azul índigo y después se diluyó para hacer el barrido espectral ya que la solución madre está muy concentrada y no se puede leer finalmente se determinó las variables y el isoterma de adsorción.

7.1 Actividades realizadas

1. La investigación consiste en la remoción de color en las aguas residuales en general y sintéticas con diferentes adsorbentes, especialmente con carbón activado y zeolita.
2. El montaje y empacado de columnas de adsorción: Se llevó a cabo con el carbón activado, zeolita y combinación de carbón activado-zeolita, realizándolo con dos diferentes pruebas con filtro (algodón) y sin filtro (algodón).





3. Pruebas de estabilización rápida de la columna de adsorción: Se realizó primero con refresco de consumo común para ver si la columna de adsorción con los tipos de absorbentes funcionaba y así llevar a cabo nuestras muestras.

4. Preparación de solución madre del agua residual sintética con el colorante caballito azul índigo.

Solución madre:

20 lts. Agua

11 gr. Colorante caballito azul índigo



5. Preparación de una dilución de 1:100 ml el agua residual sintética con colorante para posteriormente realizar el barrido espectral ya que la solución madre está muy concentrada y así el espectrofotómetro pueda leerlo.

6. Una vez diluido se tomaron 5 muestras cada muestra tendrá 1:10 ml, 2:10 ml, 3:10 ml, 4:10 ml y 5:10 ml en cada tubo de ensayo de la solución diluida en el matraz aforado, posteriormente se hará el barrido espectral tomando la muestra 3:10 ml.



7. Medición de las variables para determinar los isothermas de adsorción(color, pH, absorbancia, longitud de onda (nm)). Para obtener el color se graficará en la curva que nos arroja el barrido de acuerdo a la absorbancia de nuestra muestra hasta que choque con la línea de la curva y para la determinación del pH se utilizará el pHmetro.
8. Determinación de las isothermas de adsorción.
9. Análisis de los resultados obtenidos de los diferentes tipos de adsorbentes como carbón activado, zeolita y carbón activado-zeolita.
10. Realizar el reporte final del proyecto.

8. RESULTADOS

A continuación, se muestran los resultados de las columnas de adsorción con los diferentes métodos colorante sin algodón (filtro) y colorante con algodón (filtro).

8.1 Colorante sin algodón

Se prepararon 5 columnas de adsorción constituidos por:

1. 2 columnas de adsorción de 20 centímetros (1 de carbón activado y otra de zeolita).
2. 2 columnas de adsorción de 30 centímetros (1 de carbón activado y otra de zeolita).
3. 1 columnas de adsorción de 20 centímetros (10 cm. carbón activado y 10 cm. de zeolita).

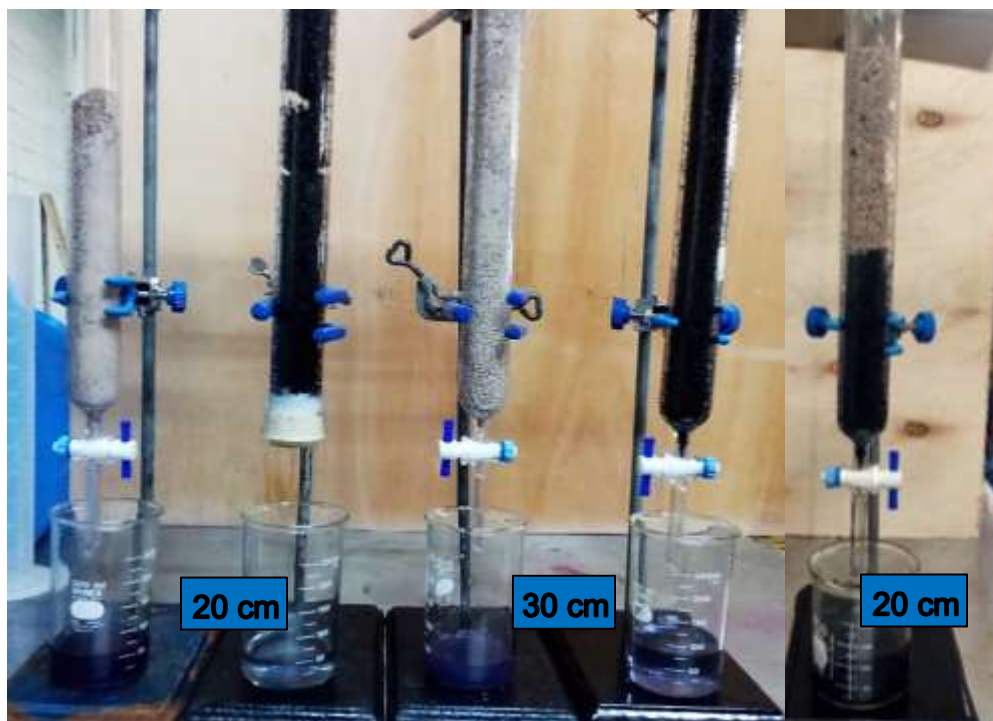


Figura 16: Columnas de adsorción sin algodón

Una vez empacadas las columnas de absorción se le añade 150 ml solución madre, el tiempo transcurrido por pasar en los absorbentes es de 1 min.

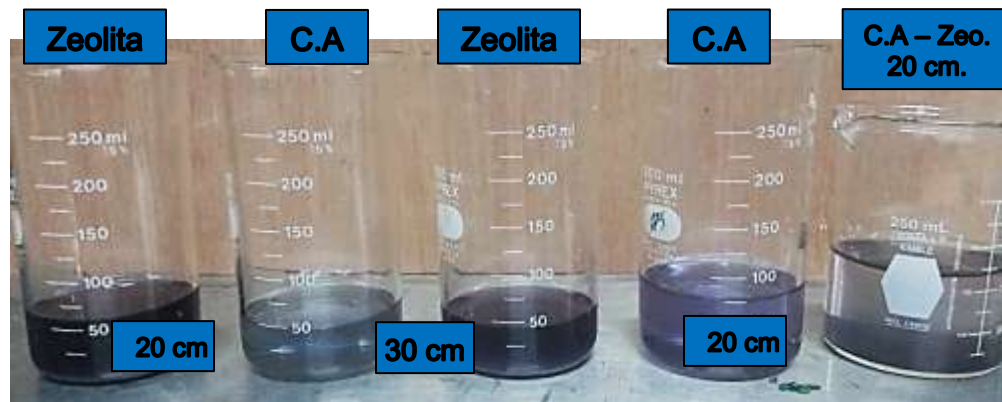


Figura 17: Muestras de las columnas de adsorción sin algodón

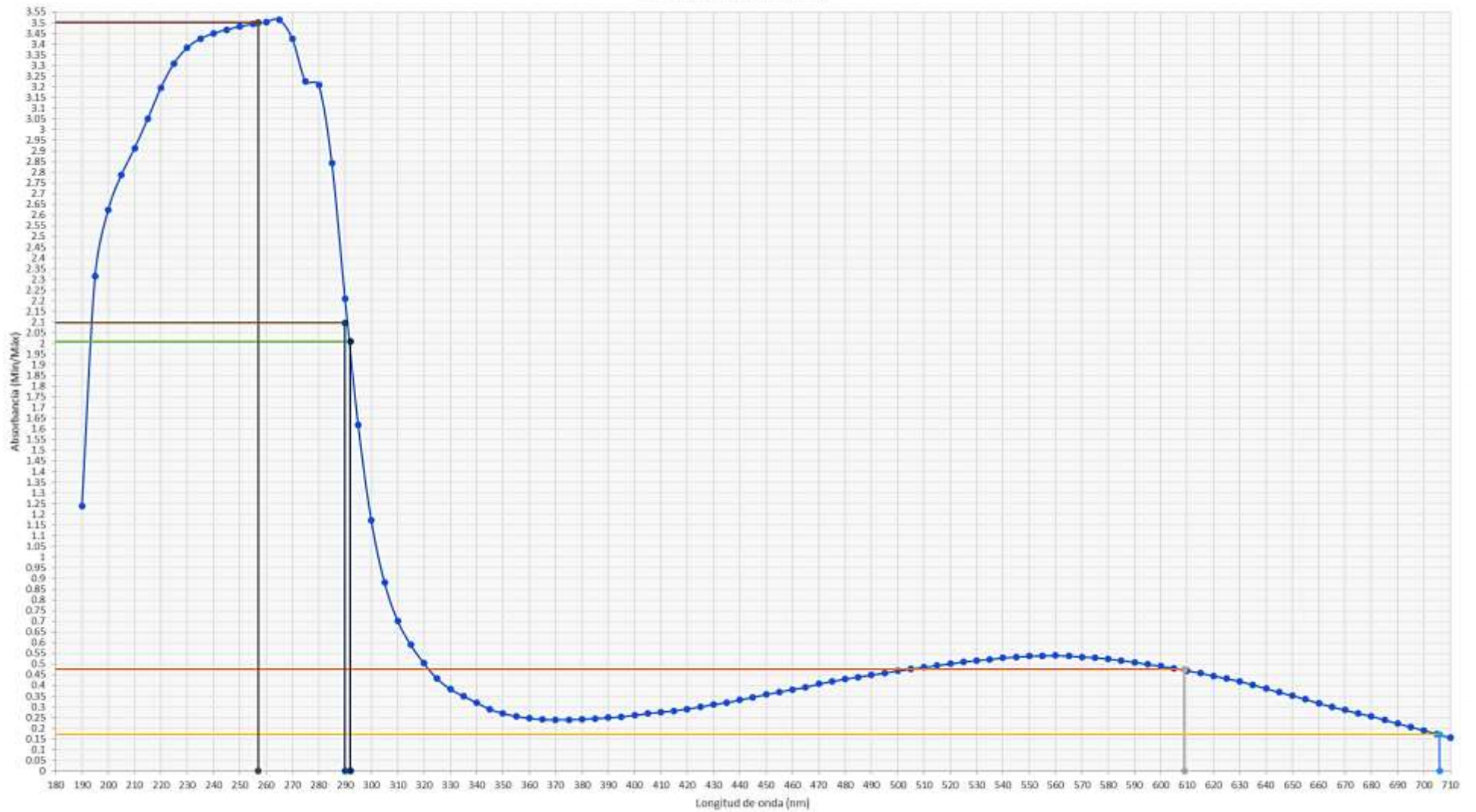
Se les dio a las muestras un reposo de 1 hora, posteriormente se leyó sus absorbancias con el aparato espectrofotometría equipo del Polo Tecnológico Nacional para el Desarrollo de Investigación y Pruebas Analíticas en Biocombustibles, pH equipo del laboratorio de Ing. Química pesada.

La longitud de onda (nm) se obtiene con la gráfica que nos arroja el barrido espectral que se obtuvo por la solución diluida de nuestra solución madre, graficando la absorbancia de nuestra muestra hasta que choque con la línea de la curva del barrido espectral.

Tabla 3: Resultado final de la columna de adsorción sin algodón

COLORANTE SIN ALGODÓN									
INICIAL				FINAL					
	Altura (cm)	Gramos	Solución madre ml.	ml. recuperado	Tiempo (min)	Absorbancia	PH	Longitud de onda (nm)	
Carbón activado	20	49.55	150	77	1	0.475	5.8	609	Luz visible
	30	77.17	150	50	1	0.17	9	706	
Zeolita	20	87.49	150	52	1	2.009	7	292	UV-B
	30	127.02	150	48	1	3.5 >	8	257	
Carbón activado-Zeolita	20	27.18 – 47.73	150	120	1	2.096	7.4	290	

COLORANTE SIN ALGODON



Grafica 1: Determinación de longitud de onda (nm) del colorante sin algodón

8.2 Colorante con algodón

Se prepararon 6 columnas de adsorción en este caso no se realizó con altura de 30 centímetros porque como hemos visto en el resultado anterior las columnas de adsorción realizadas a esas alturas nos arroja una absorbancia mayor de 3.5 que es la absorbancia máxima y otro motivo fue porque a mayor altura este nuestros absorbentes de la columna de adsorción obtendremos menores cantidades de aguas residuales al pasar por el proceso.

A continuación, se describe como se preparó cada columna de adsorción:

1. Dos columnas de adsorción:
 - 20 cm. de Carbón activado
 - 20 cm. de Zeolita
2. Dos columnas de adsorción por combinación:
 - 10 cm. carbón activado y 10 cm. de zeolita.
 - 10 cm. de zeolita y 10 cm. carbón activado.
3. Dos columnas de adsorción por etapas:
 - 5 cm. de Carbón activado – 5 cm. de Zeolita – 5 cm. de Carbón activado – 5 cm. de Zeolita
 - 5 cm. de Zeolita – 5 cm. de Carbón activado – 5 cm. de Zeolita – 5 cm. de Carbón activado

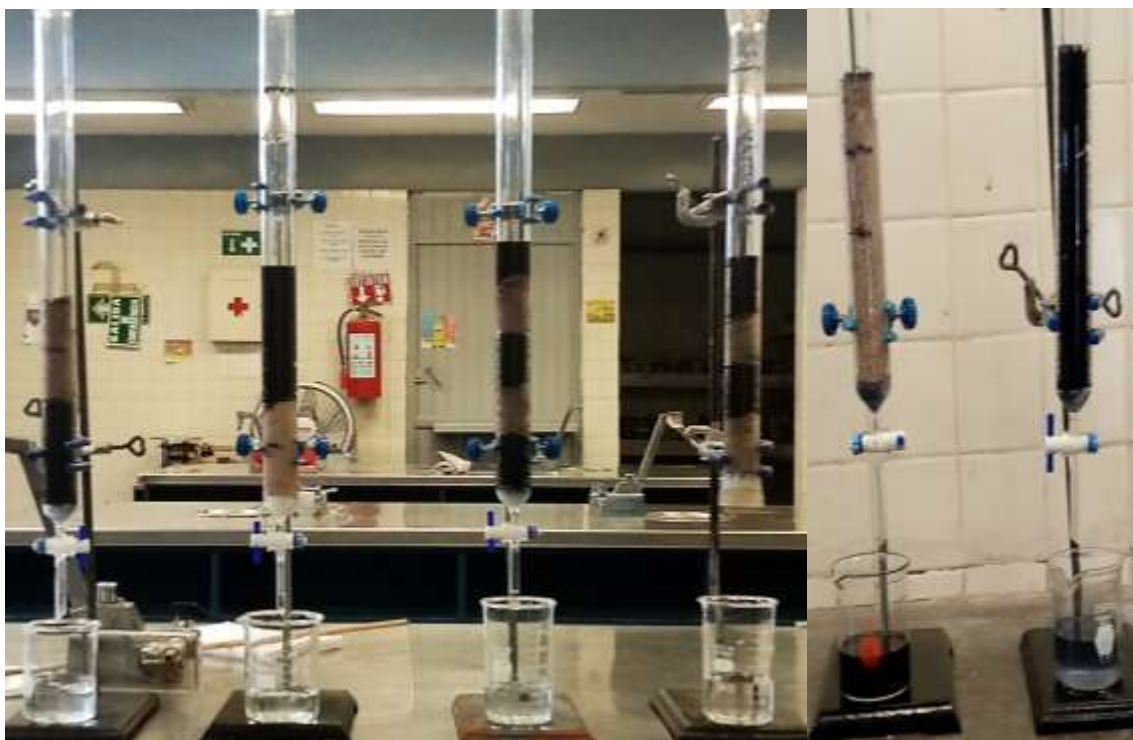
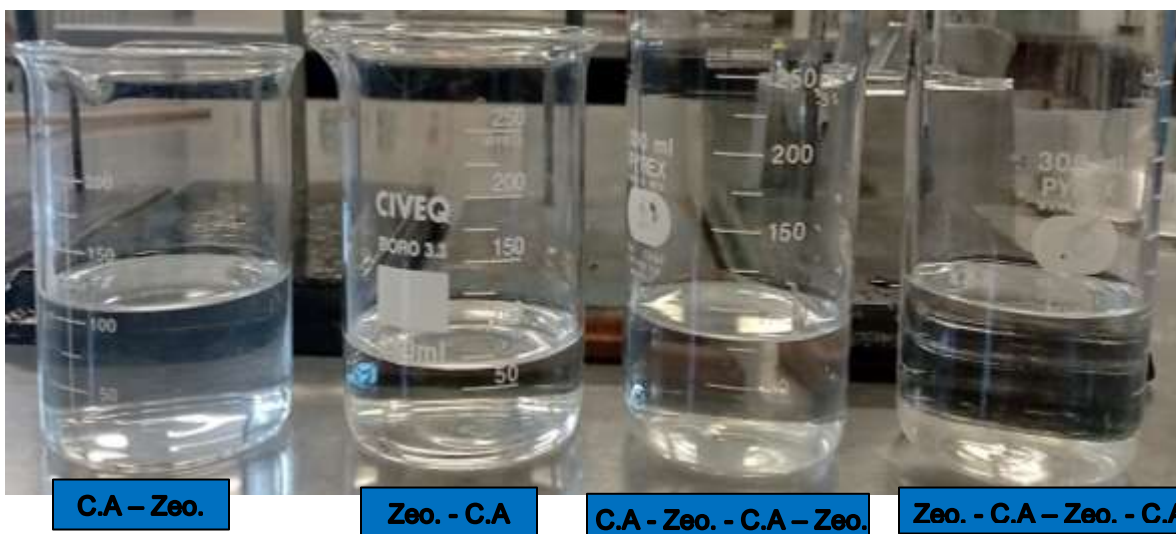


Figura 18: Columnas de adsorción con algodón

Una vez empacadas las columnas de absorción se le añade 150 ml solución madre, el tiempo transcurrido por pasar en los absorbentes es de 2.5 minutos, en este método es porque las columnas de absorción tienen aparte de los absorbentes contiene un filtro (algodón) haciendo que se demore un poco las muestras.

Figura 19: Muestras de las columnas de adsorción con algodón

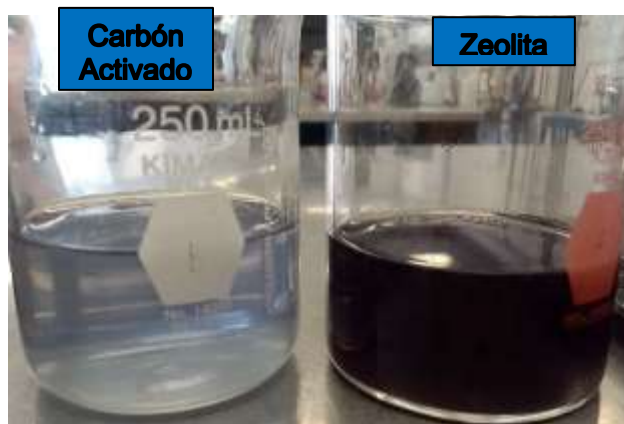


C.A - Zeo.

Zeo. - C.A

C.A - Zeo. - C.A - Zeo.

Zeo. - C.A - Zeo. - C.A



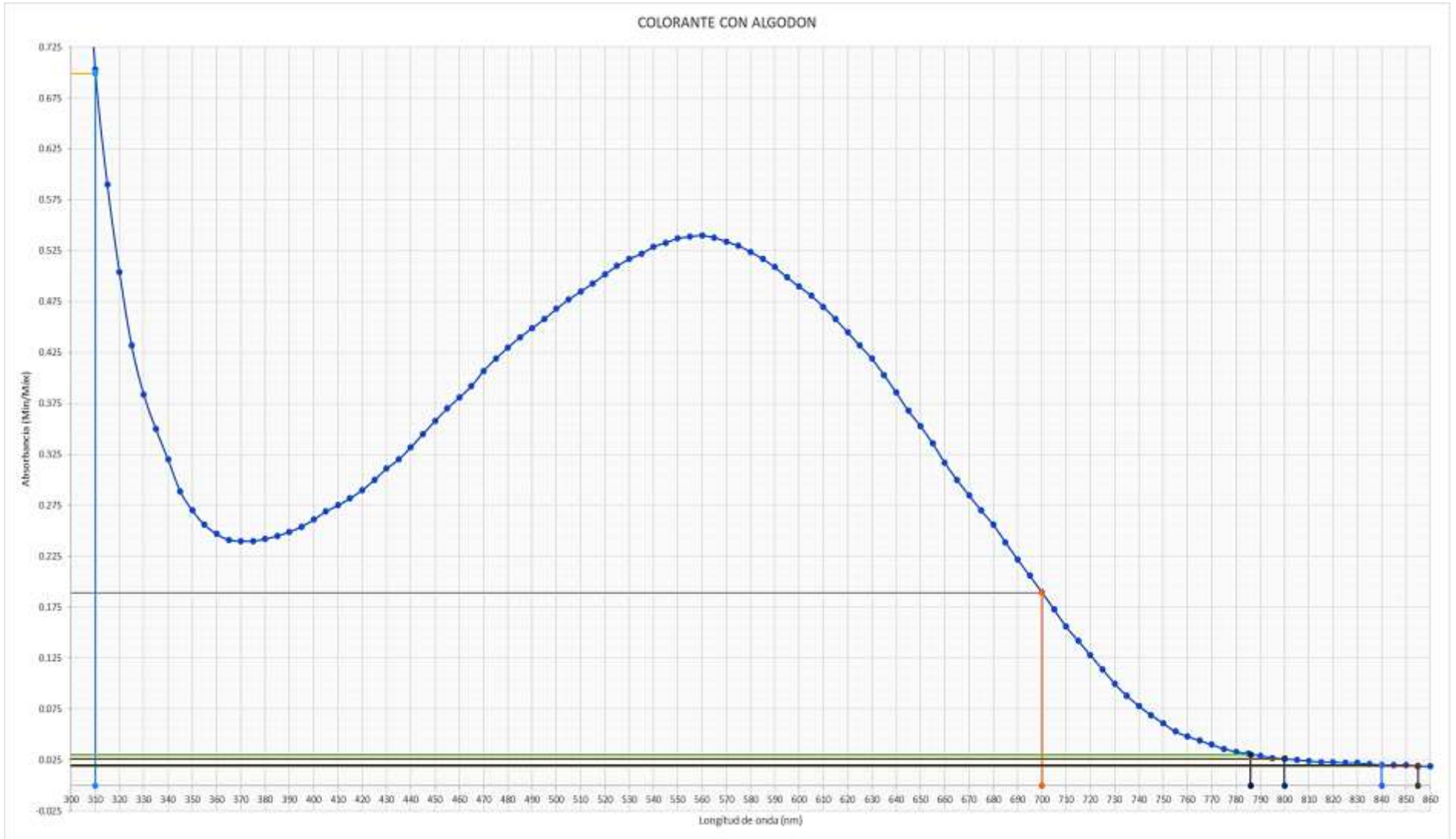
Se les dio a las muestras un reposo de 1 hora, posteriormente se leyó sus absorbancias con el aparato espectrofotometría equipo del Polo Tecnológico Nacional para el Desarrollo de Investigación y Pruebas Analíticas en Biocombustibles, pH equipo del laboratorio de Ing. Química pesada.

La longitud de onda (nm) se obtiene con la gráfica que nos arroja el barrido espectral que se obtuvo por la solución diluida de nuestra solución madre, graficando la absorbancia de nuestra muestra hasta que choque con la línea de la curva del barrido espectral.

Como se observa se recomienda las columnas de absorción que contengan filtros (algodón) ya que permite que nuestra agua residual aclare un poco más a diferencia de una columna de absorción sin filtro (algodón). El mejor resultado son los que tenemos con mayor longitud de onda (nm) ya que al descargar esta agua tratada a los sistemas acuáticos no nos va impedir el desarrollo normal de plantas debido a que nos dará el paso de la luz solar por tanto la fotosíntesis.

Tabla 4: Resultado final de la columna de adsorción con algodón

	COLORANTE CON ALGODÓN								
	INICIAL			FINAL					
	Altura (cm)	Gramos	Solución madre ml.	ml. recuperado	Tiempo (min)	Absorbancia	PH	Longitud de onda (nm)	
Carbón activado	20	48.67	150	110	2.5	0.189	10	700	Luz visible
Zeolita	20	89.84	150	100	2.5	0.699	8.5	310	
Carbón activado – Zeolita	20	26.72 – 44.31	150	98	2.5	0.03	9.7	786	IR-A
Zeolita – Carbón activado	20	45.05 – 27.31	150	92	2.5	0.019	9.2	855	
Carbón activado – Zeolita – Carbón activado – Zeolita	20	13.31 – 21.1 – 13.06 – 22.08	150	97	2.5	0.026	9.6	800	Luz visible
Zeolita – Carbón activado – Zeolita – Carbón activado	20	23.46 - 13.04 - 22.33 - 12.48	150	97	2.5	0.02	9.3	840	



Grafica 2: Determinación de longitud de onda (nm) del colorante con algodón

8.3 Isotermas de adsorción

A continuación, se presenta los resultados de los isotermas de adsorción Langmuir del carbón activado y zeolita.

8.3.1 Carbón activado



Figura 20: Preparación de las muestras para los isotermas de adsorción C.A.

Se prepararon 5 muestras en matraz para realizar el isoterma de adsorción, con las concentraciones de carbón activado: 3 gr, 3.5 gr, 4 gr, 4.5 gr, 5 gr y con agua residual de 100 ml.



Figura 21: Agitación magnética C.A

Se colocan a los matraces una barra magnética de agitación una vez añadidas a las muestras se colocan en las parillas de agitación magnética a 1500 1/min con un tiempo de 30 min.

Tabla 5: Resultado de la agitación magnética C.A.

m = C.A. inicial gr.	Co = Soluc. Madre inicial ml.	Ce = Cantidad final de la soluc. madre.	PH
3	100	91	9.4
3.5	100	89	9.4
4	100	84	9.1
4.5	100	82	9.3
5	100	80	9.5



Se deja reposar 1 hora las muestras.

Isoterma Langmuir

Ecuacion lineal:

$$\frac{C_e}{q} = \frac{1}{b} C_e + \frac{1}{Kb}$$

$$q = \frac{x \text{ (ml)}}{m \text{ (gr)}} \quad x = C_o - C_e$$

1 ml = 1 gr.

Donde:

q= cantidad absorbida

Ce= Cantida final del liquido colorante caballito indigo (ml)

K= fuerza de union

b= cantidad maxima absorbida

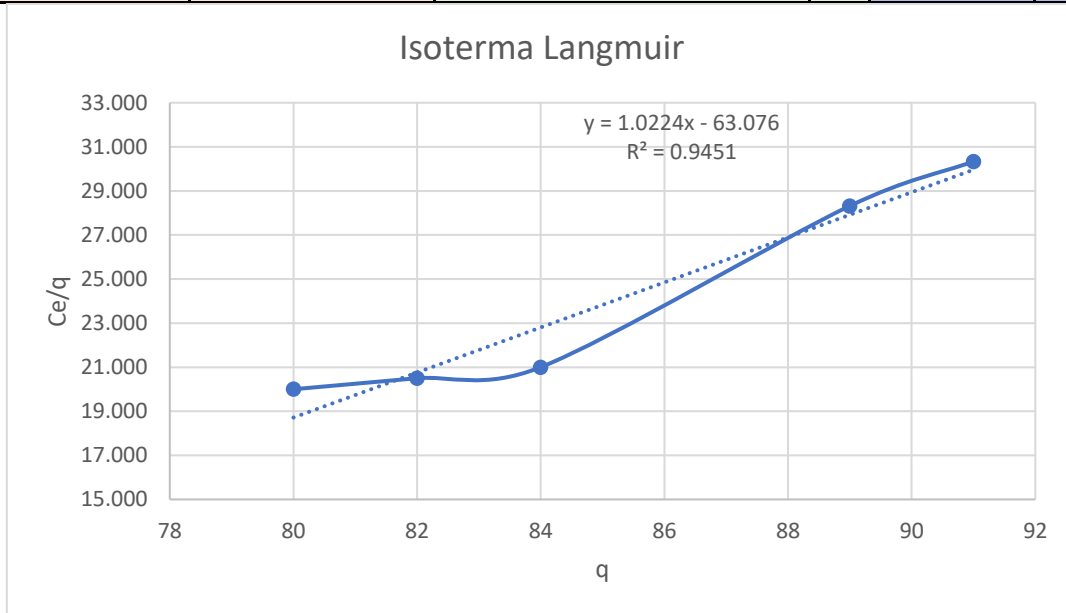
x= masa del adsorbato (contaminante) adsorbida (ml)

m= masa del adsorbente inicial (carbon activado gr.)

Co= Cantidad inicial del liquido colorante caballito indigo (ml)

Tabla 6: Resultado final del isoterma de adsorción

m = C.A. inicial gr.	Co = Soluc. Madre inicial ml.	Ce = Cantidad final de la soluc. madre.	PH	X = Co - Ce	q = x/m	Ce/q
3	100	91	9.4	9	3.000	30.333
3.5	100	89	9.4	11	3.143	28.318
4	100	84	9.1	16	4.000	21.000
4.5	100	82	9.3	18	4.000	20.500
5	100	80	9.5	20	4.000	20.000



Grafica 3: Isoterma Langmuir Carbón Activado

$$\frac{C_e}{q} = \frac{1}{b} C_e + \frac{1}{Kb} \text{ ecuacion lineal}$$

$$y = 1.0224x - 63.076 \text{ ecuacion de la recta}$$

$$\frac{1}{b} = \text{pendiente} \therefore b = \frac{1}{\text{pendiente}} \rightarrow b = \frac{1}{1.0224} = 0.978090767$$

$$\frac{1}{kb} = \text{pendiente} \therefore k = \frac{1}{\text{ordenada} * b} \rightarrow k = \frac{1}{(-63.076) * 0.97809} = -0.016209018$$

8.3.2 Zeolita

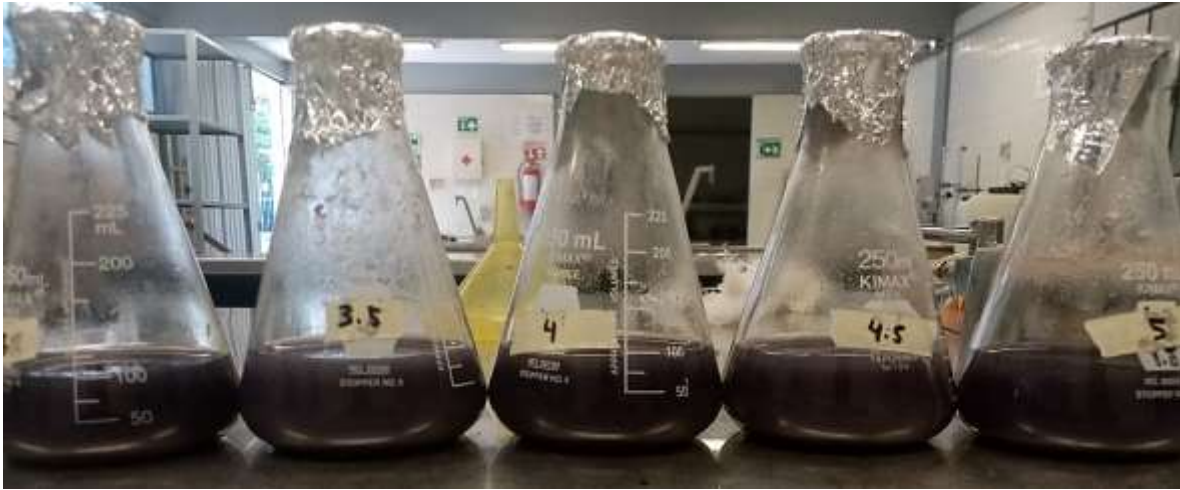


Figura 22: Preparación de las muestras para los isotermas de adsorción Zeolita

Se prepararon 5 muestras en matraz para realizar el isoterma de absorción, con las concentraciones de zeolita: 3 gr, 3.5 gr, 4 gr, 4.5 gr, 5 gr y con agua residual de 100 ml.



Figura 23: Agitación magnética Zeolita

Se colocan a los matraces una barra magnética de agitación una vez añadidas a las muestras se colocan en las parillas de agitación magnética a 1500 1/min con un tiempo de 30 min.

Tabla 7: Resultado de la agitación magnética Zeolita

m = Zeolita inicial gr.	Co = Soluc. Madre inicial ml.	Ce = Cantidad final de la soluc. madre.	PH
3	100	93	8.1
3.5	100	91	8.1
4	100	88	8
4.5	100	86	7.8
5	100	84	7.8



Se deja reposar 1 hora las muestras.

Isoterma Langmuir

Ecuacion lineal:

$$\frac{Ce}{q} = \frac{1}{b}Ce + \frac{1}{Kb}$$

$$q = \frac{x \text{ (ml)}}{m \text{ (gr)}} \quad x = Co - Ce$$

1 ml = 1 gr.

Donde:

q= cantidad absorbida

Ce= Cantida final del liquido colorante caballito indigo (ml)

K= fuerza de union

b= cantidad maxima absorbida

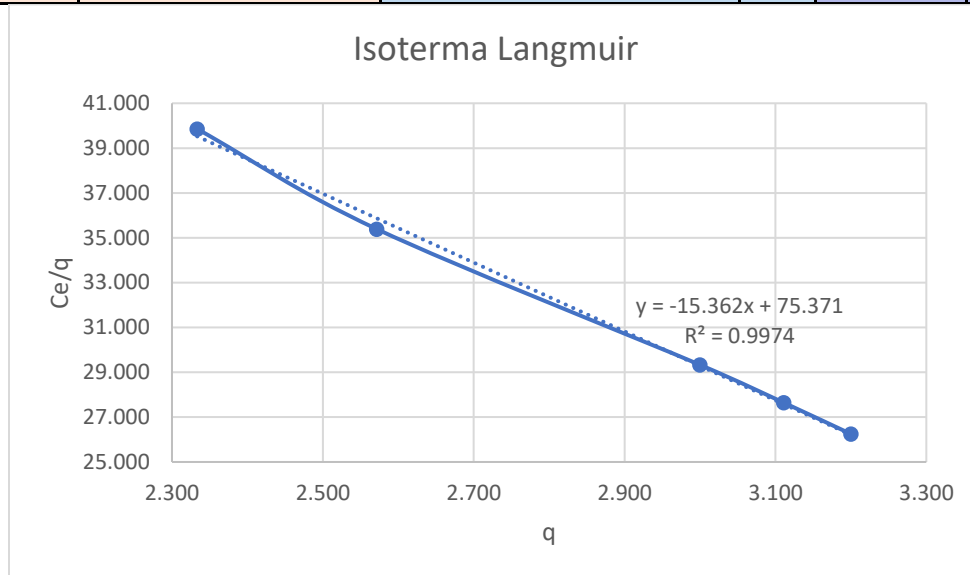
x= masa del adsorbato (contaminante) adsorbida (ml)

m= masa del adsorbente inicial (carbon activado gr.)

Co= Cantidad inicial del liquido colorante caballito indigo (ml)

Tabla 8: Resultado final del isoterma de adsorción Zeolita

m = Zeolita inicial gr.	Co = Soluc. Madre inicial ml.	Ce = Cantidad final de la soluc. madre.	PH	X = Co - Ce	q = x/m	Ce/q
3	100	93	8.1	7	2.333	39.857
3.5	100	91	8.1	9	2.571	35.389
4	100	88	8	12	3.000	29.333
4.5	100	86	7.8	14	3.111	27.643
5	100	84	7.8	16	3.200	26.250



Grafica 4: Isoterma Langmuir Zeolita

$$\frac{Ce}{q} = \frac{1}{b}Ce + \frac{1}{Kb} \text{ ecuacion lineal}$$

$y = -15.362x + 75.371$ ecuacion de la recta

$$\frac{1}{b} = \text{pendiente} \therefore b = \frac{1}{\text{pendiente}} \rightarrow b = \frac{1}{-15.362} = -0.065095691$$

$$\frac{1}{kb} = \text{pendiente} \therefore k = \frac{1}{\text{ordenada} * b} \rightarrow k = \frac{1}{75.371 * -0.0650956} = -0.203818445$$

9. CONCLUSIONES

Al finalizar la residencia se cumplió con el objetivo de maximizar la remoción de color en aguas residuales sintéticas usando diferentes adsorbentes en columnas empacadas. La remoción de color en aguas residuales sintéticas es mucho más fácil mediante los procesos de combinación y de etapas (zeolitas-carbón) ya que nos arrojó mejor resultado removiendo el color a un porcentaje muy alto. El mejor resultado son aquellos que tenemos con mayor longitud de onda (nm) ya que al descargar esta agua tratada a los sistemas acuáticos no nos va impedir el desarrollo normal de plantas debido a que nos dará el paso de la luz solar por tanto se llevara a cabo la fotosíntesis, cuando el agua no es tratada y se la descarga esta agua a los sistemas acuáticos nos impedirá el desarrollo normal de plantas debido a que impiden el paso de la luz impidiendo la fotosíntesis esto es por su alto peso molecular, sus estructuras complejas y especialmente a su alta solubilidad en agua mostrando una gran persistencia en el ambiente.

Como se observa se recomienda las columnas de absorción que contengan filtros (algodón) ya que permite que nuestra agua residual aclare un poco más a diferencia de una columna de absorción sin filtro (algodón). Con el presente trabajo se promueve la implementación de soluciones de bajo coste y accesibilidad tecnológica para las industrias textiles. Las isoterms de adsorción carbón activado y zeolita es un modelo de curva de calibración los cuales nos brindan informaciones necesarias para diseñar columnas de adsorción de grandes tamaños para industrias textiles muy complejas.

La adsorción es una operación de separación de bajo consumo energético, gran flexibilidad de elección del adsorbente, elevada selectividad.

10. RECOMENDACIONES

Se recomienda utilizar algodón en la columna como un filtro para obtener un mejor resultado, que la altura de la columna de adsorción entre menos pequeño sea, no se desperdicia mucho el agua residual con colorante ya que poco queda atrapado en los absorbentes, pero si la altura es mucho mayor se queda un gran porcentaje del agua residual atrapado en los absorbentes.

11. EXPERIENCIA PROFESIONAL ADQUIRIDA.

Mi experiencia fue muy provechosa y llena de aprendizajes, ya que los conocimientos adquiridos durante el tiempo de estudio en algunas ocasiones, son sólo la base o herramienta necesaria para lograr una toma de decisión y tener buenos resultados, no obstante; también es importante reconocer las acciones incorrectas que se llevan a cabo sin un previo análisis, pero gracias a ello, aprender a mejorar y conocer lo que no se debe hacer.

12. COMPETENCIAS DESARROLLADAS Y/O APLICADAS

12.1 Básicas

- ✚ Comprensión sistemática de un campo de estudio y dominio de las habilidades y métodos de investigación relacionados con dicho campo.
- ✚ Capacidad de concebir, diseñar o crear, poner en práctica y adoptar un proceso sustancial de investigación o creación.
- ✚ Capacidad para contribuir a la ampliación de las fronteras del conocimiento a través de una investigación original.
- ✚ Capacidad de fomentar, en contextos académicos y profesionales basada en el conocimiento del tema.

12.2 Capacidades y destrezas personales

- ✚ Toma de decisiones
- ✚ Compromiso
- ✚ Desenvolverse en contextos en los que hay poca información específica.
- ✚ Encontrar las preguntas claves que hay que responder para resolver un problema complejo.
- ✚ Trabajar tanto en equipo como de manera autónoma para ver un avance en el proyecto y obtener un resultado favorable.
- ✚ Integrar conocimientos, enfrentarse a la complejidad y formular juicios con información limitada.
- ✚ La crítica y defensa intelectual de soluciones previamente antes presentadas.
- ✚ Desarrollar la investigación cuidando todos sus aspectos éticos, tanto los específicamente científicos como aquellos que garantizan un servicio eficaz a la sociedad.

13. FUENTES DE INFORMACIÓN

1. *Eliminación del color en efluentes de la industria textil.* (2021, 1 junio). Condorchem Envitech. <https://condorchem.com/es/blog/tratamiento-para-la-eliminacion-del-color-en-aguas-residuales-de-la-industria-textil/>
2. Organización de consumidores y usuarios. (2019). Tóxicos en la ropa: ¿Cuál es su impacto?. Julio 20, 2021, de OCU Sitio web: <https://www.ocu.org/salud/bienestar-prevencion/informe/toxicos-ropa>
3. INGURUGELA. (2018). ¿Cuánto vale realmente en vidas y en salarios la prenda que adquirimos a un precio irrisorio? Julio21, 2021, de Grupo Emaus Fundación Social Sitio web: https://issuu.com/grupoemausfundacionsocial/docs/ingurugela_ee081902dd6d8b
4. Shawab, k. (2016). *The Fourth Industrial Revolution: What it means, how to respond.* Julio 20, 2021, de World Economic Forum Sitio web: https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=ST_FDAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR7&dq=The+Fourth+Industrial+Revolution:+What+it+means,+how+to+respond&ots=DUhAdOvxZM&sig=7WMVJLh-XBkba-tTiWHm
5. *Sosa Alcaraz, M. A., González Castro, A., y Sarmiento Franco, J. F. (2019). La Contribución Al Desarrollo Sustentable De Una Industria Textil De Yucatán A Través Del Comercio Justo.*
6. *Marín, C. V., y Monroy, B. G. (2013). Fibras textiles naturales sustentables y nuevos hábitos de consumo. Revista Legado de Arquitectura y Diseño, (13), 31-45.*
7. https://siara.mx/?gclid=Cj0KCQjw0umSBhDrARIsAH7FCofBU4Iyj0FPVghyHpYyV2pJfyNWDFrhtF7cpNkWATEb8UCH5aKi6CYaAnB5EALw_wcB

8. *Vista de TECNOLOGÍAS PARA LA REMOCIÓN DE COLORANTES Y PIGMENTOS PRESENTES EN AGUAS RESIDUALES / DYNA*. (2014, 12 abril). Technologies for the removal of dyes and pigments present in wastewater. Recuperado 26 de mayo de 2022, de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/42924/53662>
9. Carlos F. Rivas, O. N. (2018). ISOTERMA DE LANGMUIR Y FREUNDLICH COMO MODELOS PARA LA ADSORCIÓN DE COMPONENTES DE ÁCIDO NUCLEICO SOBRE WO₃. Revista Multidisciplinas del Consejo de Investigación (SABER), 2-10.
10. Carlos F. Linares, S. Y. (2014). Zeolitas naturales como adsorbente de urea. Facultad de Ingeniería Universidad Central de Venezuela, 2-5.
11. Salas Colotta G., Tratamiento físico-químico de aguas residuales de la industria textil. Facultad de Química e Ingeniería, Universidad Nacional Mayor de San Marcos. 2003
12. Galgón Carbón, Inc. Características de Producto <http://www.calgoncarbon.com>
13. Carbochem, Inc. Características de Producto <http://www.carbochem.com>
14. McKay G. Adsorption of Dye-stuffs from Aqueous Solutions with Activated Carbon I: Equilibrium and Batch Contact-Time Studies Journal of Chem. Tech. Biotechnol., 1982, Vol. 32, pp. 759-772
15. McKay G. Adsorption of Dye-stuffs from Aqueous Solutions with Activated Carbon II: Column Studies and Simplified Design Models. Journal of Chem. Tech. Biotechnol., 1982, Vol. 32, pp.773-780
16. Sankar M et al. Removal of diazo, and triphenylmethane dyes from aqueous solution through an adsorption process. J. Chem Technol Biotechnol, 1999 Vol. 74, pp. 337-344

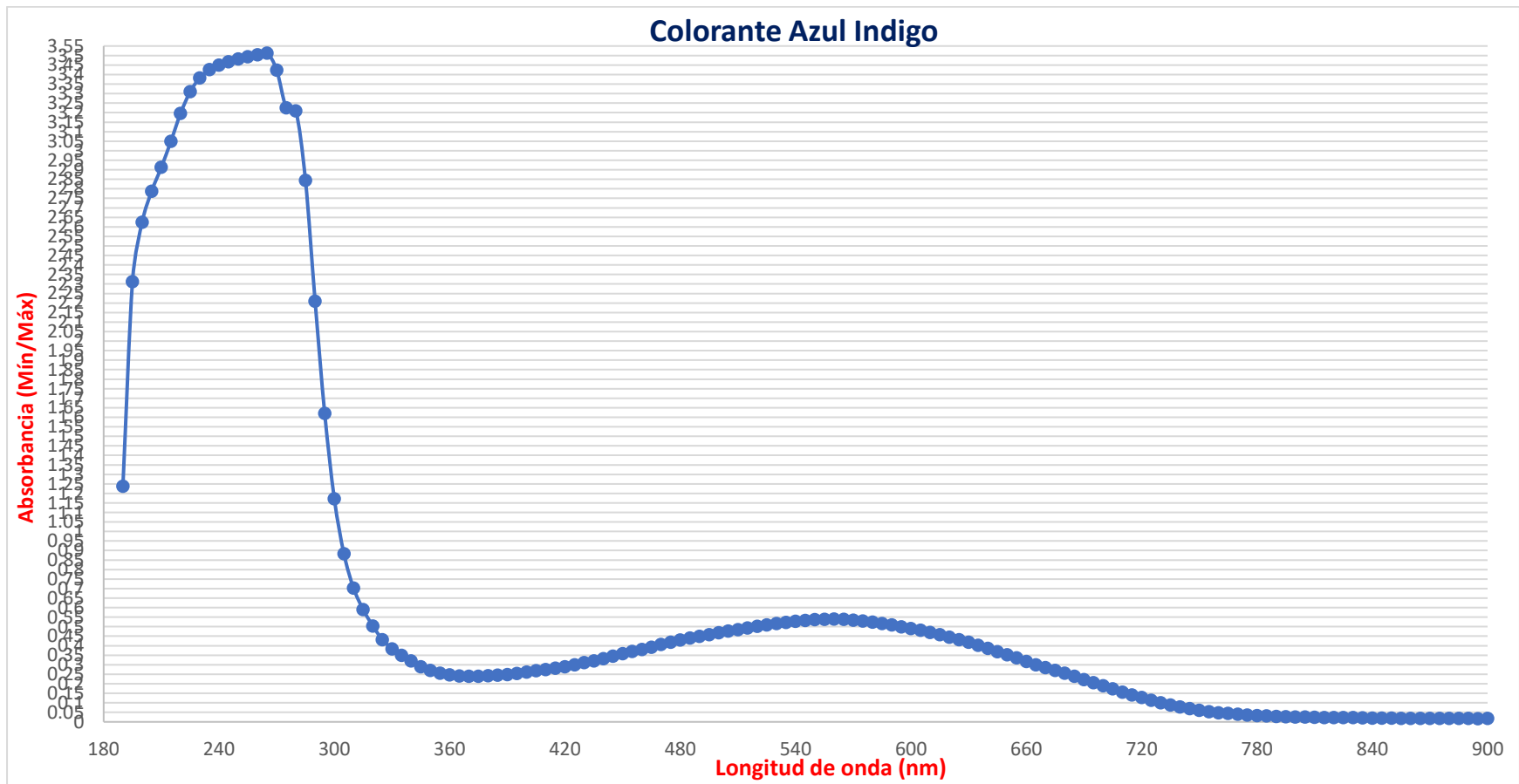
17. Waiker G.M. Adsorption of Acid Dyes on to Granular Activated Carbón in Fixed Beds, *Water Research.*, 1997, Vol. 31, pp. 2093-2101
18. Christie R.M., Mather, R.R., Wardman, R.H. *The Chemistry of Colour Application*. Blackwell Science, 1era edición, 2000
19. Bahorsky, Mike. *Emerging Technologies for Color Removal, Color reduction and Removal Seminar*, June 17, 1998 Charlotte, North Carolina.
20. APHA, AWWA, WPCF. *Standard Methods for the examination of water and wastewater: including bottom sediments and sludges*. 19va edición, APHA, 1998
21. Athanasopolus N. Cotton Yarn and fabric finishing wastewater treatment using anaerobic expanded bed reactor. *Bioresour. Technol* 1992, Vol. 39, pp. 291
22. *Manual del carbón activo. "Maestría en ingeniería del agua"*. Universidad Politécnica de Sevilla, España. www.aguapedia.net
23. Rodríguez Fernández-Alba, A., León, P., Rosal, R., Dorado, M., Villar, S., Sanz, J.M. (2006) *Tratamientos avanzados de aguas residuales industriales vt 2. Informe de vigilancia tecnológica*. www.madrimasd.org.
24. LILIANA GARCÍA SÁNCHEZ, L. G. S. (s. f.). *Tesis Digital*. Universidad Nacional Autónoma de México. Recuperado 26 de mayo de 2022, de <http://132.248.9.195/pd2007/0621654/Index.html>
25. DOF (1996). Norma Oficial Mexicana que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas residuales en aguas y bienes nacionales. NOM-001-SEMARNAT-1996. *Diario Oficial de la Federación*. Poder Ejecutivo Federal. México, D.F. México.
26. DOF (1996b). Norma Oficial Mexicana que establece los procedimientos, criterios y especificaciones para realizar el aprovechamiento, transporte y almacenamiento de raíces y rizomas de vegetación forestal. NOM-004-

RECENAT-1996. Diario Oficial de la Federación. Poder Ejecutivo Federal. México, D.F. México.

27. la NORMA Oficial Mexicana NOM-CCA-014- ECOL/1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores provenientes de la industria textil
28. *Vista de REMOCIÓN DE COLORANTES TEXTILES EN AGUA MEDIANTE COLUMNAS EMPACADAS CON ABSORBENTES HÍBRIDOS | JÓVENES EN LA CIENCIA.* (s. f.). jovenesenlaciencia. Recuperado 26 de mayo de 2022, de <https://www.jovenesenlaciencia.ugto.mx/index.php/jovenesenlaciencia/article/view/1064/697>
29. <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/11075/UPguzemo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
30. http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/9943/Tesis_Completa.pdf?sequence=1
31. Bautista, Y. P. (2022, 16 abril). *EFFECTOS AL AMBIENTE Y A TU SALUD DE LA INDUSTRIA TEXTIL.* Amhigo. <https://amhigo.com/amhi-blog/70-expertos/1255-efectos-al-ambiente-y-a-tu-salud-de-la-industria-textil>
32. Calma, A. (2014, 24 agosto). *TEMA 5. Adsorción Introducción Adsorbentes industriales.* ppt descargar. Recuperado 26 de mayo de 2022, de <https://slideplayer.es/slide/1048893/>
33. <https://rinacional.tecnm.mx/bitstream/TecNM/2455/1/ALVAREZ-2016-REMOCION%20DE%20TINTES.pdf>

14. ANEXOS

A. Barrido espectral de la dilución solución madre



Grafica 5: Barrido espectral de la dilución solución madre

B. Carta de presentación y agradecimiento



Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez
Gestión Tecnológica y Vinculación

Departamento de Gestión Tecnológica y Vinculación.

No. DE OFICIO: 0031

ASUNTO: PRESENTACION DEL ALUMNO Y AGRADECIMIENTO

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas; A 3 de febrero de 2022.

C. M.C. José Manuel Rosado Pérez
Director
Tecnológico Nacional de México, campus Tuxtla Gutiérrez
P R E S E N T E.-

El Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, tiene a bien presentar a sus finas atenciones al (la) alumno(a): ANGELICA FUENTES VELAZQUEZ Número de Control 17270597 carrera de: INGENIERIA QUIMICA (2016) quien desea desarrollar en ese organismo el proyecto de Residencias Profesionales denominado DECOLORACIÓN DE AGUAS RESIDUALES SINTÉTICAS USANDO COLUMNAS DE ADSORCIÓN Cubriendo un total de 500 horas, en un periodo de cuatro a seis meses, en el periodo ENERO-JUNIO/2022.

Es importante hacer de su conocimiento que todos los alumnos que se encuentran inscritos en esta institución cuentan con un seguro de contra accidentes personales con la empresa THONA, según póliza No. AP-TEC-100-01 e inscripción en el IMSS.

Así mismo, hacemos patente nuestro sincero agradecimiento por su buena disposición y colaboración para que nuestros alumnos, aun estando en proceso de formación, desarrollen un proyecto de trabajo profesional, donde puedan aplicar el conocimiento y el trabajo en el campo de acción en el que se desenvolverán como futuros profesionistas.

Al vernos favorecidos con su participación en nuestro objetivo, sólo nos resta manifestarle la seguridad de nuestra más atenta y distinguida consideración.

ATENTAMENTE

CAROLINA CUETO DOMINGUEZ
JEFE DEL DEPARTAMENTO DE GESTIÓN
TECNOLÓGICA Y VINCULACIÓN



Carretera Panamericana Km. 1080, C.P. 29050, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas | tuxtla.tecnim.mx
Tel. (961) 615 0461, 615 0138, 615 4808, ext. 408, correo: vin_tgutierrez@tecnim.mx





EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO

Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez
Gestión Tecnológica y Vinculación

Departamento de Gestión Tecnológica y Vinculación.

No. DE OFICIO: 0031

ASUNTO: PRESENTACION DEL ALUMNO Y AGRADECIMIENTO

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas; A 3 de febrero de 2022.

Firma Digital:

LS0tLS1CRUd3T1BQVU3MSUMgS0VZLS0tLS0KTUIH2k1BMEdDU3FHU0iM0RRRUJ0BUVVBQTRHTkFEQ0j0pUU+CZ1FEQmIjN1dQ52t
w5CptWT1zWjQ5QE4yaWhWWgpKU1hCaCVIeFBa5044dIVXaDZocjRPZVM1M1ZFV3hCaXE4bmdNbESHMmN6Vld5QxcmQ3Jud2
9B5jZFTFNjdEp4CjVMeU01TzkwWmhnbkzVkkQwaUdoV1ZaQkdadlpNZTFPc0RDTDBFaHNFeRoT3NSdCVRSm93aHBzUVFwWXI
ERVIKT2dISDBmWQxwUW8zTK13eUxRSURBUUFCCi0tLS0tRUSEIFBVQk0QyBLRVktLS0tLQe=

Sello Digital:

mAOKfH83jCbYjOulgsfzyFfPEzQd+X3nysPECBKjDXenm7j2mYhxrkZe+oDiDWCaalF/
gzyaj+hQ8RaEpOLVmh170bKfIFsbgHVzMvLUCthf+PhQ7uSNeBgH4N8x54zkdKQgwe7TNYEp00mhDriRtuicqqd8L8gBgr+5Qx3
0=

Cadena Original:

0031|2022-02-03|Director|Tecnológico Nacional de México, campus Tuxtla Gutiérrez|ANCELICA FUENTES VELAZQUEZ|INGENIERIA
QUIMICA|Decoloración de aguas residuales sintéticas usando columnas de adsorción|2022|ENE-JUN/2022|CUDC851215CH6

CCP: Archivo

C. Carta de aceptación



Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez
Departamento de Ingeniería Química y Bioquímica

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, 17 de febrero/2022.
DQyB/0460-2022
ASUNTO Aceptación Residencia Profesional,

CAROLINA CUETO DOMÍNGUEZ
JEFE DEL DEPTO. DE GESTIÓN TECNOLÓGICA Y VINCULACIÓN.
P R E S E N T E.

Por este medio me permito informar a Usted, que él (lla) C. Angélica Fuentes Velázquez con número de control 17270597 de la carrera de INGENIERÍA QUÍMICA, realizará su Residencia Profesional en el Laboratorio de Química Pesada, con el Proyecto: "Decoloración de aguas residuales sintéticas usando columnas de adsorción"

Cubriendo un total de 500 horas, en un periodo de cuatro a seis meses, de Enero-Junio 2022.

Responsable: René Cuesta Díaz.

A T E N T A M E N T E

"EXCELENCIA EN EDUCACIÓN TECNOLÓGICA"
"Ciencia y Tecnología con Sentido"
Departamento de
Ing. Química y Bioquímica

MARÍA MAGDALENA FÉREZ SALGADO
JEFA DEL DEPTO. DE QUÍMICA Y BIOQUÍMICA

ccp. Archivo

1908/wqj



Carretera Panamericana Km. 1080, C.P. 29070, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas | tuxtla.tecnm.mx
Tel. (961) 615 0461, 615 0138, 615 4808, ext. 217 y 218, correo: quimica@tecnm.mx qm@tecnm.mx



D. Carta de terminación



Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez
Departamento de Ingeniería Química y Bioquímica

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas: a 27 de Junio del 2022
Oficio QyB /718/2022
Asunto: Carta terminación Residencia
Profesional.

CAROLINA CUETO DOMÍNGUEZ
JEFA DEL DEPTO. DE GESTIÓN TECNOLÓGICA Y VINCULACIÓN.
P R E S E N T E.

Por este conducto reciba un cordial saludo, y a la vez me permito informar a usted que el/la C. FUENTES VELÁZQUEZ ANGÉLICA, con matrícula 17270597 de la carrera de INGENIERÍA QUÍMICA, ha concluido satisfactoriamente su Proceso Residencia Profesional en nuestra Institución; en el periodo comprendido Enero Junio 2022, con un total de 500 horas, con el proyecto Decoloración de aguas residuales sintéticas usando columnas de adsorción, el cual fue entregado en archivo digital a este Departamento.

Sin más por el momento, me despido de usted agradeciendo la atención prestada.

ATENTAMENTE

*Excelencia en Educación Tecnológica
*Ciencia y Tecnología con Sentido Humano

INSTITUTO TECNOLÓGICO
de Tuxtla Gutiérrez
Departamento de
Ing. Química y Bioquímica

MARÍA MAGDALENA PÉREZ SALGADO
JEFA DEL DEPTO. DE ING. QUÍMICA Y BIOQUÍMICA

ccp. Archivo



Carretera a Palenque km. 100, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas
Tuxtla, Tecmex
quimbio@tuxtla.tecmex

