



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

CARRERA DE QUÍMICA

**“ESTUDIO TERMODINÁMICO DE LA ADSORCIÓN DE
COLORANTES CATIONICOS EN ÓXIDO DE GRAFENO
REDUCIDO”**

Trabajo de Titulación

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

QUÍMICO

AUTORA: KATHERINE LISSETTE TUBÓN PÉREZ

DIRECTOR: Dr. JORGE EFRÉN SILVA YUMI PhD.

Riobamba-Ecuador

2021

©2021, Katherine Lissette Tubón Pérez

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho del Autor.

Yo, KATHERINE LISSETTE TUBÓN PÉREZ, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y los resultados de este son auténticos.

Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autora asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación. El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 27 de octubre de 2021

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Katherine Lissette Tubón Pérez', with a large, stylized flourish at the end.

Katherine Lissette Tubón Pérez

185070742-1

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA DE QUÍMICA

El Tribunal de titulación certifica que: El trabajo de titulación: Tipo: Proyecto de Investigación, **ESTUDIO TERMODINÁMICO DE LA ADSORCIÓN DE COLORANTES CATIONICOS EN ÓXIDO DE GRAFENO REDUCIDO**, realizado por la señorita: **KATHERINE LISSETTE TUBÓN PÉREZ**, ha sido minuciosamente revisado por los miembros del Tribunal del trabajo de titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza si presentación.

FIRMA

FECHA

Ing. Maria Rafaela Viteri Uzcategui PhD.	27 de octubre de 2021
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL	

Dr. Jorge Efrén Silva Yumi PhD.	27 de octubre de 2021
DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	

Dr. Robert Alcides Cazar Ramírez MSc.	27 de octubre de 2021
MIEMBRO DEL TRIBUNAL	

DEDICATORIA

Esta tesis en primer lugar la dedico a Dios por haberme ayudado en cada momento para culminar mi carrera, sobre todo por haber colmado mi vida llena de bendiciones ,en segundo lugar se la dedico a mi madre que aunque no está presente en cuerpo está presente en alma en mi vida, ya que durante su vida ella fue quien creyó en mí y me apoyo hasta su último aliento para que terminara mi carrera ;a mis hermanos quien a pesar de los momentos difíciles que pasamos me apoyan cada día siendo un motor en mi vida por quienes culmine mi carrera y son la fuerza para seguir adelante A mis familiares, tíos(as), primos(as) y abuelos porque siempre me ayudaron con un granito de arena animándome, de quienes he recibido mucho cariño y su comprensión.

Katherine Tubón

AGRADECIMIENTO

A mis Padres, a mis Hermanos por su esfuerzo y sacrificio para darme lo necesario, a mis abuelos, tías/os, primos/as y amigos por su apoyo incondicional. A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, a la facultad de Ciencias, a la escuela de ciencias químicas por haber abierto sus puertas para el desarrollo de cada estudiante y a cada uno de mis profesores que siempre estaban dispuestos a infundir la enseñanza. Agradezco a mi asesor de tesis el Dr. Jorge Silva por su tiempo, dedicación y sus conocimientos compartidos durante todo el desarrollo de este trabajo investigativo; a la Ingeniera Gabriela Tubón, al Doctor Robert Cazar, al Doctor Fabian Arias, a cada uno de ustedes por su dedicación y asesoría a lo largo de esta tesis. Para todos, mi eterna gratitud y que Dios llene de bendiciones sus vidas. También le agradezco a mi mejor amigo Andrés Puma quien me apoyado en los momentos más difíciles de mi vida.

Katherine Tubón

TABLA DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE TABLAS.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	xi
RESUMEN.....	xii
ABSTRAC.....	xiii
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO I

1. MARCO DE REFERENCIA	5
1.1. Antecedentes	5
1.2. Bases teóricas	6
1.2.1. Grafeno	6
1.2.2. Óxido de grafeno	7
1.2.3. Óxido de grafeno reducido	8
1.2.4. Colorantes en la industria textil.....	10
1.2.5. Colorantes azoicos	11
1.2.6. Adsorción	14
1.2.7. Isotermas de adsorción.....	16
1.2.8. Modelos cinéticos de adsorción	19
1.2.9. Espectroscopias usadas para la caracterización de la materia.....	20
1.2.9.1. Espectroscopia IR	20
1.2.9.2. Espectroscopia ultravioleta visible	21
1.2.9.3. Microscopio electrónico de barrido (SEM)	21

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO.....	22
2.1. Parte Experimental	22
2.1.1. Sitio De Investigación	22
2.1.2. Materia Prima	22
2.1.3. Materiales, reactivos y equipos	22
2.2. Obtención del OGr.....	24
2.2.1. Caracterización en la espectroscopia IR	25
2.2.2. Caracterización en la espectroscopia Uv-Vis	26

2.2.3. <i>Caracterización en la microscopia electrónica de barrido (SEM)</i>	26
2.3. <i>Adsorción de colorantes catiónico</i>	26

CAPÍTULO III

3. MARCO DE RESULTADOS, ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS ...	28
3.1. Resultados y análisis	28
3.1.1. <i>Caracterización del OG y OGr</i>	28
3.1.2. <i>Adsorción del colorante Az-BRL</i>	32
3.1.3. <i>Adsorción del colorante A-86</i>	45
3.2. Discusión y Análisis de resultados.	46

CONCLUSIONES	51
---------------------------	----

RECOMENDACIONES	52
------------------------------	----

GLOSARIO

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2:	Características y propiedades del colorante azul BRL	12
Tabla 2-2:	Características y propiedades del colorante amarillo 86	13
Tabla 3-2:	Aplicaciones de remoción de contaminantes mediante procesos de adsorción y adsorbentes normalmente utilizados.....	15
Tabla 4-4:	Resultados del Isoterma de Langmuir	33
Tabla 5-4:	Resultados del Isoterma de Freundlich.....	34
Tabla 6-4:	Datos de la cinética de adsorción.....	46
Tabla 6-4:	Datos experimentales.....	47
Tabla 8-4:	Resultados del Isoterma de Langmuir	37
Tabla 9-4:	Resultados del Isoterma de Freundlich.....	39
Tabla 10-4:	Datos de la cinética de adsorción a 313 K.....	39
Tabla 11-4:	Datos experimentales.....	40
Tabla 12-4:	Resultados del Isoterma de Langmuir	42
Tabla 13-4:	Resultados del Isoterma de Freundlich.....	43
Tabla 14-4:	Datos experimentales.....	43
Tabla 15-4:	Datos experimentales.....	44
Tabla 16-4:	Datos experimentales.....	46
Tabla 17-4:	Datos experimentales.....	46
Tabla 18-4:	Datos experimentales.....	46

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-2:	Estructura de una lámina de grafeno.....	5
Figura 2-2:	Alótropos de carbono sp^2 : (a) grafito (3-D), (b) grafeno (2-D), (c) nanotubos de carbono (1-D), y (d) fullereno (0-D).....	7
Figura 3-2:	Principales modelos propuestos de la estructura de óxido de grafito (GO).....	8
Figura 4-2:	Imágenes TEM de grafeno, óxido de grafeno y óxido de grafeno reducido.....	9
Figura 5-2:	Síntesis para la obtención del OGr por el método de Hummers	10
Figura 6-2:	Estructura del azul BRL.....	12
Figura 7-2:	Estructura del amarillo 86.....	13
Figura 8-2:	Componentes básicos del fenómeno de adsorción en sistema sólido-fluido	16
Figura 9-2:	Isotermas de adsorción.....	17
Figura 10-3:	Obtención de OGr	25
Figura 11-4:	Óxido de grafeno.....	28
Figura 12-4:	Óxido de grafeno reducido.....	29
Figura 13-4:	Óxido de grafeno (OG) y óxido de grafeno reducido (OGr).....	29
Figura 14-4:	Óxido de grafeno (A), Óxido de grafeno reducido (B).....	30
Figura 15-4:	Óxido de grafeno y óxido de grafeno reducido.....	30
Figura 16-4:	Superficie del Óxido de grafeno (C) y óxido de grafeno reducido (D).....	31
Figura 17-4:	Elementos químicos presentes en el OG.....	32
Figura 18-4:	Elementos químicos presentes en el OGr	32
Figura 19-4:	Curva de calibración del Az-BRL a diferentes concentraciones con sus respectivas absorbancias.....	33
Figura 20-4:	Isoterma de Langmuir de la adsorción del Az-BRL a 298 K.....	33
Figura 21-4:	Isoterma de Freundlich de la adsorción del Az-BRL a 298 K	34
Figura 22-4:	Cinética de adsorción del Az-BRL a 298 K.....	35
Figura 23-4:	Modelo del pseudo de primero orden del Az-BRL a 298 K	36
Figura 24-4:	Modelo del pseudo de segundo orden del Az-BRL a 298 K.....	37
Figura 25-4:	Isoterma de Langmuir de la adsorción del Az-BRL a 313 K.....	38
Figura 26-4:	Isoterma de Freundlich de la adsorción del Az-BRL a 313 K	38
Figura 27-4:	Cinética de adsorción del Az-BRL a 313 K.....	40
Figura 28-4:	Modelo del pseudo de primero orden del Az-BRL a 313 K	40
Figura 29-4:	Modelo del pseudo de segundo orden del Az-BRL a 313 K.....	41
Figura 30-4:	Isoterma de Langmuir de la adsorción del Az-BRL a 333 K.....	42
Figura 31-4:	Isoterma de Freundlich de la adsorción del Az-BRL a 333 K	42
Figura 32-4:	Cinética de adsorción del Az-BRL a 333 K.....	44

Figura 33-4:	Modelo del pseudo de primero orden del Az-BRL a 333 K	44
Figura 34-4:	Modelo del pseudo- segundo orden del Az-BRL a 333 K.....	45

ÍNDICE ECUACIONES

Ecuación 1-1:	Velocidad de adsorción.....	17
Ecuación 2-1:	Velocidad de desorción.....	17
Ecuación 3-1:	Adsorción y desorción.....	17
Ecuación 4-1:	Soluto adsorbida en el equilibrio.....	17
Ecuación 5-1:	Constantes cinéticas tanto de adsorción y desorción	18
Ecuación 6-1:	Forma lineal de la ecuación de Langmuir.....	18
Ecuación 7-1:	Factor adimensional de separación en el equilibrio.....	18
Ecuación 8-1:	Isoterma de Freundlich.....	18
Ecuación 9-1:	Forma lineal de la ecuación de Freundlich.....	18
Ecuación 10-1:	Modelo de Pseudo-primer orden	19
Ecuación 11-1:	Modelo de Pseudo-primer orden de forma lineal.....	19
Ecuación 12-1:	Integrada del modelo pseudo-segundo orden.....	19
Ecuación 13-1:	Constante cinética pseudo-segundo orden.....	19
Ecuación 14-2:	La capacidad de adsorción.....	27
Ecuación 15-2:	Cálculo de parámetros de Isoterma de Langmuir.....	27
Ecuación 16-2:	Cálculo de parámetros de Isoterma de Freundlich.....	27
Ecuación 17-2:	Cálculo de parámetros cinéticos de pseudo segundo orden.....	27
Ecuación 18-2:	Cálculo para conocer el porcentaje de remoción.....	27

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue determinar el efecto de la temperatura en la adsorción de colorantes catiónicos sobre óxido de grafeno reducido (OGr), se obtuvo mediante el método de Hummers enfocado en la química verde. Se realizaron diversas caracterizaciones como: espectroscopia UV-Vis dando un pico de 254.63 nm; espectroscopia IR en el que en su espectro presentó grupos O-H y C=O con bandas de 3200-3500 y 1727(cm-1) respectivamente; además, se realizó una espectroscopia electrónica de barrido (SEM) obteniendo imágenes de la superficie del material y una espectroscopia de rayos X de energía dispersiva (EDS) que mostró un porcentaje del 27% de oxígeno y 72.91 % de carbono. Para la adsorción de los colorantes usados como el Azul BRL y Amarillo 86 se llevó por triplicado colocando 50 ml de solución de cada colorante con una concentración de 4 ppm y 20 mg de OGr a diferentes tiempos y temperaturas. El colorante azul BRL presento mejor efectividad de adsorción sobre OGr a una temperatura de 313 Kelvin en el cual su tiempo de equilibrio fue a las tres horas de agitación ajustándose al modelo cinético de adsorción de pseudo segundo orden con un R2 de 0,99, indicando que la adsorción del colorante presenta mayor capacidad adsorptiva al material y con un isoterma de adsorción ajustado a la isoterma de Freundlich con un R2 igual a 1 que mostró que la adsorción se dio mediante monocapas. Se concluye que al aumentar la temperatura para adsorber los colorantes catiónicos usados en este estudio es desfavorable pues se produce un proceso de adsorción y desorción por ende se establece que a la temperatura de 313 K es óptima para la adsorción. Se recomienda realizar estudios con OGr para adsorber contaminantes metálicos presentes en aguas residuales.

Palabras clave: <OXIDO DE GRAFENO REDUCIDO (OGr)>, <AZUL BRL>, <AMARILLO 86>, <ESPECTROSCOPIA UV-VIS>, <ESPECTROSCOPIA IR>, <MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO (SEM)>, < ESPECTROSCOPIA DE RAYOS X DE ENERGÍA DISPERSIVA (EDS)>

LEONARDO
FABIO MEDINA
NUSTE

Firmado digitalmente por LEONARDO FABIO
MEDINA NUSTE
Nombre de reconocimiento (DN): c=EC,
o=BANCO CENTRAL DEL ECUADOR,
ou=ENTIDAD DE CERTIFICACION DE
INFORMACION-ECIBCE, l=QUITO,
serialNumber=0000621485, cn=LEONARDO
FABIO MEDINA NUSTE
Fecha: 2021.11.08 15:34:43 -05'00'



2055-DBRA-UTP-2021

ABSTRACT

The objective of this study was to determine the effect of temperature on the adsorption of cationic dyes on reduced graphene oxide (OGr), obtained using the Hummers method focused on green chemistry. Various characterizations were made such as: UV-Vis spectroscopy giving a peak of 254.63 nm; IR spectroscopy in which its spectrum presented groups O-H and C = O with bands of 3200-3500 and 1727 (cm⁻¹) respectively; In addition, a scanning electron spectroscopy (SEM) was performed obtaining images of the surface of the material and an energy dispersive X-ray spectroscopy (EDS) that showed a percentage of 27% oxygen and 72.91% carbon. For the adsorption of the dyes used as BRL Blue and Yellow 86 was carried in triplicate by placing 50 ml of solution of each dye with a concentration of 4 ppm and 20 mg of OGr at different times and temperatures. The blue dye BRL presented better effectiveness of adsorption on OGr at a temperature of 313 Kelvin in which its equilibrium time was at three hours of agitation adjusting to the kinetic model of adsorption of pseudo second order with an R² of 0.99, indicating that the adsorption of the dye presents greater adsorptive capacity to the material and with an adsorption isotherm adjusted to the Freundlich isotherm with an equal R² a 1 which showed that adsorption occurred by monolayers. It is concluded that increasing the temperature to adsorb the cationic dyes used in this study is unfavorable because an adsorption and desorption process occurs, therefore it is established that at the temperature of 313 K it is optimal for adsorption. It is recommended to carry out studies with OGr to adsorb metal contaminants present in wastewater.

Keywords: REDUCED GRAPHENE OXIDE (OGr), BRL BLUE, YELLOW 86, UV-VIS SPECTROSCOPY, IR SPECTROSCOPY, SCANNING ELECTRON MICROSCOPY (SEM), ENERGY DISPERSIVE X-RAY SPECTROSCOPY (EDS).

INTRODUCCIÓN

Las aguas residuales de las industrias textiles se consideran un tipo de contaminante objetable debido a su alta toxicidad tanto para el ecosistema como para la salud humana (Yang, 2014, p. 13). El agua contaminada puede transmitir enfermedades como la diarrea, cólera, la disentería, la fiebre tifoidea y la poliomielitis. Se calcula que la contaminación del agua potable provoca más de 502 000 muertos por diarrea al año por lo cual se cree que en el 2025 la mitad de la población mundial vivirá en zonas con escasez de agua en los países en vías de desarrollo, el 22% de los centros sanitarios carecerán de fuentes de agua, el 21% de servicio de saneamiento y el 22% del servicio de gestión de desechos (AGNU, 2010, p.4).

El impacto ambiental generado por estas sustancias tóxicas ha llevado a la comunidad científica a desarrollar diferentes métodos para el tratamiento para la remoción de los pigmentos azoicos, ya que su amplio uso se debe a que ofrecen una gama de colorantes como el rojo, azul, naranja, negro, amarillo. Uno de los colorantes más utilizados en las industrias, es el azul BRL ya que es un colorante directo que posee 2 grupos azo (diazóico) y el amarillo 86, estos compuestos azoicos presentan características como la resistencia a la luz, diferentes perfiles toxicológicos y diferentes capacidades de tinción (Hunger, 2003 , p.18). Además, con bajas concentraciones son muy visibles en los efluentes hídricos.

Se ha comprobado que, las aminas resultantes de los colorantes azoicos producen daños en el sistema reproductor, hígado y cerebro de los seres humanos. En las plantas, estas sustancias afectan a los procesos de fotosíntesis, debido a los cloruros y metales presentes en dichos colorantes. Además, plantas como la papa, el melón y el rábano, se ven afectadas por los compuestos químicos orgánicos presentes en los colorantes, disminuyendo su crecimiento y la capacidad de germinación de sus semillas (Domos, 2018, p.4).

El presente trabajo es una continuación a la investigación realizada anteriormente por el Grupo de Investigación de Materiales Avanzados (GIMA) de la Facultad de Ciencias, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba Chimborazo con el nombre “La adsorción de azul metileno en óxido de grafeno reducido ecológico” la cual se enfocó en una comparación en cuanto a la efectividad de adsorción de los colorantes anteriormente mencionados con la utilización de óxido de grafeno reducido.

Problema de investigación

Situación problemática

La industria textil es considerada como uno de los principales generadores de contaminantes de agua y desechos peligrosos debido a que en el proceso de fabricación incluye diversas etapas que provocan una seria contaminación al medio ambiente

Los principales puntos de generación de contaminantes están centrados en el manejo de materiales peligrosos, emisiones al aire, residuos sólidos y líquidos, consumo de energía y generación de grandes cantidades de aguas residuales altamente coloreadas y constituidas por compuestos difícilmente biodegradables, donde 700.000 toneladas y alrededor de 10.000 colorantes diferentes son producidos anualmente en todo el mundo, y cerca del 10% de estos puede encontrarse en aguas residuales (Álvares, 2011, p. 87).

En Ecuador existen diversas industrias textiles en la provincia de Tungurahua en el sector Pelileo por lo cual las aguas contaminadas se descargan al río Patate, sin previo tratamiento químico. La investigación propuesta busca generar alternativas como posible solución al problema de la contaminación producida por colorantes como el azul directo (azul BRL) y amarillo directo que afectan a ríos y comunidades cercanas. Además de la existencia de estas industrias en este sector se encuentran también en bajas cantidades en Pichincha y Guayas (Angamarca, 2020, p. 24,26).

Formulación del problema

¿La variación de la temperatura tiene efecto en la adsorción de colorantes catiónicos sobre oxido de grafeno reducido?

Justificación

La presente investigación se enfocó en el estudio de adsorción de colorantes catiónicos como el azul BRL y amarillo 86, mismos que se utilizan en la industria textil y esta al ser catalogada una de las más contaminantes de las fuentes hídricas por el uso del colorante de tintes catiónico y muy solubles en agua o alcohol.; por lo cual se buscan nuevas alternativas con las cuales se pueda contribuir para reducir estos problemas.

Pues debido a la gran demanda de consumo de agua potable para fines pertinentes al verse afectada por la mala manipulación del hombre, se ha optado por alternativas eficientes para solucionar estos, por lo cual se realizaran pruebas de absorción de colorantes catiónicos mediante un estudio termodinámico, esto se llevará a cabo mediante el uso de Oxido de grafeno reducido (OGr) que al ser un material prometedor por sus propiedades, es una forma de obtener un producto exfoliado y análogo al grafeno, ya que se eliminan, parcial o completamente los 8 grupos oxigenados, convirtiendo de ésta forma la hibridación de los átomos de carbono del plano basal de sp^3 a sp^2 (7), restaurando parcialmente la aromaticidad del sistema lo cual permite mejorar las propiedades mecánicas, térmicas y eléctricas similares a las del grafeno, volviendo al OGr un compuesto prometedor para aplicaciones tecnológicas (Shulga, 2010, p. 10).

Objetivos de la investigación

Objetivo General

- Determinar el efecto de la temperatura en la adsorción de colorantes catiónicos sobre óxido de grafeno reducido.

Objetivos Específicos

- Sintetizar óxido de grafeno reducido mediante el método de Hummer enfocado en la química verde.
- Realizar un estudio cinético de adsorción de colorantes catiónicos mediante el uso de óxido de grafeno reducido a diferentes temperaturas.
- Determinar el efecto de la temperatura en la remoción colorantes catiónicos sobre óxido de grafeno mediante isotermas de adsorción.

Hipótesis

- ¿El óxido de grafeno reducido tiene una alta capacidad de adsorción sobre colorantes catiónicos?

Hipótesis específica

- ¿La variación de temperatura influye en la adsorción de colorantes catiónicos?

CAPÍTULO I

1. MARCO DE REFERENCIA

1.1. Antecedentes

El grafeno se define como una fina lámina plana de átomos de carbono con hibridación sp^2 en dos dimensiones (2D), formando una estructura similar a un panal de abeja (Figura 1-2) Fue aislado por primera vez en el año 2004, por los físicos Andre K. Geim y Konstantin S. Novoselov, al pegar un trozo de cinta adhesiva sobre la superficie de un grafito, pero no fue hasta el año 2010 cuando el grafeno comenzó a generar interés en el resto de los científicos, al ganar sus descubridores el Premio Nobel de física (Jena, 2012, p. 34).

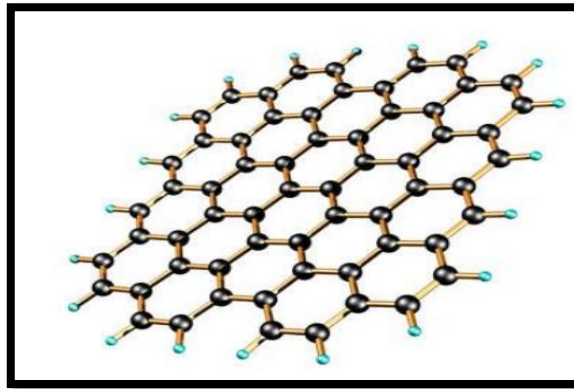


Figura 1-2: Estructura de una lámina de grafeno.

Realizado por: Castro, N. 2016.

Este interés fue debido a las características únicas del material, como la excelente conductividad eléctrica, su amplia superficie, dureza y una gran conductividad térmica. Además, al proceder de una sustancia natural como el grafito, tiene menor riesgo ambiental que los materiales inorgánicos. Debido a que tiene un tamaño de 50 nm es considerado un “nanomaterial” (Angelo, et al., 2017, p. 24). La nanotecnología se basa en el control de la materia a escalas de entre 1 y 100 nanómetros y ha sufrido un gran avance en los últimos años. Uno de sus avances a destacar se encuentra en el campo ambiental, con el uso de materiales con características especiales como el óxido de grafeno reducido (Angelo, et al., 2017, p. 35).

El óxido de grafeno fue preparado por primera vez hace aproximadamente 150 años por los químicos Schafhaeutl y Brodie mediante un método que fue perfeccionado un siglo más tarde por Hummers y Offeman, en la que se le da un tratamiento de oxidación al grafito con ácido sulfúrico concentrado, nitrato de sodio y permanganato de potasio para así obtener óxido de

grafito, pero en estudios posteriores se usó la hidrazina como reductor del óxido de grafeno esto se reportó por primera vez por Stankovich (Potts, et al., 2012). Como resultado, la hidrazina ha sido aceptada como un buen reductor químico para reducir el GO. La reducción por hidrazina y sus derivados, como el hidrato de hidrazina y dimetilhidrazina, se puede lograr mediante la adición del reactivo líquido a una dispersión acuosa de OG, lo que resulta en hojas de OGr agregados debido al aumento de su hidrofobicidad, después que se seca, se obtiene un polvo negro conductor de la electricidad con una relación atómica C/O alrededor de 10 (Potts et al., 2012, p. 3).

Los contaminantes orgánicos peligrosos de mayor preocupación producen diversos efectos adversos para el medio ambiente y la salud pública. En general presentan grados considerables de toxicidad, resistencia a la biodegradabilidad y alto potencial de bioacumulación. Algunas de estas sustancias también pueden generar efectos mutagénicos, teratógenos o cancerígenos por lo cual mediante investigaciones anteriores para la adsorción de azul BRL se ha utilizado dióxido de titanio (TiO_2) con un soporte de carbón activado mediante el proceso de foto degradación obteniendo resultados favorables del 90% de remoción a temperaturas de 1073.15 K en 4 horas (Rodríguez, 2016, p. 26).

En una investigación realizada, se removió el color Azul BRL desde soluciones sintéticas del colorante, tratándolo con un sistema electro fenton a 8 y 10 A de corriente eléctrica con un pH de 3 añadiendo sulfato ferroso 0,56 mmol/L removiendo un 63% (Balladares, 2014, p. 25).

En estudios anteriores se usó nanocompuesto de óxido de grafeno y ferrita de zinc acoplados para la adsorción de naranja de metilo preparando soluciones con pH de 5-6, las nanopartículas al fusionarse mejoran las propiedades y por ello que la adsorción del colorante anteriormente mencionado dio buenos resultados (Sadighian, Abbasi, Arjmandi, & Karami, 2018, p. 45).

1.2. Bases teóricas

1.2.1. Grafeno

El grafeno es alótropo bidimensional del carbono, consiste en una disposición hexagonal de átomos de carbono en un solo plano en forma de panal y es un componente básico para los materiales gráfiticos de todas las demás dimensionalidades. Se pueden envolver en fullerenos, nanotubos o apilados en grafito (Figura 2-2) (Potts, et al., 2012, p. 67). Entre sus propiedades destaca su alta conductividad eléctrica, conductividad térmica y resistencia mecánica. Además, debido a su estructura, puede reaccionar con diversas sustancias para obtener productos con propiedades diferentes (Zhou, 2015, p. 56).

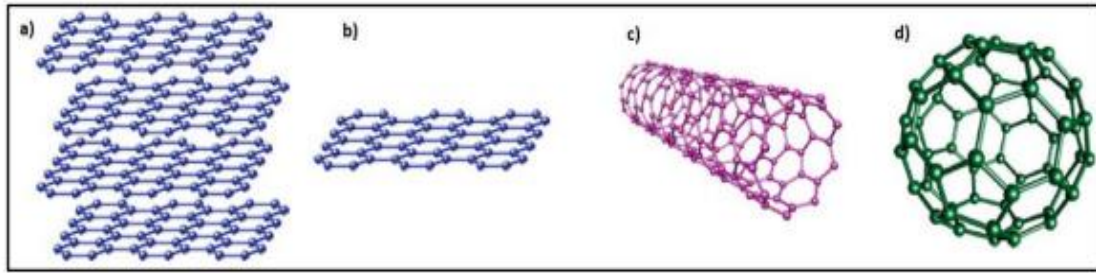


Figura 2-2. Alótropos de carbono sp^2 : (a) grafito (3-D), (b) grafeno (2-D), (c) nanotubos de carbono (1-D), y fullerenos (0-D).

Realizado por: Zhou, Z; Wu, G. 2015.

A pesar de que el grafeno es la base para estos alótropos del carbono, los descubrimientos de estos alótropos son previos a las primeras descripciones del grafeno; los fullerenos fueron descritos en 1895, mientras que los nanotubos de carbono (CNT) fueron sintetizados en 1991 (Jena, 2012, p. 32). Fue en el año 2004 que se realizó la exfoliación exitosa de una hoja de carbono por Andre Geim y Kostya Novoselov quienes utilizaron la técnica de exfoliación micromecánica, adjudicándose el Premio Nobel de Física el año 2010. Además de esta técnica se han introducido varias estrategias para la síntesis en mayor escala de grafeno, tales como la intercalación de iones metálicos, la exfoliación de grafito suspendido en solventes, la deposición química de vapor y la reducción química o térmica del óxido de grafito (OG). La vía de la reducción de OG para síntesis de grafeno es una de las más prometedoras, ya que el grafito oxidado tiene a disposición una gran cantidad de monocapas (Vijayaraghavan, 2013, p. 13).

Se investigó la remoción del color amarillo 86 o amarillo directo por Morales (2015) la cual utilizó fibras de celulosa para su remoción, preparo soluciones estándar con una concentración inicial de 100 ppm en la cual al removerlos por agitación constante logró obtener un porcentaje de 84%.

1.2.2. Óxido de grafeno

El óxido de grafeno (OG) es una red semi-aromática de átomos de carbono con hibridación sp^2 / sp^3 intermitentemente funcionalizados con grupos oxigenados, que no está disponible naturalmente. Se sintetizó por primera vez en el año 1859 mediante tratamientos químicos con clorato de potasio ($KClO_4$) y ácido nítrico fumante (HNO_3) por el químico británico Brodie, quien lo denominó óxido de grafito, obteniendo un compuesto de fórmula molecular $C_{11}H_4O_5$. Sin embargo, este método fue modificado en el año 1898 por Staudenmaier quien adicionó ácido sulfúrico concentrado para mejorar la acidez de la mezcla y múltiples alícuotas de solución de clorato de potasio a lo largo de la reacción, obteniendo óxido de grafito con una estequiometría diferente al sintetizado por Brodie (Zhou et al., 2015, p. 43). Alrededor de unos 60 años después de

la síntesis de Staudenmaier, los químicos Hummers y Offeman desarrollaron otro método de síntesis de OG. Este método consiste en el uso de una mezcla de ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4), nitrato de sodio (NaNO_3) y permanganato de potasio (KMnO_4) y la temperatura de reacción se mantiene por debajo de los 45°C . La reacción de oxidación se lleva a cabo por 2 horas, lo que conduce a OG con mayor grado de oxidación que el óxido de grafito obtenido por el método de Staudenmaier. La estructura química del óxido de grafito está relacionada directamente con los procesos de síntesis y el tipo de grafito utilizado, afectando el tamaño de la partícula, dispersabilidad, reactividades e incluso la propensión a la oxidación. Debido a esto, el estudio de la composición química del óxido de grafito ha sido sujeto a exhaustivas investigaciones (Zhou et al., 2015, p.12). En consecuencia, el óxido de grafito es descrito como una hoja de carbono ondulada con más de la mitad de los átomos de carbono funcionalizados con grupos hidroxilos, epoxi con los bordes ocupados parcialmente por estructuras de hidroxilo, carbonilos, cetonas, ésteres y lacteol. Sin embargo, a pesar de conocer los grupos funcionales, su distribución a lo largo de la red de óxido de grafito no ha sido esclarecido. Por esta razón hay diferentes propuestas de las estructuras químicas del OG (Figura 3-2).

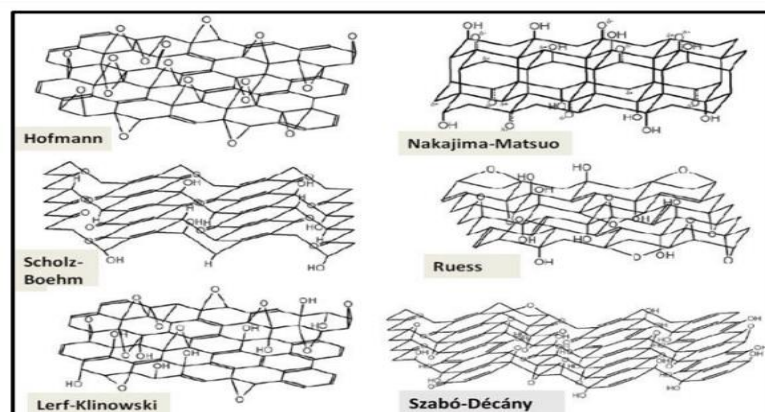


Figura 3-2: Principales modelos propuestos de la estructura de óxido de grafito (GO).

Realizado por: Zhou, Z; Wu, G. 2015.

Finalmente, los grupos oxigenados del OG son susceptibles a ser eliminados mediante reacciones químicas, resultando en un óxido de grafito reducido (OGr).

1.2.3. Óxido de grafito reducido

La reducción de óxido de grafito es una forma de obtener un producto exfoliado y análogo al grafito, ya que se eliminan, parcial o completamente los 8 grupos oxigenados, convirtiendo de esta forma la hibridación de los átomos de carbono del plano basal de sp^3 a sp^2 , restaurando

parcialmente la aromaticidad del sistema (Gong, 2016, p. 36). Las propiedades mecánicas, térmicas y eléctricas del óxido de grafeno reducido (OGr) son similares a las del grafeno, volviendo al OGr un compuesto prometedor para aplicaciones tecnológicas. Existen diversos métodos para la obtención de OGr, tales como la reducción térmica, fototérmica, inducido por láser y reducción química, siendo este último uno de los más utilizados. En todos estos métodos se obtiene un óxido de grafeno reducido que recupera gran parte de su carácter sp^2 tras la reducción, comparable con el grafeno (Figura 2-4) (Fan, et al., 2018, p. 23).

En esta investigación se realizará la obtención del OGr por el método químico, en el cual se utilizará vitamina C como reductor.

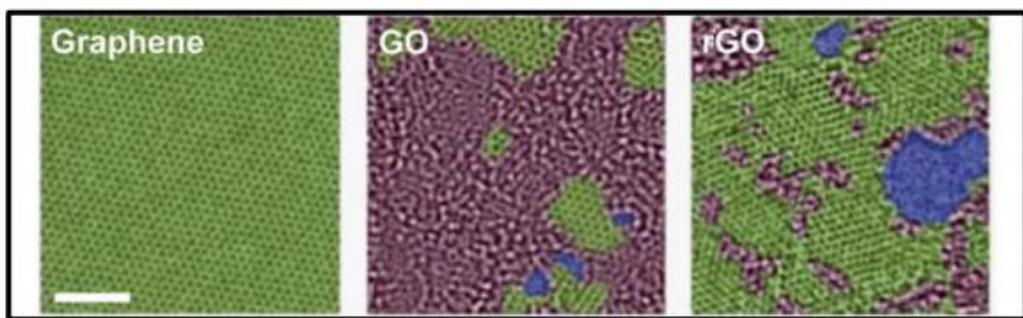


Figura 4-2: Imágenes TEM de grafeno, óxido de grafeno (OG) y óxido de grafeno reducido (OGr). Región verde indica carácter sp^2 , región roja indica las zonas oxidadas y la región azul indica los defectos.

Realizado por: Fan, et al., 2018.

1.2.3.1. Síntesis para la obtención del OGr

La síntesis de OGr se lo puede realizar por diferentes métodos tales como de Bordey y Staudenmaier que se utiliza como oxidantes el $KClO_3$ y como solvente HNO_3 , mientras que el método Hummers utiliza la combinación de $KMnO_4$ y H_2SO_4 , este último mencionado es uno de los métodos más utilizado debido a que la reacción se da de manera rápida (1 hora) a diferencia de los anteriores que la reacción dura de 3 y 4 días respectivamente (Tobar, 2017, p. 34).

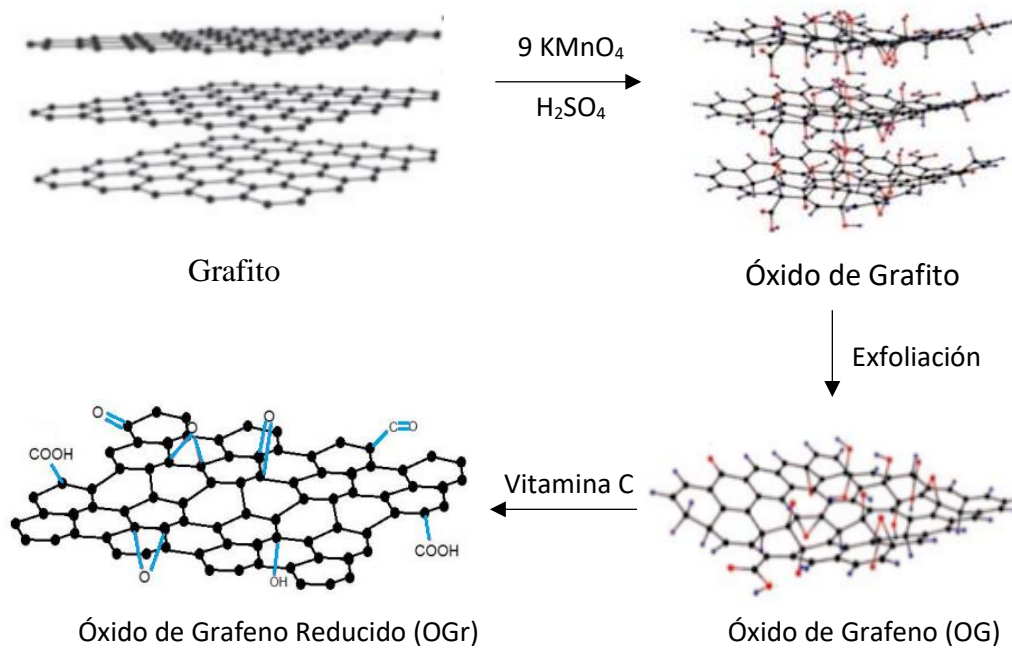


Figura 5-2: Síntesis para la obtención del OGr por el método de Hummers.

Realizado por: Tubón K. 2021.

1.2.4. Colorantes en la industria textil.

La molécula de un colorante tiene normalmente dos componentes importantes: uno que aporta el color, denominado cromógeno, y otro que posibilita la unión a elementos del tejido denominado auxocromo (Sadasivuni et al., 2014, p. 11).

El cromóforo es la organización molecular dentro del cromógeno responsable de la absorción de un espectro determinado de longitudes de onda. El auxocromo que se une al cromógeno puede influir en su coloración y muchos colorantes tienen más de un grupo auxocrómico (Gong, 2016, p. 17). El auxocromo puede ser un grupo ionizable, un grupo que reacciona covalentemente con iones metálicos (mordientes) o puede reaccionar covalentemente con el sustrato, en este caso el tejido.

Los colorantes son normalmente hidrosolubles, aunque hay colorantes que carecen de grupos ionizables y sirven para teñir sustancias grasas, como gotas de lípidos (Gong, 2016, p. 18).

1.2.4.1. Según la naturaleza química del cromóforo hay varios tipos de colorantes:

nitrosos, azoicos, derivados de la antraquinona, derivados de la acridina, derivados de iminas quinónicas, derivados de diferrilmetano y triferrilmetano, derivados del xanteno y derivados de las talocianinas.

1.2.4.2. Según la naturaleza química del radical auxocromo los colorantes se clasifican en:

- **Básicos:** son sales en las que la base, normalmente una amina, aporta el color, mientras que la parte ácida es incolora. Es decir, son colorantes catiónicos. Tienen afinidad por sustancias ácidas del tejido como el ADN o ciertos componentes de la matriz extracelular como los glicosaminoglicanos.
- **Ácidos:** son sales con el anión coloreado y la base incolora. Son derivados de grupos sulfónicos, carboxilos o hidroxilos fenólicos.
- **Colorantes mordientes:** son aquellos que se usan en combinación con sales metálicas, que actúan como mordiente. Estas sales se pueden emplear junto con el colorante, antes o después. En algunos casos el colorante mordiente puede ser también aniónico o, menos frecuentemente, catiónico.
- **Neutros:** poseen una porción ácida y otra básica, ambas con capacidad para aportar color. Por tanto, un mismo colorante puede teñir tanto las partes básicas como las ácidas de los tejidos. Por ejemplo, el azul de metileno.
- **Indiferentes o hidrofóbicos:** realmente no se unen a elementos de los tejidos por afinidad química sino porque se disuelven en ellos. Por ejemplo, el colorante Sudán se disuelve en los lípidos y por tanto teñirá a las gotas de lípidos, especialmente en los adipocitos.

1.2.5. Colorantes azoicos

Los colorantes azoicos contienen un grupo azo ($-N=N-$) al cual deben su color. Cada nitrógeno del grupo azo se encuentra enlazado con un átomo de carbono con orbitales sp^2 , en forma de anillos bencénicos, generalmente. Estos colorantes pueden ser usados en un amplio rango de temperaturas (330 - 450 K) y absorben la radiación de la región ultravioleta-visible. Son muy estables a la luz y al lavado. La mayoría son ácidos sulfónicos (Universidad Libre de Colombia, 2017, p. 35).

Estos colorantes son los de mayor uso en la industria textil debido a su facilidad de preparación y a la amplia gama de colores en la que se ofrecen, aunque sus aplicaciones se extienden a otras industrias.

1.2.5.1. Colorante Azul BRL

El colorante azul BRL es un colorante que posee 2 grupos azo en su composición por lo tanto considerado diazoico y cuyas características y propiedades generales se presentan a continuación en la tabla 1-2.

Tabla 1-2: Características y propiedades del colorante azul BRL

Nombre comercial del colorante	Tipo del colorante	Formula molecular	Peso molecular (g/mol)	Nombre IUPAC
Azul BRL (Azul Directo)	Diazoico Básico (catiónico)	$C_{34}H_{24}N_6Na_4O_{16}S_4$	992.82	Tetrasodio;5-amino-3-[[4-[4-[2-(8-amino-1-oxo-3,6-disulfonatonaphthalen-2-ylidene)hydrazinyl]-3-methoxyphenyl]-2-metoxiphenyl]hydrazinylidene]-4-oxonaphthalene-2,7-disulfonate.

Fuente: Aucancela, 2018.

Realizado por: Tubón K, 2021.

En la Figura 6-2: Se presenta, como ejemplo, el colorante azoico azul BRL, objeto de este estudio

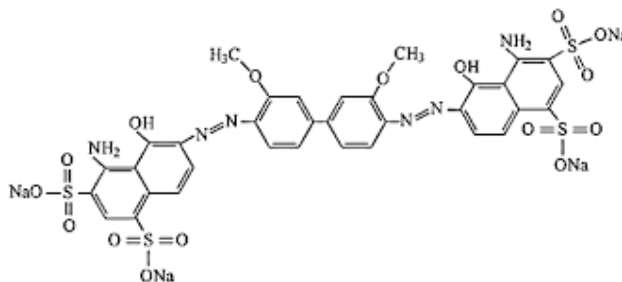


Figura 6-2: Estructura del azul BRL.

Realizado por: Bayramoğlu Yakup. 2007.

1.2.5.2. Colorante amarillo 86

Este colorante es de uso textil cuyas características se representan en la tabla 2-2; a este colorante también se lo conoce como amarillo directo D-RL o amarillo directo. Según Coching, (2015) menciona que este “colorante es muy estable a altas temperaturas”.

Tabla 2-2: Características y propiedades del colorante amarillo 86

Nombre comercial del colorante	Tipo de colorante	Fórmula molecular	Peso molecular (g/mol)
Colorante amarillo 86	Diazoico	C ₃₉ H ₃₀ N ₁₀ Na ₄ O ₁₃ S ₄	1066,92

Fuente: Marcela, 2017.

Realizado por: Tubón K, 2021.

En la figura 7-2 se encuentra la estructura molecular del colorante amarillo 86

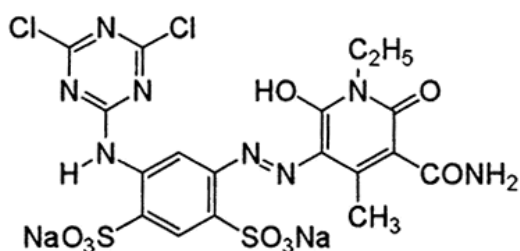


Figura 7-2: Estructura del amarillo 86.

Realizado por: Coching, 2015.

1.2.5.3. Problemas asociados al uso de colorantes azoicos

Los colorantes azoicos presentan ventajas para la industria textil, pero su uso causa problemas ambientales, como la presencia de color en los efluentes, generación de aminas tóxicas, eutrofización en los cuerpos hídricos, entre otros (Vera.J, 2018, p. 45).

Estos compuestos son utilizados principalmente en la etapa de tñido. Luego de esta etapa, hasta el 30% de los colorantes usados permanece en las aguas que serán descargadas en los cuerpos hídricos (Kordouli et al., 2015, p. 22). En la descarga, proporcionan a los cuerpos de agua una coloración que produce contaminación visual, interfieren con la cantidad de luz que reciben las bacterias y las plantas, lo que puede desencadenar en una eutrofización. Las concentraciones bajas (menores a 1 mg /L) pueden afectar la estética, la transparencia y la solubilidad de gases en los cuerpos hídricos (Banat, et al., 1996, p. 12).

Un colorante azoico, en su proceso de biodegradación, puede generar productos peligrosos a través de las reacciones químicas que tienen lugar en las aguas residuales (Universidad Libre de Colombia, 2017, p. 20), pues bajo condiciones específicas, algunos colorantes producen aminas aromáticas, consideradas tóxicas, cancerígenas o mutagénicas, con consecuencias para la salud humana y los seres vivos en general (Vera.J, 2018, p. 11).

Por otra parte, si el agua con colorantes es usada para irrigación, el problema se traslada al suelo. El suelo es un sistema biológico balanceado, por ello, cualquier cambio drástico en él puede modificar la conformación y la actividad biológica de su población microbiana; en consecuencia, pueden verse afectados los ciclos de los nutrientes y, con ello, la fertilidad del suelo (Topaç et al, 2016, p. 13). La estabilidad que presentan los tintes modernos a la luz, temperatura y degradación microbiana, hace que sean considerados compuestos recalcitrantes, por lo que los métodos convencionales de tratamiento son ineficaces para su degradación (Kordouli et al., 2015, p. 17).

1.2.6. Adsorción

Los procesos de adsorción son ampliamente utilizados en los tratamientos de agua y presentan un gran potencial de seguir mejorándose. Las principales ventajas de estos procesos son la simplicidad de su diseño y operación, además de los bajos costos de inversión y operación asociados, aproximadamente la mitad de otros procesos de similar eficiencia (Vijayaraghavan, 2013, p. 29). El proceso es ampliamente utilizado en la industria debido a que es rápido y posee una excelente capacidad de remoción de contaminantes de todo tipo; solubles, insolubles, inorgánicos, desechos biológicos, etc., con eficiencias hasta del 99%.

Recientemente las investigaciones se están centrando en la búsqueda de materiales adsorbentes de bajo costo que tengan mejores capacidades de adsorción. En la Tabla 3-2 se pueden observar las aplicaciones típicas de adsorción en procesos de tratamiento de aguas y los adsorbentes comúnmente utilizados. Normalmente se utiliza carbón activado (CA) como adsorbente, sin embargo, se están buscando y utilizando nuevas alternativas, con un menor costo y mayores capacidades de adsorción tal es el caso de esta investigación que utilizara óxido de grafeno reducido, dado que los materiales basados en carbono están tomando protagonismo como adsorbentes de tintes en el último tiempo (Vijayaraghavan, 2013, p. 15).

Tabla 3-2: Aplicaciones de remoción de contaminantes mediante procesos de adsorción y adsorbentes normalmente utilizados.

Proceso	Objetivo	Adsorbente
Tratamiento del agua potable	Materia orgánica disuelta	Carbón activado
	Microtratamientos orgánicos	Carbón activado
	Arsénico	Oxido de aluminio Hidróxido de hierro
Tratamiento de aguas residuales urbanas	Fosfatos	Oxido de aluminio
		Óxido de hierro
	Microcontaminates	Carbón activado
Tratamiento de aguas residuales industriales	Especies químicas específicas	Adsorbentes poliméricos
		Carbón activado
Tratamiento de aguas de piscinas y acuarios	Sustancias orgánicas	Carbón activado
Remediación de aguas subterráneas	Sustancias orgánicas	Carbón activado
Tratamiento de lixiviación de rellenos sanitarios	Sustancias orgánicas	Carbón activado

Fuente: Delgado, Amaya, 2016.

Realizado por: Tubón K, 2021.

El término adsorción se refiere a la acumulación de una sustancia en la interfaz entre dos fases. Las fases sólidas se caracterizan por poseer sitios activos, con diferentes niveles de energía, capaces de interactuar con solutos presentes en una fase fluida por lo que los sistemas sólido-líquido y sólido gas son los más estudiados (Fan, et al., 2018, p. 33). En la Figura 8-2 se presenta un diagrama con los diferentes componentes presentes en la adsorción. La especie presente en la fase fluida, que se acumula, se le llama adsorbato mientras que el sólido en el que se acumulan se le llama adsorbente. Dependiendo de la naturaleza de la interacción, la adsorción puede ser clasificada como adsorción química o adsorción física (Vijayaraghavan, 2013, p. 12).

1.2.6.1. La adsorción química o quimisorción:

Se caracteriza por la formación de fuertes interacciones entre el adsorbato y la superficie del adsorbente, generalmente formándose enlaces entre ambos por lo cual normalmente se le considera un proceso irreversible (Fan, et al., 2018, p. 21).

1.2.6.2. La adsorción física o fisisorción:

Se caracteriza por débiles interacciones, comúnmente del tipo de Van der Waals lo que lleva a un proceso reversible. La mayoría de los sistemas adsorbente-adsorbato interactúan mediante la

fisisorción, en los cuales predominan las fuerzas de Van der Waals, puentes de hidrógeno, interacciones dipolo-dipolo, interacciones $\pi - \pi$, etc. (Fan, et al., 2018, p.21).

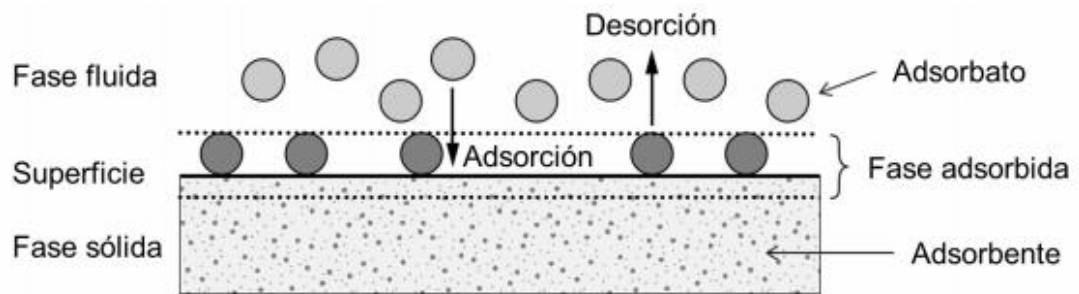


Figura 8-2: Componentes básicos del fenómeno de adsorción en sistema sólido-fluido.

Realizado por: Torre, 2017.

La eficiencia de la adsorción varía con las condiciones de la fase fluida como temperatura, pH o concentración, además, esta depende de las propiedades superficiales del adsorbente como el área superficial y la disponibilidad de sitios activos (Fan, et al., 2018, p. 22). Bajo ciertas condiciones se puede lograr una liberación de las especies adsorbidas, fenómeno llamado desorción. Para determinar el mecanismo y eficiencia del proceso de adsorción se pueden realizar mediciones calorimétricas o analizar las isothermas de adsorción (Fan, et al., 2018, p. 22).

1.2.6.3. *Equilibrios de Adsorción*

En un proceso de adsorción hay tres componentes, cuando solamente se transfiere uno de los componentes y dos fases; por tanto, $F= 3$, donde F es el número de grados de libertad. Normalmente, se fijan la temperatura y la presión, así como la concentración del componente A en el líquido o gas. La concentración de A sobre el adsorbente, en equilibrio con la fase fluida, está entonces determinada por la relación de equilibrio. Las representaciones gráficas del equilibrio, con frecuencia en forma adimensional, se construyen para temperaturas constantes especificadas y reciben el nombre de isothermas de adsorción (Pérez, 2010, p. 38).

1.2.7. *Isothermas de adsorción*

Las isothermas de adsorción entregan información importante de como el adsorbente interacciona con el adsorbato y entrega una idea de la capacidad de adsorción (Zhang, 2016, p. 24). Estas representan la relación de equilibrio entre la cantidad de material adsorbido en la interfaz y la concentración en el seno del fluido a temperatura constante. Se pueden encontrar diversos modelos de adsorción en literatura, sin embargo, los modelos propuestos por Langmuir y

Freundlich son utilizados normalmente para describir el comportamiento de la isoterma (Peréz, 2010, p. 21).

1.2.7.1. Tipos de isotermas de adsorción

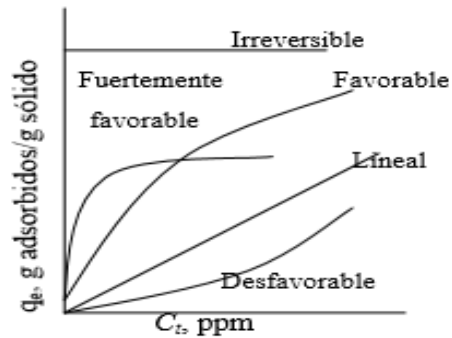


Figura 9-2: Isotermas de adsorción.

Realizado por: Pérez ,2016.

- La isoterma lineal pasa por el origen de coordenadas y la cantidad adsorbida es proporcional a la concentración en el fluido.
- Las isotermas que son convexas hacia arriba se denominan favorables, debido a que puede obtenerse una carga relativamente elevada del sólido para una baja concentración en el fluido.
- Una isoterma que es cóncava hacia abajo recibe el nombre de desfavorable debido a que se obtienen cargas del sólido relativamente bajas y a que conducen a largas zonas de transferencia de materia en el lecho.

Un tratamiento muy sencillo de la quimisorción fue dado por Irving Langmuir en 1918. La superficie tiene cierto número de sitios de adsorción S de los cuales S_1 pueden estar ocupados por el adsorbato y $S_0 = S - S_1$ están sin ocupar. El equilibrio de la adsorción se trata como un estado dinámico en el que la velocidad de adsorción es igual a la velocidad de desorción. La primera velocidad se considera como no activada y justamente proporcional a la frecuencia de colisión superficial del adsorbato sobre los sitios vacíos que, por la ecuación (1) es proporcional a la concentración (Adamson, 2017, p. 7).

$$\text{velocidad de adsorción} = \phi_1 C_e (S - S_1) \quad (1)$$

Donde:

ϕ_1 : Constante cinética de reacción de adsorción, s^{-1} .

C_e : Concentración del soluto en la solución, mg/l .

La velocidad de desorción es proporcional al número de sitios ocupados S_I

$$\text{Velocidad de desorción} = \phi_2 S_I \quad (2)$$

Donde:

ϕ_2 : Constante cinética de reacción y desorción s^{-1} .

Las dos ecuaciones al igualarse se obtienen:

$$\frac{S_I}{S} = \theta = \frac{\frac{\phi_2}{\phi_1} C_e}{1 + \frac{\phi_2}{\phi_1} C_e} \quad (3)$$

En donde θ es la fracción de los sitios ocupados. Siendo q_e la cantidad de soluto adsorbida en el equilibrio (mg/g), y q_m la capacidad máxima de adsorción (mg/g), cuando todos los sitios están ocupados $\theta = 1$, de donde $q_e/q_m = \theta$, por lo que se puede escribir la ecuación 4 de la siguiente forma:

$$q_e = \theta q_m = \frac{q_m \frac{\phi_2}{\phi_1} C_e}{1 + \frac{\phi_2}{\phi_1} C_e} \quad (4)$$

Quedando el modelo expresado en la siguiente ecuación, en la que se engloba las constantes cinéticas tanto de adsorción y desorción

$$q_e = \frac{q_m K_L C_e}{1 + K_L C_e} \quad (5)$$

Donde $K_L = \phi_2/\phi_1$ es la constante de Langmuir (l/mg). Esta ecuación se conoce como la isoterma de adsorción de Langmuir.

- *La isoterma de Langmuir:* Es el modelo más simple, considera que la superficie del adsorbente presenta sitios energéticos homogéneos y que las moléculas son adsorbidas en esos sitios definidos, donde sólo se puede acomodar una entidad de adsorbato, por lo que la adsorción es en forma de monocapa (Sanchez, 2018, p. 3).

La forma lineal de la ecuación de Langmuir puede ser escrita de la siguiente manera:

$$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{q_m K_L C_e} + \frac{1}{q_m} \quad (6)$$

Las características esenciales de la isoterma de Langmuir pueden ser expresadas en términos de un factor adimensional de separación en el equilibrio, que puede calcularse mediante la siguiente ecuación (Tazrouiti, et al., 2009, p. 43):

$$R_L = \frac{1}{1 + K_L C_e} \quad (7)$$

Este parámetro está relacionado con la forma de la isoterma de la siguiente manera: $RL > 1$ representa una adsorción desfavorable; $RL = 1$ corresponde a una relación lineal; $0 < RL < 1$ es una adsorción favorable, y cuando $RL = 0$ es irreversible.

- *La isoterma de Freundlich*: Es un modelo empírico, que representa el proceso de adsorción no lineal de formación de capas en superficies heterogéneas, considerando que los sitios de adsorción son primero ocupados por enlaces fuertes y que la fuerza del enlace decrece al incrementar la ocupación de los sitios de adsorción (Sanchez, 2018, p. 15).

El modelo se expresa a través de la siguiente ecuación:

$$q_e = K_f C_e^{\frac{1}{n}} \quad (8)$$

Donde:

K_f : Constante de Freundlich, l/mg.

n: Factor de heterogeneidad (Constante empírica),

La forma lineal de la ecuación de Freundlich puede ser escrita de la siguiente manera:

$$\ln q_e = \ln K_f + \frac{1}{n} \ln C_e \quad (9)$$

1.2.8. Modelos cinéticos de adsorción

La cinética de la adsorción muestra la evolución de la capacidad de adsorción a través del tiempo y es necesaria para identificar los tipos de mecanismos de adsorción para un determinado sistema. Los siguientes modelos son frecuentemente empleados para describir el comportamiento cinético de la adsorción usando adsorbentes: Pseudo-primer orden, pseudo-segundo orden, (Sadasiyuni et al., 2014, p. 54).

1.2.8.1. Modelo de Pseudo-primer orden

Fue propuesto por Lagergren en 1998. Es la primera ecuación que se utilizó para describir la adsorción en sistemas líquido-sólido basada en la capacidad del sólido. Para distinguirla de la cinética de primer orden basada en la concentración de la solución se le llamó ecuación de pseudo-primer orden. Este modelo asume que la velocidad de ocupación de los sitios activos del adsorbente es proporcional al número de sitios disponibles del adsorbente (Castro, 2017, p. 21).

La expresión de velocidad de pseudo-primer orden es descrita por la siguiente ecuación:

$$\frac{dq_t}{dt} = k_1(q_e - q_t) \quad (10)$$

Donde:

q_t : Cantidad adsorbida en cualquier tiempo, mg/g.

q_e : Cantidad adsorbida en el equilibrio, mg/g.

k_1 : Coeficiente cinético de pseudo primer orden, s^{-1}

Integrando esta ecuación con las condiciones de frontera $q_t = 0$ en $t = 0$ y $q_t = q_t$ en $t = t$:

$$\ln(q_e - q_t) = \ln q_e - k_1 t \quad (11)$$

El valor de la constante puede ser determinado graficando $\ln(q_e - q_t)$ frente al tiempo.

1.2.8.2. Modelo de Pseudo-segundo orden

En el modelo cinético del Pseudo-segundo orden se tiene la siguiente ecuación integrada:

$$\frac{dq_t}{dt} = k_2(q_e - q_t)^2 \quad (12)$$

Donde k_2 es la constante cinética de pseudo de segundo orden ($g/mg*s$). Al integrarse entre las mismas condiciones que el caso anterior, se obtiene la siguiente ecuación:

$$\frac{1}{q_t} = \frac{1}{K_2 q_e^2} + \frac{1}{q_e} t \quad (13)$$

El valor de la constante cinética puede ser determinado graficando la relación t/q_t .

1.2.9. Espectroscopias usadas para la caracterización de la materia

Para esta investigación se utilizó las espectroscopias de:

1.2.9.1. Espectroscopia IR

Esta espectroscopia se fundamenta en la absorción de la radiación IR por las moléculas en vibración. Una molécula absorberá la energía de un haz de luz infrarroja cuando dicha energía incidente sea igual a la necesaria para que se dé una transición vibracional de la molécula. Es decir, la molécula comienza a vibrar de una determinada manera gracias a la energía que se le suministra mediante luz infrarroja (alicante, 2017, p. 28).

La espectroscopia infrarroja tiene su aplicación más inmediata en el análisis cualitativo: detección de los grupos funcionales presentes en el material. En la zona del espectro electromagnético IR

con longitudes de onda del infrarrojo medio (entre 4000 y 1300 cm^{-1}) se suelen observar una serie de bandas de absorción provocadas por las vibraciones entre únicamente dos átomos de la molécula. Estas vibraciones derivan de grupos que contienen hidrógeno o de grupos con dobles o triples enlaces aislados (Chaparro, 2016, p. 34).

En la zona del espectro electromagnético IR con longitudes de onda comprendidas entre 1300 y 400 cm^{-1} (infrarrojo lejano), la asignación de las bandas de absorción a vibraciones moleculares es más difícil de realizar, debido a que cada una de ellas está generada por absorciones individuales sumadas (multiplicidad de las bandas). Es la denominada zona de la huella dactilar (flexión de enlaces CH, CO, CN, CC, etc..). En esta zona de longitudes de onda, pequeñas diferencias en la estructura y constitución de las moléculas dan lugar a variaciones importantes en los máximos de absorción (Cayanbe, 2018, p. 14).

1.2.9.2. Espectroscopia ultravioleta visible

Esta técnica se utiliza en la determinación cuantitativa de soluciones de iones metálicos de transición, mide la intensidad de luz (fotones) que pasa a través de una muestra y la compara con la intensidad de luz antes de pasar a través de la muestra (Cayanbe, 2018, p. 25). En esta espectroscopia se colocaron muestras de OGr para conocer la longitud de onda a la que se redujo el material pues conforme a la información arrojada por el equipo se puede conocer si las nanopartículas se pueden aplicar en la adsorción de colorantes catiónicos.

1.2.9.3. Microscopio electrónico de barrido (SEM)

El Microscopio electrónico de barrido o SEM (Scanning Electron Microscope), es aquel que utiliza un haz de electrones en lugar de un haz de luz para formar una imagen, la cual permite que se enfoque a la vez una gran parte de la muestra. También produce imágenes de alta resolución, que significa que características espacialmente cercanas en la muestra pueden ser examinadas a una alta magnificación. La preparación de las muestras es relativamente fácil pues la mayoría de SEM sólo requieren que estas sean conductoras (Caballero, 2016, p. 32).

En el microscopio electrónico de barrido la muestra generalmente es recubierta con una capa de carbón o una capa delgada de un metal como el oro para darle propiedades conductoras a la muestra. Posteriormente es barrida con los electrones acelerados que viajan a través del cañón. Un detector mide la cantidad de electrones enviados que arroja la intensidad de la zona de muestra, siendo capaz de mostrar figuras en tres dimensiones, proyectados en una imagen de TV o una imagen digital (Iturbe, 2015, p. 65).

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

2.1. Parte Experimental

2.1.1. *Sitio De Investigación*

Esta investigación se la realizó en el Laboratorio de Investigación y Análisis Instrumental de la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, la cual se encuentra ubicada en la Panamericana Sur, km 1 ½ correspondiente a la ciudad de Riobamba, Provincia de Chimborazo - Ecuador.

2.1.2. *Materia Prima*

La síntesis de OGr se lo realizó en los laboratorios de investigación y química instrumental en la facultad de ciencias de la ESPOCH de la provincia de Chimborazo, pues se utilizó diferentes reactivos para llevarla a cabo y con la precaución adecuada ya que este material es la base para la adsorción de los colorantes catiónicos tales como el azul BRI y amarillo 86 mismos que fueron usados en esta investigación.

2.1.3. *Materiales, reactivos y equipos*

2.1.3.1. *Materiales*

- Balón esmerilado de tres bocas de 1000 ml
- Refrigerante
- Soporte universal
- Termómetro
- Corchos
- Vasos de precipitación de 100, 250, 600, 2000 ml
- Bureta de 250ml
- Probeta de 100ml
- Espátula
- Tubos falcom
- crisol

- Pinzas para crisol
- Mortero y pistilo
- Balones aforados de 25ml, 50ml y 100ml
- Embudo de separación
- Puntas para micropipetas
- Frascos de color ámbar
- Vidrio reloj
- Gafas de seguridad
- Mascarilla
- Guantes
- Aceite
- Hielo
- Pírex
- olla
- Papel Aluminio
- Papel filtro
- Pinzas para el soporte universal
- Kitasato de 250 ml
- Pipetas graduadas de 5, 10 y 25ml
- Pera de succión
- Frascos de vidrio transparente
- Parafilm
- Tarros de plástico

2.1.3.2. Equipos

- Estufa
- Mufla
- Bomba al vacío
- Sonicador
- Agitador magnético
- Balanza Analítica
- pH-metro
- Centrifuga
- Espectrofotómetro UV

- Espectrofotómetro IR

2.1.3.3. *Reactivos*

- grafito
- Etanol absoluto
- Agua Destilada
- Ácido sulfúrico al 96%
- Ácido Clorhídrico al 37%
- Permanganato de potasio (KMnO_4)
- Peróxido de hidrogeno (H_2O_2)
- Ácido ascórbico ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$)

2.2. **Obtención del OGr**

El óxido de grafeno reducido se lo llevó a cabo mediante el método de Hummer enfocado en la química verde. Este método ha impactado ya que presenta una capacidad muy alta para oxidar y a la vez permite que las personas interesadas en esta ciencia puedan resolver problemas que se susciten en un determinado tiempo (Altamirano, 2019, p. 3).

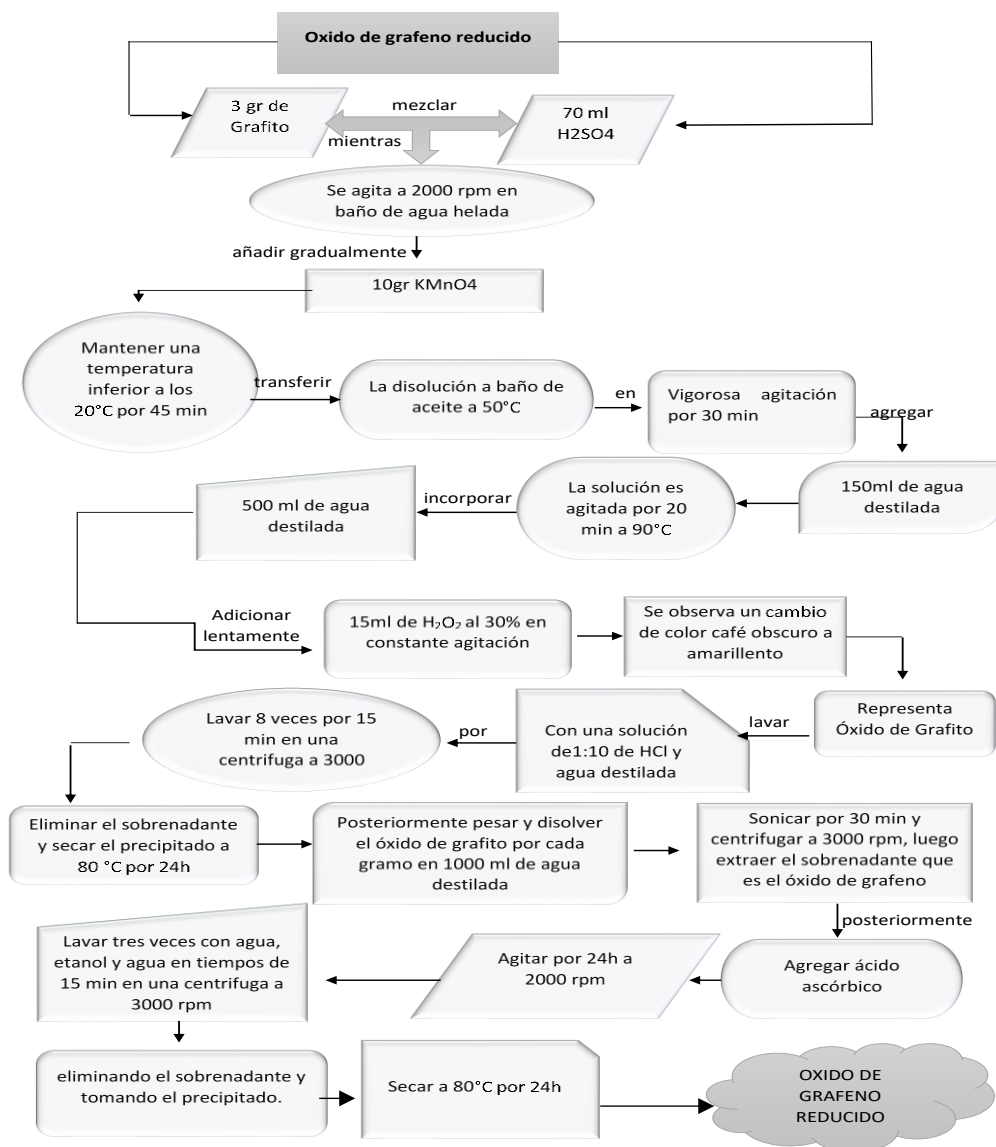


Figura 10-3: Diagrama para la obtención de óxido de grafeno reducido por el método modificado de Hummers.

Realizado por: Tubón K, 2021.

2.2.1. Caracterización en la espectroscopia IR

El material de óxido de grafeno obtenido se realizó una caracterización mediante el uso de la espectroscopia IR, en la cual se pudo evidenciar los grupos funcionales que podrían ser los responsables para adsorber colorantes catiónicos. El equipo que se usó fue de la ESPOCH cuya marca es Jasco FT/IR 4700 y además se envió a analizar en la Escuela Politécnica Nacional (EPN) ya que se obtuvo mejor resolución.

2.2.2. Caracterización en la espectroscopia Uv-Vis

El OGr se caracterizará con el equipo espectrofotómetro de marca Thermo Fisher Scientific Model: Evolution 220 de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo en el laboratorio de investigación mediante la utilización de una celda de cuarzo. Para caracterizar la muestra se tomó una alícuota del OGr sintetizado, después de haberlo lavado con agua destilada, posteriormente se colocó en una celda de cuarzo y se leyó desde una longitud de onda de 250 a 750 nm.

2.2.3. Caracterización en la microscopia electrónica de barrido (SEM)

La caracterización tanto del óxido de grafeno reducido (OGr) como del óxido de grafeno (OG) se realizó en la facultad de mecánica de la ESPOCH.

2.3. Adsorción de colorantes catiónico

2.3.1. Preparación de soluciones

Para la adsorción de colorantes como el azul BRL y amarillo 86 se realizarán disoluciones en agua destilada ($0,78\mu\text{s/cm}$) para obtener una solución de stock con una concentración de 500 mg/L. Las soluciones de trabajo estándar se utilizaron en las pruebas a través de diluciones en serie. La solución stock obtenida presentó un pH básico de 9.32 ± 0.03 el cual según (Angamarca,2020) menciona que el factor del pH juega un papel muy importante en la absorción de los colorantes.

2.3.2. Experimento para la adsorción de colorantes catiónicos sobre OGr

La experimentación se llevará por triplicado a diferentes temperaturas (298, 313, 333 K) para evaluar la cinética de absorción y el tiempo de contacto del adsorbato con el adsorbente ;20 mg de OGr se añadió a 50 ml de cada solución, los cuales fueron tomados de alícuotas de una solución llevada a 250 ml con una concentración de 4 mg/L.

Posteriormente se tomarán alícuotas en tiempos de 5, 10, 25 minutos y 1, 2, 3, 4, 5 y 6 horas para ser evaluadas en la espectroscopia Uv-Vis y poder determinar la absorción de los colorantes y conocer tiempo en el que llegan al equilibrio.

2.3.3. Preparación de soluciones para las isotermas de adsorción

Para las isotermas de adsorción se añadió 20 mg de OGr en 50 ml de las soluciones de cada colorante con diferentes concentraciones en el rango 1–10 mg L⁻¹, es decir de 2, 4, 6, 8 y 10 ml/L a temperaturas de 298, 313 y 333 K con tiempos de 300, 180 y 180 minutos respectivamente agitadas a 200 rpm.

- **La capacidad de adsorción se calculará mediante la utilizando la siguiente ecuación:**

$$q_e = \frac{(C_o - C_f) * V}{M} \quad (14)$$

Donde:

q_e : Cantidad adsorbida, mg/g.

C_o : Concentración inicial, mg/l.

C_f : Concentración final, mg/l.

V : Volumen de la solución, ml.

m : masa de adsorbente, mg.

- **Cálculo de parámetros de Isoterma de Langmuir**

La forma linealizada de esta isoterma tiene la forma:

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{q_m K_L} + \frac{C_e}{q_m} \quad (15)$$

- **Cálculo de parámetros de Isoterma de Freundlich**

La forma lineal de la ecuación de Freundlich es:

$$\ln q_e = \ln K_f + \frac{1}{n} \ln C_e \quad (16)$$

- **Cálculo de parámetros cinéticos de pseudo primer orden**

Se tiene un ajuste lineal de los datos experimentales de la forma:

$$\ln (q_e - q_t) = \ln q_e - k_1 t \quad (11)$$

- **Cálculo de parámetros cinéticos de pseudo segundo orden**

Se tiene un ajuste lineal de los datos experimentales de la forma:

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{K_2 q_e^2} + \frac{1}{q_e} t \quad (17)$$

- **Cálculo para conocer el porcentaje de remoción**

$$RE\% = \frac{(C_o - C_e)}{C_o} * 100 \quad (18)$$

CAPÍTULO III

3. MARCO DE RESULTADOS, ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

3.1. Resultados y análisis

3.1.1. Caracterización del OG y OG

3.1.1.1. Espectroscopia Uv-Vis

- **Óxido de Grafeno (OG)**

Con el uso de la espectroscopia UV-Vis se logró caracterizar dos picos a 232,52 y 292,46 (nm) mismo que permiten identificar que lo que se ha obtenido es OG, según Solozhenko (2009).

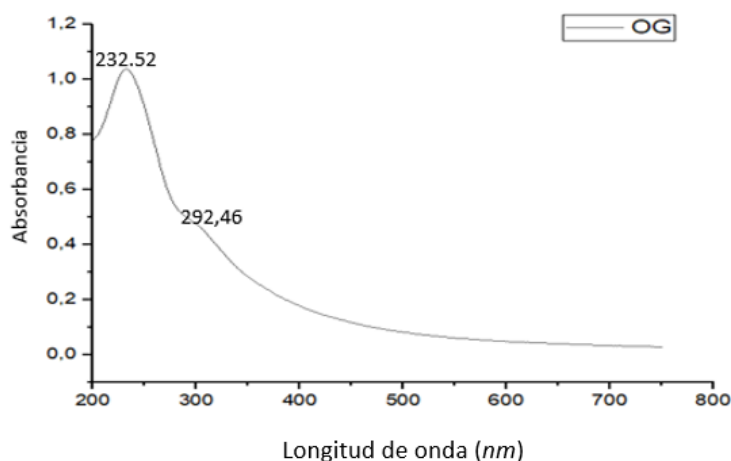


Figura 11-4: Óxido de grafeno.

Realizado por: Tubón K, 2021.

En el óxido de grafeno mediante el análisis de la espectroscopia Uv-Vis se puede identificar dos picos que se muestran en las longitudes de onda (λ): 232,52 y 292,46 (nm) con diferentes absorbancias

- **Óxido de grafeno Reducido (OGr)**

Mediante el análisis de la espectroscopia de Uv-Vis para el OGr se logró evidenciar que mediante la proporción de (1:3) de OG y Vitamina C respectivamente, fue lo adecuado para obtener un óxido reducido totalmente recorriendo el pico hacia la derecha con una longitud de onda de 254.63 nm; pues además se realizó una proporción de 1:1, 1:2 en el cual se puede observar en la (Figura

12-4) mismas que no mantienen constantes la reducción ,pero con la proporción 1:4 se evidenció que la reducción se mantiene con la proporción 1:3.

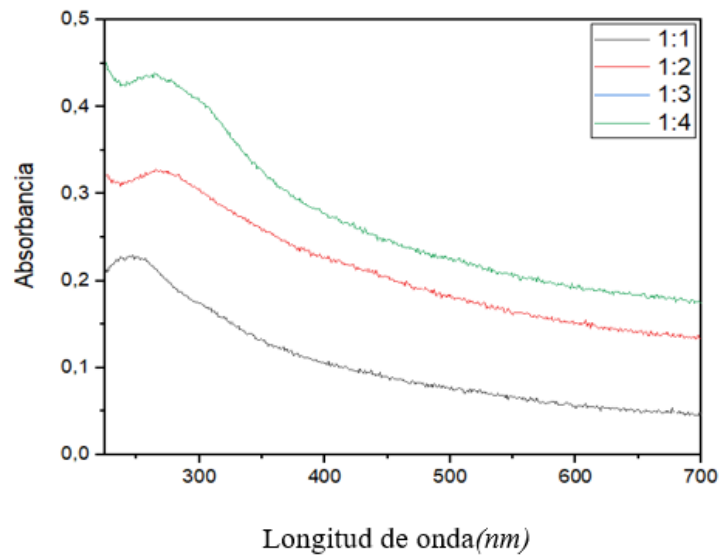


Figura 12-4: Óxido de grafeno reducido.

Realizado por: Tubón K, 2021.

En la siguiente grafica se realiza una comparación de los espectros UV-Vis de los óxidos obtenidos a una determinada longitud de onda con sus respectivas absorbancias.

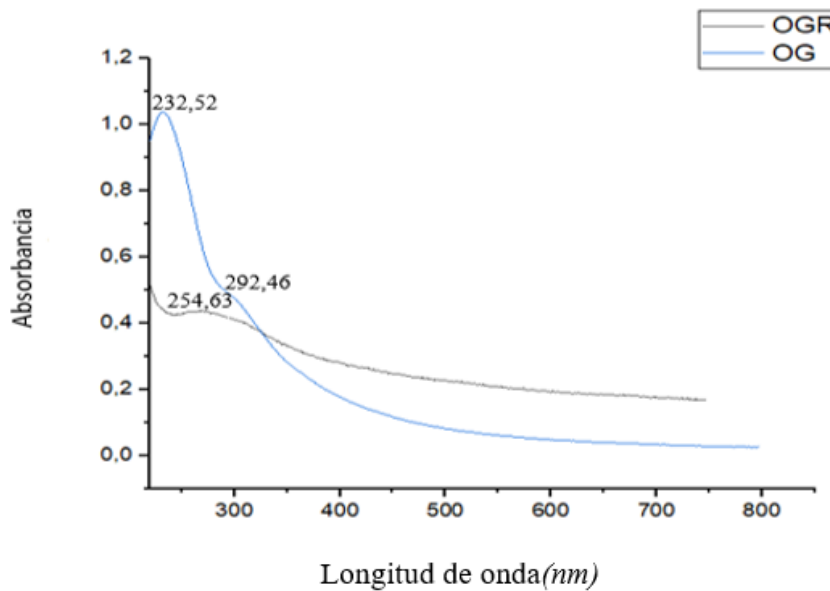


Figura 13-4: Óxido de grafeno (OG) y óxido de grafeno reducido (OGr).

Realizado por: Tubón K ,2021.

De esta manera se obtiene tanto el óxido de grafeno (A) y oxido de grafeno reducido (B).



Figura 14-4: Óxido de grafeno (A), Óxido de grafeno reducido (B).

Realizado por: Tubón K, 2021.

3.1.1.2. Espectro IR (FTIR)

En la (Figura 15-4) se observa la caracterización del OG (A) y OGr (B) , en la cual para el espectro IR (FTIR) del óxido de grafeno se tienen las bandas de OH a un número de onda desde 3200-3500(cm^{-1}) , además se evidencia una banda del C=O a 1727(cm^{-1}) y una correspondiente a la tención C-O de 1300 (cm^{-1}); y en el espectro del OGr se observó la banda del OH Y C=O a un número de onda de 3200-3500 y 1727(cm^{-1}) respectivamente. Además, se puede decir que se dio una buena reducción del OG ya que se observa en la imagen B que el grupo OH disminuye.

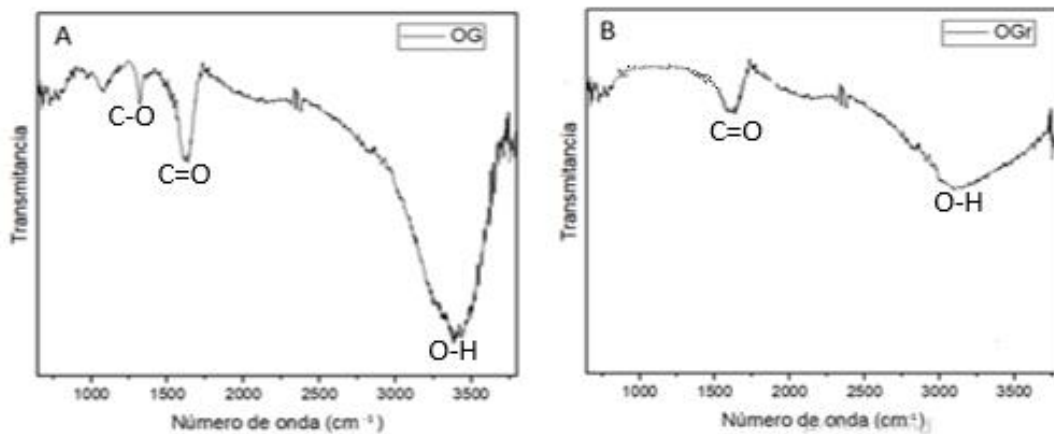


Figura 15-4: Óxido de grafeno y oxido de grafeno reducido.

Realizado por: Tubón K, 2021.

3.1.1.3. Microscopia electrónica de barrido (SEM)

Mediante la microscopia electrónica de barrido (SEM) se han obtenido imágenes de la superficie tanto del OG y OGr. Las imágenes muestran la morfología de cada uno de los óxidos obtenidos, es así que en la imagen del óxido de grafeno (C) se observa unas laminas con superficies regulares en el plano y en la imagen del óxido de grafeno reducido (D) se observa una porosidad muy notable pero a la vez presenta una unión de varias capas pues esto se lo puede asociar a la conformación de capas de OG la estructura de estas capas presentan hibridaciones sp^3 , junto a las hibridaciones sp^2 del grafeno por lo cual presenta una estructura no planar.

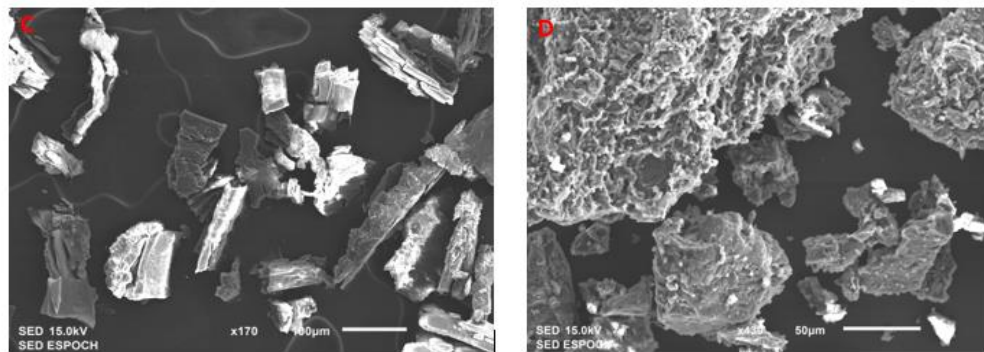


Figura 16-4: Superficie del Óxido de grafeno (C) y óxido de grafeno reducido (D).

Realizado por: Tubón K, 2021.

3.1.1.4. Determinación del porcentaje de carbono (C) y oxígeno (O)

- **OG**

Mediante el análisis con EDS acoplada con la microscopia electrónica de barrido (SEM) se logró observar el porcentaje de oxígeno y de carbono, indicando que el óxido de grafeno obtenido es ideal para poder realizar la reducción con ácido ascórbico. Se realizó un análisis elemental donde se detectó elementos como el calcio, potasio y azufre siendo sus impurezas con el 3%, se obtuvo un 40% de oxígeno y 57% de Carbono.

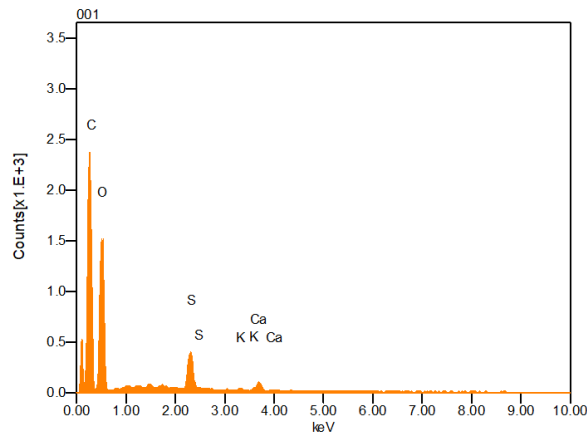


Figura 17-4: Elementos químicos presentes en el OG.

Realizado por: Tubón K, 2021.

- **Óxido de grafeno reducido**

Con la realización de EDS en el SEM se pudo determinar que el ácido ascórbico es un agente reductor muy eficiente; comparando con el grafico anterior se obtuvo un porcentaje de 27% de oxígeno y 72.91 % de carbono en un tiempo de 24 horas en el que se da la reducción de grupos oxigenados perteneciendo el 0.09% a impurezas.

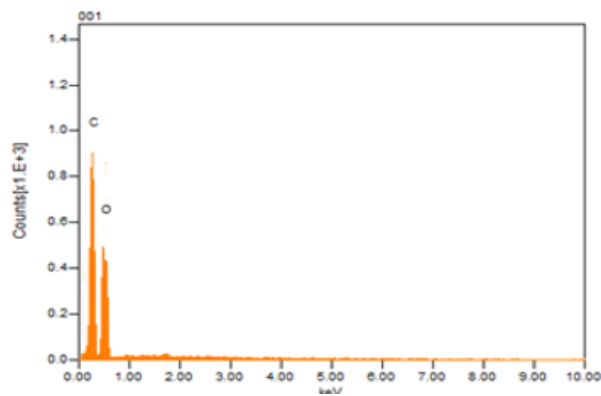


Figura 18-4: Elementos químicos presentes en el OGr.

Realizado por: Tubón K, 2021.

3.1.2. Adsorción del colorante Az-BRL

3.1.2.1. Curva de calibración del Az-BRL

Con las concentraciones utilizadas se logró obtener una curva de calibración la cual arrojó una correlación entre los datos de 0,9996.

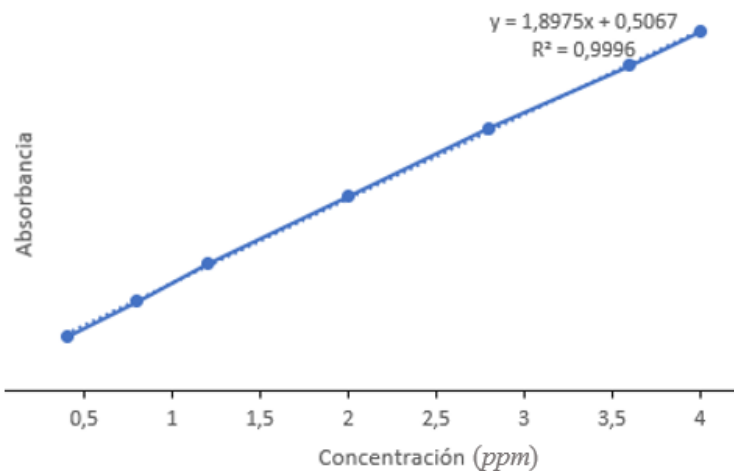


Figura 19-4: Curva de calibración del Az-BRL a diferentes concentraciones con sus respectivas absorbancias.

Realizado por: Tubón K, 2021.

3.1.2.2. Isotermas de Adsorción del Az-BRL a 298 K

Para los datos obtenidos se realizó un ajuste con el modelo de Langmuir, con un valor de correlación lineal $R^2 = 0,80$ que se observa en la Figura 20-4 lo cual indica que la isoterma no es consistente en este modelo. En la tabla 4-4 se aprecian los parámetros de Langmuir obtenidos.

Tabla 4-4: Resultados del Isoterma de Langmuir.

Adsorbente	q_e (mg/g)	K_L (l/mg)	R_L	R^2
OGr	0,2011	0,0427	0,9961	0,8082

Realizado por: Tubón K, 2021.

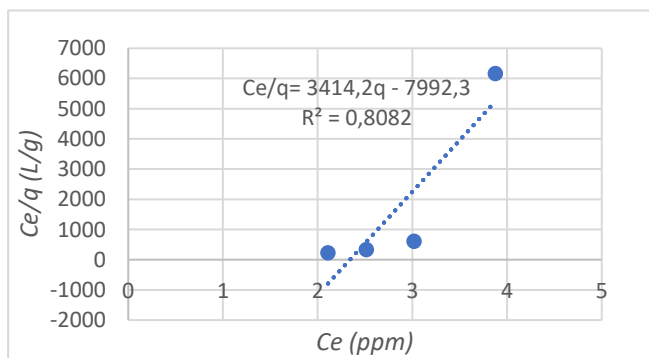


Figura 20-4: Isoterma de Langmuir de la adsorción del Az-BRL a 298 K.

Realizado por: Tubón K, 2021.

En la Figura 21-4 se muestra la aproximación lineal de la Isoterma de Freundlich de adsorción de Az-BRL. El valor de R² para el modelo de Freundlich, comparando con el de la Isoterma de Langmuir, es 0,863 un poco más satisfactorio.

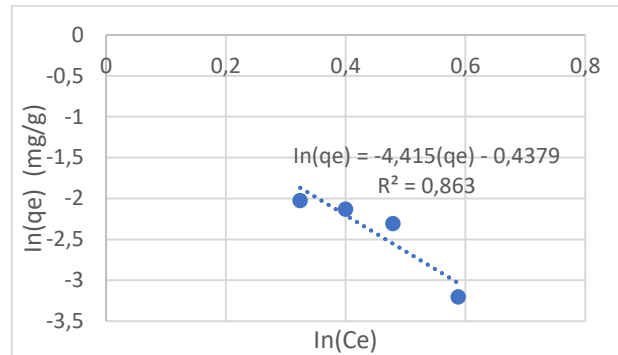


Figura 21-4: Isoterma de Freundlich de la adsorción del Az-BRL a 298 K.

Realizado por: Tubón K, 2021.

En este modelo las constantes, parámetros y las correlaciones para las isotermas de Freundlich son presentados en la Tabla 5-4.

Tabla 5-4: Resultados del Isoterma de Freundlich.

Adsorbente	n	Kf (l/mg)	R ²
OGr	0,2265	0,6454	0,863

Realizado por: Tubón K, 2021.

La constante de Freundlich (K_f) la cual indica la capacidad de adsorción del adsorbente, fue calculada a partir de la pendiente $0,4379$ y el factor de heterogeneidad ($1/n$) a partir de la intercepción de la correlación lineal fue de $0,2265$ con la cual indica la intensidad de adsorción en la que según Masel (1996) menciona que cuando n vale entre 1 y 10 representa una buena intensidad de adsorción; pero en este caso de la experimentación sería desfavorable ya que su valor está por debajo de dicho rango.

3.1.2.3. Cinética de adsorción

Tabla 6-4: Datos de la cinética de adsorción.

Tiempo	C (ppm)	Absorbancia
5	4	0,0817
10	3,7722	0,0763
25	3,6745	0,0746
60	3,4321	0,0734
120	3,0125	0,0693
180	2,6437	0,0597
240	2,2265	0,0492
300	2,1724	0,0478
360	2,1724	0,0478

Realizado por: Tubón K, 2021.

Para la cinética de adsorción en esta investigación se analiza el comportamiento cinético del sistema mediante dos modelos; pseudo de primer y segundo orden, mismos que sirven para entender de mejor manera la dinámica del proceso y evaluar el mejor ajuste en cuanto a la adsorción. En la Figura 22-4 se muestra como varía la masa del colorante Az-BRL q_t con respecto al tiempo (ecuación 10), en el mismo que se observa que con el pasar el tiempo su concentración disminuye hasta 2,1724(ppm) con una absorbancia de 0,0478 mismo que se mantiene desde el minuto 300 es decir a las 5 horas (Tabla 6-4). La eficiencia de Eliminación (RE%) en este estudio cinético es de 73.10%.

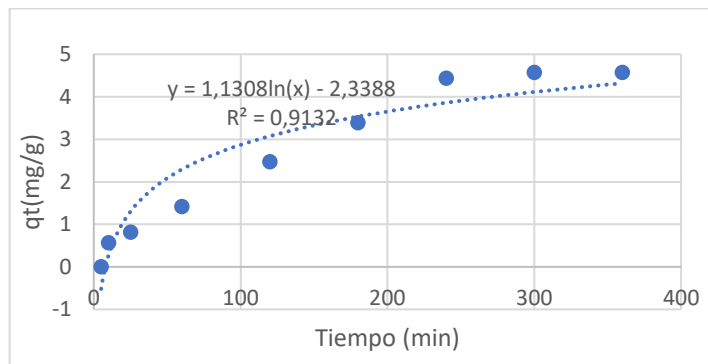


Figura 22-4: Cinética de adsorción del Az-BRL a 298 K.

Realizado por: Tubón K, 2021.

En la tabla 7-4 se indican los datos experimentales empleados para la gráfica mencionada anteriormente.

Tabla 7-4: Datos experimentales.

Tiempo(min)	qt (mg/g)
5	0
10	0,5695
25	0,8137
60	1,4197
120	2,4687
180	3,3907
240	4,4337
300	4,5690
360	4,5691

Realizado por: Tubón K, 2021.

Los datos de la tabla 7-4 fueron utilizados para relizar un juste lineal para obtener los prametros de la cinetica del pseudo de primero orden aplicando la ecuación 11.

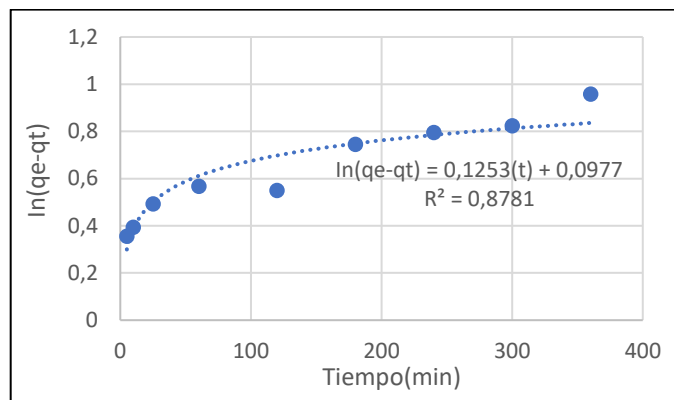


Figura 23-4: Modelo del pseudo de primero orden del Az-BRL a 298 K.

Realizado por: Tubón K, 2021.

El valor del coeficiente cinético de pseudo primer orden k_1 fue determinado a partir del ajuste lineal, y se obtuvo que su valor es igual a la pendiente 1,25 s⁻¹. Es así que en la Figura 23-4 se puede observar que el coeficiente lineal de determinación (R^2) tiene un valor de 0,87 por lo tanto este modelo no es satisfactorio para la reproducción del fenómeno durante la mayor parte del tiempo. Se determinó experimentalmente la cantidad de colorante removido en el equilibrio el cual fue de 2,17 mg/g, mientras que al calcular el q_e a partir de la ecuación 11 se obtuvo 1,10 mg/g, el valor no es cercano al valor experimental lo que implica que el modelo presenta una menor capacidad adsortiva al material utilizado.

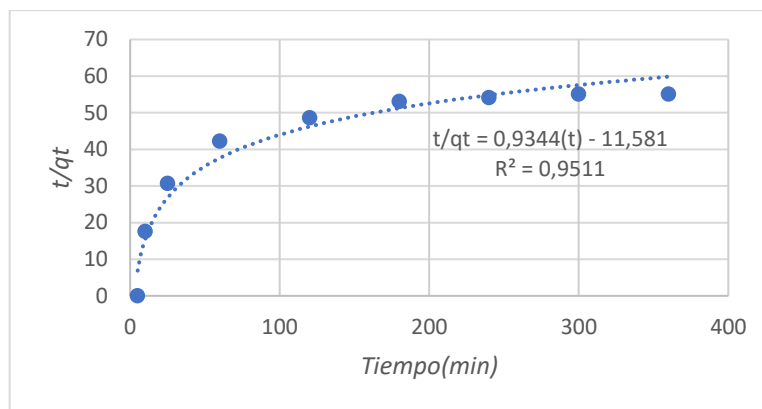


Figura 24-4: Modelo del pseudo de segundo orden del Az-BRL a 298 K.

Realizado por: Tubón K, 2021.

En la Figura 24-4 se puede observar que el modelo de pseudo-segundo orden correlaciona los datos experimentales en un 0,95. Una ventaja de este modelo es que no se necesita conocer ningún parámetro de antemano y la capacidad de adsorción en el equilibrio q_e puede ser calculada a partir de la (Ecuación 16). Además según Dogan (2017) menciona que este modelo puede enunciar el comportamiento sobre cualquier rango de adsorción; para determinar q_e El valor de q_e y la constante cinética de este modelo se realizó a partir de la pendiente de la recta y su intersección con el eje de las ordenadas. A partir de esta ecuación se tiene que q_e es 1,07 mg/g, el cual es un valor lejano al experimental (2,17 mg/g) se obtiene un coeficiente R2 de 0,95 el cual indica que el experimento puede darse mediante la ecuación cinética de pseudo segundo orden.

3.1.2.4. Isotermas de Adsorción del Az-BRL a 313 K

Para los datos obtenidos se realizó un ajuste con el modelo de Langmuir, con un valor de correlacion lineal $R^2 = 0,93$ lo cual indica que la isoterma es consistente en este modelo. En la tabla 8-4 se pueden apreciar los parámetros de Langmuir obtenidos.

Tabla 8-4: Resultados del Isoterma de Langmuir.

Adsorbente	q_e (mg/g)	K_L (l/mg)	R_L	R^2
OGr	0,288	0,638	0,998	0,93

Realizado por: Tubón K, 2021.

R_L es el factor de separación de Langmuir en el cual se mantiene en un rango de (0-1) mismo que se puede evidenciar en la tabla 8-4, en este caso se indica la absorción del color Az-BRL sobre OGr es favorable a la temperatura de 313 K. Además, se pudo determinar la capacidad de absorción en esta temperatura dado como resultado 0,204(mg/g).

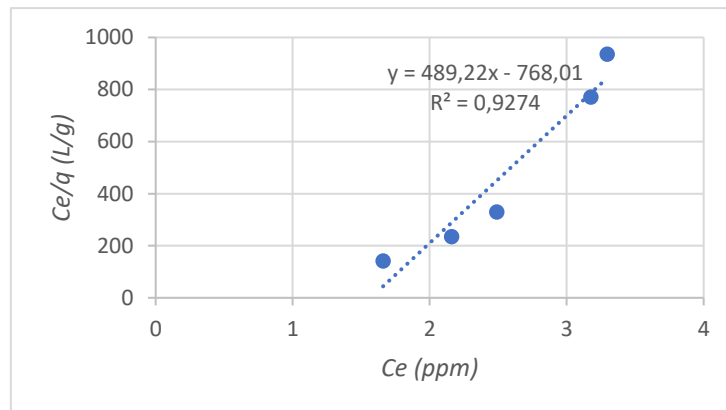


Figura 25-4: Isotherma de Langmuir de la adsorción del Az-BRL a 313 K.

Realizado por: Tubón K, 2021.

En la figura 26-4 se muestra la aproximación lineal de la Isotherma de Freundlich de adsorción de Az-BRL. El valor de R^2 para el modelo de Freundlich, comparando con el de la Isotherma de Langmuir, es 1 el cual se ajusta correctamente con los datos experimentales siendo satisfactorio.

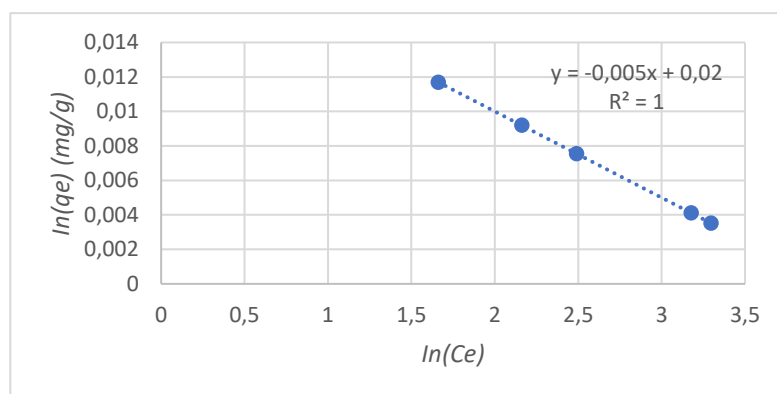


Figura 26-4: Isotherma de Freundlich de la adsorción del Az-BRL a 313 K.

Realizado por: Tubón K, 2021.

En este modelo las constantes, parámetros y las correlaciones para las isothermas de Freundlich son presentados en la Tabla 9-4.

Tabla 9-4: Resultados del Isoterma de Freundlich,

Adsorbente	n	Kf (l/mg)	R ²
OGr	2	1,02	1

Realizado por:Tubón K ,2021.

La constante de Freundlich (K_F) la cual indica la capacidad de adsorción del adsorbente, fue calculada a partir de la pendiente 0,02 y el factor de heterogeneidad (1/n) a partir de la intercepción de la correlación lineal fue de 2 la cual representa una buena intensidad de adsorción siendo muy favorable ya que su valor se encuentra dentro del rango de 1-10.

3.1.2.5. Cinética de adsorción Az-BRL a 313 K.

Tabla 10-4: Datos de la cinética de adsorción a 313 K

Tiempo(min)	Absorbancia	Ct (ppm)
5	0,0928	3,7746
10	0,0829	3,6822
25	0,0719	3,4325
60	0,0526	2,4784
120	0,0479	1,8986
180	0,0303	1,0143
240	0,0303	1,0143
300	0,0303	1,0143
360	0,0303	1,0142

Realizado por:Tubón K,2021

Para la cinética de adsorción en esta investigación se analiza el comportamiento cinético del sistema mediante dos modelos; pseudo de primer y segundo orden, mismos que sirven para entender de mejor manera la dinámica del proceso y evaluar el mejor ajuste en cuanto a la adsorción. En la Figura 27-4 se muestra como varia la masa del colorante Az-BRL q_t con respecto al tiempo. En la Tabla 10-4 se muestra que la adsorción se mantiene estable al minuto 180 con una concentración de 1,0142 (ppm).

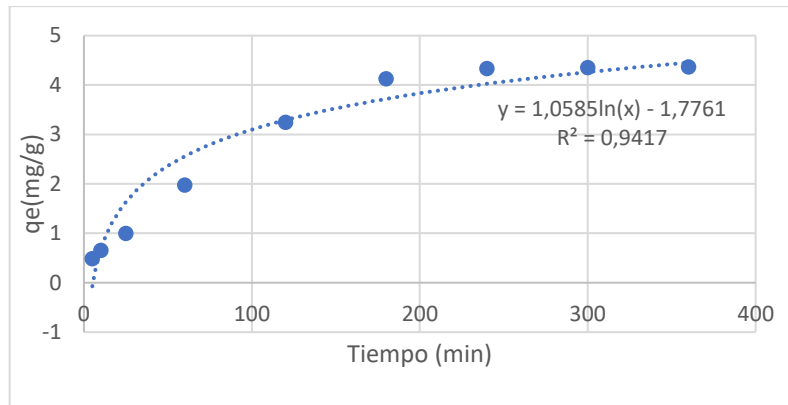


Figura 27-4: Cinética de adsorción del Az-BRL a 313 K

Realizado por: Tubón K, 2021.

En la tabla 11-4 se indican los datos experimentales empleados para la gráfica mencionada anteriormente.

Tabla 11-4: Datos experimentales.

Tiempo(min)	qe(mg/g)
5	0,4875
10	0,655
25	0,99375
60	1,974
120	3,245
180	4,1265
240	4,33458
300	4,351675
360	4,361725

Realizado por: Tubón K, 2021.

Los datos de la Tabla 11-4 fueron utilizados para relizar un juste lineal para obtener los prametros de la cinetica del pseudo de primer orden aplicando la ecuación 11.

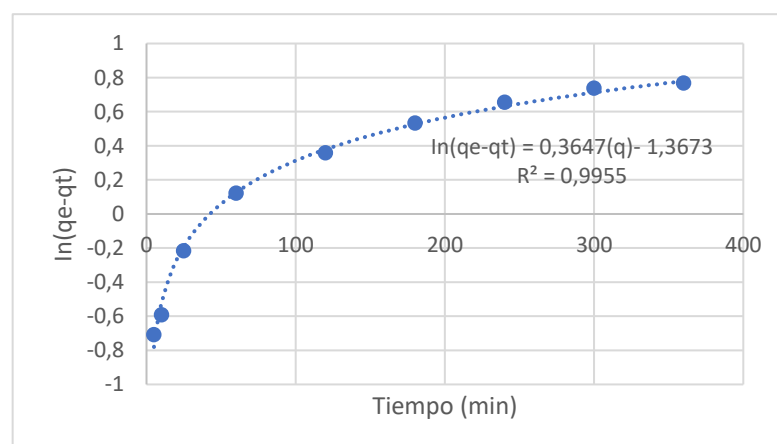


Figura 28-4: Modelo del pseudo de primero orden del Az-BRL a 313 K.

Realizado por: Tubón K, 2021.

El valor del coeficiente cinético de pseudo primer orden k_1 fue determinado a partir del ajuste lineal, y se obtuvo que su valor es igual a la pendiente $3,647 \text{ s}^{-1}$. Es así que en la Figura 28-4 se puede observar que el coeficiente lineal de determinación (R^2) tiene un valor de 0,99 por lo tanto este modelo es satisfactorio para la reproducción del fenómeno durante la menor parte del tiempo. Se determinó experimentalmente la cantidad de colorante removido en el equilibrio el cual fue de 3,945 mg/g, mientras que al calcular el q_e a partir de la ecuación 11 se obtuvo 3,92 mg/g, el valor es cercano al valor experimental lo que implica que el modelo presenta una mayor capacidad adsorptiva al material utilizado.

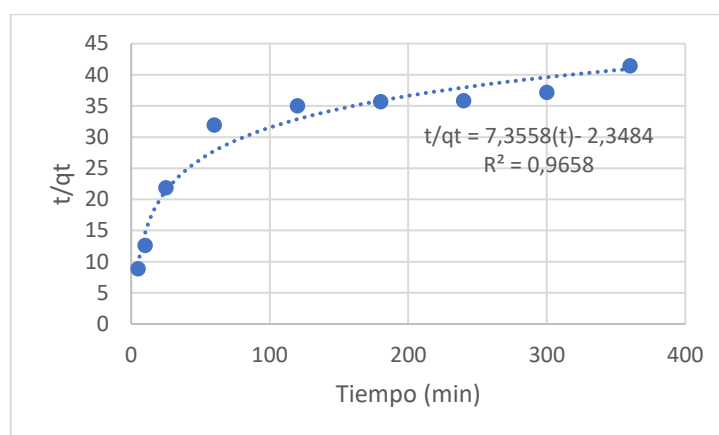


Figura 29-4: Modelo del pseudo- segundo orden del Az-BRL a 313 K.

Realizado por: Tubón K, 2021.

En la figura 29-4 se puede observar que el modelo de pseudo-segundo orden correlaciona los datos experimentales en un 0,97. El valor de q_e y la constante cinética de este modelo se realizó a partir de la pendiente de la recta y su intersección con el eje de las ordenadas. A partir de la ecuación 16 se tiene q_e es 141 mg/g, el cual es un valor lejano al experimental se obtiene un coeficiente R^2 de 0,9658 el cual indica que el experimento puede darse mediante la ecuación cinética de pseudo segundo orden, pero a comparación del primero modelo su correlación es la que más se aproxima a 1 y la que mejor se ajusta a este experimento.

3.1.2.6. Isotermas de adsorción del Az-BRL a 333K

Para el método de Langmuir, se realizó un ajuste lineal con un valor de correlación lineal $R^2 = 0,77$ lo cual indica que la isoterma no es consistente en este modelo. En la tabla 12-4 se pueden apreciar los parámetros de Langmuir obtenidos

Tabla 12-4: Resultados del Isoterma de Langmuir.

Adsorbente	$q_e(mg/g)$	$K_L (l/mg)$	R_L	R^2
OGr	0,123	0,298	1,43	0,77

Realizado por: Tubón K, 2021.

R_L es el factor de separación de Langmuir en el cual se mantiene en un rango de (0-1) mismo que se puede evidenciar en la tabla 12-4, en este caso se indica que la adsorción del color Az-BRL sobre OGr no es favorable a la temperatura de 333 K. Además, se puede determinar la capacidad de adsorción a la temperatura mencionada dando como resultado 0,444(mg/g).

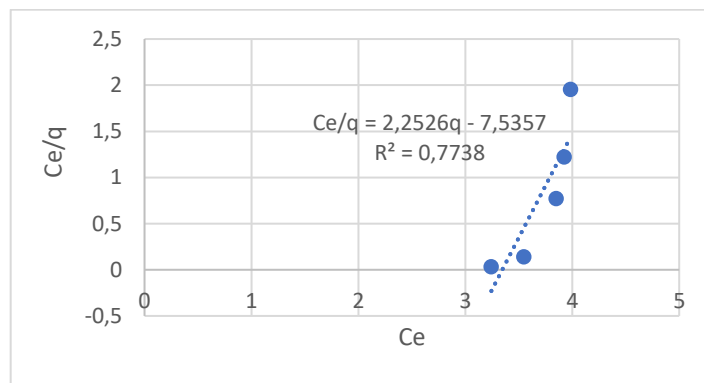


Figura 30-4: Isoterma de Langmuir de la adsorción del Az-BRL a 333 K.

Realizado por: Tubón K, 2021.

En la Figura 31-4 se muestra la aproximación lineal de la Isoterma de Freundlich de adsorción de Az-BRL. El valor de R^2 para el modelo de Freundlich, comparando con el de la Isoterma de Langmuir, es 0,99 el cual se ajusta correctamente con los datos experimentales siendo satisfactorio.

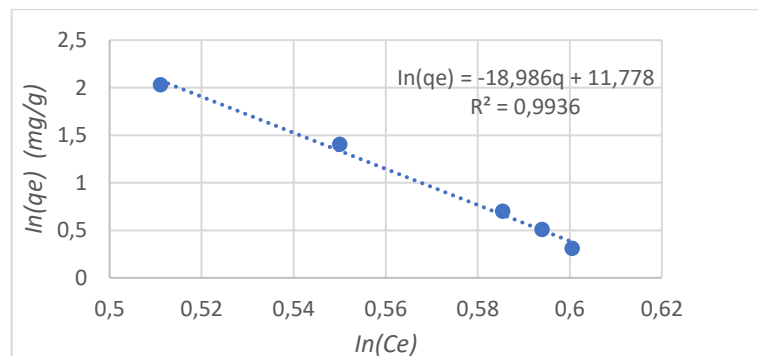


Figura 31-4: Isoterma de Freundlich de la adsorción del Az-BRL a 333 K.

Realizado por: Tubón K, 2021.

En este modelo las constantes, parámetros y las correlaciones para las isotermas de Freundlich son presentados en la Tabla 13-4.

Tabla 13-4: Resultados del Isoterma de Freundlich.

Adsorbente	N	Kf (l/mg)	R ²
OGr	0,053	0,130*10 ⁵	0,99

Realizado por: Tubón K, 2021.

La constante de Freundlich (K_F) la cual indica la capacidad de adsorción del adsorbente, fue calculada a partir de la pendiente 11,776 y el factor de heterogeneidad (1/n) a partir de la intercepción de la correlación lineal fue de 0,053 la cual representa mala intensidad de adsorción siendo desfavorable ya que su valor no se encuentra dentro del rango de 1-10.

3.1.2.7. Cinética de adsorción

En la Tabla 14-4 se encuentran los datos experimentales de la cinética de adsorción del Az-BRL a una temperatura de 333 K, en el minuto 60 la adsorción regresa al minuto 25, posteriormente a partir de los 180 minutos se observó una adsorción y desorción a la vez por lo cual se podría decir que a esta temperatura la adsorción de este colorante es ineficiente sobre el OGr. La capacidad de remoción fue de 42, 7% (Ecuación 17).

Tabla 14-4: Datos experimentales.

Tiempo(min)	Absorbancia	Ct (ppm)
5	0,09284	3,8726
10	0,08292	3,7822
25	0,08196	3,6315
60	0,08268	3,4784
120	0,08196	3,6315
180	0,06737	2,2334
240	0,08196	3,6315
300	0,06737	2,2334
360	0,08196	3,6315

Realizado por: Tubón K, 2021.

Para la cinética de adsorción en la figura 32-4 se muestra como varía la masa del colorante Az-BRL q_t con respecto al tiempo.

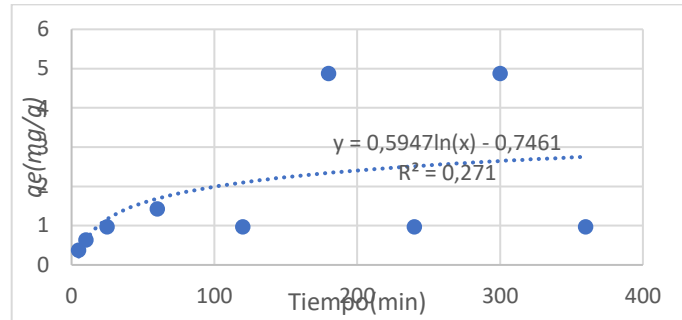


Figura 32-4: Cinética de adsorción del Az-BRL a 333 K.
Realizado por: Tubón K, 2021.

En la tabla 15-4 se indican los datos experimentales empleados para la figura 32-4

Tabla 15-4: Datos experimentales.

Tiempo(min)	q_e (mg/g)
5	0,3721
10	0,6324
25	0,9673
60	1,4231
120	0,9673
180	5,0000
240	0,9673
300	4,8754
360	0,9673

Realizado por: Tubón K, 2021.

Los datos de la tabla 15-4 fueron utilizados para relizar un juste lineal para obtener los prametros de la cinetica del pseudo de primer orden.

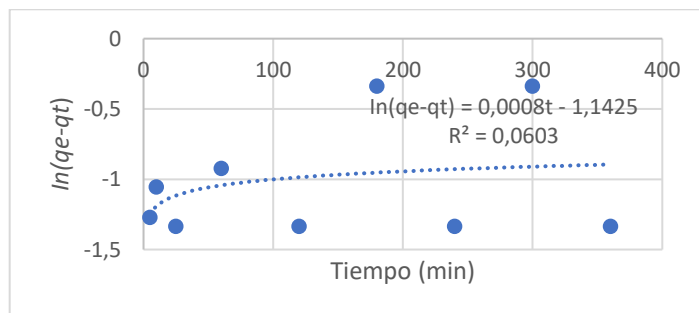


Figura 33-4: Modelo del pseudo de primero orden del Az-BRL a 333 K.

Realizado por: Tubón K, 2021.

El valor del coeficiente cinético de pseudo primer orden k_1 fue determinado a partir del ajuste lineal, y se obtuvo un valor igual a la pendiente $0,0008 \text{ s}^{-1}$. En la Figura 33-4 se puede observar que el coeficiente lineal de determinación (R^2) tiene un valor de $0,0603$ por lo tanto este modelo no es adecuado. Se determinó experimentalmente la cantidad de colorante removido en dos tiempos ya que la adsorción no fue constante a esta temperatura teniendo valores de $3,6315$ y $3,4784 \text{ mg/g}$, mientras que al calcular el q_e a partir de la ecuación 11 se obtuvo $0,319 \text{ mg/g}$, por lo cual al realizar una comparación de este con el dato experimental no se aproxima por lo cual el material utilizado como adsorbente no es apropiado a 333 K .

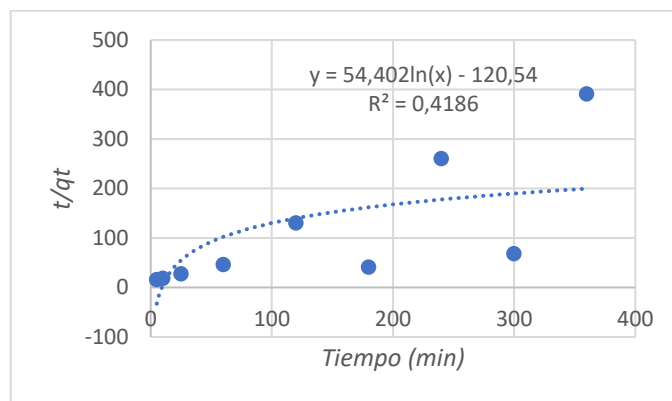


Figura 34-4: Modelo del pseudo- segundo orden del Az-BRL a 333 K .

Realizado por: Tubón K, 2021.

En la figura 34-4 se puede observar que el modelo de pseudo-segundo orden correlaciona los datos experimentales en un $0,586$. El valor de q_e y la constante cinética de este modelo es $1,323 \text{ mg/g}$, el cual es un valor lejano al experimental se obtiene un coeficiente R^2 de $0,586$ el cual indica que no existe una relación de los datos en este modelo.

3.1.3. Adsorción del colorante A-86

En las tablas A, B y C se encuentran los datos de las figuras anteriores, por lo cual al observarlos se denota que la adsorción de este colorante no fue muy factible ya que según la teoría expuesta (capítulo II) mención que este colorante es muy estable a altas temperaturas por lo que se podría decir que es esta una de las razones por la cual no se obtuvo los resultados esperados. Esto es debido a que predominan las fuerzas de Van der Waals, puentes de hidrogeno, interacciones dipolo-dipolo (Fan, et al., 2018, p. 12).

Tabla 16-4: Datos experimentales.

A	Tiempo (min)	Absorbancia	Ct (ppm)
	5	0,10407	4
	10	0,10387	3,9992
	25	0,10363	3,9878
	60	0,10354	3,9821
	120	0,10354	3,9821
	180	0,10363	3,9878
	240	0,10352	3,9875
	300	0,10361	3,9874
	360	0,10351	3,9874

Realizado por: Tubón K, 2021.

Tabla 17-4: Datos experimentales.

B	Tiempo (min)	Absorbancia	Ct (ppm)
	5	0,10407	4
	10	0,10386	3,9999
	25	0,10364	3,9896
	60	0,10359	3,9886
	120	0,10356	3,9884
	180	0,10354	3,9882
	240	0,10352	3,9879
	300	0,10351	3,9875
	360	0,10351	3,9875

Realizado por: Tubón K, 2021.

Tabla 18-4: Datos experimentales.

C	Tiempo (min)	Absorbancia	Ct (ppm)
	5	0,1041	4
	10	0,1039	3,9998
	25	0,1036	3,9896
	60	0,1036	3,9884
	120	0,1036	3,9882
	180	0,1035	3,9881
	240	0,1035	3,9877
	300	0,1035	3,9873
	360	0,1035	3,9872

Realizado por: Tubón K, 2021.

En los resultados de este colorante no se graficó los isotermas de adsorción ya que no arrojaría una información satisfactoria. La Capacidad de remoción del A-86 a 298 K fue de RE%5,0=4%; para el A-86 a 313 K RE%= 5 % y la capacidad de remoción del A-86 a 333 K RE%=5,02 %, calculado con la ecuación 17.

3.2. Discusión y Análisis de resultados.

Para la síntesis de óxido de grafeno se obtuvo a partir de óxido de grafeno reducido, un de las propiedades del oxido de grafeno es que se lo puede reducir parcialmente a hojas de tipo grafeno para ello se elimina grupos hidroxilos.

Las hojas de óxido de grafeno reducidas (OGr) se consideran usualmente como un tipo de grafeno químicamente derivado debido a que el proceso de reducción hace un gran cambio en la microestructura y propiedades del OG, algunos cambios evidentes pueden ser directamente

observados a simple vista o medidos para interpretar el efecto reductor de la metodología de reducción (Cepeda, 2017, p. 9).

Mediante la observación visual se puede notar cambios de manera directa del OG antes y después de su reducción. El proceso de reducción puede mejorar drásticamente la conductividad eléctrica del OG, la mayor concentración de portadores de carga, así como el aumento en su movilidad mejorará la reflexión a la luz incidente (Diking ,2007, p. 23) .La reducción química del OG, por lo general, resulta en una precipitación de material con coloración en negro de la suspensión amarillo-marrón original debido a que existen diferentes técnicas de reducción como un shock térmico, lo cual es el resultado de un aumento en la hidrofobicidad del material causado por una disminución de la funcionalidad polar en la superficie de las hojas (Diking ,2007, p. 7), el cambio de color es una característica visible que demuestra el efecto de reducción (figura 14-4).

Los materiales sintetizados fueron caracterizados por diferentes técnicas para la determinación de sus propiedades estructurales mediante el uso de espectroscopias de FTIR Y UV.

En el análisis de la espectroscopia FTIR permite observar bandas características del OGr tales como el grupo hidroxilo , y las bandas de C=O .La figura 15-4 se muestra el espectro de OG y OGr en la que se observa una banda de absorción aproximadamente entre 3200-3500 evidenciando el grupo OH presente en cada una de las muestras mencionadas, además se presenta una banda correspondiente a la vibración del estiramiento de grupos carbonilos a 1727(cm-1) ; según (Cañavete,2020,p.6) menciona que una de las características del OGr a comparación del OG disminuye los oxigenados y esto se lo puede evidenciar en la figura 15-4.

La espectroscopia UV-Vis también se la utilizo para la característica del material adsorbente (OGr) en el que se realizó para su obtención la variación de concentraciones entre el OG y vitamina C hasta obtener una reducción equivalente con una proporción 1:3 de OG y Vitamina C como se puede observar en la Figura 12-4.En la figura 13-4 se observa que el OG presenta dos picos máximos de adsorción con una longitud de onda de 232,52 y 292,46 (nm) y del OGr a 254,63 el mismo que se lo realizo con un barrido de 250 a 750 nm, en la longitud de onda inferior no se observa los oxígenos ya que absorbe la luz a una longitud de onda inferior a la mencionada. De igual manera, en la Figura 13-4, se observa un pico a 254,63 nm característico del OGr, que es asignada a una transición $n - \pi$.

Para conocer la morfología del OGr se obtuvo mediante el uso de la microscopia electrónica de barrido(SEM) mismo que se observa n la Figura 16-4, con la caracterización de este método se puede además identificar los elementos que contienen las muestras tanto de OG y OGr , se observa que la superficie de los compuestos son regulares y poco uniformes ,esta morfología según Colom 2020, menciona que esta morfología se da por la interrupción de las láminas de carbono planar sp² ,debido a la interrupción con carbono hibridado sp³; que además esto depende del tiempo de sonicación de la muestra de partida para la obtención de OGr ya que se obtiene OG exfoliado el

cual se da al momento cuando se rompe la estructura de óxido de grafeno. Comparando la figura C y D de la Figura 16-4, la D que pertenece al OGr es más voluminosa. Además como ya se menciono con anterioridad en el SEM se realizó un EDS para conocer los elementos químicos que se encuentra tanto en el óxido de grafeno como el óxido de grafeno reducido ; en la figura 17-4 y 18-4 se muestra los elementos de cada una de las muestras analizadas ,pues en el OG se tiene presente el carbono en un 57%, oxígeno con un 40% y elementos como impurezas en un 3% que corresponden a calcio, potasio y azufre; en el OGr se obtiene 72.91 % de carbono y 27% de oxígeno , pues en un estudio realizado por (Anamarca, 2020, p. 26) ,en la obtención de los dos óxidos obtuvo porcentajes similares a los experimentales por lo cual se puede decir que el OGr es bastante bueno.

4.2.1. Estudio cinético

En esta investigación se utilizó el color Az-BRL y el amarillo 86 los cuáles se pueden notar su estructura química en la Figura 6-2 y 7-2 respectivamente. El estudio cinético de estos dos colorantes a una temperatura de 298 K; La absorbancia del Az-BRL se redujo desde la inicial que fue 0,08172 con una concentración de 4 ppm a 0,0468 con una concentración de 2,1724 ppm al minuto 300 (5 horas) a una longitud de onda de 573 nm con una capacidad de remoción con OGr para el Az-BRL del 73.10% lo descrito se puede observan en la Figura 22-4 y sus datos en la Tabla 6-4. Para el A-86 su estudio cinético con una concentración inicial de 4 ppm con una absorbancia de 0,1047 se redujo a 3,9816 a una absorbancia de 0,10351 en el minuto 360 con una capacidad de remoción de 5,04%, los datos de la cinética se encuentra en la tabla 16-4; comparando a estos dos colorantes a la temperatura mencionada con anterioridad se puede decir que el OGr tiene mayor afinidad por el color Az-BRL ya que a comparación del amarillo 86 que en la teoría investigada menciona que este color es muy estable a altas temperaturas debido a que sus grupos azo se encuentran mayormente protegidos por lo cual le impide que el OGr actúe de manera efectiva.

A la temperatura de 313 K del Az-BRL, se obtuvo un 79,06% de remoción llegando a una concentración C_e de 1,0143 ppm, mientras que para el A-86 su capacidad de remoción fue de 5% ya que su C_e fue de 3,9875. A 333 K el color Az-BRL presento una capacidad de remoción del 42,7 y el A-86 fue de 5,02% Al determinar la capacidad de remoción en cada uno de los casos a diferentes temperaturas se puede identificar que la que mayor eficiencia para la adsorción del Az-BRL con el OGr fue a 313 K pues su porcentaje de capacidad de remoción fue del 79,06% ,y para el A-86 fue de 5% de remoción lo cual indica que con partículas de OGr este colorante no puede ser adsorbido; realizando una comparación de lo experimentado de OGr sobre el azul BRL con un investigación realizada por (Balladares, 2017 ,p.43) removió el color mediante un proceso

electro-fenton en un 63% ,academias en otra investigación realizada por (Rodríguez, 2016) el cual utilizó el proceso de foto degradación para el azul BRL obtuvo una remoción del 90% a una temperatura de 1073.15 K en un tiempo de 4 horas. El A-86 en esta investigación no se obtuvo buenos resultados ya que solo se removió un 5% del colorante, pues en una investigación realizada por (Morales, 2015, p.45) obtuvo una remoción del 84% mediante la utilización de fibras de celulosa. Los modelos cinéticos escogidos para identificar el mecanismo de reacción del proceso de adsorción usando OGr fueron: Pseudo de primer orden y pseudo de segundo orden ; en la temperatura de 298 K el modelo cinético que mejor se ajustó fue el de segundo orden con una correlación de 0,9344, mientras que para el de 313 K se ajustó el modelo de pseudo primer orden con una correlación de 0,9955 y para los 333 K ninguno de los modelos cinéticos se ajustó a esta temperatura ya que al aumentar la temperatura se produce un mecanismo de adsorción y desorción ; al conocer el modelo que proporciona mayor exactitud en el ajuste de los datos experimentales del equilibrio es el de primer orden a una temperatura de 313K ya que presenta mayor correlación que el de la temperatura de 298 K.

4.2.2. Isotermas de adsorción

Como se menciona en la teoría, las isotermas de adsorción permiten conocer la cantidad de material unido a la superficie del adsorbente, es decir al OGr. El efecto de la temperatura del color Az-BRL se evaluó determinando con isotermas de adsorción a 298, 313 y 333 K a un pH básico de 9,32 y concentraciones en rango de 1 a 10 mg/L. Se determinó para cada temperatura el isoterma de Langmuir que muestra la adsorción en monocapa, los isotermas se pueden observar en las Figuras 20-4, 25-4 y 30-4 a 298, 313 y 333 K respectivamente; se obtuvo q_e a 298 un valor de 0,293 (mg/g) con una constante de Langmuir de 0,0427 (l/mg) y R_L de 0,996 teniendo una adsorción favorable pero con una correlación (R^2) de 0,80 por lo que los datos experimentales no se ajustan correctamente a este modelo; a 313 K el isoterma obtuvo una capacidad de adsorción de 0,288 (mg/g) con un K_L de 0,638 (l/mg) y R_L de 0,998 que indica una adsorción favorable y con una R^2 de 0,93 siendo aceptable y por ende sus datos experimentales se ajustan a este modelo; y para el caso del experimento realizado a 333 K su capacidad de adsorción fue 0,123 (mg/g) ,con un K_L de 0,298 y R_L de 1,43 por lo cual indica que en este modelo a esta temperatura la adsorción es desfavorable .

Además se realizó las gráficas para los isotermas de Freundlich de cada una de las temperaturas utilizadas en la experimentación , a 298 K se obtuvo una constante de Freundlich de 0,6454 (l/mg) con un valor de n igual a 0,2265 un valor inferior a 1 por lo cual la intensidad de adsorción no es favorable y además se obtuvo un R^2 de 0,863 por ende los datos experimentales no se ajustan a este modelo; para 313 K se obtuvo un valor para K_f de 1,02 (l/mg) , y un valor de 2 en n que

indica que tienen una buena intensidad de adsorción y con una correlación entre los datos igual a 1 ; y para los 333 K en la Tabla 13-4 se puede observar los datos obtenidos por lo cual la intensidad de adsorción es desfavorable con un R^2 de 0,99.

Se puede deducir que a 313 K es el experimento con el que mejor resultados se obtuvo para la adsorción del colorante catiónico Az-BRL ajustándose tanto al modelo de Isotherma de Langmuir como al de Freundlich, pero este último modelo se desarrolla en ecuaciones empíricas por lo cual no es confiable, por ello se toma en consideración al modelo de Langmuir.

CONCLUSIONES

- El OGr fue obtenido de una manera sencilla por el método de Hummers, ya que permite tener una síntesis de química verde que contribuye a el cuidado del ambiente; además, con el análisis de espectroscopia UV-Vis ,IR y microscopia electrónica de barrido(SEM) se pudo identificar que lo identificado fue OGr ,esto se evidenció al momento de que el óxido de grafeno con el cual se partió cambia su coloración de café oscuro a negro al agitarlo por un determinado tiempo con vitamina C por lo cual se lo utiliza para la adsorción de los colorantes catiónicos.
- Se realizó el estudio cinético de adsorción de colorantes catiónicos tales como el Az-BRL y A-86 sobre oxido de grafeno reducido en el cual se obtuvo para el Az-BRL el modelo cinético que se ajustó a los datos experimentales fue el de segundo orden a una temperatura de 313 K ya que los datos experimentales obtenidos se ajustaron con una correlación de 0,995 y para el amarillo 86 no se obtuvo la cinética de reacción ya que no presento buenos resultados en su adsorción pues su concentración solo menor en un 5% la remoción del colorante.
- Se determinó el efecto de la temperatura en la que mediante los resultados obtenidos de la experimentación se puede dar cuenta que esta magnitud afecta en la adsorción del colorante Az- BRL, pues al aumentar la temperatura hasta 333 K se produjo una adsorción de 2, 2334 ppm a los 120 minutos y desorción del material a los 240 minutos con una concentración de 3,6315 ppm y para 313 K se da una buena adsorción y fue la más aceptable pues se mantuvo constante desde el minuto 180 a los 360 con una concentración final de 1,0143 ppm. Para el Amarillo 86 no se determinó la temperatura a al que se podía adsorber, pues este compuesto es muy estable a altas temperaturas.

RECOMENDACIONES

- Se sugiere investigar un modelo para obtener oxido de grafeno reducido a mayor escala pues al momento de lavarlo para eliminar impurezas se pierde gran cantidad del material.
- Realizar investigaciones con el uso de OGr en colorantes aniónicos de uso textil y además de metales pesados, pues el OGr tiene propiedades muy eficientes para la remoción de contaminantes.
- Buscar el material adecuado para la adsorción del color Amarillo 86 y la temperatura a la que puede ser adsorbido ya que es un material estable a altas temperaturas debido a que sus grupos funciones se encuentran muy protegidos.

GLOSARIO

Azul-BRL: Es un colorante que posee 2 grupos azo en su composición por lo tanto considerado diazoico (Zhou et al., 2015, P. 23).

Amarillo 86: Es de uso textil diazoico, resistente a altas temperaturas.

Adsorción: La adsorción es un proceso ampliamente utilizado en todos los tipos de tratamiento de agua, el término se utiliza para describir la adhesión de una delgada capa de moléculas a la superficie de los líquidos o sólidos que entran en contacto con ella (Balladares, 2014, p. 25).

Átomo: Es una estructura en la cual se organiza la materia en el mundo físico o en la naturaleza. Su estructura está compuesta por diferentes combinaciones de tres sub-partículas: los neutrones, los protones y los electrones (Zhou et al., 2015, P. 12).

Colorante: Es un compuesto orgánico que al aplicarlo a un sustrato (generalmente una fibra textil pero también a cuero, papel, plástico o alimento) le confiere un color más o menos permanente (química orgánica Industrial, s. f).

Catión: Es una partícula que forma parte de la materia común con propiedades químicas o como las moléculas que configuran un procedimiento permanente y eléctricamente neutro (Gong, 2016, p. 36).

Carbón: Es un combustible fósil, resultado final de una serie de transformaciones sobre restos vegetales acumulados en lugares pantanosos, lagunas y deltas fluviales, principalmente durante el período carbonífero de la Era primaria (Gong, 2016, p. 36).

Grafeno: Es un material nanométrico bidimensional, consistente en una sola capa de átomos de carbono fuertemente cohesionados mediante enlaces que presentan hibridación sp^2 y dispuestos en una superficie uniforme, ligeramente ondulada, con una estructura semejante a la de un panel de abejas por su configuración atómica hexagonal (Gong, 2016, p.34).

Isotermas: Es un elemento y una herramienta que resulta fundamental a la hora de la medición de la temperatura de una zona determinada (Anamarca, 2020,p.29).

Nanotecnología: Es el estudio y la manipulación de materia en tamaños increíblemente pequeños, generalmente entre uno y 100 nanómetros. Para ponerlo en perspectiva, una hoja de papel tiene unos 100.000 nanómetros de grosor (Anamarca, 2020,p.17).

Nanopartículas: Es una partícula microscópica con por lo menos una dimensión menor que 100 nm. Actualmente las nanopartículas son un área de intensa investigación científica, debido a una amplia variedad de aplicaciones potenciales en los campos de biomédicos, ópticos, y electrónicos (Zhou, et al., 2015, p.29)

Óxígeno: Es un elemento químico gaseoso, incoloro, inodoro e insípido, abundante en la corteza terrestre, en la atmósfera y los océanos, que es imprescindible para la vida (Gong, 2016, p. 16).

Termodinámica: Es el estudio de la interrelación entre el calor y el trabajo con reacciones químicas o con cambios físicos del estado dentro de los confines de las leyes termodinámicas (Anamarca, 2020,p. 45).

BIBLIOGRAFÍA

ADAMSON, A. (2017). Química- Física. Barcelona: Reverte.

ASAMBLEA GENERAL DE LAS NACIONES UNIDAS. (2010). Documentacion de la onu, Acción climática: para la humanidad, el planeta y la prosperidad, Recuperado de: <http://Research.un.org/es/docs/environmen>.

ÁLVARES, ALEMAN;ET AL. . Biological treatment of wastewaters from a dye manufacturing company using a trickling filter.Hazard. Edicions 3, 2021, pp 87

ANGAMARCA, M. Utilización de óxido de grafeno reducido para la adsorción del azul de metileno de los efluentes procedentes de la industria textil (trabajo de titulación)(Maestria) .Escuela Superior Politecnica de Chimborazo.Riobamba-Ecuador.2020.pp. 24-26.

ANGELOS, A. Oxygen functionalities evolution in thermally treated Graphene oxide featured by EELS and DFT calculations (Trabajo de titulacion)(Master).universidad Autonoma de Nuevo León. San Nicolas de los Garza-Mexico.2017.pp 24-35.

BALLADARES, R. Tratamineto de efluentes de una industria textil del canton pelileo,provincia de tungurahua , contaminados con colorantes azoicos mediante un proceso electro-fenton.(Trabajo de titulacio)(Ingeniero). Escuela Politecnica Nacional, Facultad de ingenieria Quimica y Agroindustria.Quito-Ecuador. 2014.pp 43.

CASTRO,S.(2017).Revista cientifica,Recuperado de: <https://www.lamjol.info/index.php/NEXO>

CHAPARRO, C.,CABANZO,R., & OSPINO,E.(2016). Estudio de la adsorcion de azul de metileno sobre oxido de grafeno.Revista Colombiana de materiales 34(5),19.

HWANG,F.,ÁVILA, L., &GARCÍA,A. (2007). Tendencia de los aceros y su aplicación en la industria automotriz. Revista CienciAcierta, científica, tecnológica y humanista 38(1),23.

CAYAMBE,M & ZAMBRANO,C. Obtencion de grafeno mediante exfoliacion en face liquida y optimizacion de la fase experiemntal atraves de tratatmiento hidrotermico.[En línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo,

Riobamba, Ecuador 2018. p. 14. [Consulta: 2020-01-10]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/8668>.

CABALLERO, T. (2016). microscopia eletronica de barrido, Recuperado de: <https://www.scai.uma.es/areas/micr/sem/sem.html>.

DOMOS, M. (2020). PLanta de tratamiento de agua en la industria textil. Recuperado de: <https://www.domosagua.com/plantas-de-tratamiento-de-agua-en-la-industria-textil>.

GONG, X & LIU, G. (2016). Chemistry of Materials. Functionalized-Graphene Composites: Fabrication and Applications in Sustainable Energy and Environment. Recuperado de: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acs.chemmater.6b01447>

HUNGER, C. Tratamiento de efluentes de una industria textil del cantón Pelileo, Provincia de Tungurahua, contaminados con colorantes azoicos, mediante un proceso electro-fenton (Trabajo de titulación) (Ingeniería). Escuela Politécnica Nacional. Quito-Ecuador. 2003. pp. 27-29.

ITURBE, J. Compósitos a base de grafeno oxidado: propiedades adsorptivas y catalíticas. (Trabajo de titulación) (Maestría). Instituto potosino de investigación científica y tecnológica. México-México. 2015. pp. 28.

JENA, A. (2012). Graphene. Recuperado de: <https://jena.apache.org/documentation/javadoc/jena/org/apache/jena/graph/Graph.html>

LEGUIZAMON, J & QUIÑONES, C. (2010). TiO₂ photosensibilization with a commercial dye for photodegradation of organic water pollutants. Revista actualidad y divulgación científica, 13(2), 185–190. Recuperado de: <https://revistas.udca.edu.co/index.php/ruadc/article/view/746>

PÉREZ, R. (2010). Factibilidad del empleo de materiales lignocelulosicos con adsorbentes en lechos fluidizado. (Tesis de maestria, Universidad Hemisferios). Recuperado de: https://globalimf.com.ec/comunicacion/becas/maestrias-online-uhemisferios-imf?o=11847&sp=1&utm_source=GOOGLE_ADWORDS&utm_medium=cpc&utm_campaign=UH153_-_GOOGLE_ADS_-_ECU_Beta_Performance_Max_Generica&gclid=CjwKCAjwz5iMBhAEEiwAMEAw

GH7IDQdfahFm-

I29UdIdbekgWyfsgflZn0HfzhYhOfiRiT0BsWsohoCJN8QAvD_BwE

RAMOS, G. (2017). Efecto de química superficial del óxido de grafeno en el desarrollo de aplicaciones. (Tesis de maestría, Universidad de Alicante). Recuperado de: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=122544>

RODRIGUEZ, J. (2016). Estudio del efecto del uso de dióxido de titanio asistido con carbono activado obtenido a partir de un residuo industrial en la fotorodegradación del colorante azul BRL. (Tesis de Ingeniería, Escuela Politécnica Nacional). Recuperado de: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/16833>

SADIGHIAN, S., ROMANI, F., & CAYETANO, P. (2018). Eliminación de tinte del agua mediante nanocompuesto de óxido de grafeno y ferrita de zinc. Recuperado de: <https://web.ins.gob.pe/sites/default/files/Archivos/ogitt/cati/3%20BOLET%3%8DN%20T%3%89CNOLOGICAS%20N-3%202019.pdf>

SÁNCHEZ, E., GARZA, T., ALMAGUER, V., & DEL CARMEN, I. (2018). Estudio cinético e isothermas de adsorción de Ni (II) y Zn (II) utilizando biomasa de alga *Chlorella* sp. Inmovilizada. *Revista Ciencia UANL*, 23(2), 18.

SARMIENTO, E. (2017). Optimización del sistema de gestión de inventarios de productos químicos y colorantes en Clariant Colombia S.A. (Tesis de maestría, Universidad Libre de Colombia). Recuperado de: <https://repository.unilibre.edu.co/handle/10901/5936>

SHULGA, T. (2010). Gaseous products of thermo- and photo-reduction of Graphite oxide.

Revista Chemical Physics Letters, 498(4-6), 287-291. Recuperado de:

https://www.researchgate.net/publication/229107857_Gaseous_products_of_thermo-_and_photo-reduction_of_graphite_oxide

TOVAR, E. (2017). Síntesis y Caracterización de óxido de grafeno reducido y dopado con N mediante un proceso solvotérmico. (Tesis de maestría, Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica A.C.). Recuperado de: <https://repositorio.ipicyt.edu.mx/handle/11627/3102>

VIJAYARAGHAVAN, A. (2013). Graphene – Properties and Characterization. Recuperado de:
<https://www.semanticscholar.org/paper/Graphene-%E2%80%93-Properties-and-Characterization-Vijayaraghavan/d17ca4fc9b38d063c5f77078dede392d61a6627c>

BALTAZAR VERA, J· FUENTES RAMÍREZ, R., GALINDO ESQUIVEL, I., & RUIZ CAMACHO, V. (2018). Respuesta Energetica del Colorante azoicorojo dispoerso 1 Mezcladfo con grtafeno reducido en celdas solares sencibilizadas. Scielo 26(3), 188-266. doi: 10.15174/au.2018.1469

YANG, S. (2014). Contaminación Generada por Colorantes de la Industria Textil. (Tesis de maestría, Universidad autonoma del estado de Hidalgo). Recupoerado de:
<https://www.uaeh.edu.mxs/scige/boletin/prepa4/n3/e1.html>

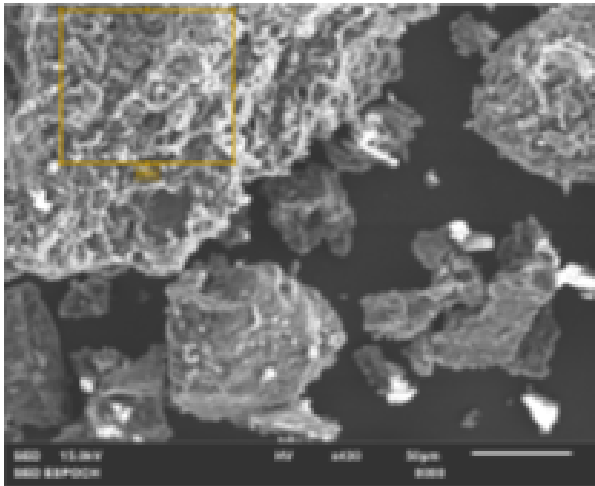
ZHANG, W., IANZHONG, M., & DANGGE, G. (2016). Progress in Organic Coatings, Preparation of amino-functionalized graphene oxide by Hoffman rearrangement and its performances on polyacrylate coating latex. Elsevier 57(2), 232-342. doi:10.1016/j.porgcoat.2016.01.013

ZHOU,X., Zhang, J., WU, H., &YANG, H. (2015). Reducing graphene oxide via hydroxylamine: a simple and efficient route to graphene. Journal of Physical Chemistry, 115(24), 11957–11961. doi: 10.1021/jp202575j

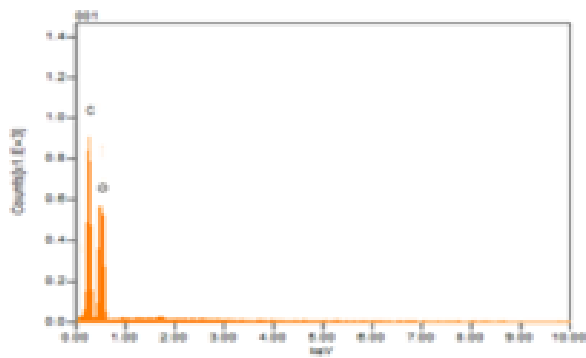
ANEXOS

ANEXO A: CARACTERIZACIÓN DE OG Y OGR EN LA FACULTAD DE MECÁNICA

001



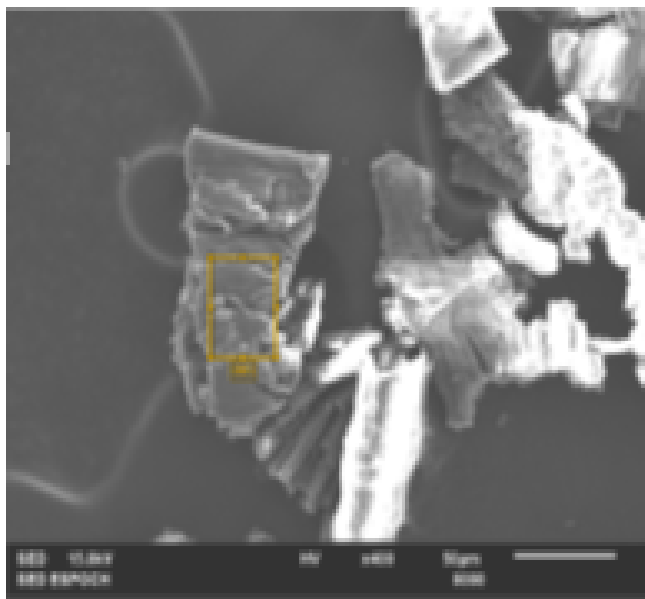
volt = 15.00 kv
 mag. = x 430
 date = 2021/04/27
 pixel = 1280 x 960



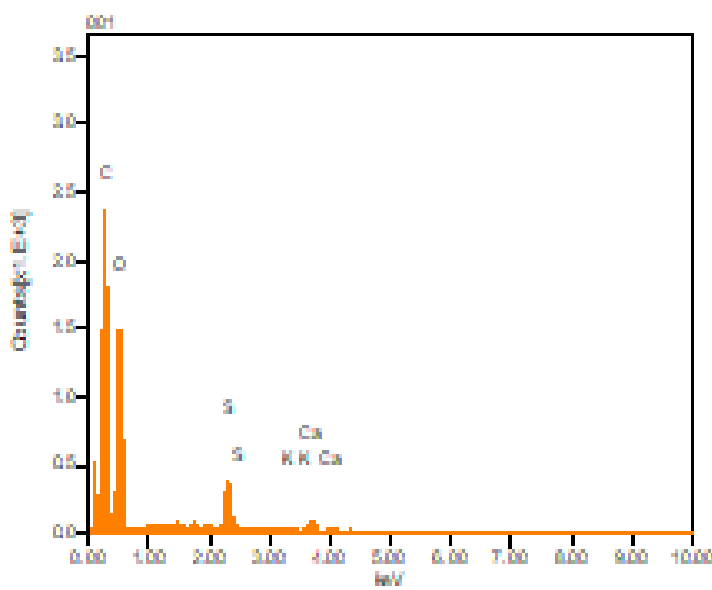
Acquisition Condition
 instrument = JEOL00A
 volt = 15.00 kv
 Current = ---
 process time = 04
 live time = 120.00 sec.
 real time = 121.75 sec.
~~dead time~~ = 2.00 %
 Count rate = 644.00 cps

formula	mass%	atom%	sigma	net	x ratio	line
C	3.17	49.91	0.03	4566	0.0209269	K
O	4.24	50.09	0.04	4847	0.0239936	K
total	7.41	100.00				

001



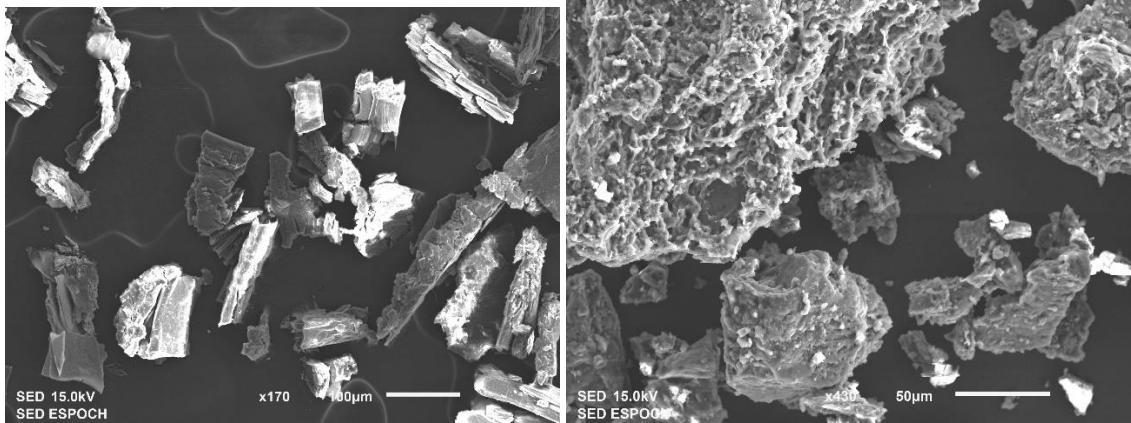
volt : 15.00 kv
 mag. : x 400
 date : 2021/04/27
 widal : 1000 x 400



Acquisition Condition


instrument : x2000a
 volt : 15.00 kv
 Current : ---
 process time : 24
 live time : 120.00
 sec.
 dead time : 122.07
 sec.
~~condition~~ : 1.00 %
 Count rate : 226.00
 C/s

formula	mass%	atome%	sigma	net	z ratio	line
C	10.11	57.52	0.06	11333	0.0522227	z
O	8.40	40.14	0.07	2381	0.0406223	z
S	0.20	1.70	0.01	3504	0.0072243	z
z	0.06	0.10	0.01	124	0.0002203	z
Ca	0.32	0.34	0.01	222	0.0012206	z
total	20.69	100.00				



Realizado por: La facultad de Mecánica de la ESPOCH

ANEXO B: DATOS ENVIADOS DE LA ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

 [GO1.csv \(65 KB\)](#)

[GO.zip](#)

```
TITLE;  
DATA TYPE;INFRARED SPECTRUM  
ORIGIN;JASCO  
OWNER;  
DATE;21/06/15  
TIME;10:02:47  
SPECTROMETER/DATA SYSTEM;  
LOCALE;12298  
RESOLUTION;  
DELTAX;0,964233  
XUNITS;1/CM  
YUNITS;TRANSMITTANCE  
FIRSTX; 649,8934  
LASTX; 4000,6047  
NPOINTS; 3476  
FIRSTY; 99,10387  
MAYY- 00 50191
```

Realizado por: De la Bastida Ronny, 2021.



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

**DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS Y RECURSOS DEL APRENDIZAJE
UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y DOCUMENTAL**

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 18 / 11 / 2021

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres - Apellidos: <i>Katherine Lissette Tubón Pérez</i>
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: <i>Ciencias</i>
Carrera: <i>Química</i>
Título a optar: <i>Química</i>
f. Analista de Biblioteca responsable: <i>Ing. Leonardo Medina Nuste MSc.</i>

**LEONARDO
FABIO MEDINA
NUSTE**

Firmado digitalmente
por LEONARDO FABIO
MEDINA NUSTE
Fecha: 2021.11.19
10:52:13 -05'00'



2055-DBRA-UTP-2021