

**EVALUACIÓN DE LA ACTIVIDAD FOTOCATALÍTICA DEL TiO<sub>2</sub> SOPORTADO  
EN CARBÓN ACTIVADO PARA LA DEGRADACIÓN DE AZUL DE METILENO**

**DAVID ALEJANDRO DÍAZ MIELES  
KAREN DANIELA PERDOMO ROJAS**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA  
BOGOTÁ D.C.  
2018**

**EVALUACIÓN DE LA ACTIVIDAD FOTOCATALÍTICA DEL TiO<sub>2</sub> SOPORTADO  
EN CARBÓN ACTIVADO PARA LA DEGRADACIÓN DE AZUL DE METILENO**

**DAVID ALEJANDRO DÍAZ MIELES  
KAREN DANIELA PERDOMO ROJAS**

**Proyecto integral de grado para optar por el título de  
INGENIERO QUÍMICO**

**DIRECTOR  
Dr. Sc. César Augusto Quiñones Segura  
Químico**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA  
BOGOTÁ D.C.  
2018**

Nota de aceptación (Dirección de Investigaciones)

---

---

---

---

---

---

Firma Docente Investigador

---

Firma Docente Jurado 1

---

Firma Docente Jurado 2

Bogotá D.C., Marzo de 2018

## **DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD**

Presidente de la Universidad y Rector del claustro

**Dr. JAIME POSADA DÍAZ**

Vicerrector de Desarrollo y Recursos Humanos

**Dr. LUIS JAIME POSADA GARCÍA-PEÑA**

Vicerrectora Académica y de Posgrados

**Dra. ANA JOSEFA HERRERA VARGAS**

Secretario General

**Dr. JUAN CARLOS POSADA GARCÍA-PEÑA**

Decano de la Facultad de Ingenierías

**Ing. JULIO CESAR FUENTES ARISMENDI**

Director de Investigaciones

**Ing. ARMANDO FERNÁNDEZ CÁRDENAS**

Director Programa de Ingeniería Química

**Ing. LEONARDO DE JESÚS HERRERA GUTIÉRREZ**

Las directivas de la Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores.

*Este proyecto de investigación va dirigido a mis padres  
Wilfrido Díaz Melo, Brenda Esther Mieles Torres,  
a mi hermana Genina Díaz quienes han sido  
la fuerza impulsora para el cumplimiento  
de mis proyectos y de manera especial  
a mi sobrino Samuel Zarante Díaz  
por llenarme de alegría.*

**DAVID ALEJANDRO DÍAZ MIELES**

*A Dios por brindarme la posibilidad de culminar esta etapa y por todas las bendiciones que me regala a diario.*

*A mis padres por ser mi motor, mi inspiración, mi mejor ejemplo, la razón de mi vida y las personas que más amo.*

*A mi familia por todo el apoyo prestado y por mantenerme las puertas abiertas cada vez que lo necesitaba.*

*A todas las personas que de una u otra manera creyeron en mí y fueron testigos de mi dedicación y esfuerzo para cumplir esta meta.*

**KAREN DANIELA PERDOMO ROJAS**

## **AGRADECIMIENTOS**

Primeramente, a Dios por bendecirme con la familia que tengo quienes me han llenado de los mejores valores para mi formación como persona, por el esfuerzo, paciencia y amor que me brindaron y me permitieron culminar esta etapa como profesional.

A mi compañera Karen Daniela Perdomo por su sincera amistad durante estos últimos años, entrega y dedicación para la elaboración de este proyecto de investigación.

Al Dr. Sc. César Quiñones por su ayuda, compromiso, apoyo y dedicación para llevar a cabo el desarrollo de este trabajo de grado.

Finalmente, al grupo de investigación Materiales Fotoactivos, a sus participantes en especial a Diana González y Lina Naisa por su colaboración.

***DAVID ALEJANDRO DÍAZ MIELES***



## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios por ser mi guía y el pilar de mi existencia, por bendecirme y ampararme en todo momento, por darme la oportunidad y el privilegio de formarme como una profesional íntegra y permitirme el cumplimiento de esta anhelada meta.

A mis padres María Isabel Rojas B y Jorge Darío Perdomo C, por su amor y acompañamiento incondicional en todas las etapas de mi vida, por todo el esfuerzo que a diario realizan para seguir brindándome lo mejor, por nunca dudar de mí y sobre todo por haberme dado las bases necesarias para formarme como la mujer y persona que soy hoy en día.

A toda mi familia por el apoyo y la confianza depositada en mí, por la hospitalidad y todo el cariño que siempre me han brindado.

Al Dr. Sc. César Augusto Quiñones Segura por el apoyo, compromiso, ayuda y orientación para llevar a cabo el desarrollo de este proyecto.

A mi compañero y amigo David Alejandro Díaz M, por su comprensión, ayuda, apoyo, amistad, confianza, compromiso y entrega que tuvo durante el desarrollo de este proyecto.

A mis compañeras Diana Catalina González F y Lina María Naisa D, por los momentos compartidos, la ayuda prestada y el lazo de amistad creado en el camino de realización de este proyecto.

A todos los integrantes del grupo de Materiales Fotoactivos por su compromiso, colaboración y trabajo en equipo para dar cumplimiento a los objetivos de cada proyecto.

***KAREN DANIELA PERDOMO ROJAS***

## CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	21
OBJETIVOS	22
1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS	23
1.1 PROCESOS AVANZADOS DE OXIDACIÓN	23
1.1.1 Fotocatálisis heterogénea	23
1.2 CARBÓN ACTIVADO	25
1.2.1 Carbón activado como soporte catalítico	26
1.3 TiO <sub>2</sub> SOPORTADO EN CARBÓN ACTIVADO	27
1.4 MÉTODO DE IMPREGNACIÓN DEL TiO <sub>2</sub> EN AC	28
2. DESARROLLO EXPERIMENTAL	30
2.1 PREPARACIÓN DEL FOTOCATALIZADOR	31
2.1.1 Curva de calibración	31
2.1.2 Prueba de adsorción del AC	31
2.1.3 Preparación de la suspensión de TiO <sub>2</sub>	32
2.1.4 Impregnación de AC con TiO <sub>2</sub>	34
2.1.4.1 Impregnación	34
2.1.4.2 Secado	34
2.1.4.3 Calcinación	35
2.2 CARACTERIZACIÓN	36
2.2.1 Microscopía electrónica de barrido	36
2.2.2 Difracción de rayos x	36
2.3 FOTODEGRADACIÓN	37
2.3.1 Reactor	37
2.3.2 Fotodegradación	37
3. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	39
3.1 PRUEBA DE ADSORCIÓN	39
3.2 SUSPENSIÓN DE TiO <sub>2</sub>	39
3.3 OBTENCIÓN DE TiO <sub>2</sub> /AC	40
3.4 CARACTERIZACIÓN	41
3.4.1 Microscopía electrónica de barrido	41
3.4.2 Difracción de rayos x	41
3.5 CURVA DE CALIBRACIÓN	43
3.6 EVALUACIÓN DE LA ACTIVIDAD FOTOCATALÍTICA	45
3.6.1 Capacidad de adsorción	45
3.6.2 Desempeño fotocatalítico	46
4. CONCLUSIONES	50

5. RECOMENDACIONES	51
BIBLIOGRAFÍA	52
ANEXOS	56

## LISTA DE TABLAS

	pág.
<b>Tabla 1.</b> Relaciones de TiO <sub>2</sub> /AC	28
<b>Tabla 2.</b> Absorbancia de las muestras de AC y ACR	32
<b>Tabla 3.</b> Composición de S1	33
<b>Tabla 4.</b> Composición de S2 y S3	33
<b>Tabla 5.</b> Composición de M1, M2 y M3	34
<b>Tabla 6.</b> Temperaturas de calcinación de M1, M2 y M3	35
<b>Tabla 7.</b> Resultados de la prueba de adsorción	39
<b>Tabla 8.</b> Porcentajes de TiO <sub>2</sub> en las suspensiones	39
<b>Tabla 9.</b> Compósitos calcinados a 500°C	40
<b>Tabla 10.</b> Compósitos calcinados a 630°C	40
<b>Tabla 11.</b> Datos de concentración y absorbancia de AM	43

## LISTA DE GRÁFICAS

	pág.
<b>Gráfica 1.</b> Curva de calibración de AM	44
<b>Gráfica 2.</b> Prueba de adsorción para todas las muestras	45
<b>Gráfica 3.</b> Prueba de fotodegradación para todas las muestras saturadas	46
<b>Gráfica 4.</b> Prueba de fotodegradación para todas las muestras limpias	47
<b>Gráfica 5.</b> Desempeño de M3B en las pruebas realizadas	48
<b>Gráfica 6.</b> Desempeño de M1A en las pruebas realizadas	48

## LISTA DE FIGURAS

	pág.
<b>Figura 1.</b> Mecanismo de la fotocatalisis con $\text{TiO}_2$	24
<b>Figura 2.</b> Reacción de degradación de AM	25
<b>Figura 3.</b> Estructura porosa del AC	26
<b>Figura 4.</b> Mecanismo de fotodegradación de contaminantes en un fotocatalizador de $\text{TiO}_2$ soportado en AC	27
<b>Figura 5.</b> $\text{TiO}_2$ soportado en AC	29
<b>Figura 6.</b> Protocolo de la prueba de adsorción para el ACR	31
<b>Figura 7.</b> Protocolo de la prueba de adsorción para el AC	31
<b>Figura 8.</b> Protocolo de preparación de suspensión de $\text{TiO}_2$	33
<b>Figura 9.</b> Muestra seca de AC impregnado con $\text{TiO}_2$	35
<b>Figura 10.</b> Protocolo de impregnación de AC	36
<b>Figura 11.</b> Reactor empleado en la fotodegradación	37
<b>Figura 12.</b> Muestras de $\text{TiO}_2/\text{AC}$	40
<b>Figura 13.</b> Muestras caracterizadas por SEM	41
<b>Figura 14.</b> Difractograma de M3A	42
<b>Figura 15.</b> Difractograma de M3B	43

## LISTA DE ECUACIONES

	pág.
<b>Ecuación 1.</b> Ecuación de la recta de la curva de calibración	43
<b>Ecuación 2.</b> Porcentaje de degradación y/o adsorción de AM	43

## LISTA DE ANEXOS

	pág.
<b>Anexo A.</b> Hoja de seguridad carbón activado CLARIMEX	57



## LISTA DE ABREVIATURAS

<b>AC</b>	Carbón activado
<b>ACR</b>	AC reactivado
<b>AM</b>	Azul de metileno
<b>DRX</b>	Difracción de rayos x
<b>M1A</b>	Muestra preparada con S1 y calcinada a 500°C
<b>M2A</b>	Muestra preparada con S2 y calcinada a 500°C
<b>M3A</b>	Muestra preparada con S3 y calcinada a 500°C
<b>M1B</b>	Muestra preparada con S1 y calcinada a 630°C
<b>M2B</b>	Muestra preparada con S2 y calcinada a 630°C
<b>M3B</b>	Muestra preparada con S3 y calcinada a 630°C
<b>N<sub>2</sub></b>	Nitrógeno
<b>OH*</b>	Radical hidroxilo
<b>ppm</b>	Partes por millón
<b>SEM</b>	Microscopía electrónica de barrido
<b>S1</b>	Suspensión inicial
<b>S2</b>	Suspensión 2
<b>S3</b>	Suspensión 3
<b>TiO<sub>2</sub></b>	Dióxido de Titanio
<b>TiO<sub>2</sub>/AC</b>	Compósito de Dióxido de Titanio/Carbón activado
<b>UV</b>	Ultravioleta
<b>VIS</b>	Visible

## GLOSARIO

**ABSORBANCIA:** medida de la disminución de una radiación al atravesar una sustancia o muestra, y es expresada como el logaritmo de la relación entre la intensidad de luz saliente y entrante.

**ACTIVACIÓN FÍSICA:** proceso mediante el cual el carbón es elevado a altas temperaturas y en presencia de una atmósfera inerte para dar la estructura porosa que caracteriza a los carbones activados. Se lleva a cabo en dos etapas: una de carbonización en donde ocurre la eliminación de impurezas y se obtiene un material rico en carbón. La segunda etapa tiene como finalidad el desarrollo de los poros del material de partida, aumentando su volumen y ensanchando el diámetro de los mismos.

**ADSORCIÓN:** fenómeno por el cual átomos, iones o moléculas de gases, líquidos o sólidos disueltos son retenidos o atrapados en la superficie de otra sustancia; generalmente en estado sólido. El componente que se adsorbe recibe el nombre de adsorbato y el sólido es denominado adsorbente.

**BAND GAP:** distancia entre la parte superior de la banda de valencia y la parte inferior de la banda de conducción, que representa la energía mínima que se necesita para excitar un electrón.

**CALCINACIÓN:** proceso que consiste en el calentamiento a temperaturas elevadas o temperaturas de descomposición de una sustancia sólida con el objetivo de eliminar principalmente la humedad y los componentes volátiles presentes en la misma.

**COMPÓSITO:** material constituido por dos o más materiales distinguibles físicamente y separables mecánicamente para obtener una combinación de propiedades que no es posible obtener en los materiales originales.

**DEGRADACIÓN:** serie de reacciones químicas causadas por la acción de un agente químico o por una fuente de energía como luz, calor o electricidad; en donde moléculas orgánicas pierden uno o más átomos de carbono, o en donde moléculas complejas se descomponen en otras más simples.

**IMPREGNACIÓN:** método más empleado en la preparación de catalizadores sólidos que consiste en la disposición de uno o más componentes activos sobre la superficie de un soporte y que tiene como finalidad la dispersión de la fase activa y la estabilidad. El proceso de impregnación se realiza en varias etapas: deposición de una disolución del elemento activo sobre el soporte, secado y calcinación.

**SEMICONDUCTOR:** material que se encuentra entre dos extremos de conductividad eléctrica, inferior a la que posee un conductor metálico pero superior a la que tiene un elemento aislante. Su conductividad eléctrica aumenta con el aumento de la temperatura debido a la generación térmica de portadores de carga libres.

**SUSPENSIÓN:** mezcla heterogénea formada por un sólido insoluble que se dispersa en un medio líquido.

## RESUMEN

En este proyecto de investigación se preparó un compuesto empleando Dióxido de Titanio y Carbón Activado que cumpliera la función de fotocatalizador en el proceso de remoción de AM mediante fotocátalisis heterogénea. Se hizo uso del método de impregnación directa para lograr la fijación del  $\text{TiO}_2$  sobre el AC. Se analizó el efecto de la temperatura de calcinación a 500 y 630°C y la relación entre la cantidad de  $\text{TiO}_2$  y AC en la preparación del fotocatalizador.

Se realizaron pruebas de adsorción y fotodegradación por un tiempo total de 4 y 3 horas con el fin de evaluar la actividad fotocatalítica de las muestras obtenidas. El seguimiento para cada una de las pruebas se llevó a cabo por el método de espectrofotometría donde los datos se recolectaron y graficaron para observar el comportamiento de cada uno de los compósitos preparados.

Las pruebas realizadas permitieron cuantificar el rendimiento de cada compuesto en la remoción de AM a una concentración de 7ppm en presencia de luz visible. Las muestras calcinadas a 630°C arrojaron mejores porcentajes de remoción del contaminante con un 95,58 y 99,34%.

**Palabras claves:** Dióxido de Titanio, fotocátalisis, compuesto, carbón activado, impregnación.

## INTRODUCCIÓN

La fotocatalisis heterogénea con Dióxido de Titanio ( $\text{TiO}_2$ ) ha demostrado ser una ruta alterna para los tratamientos convencionales aplicados a los cuerpos de agua residuales provenientes de las diferentes industrias químicas<sup>1</sup>. Dichos efluentes industriales son los causantes de la contaminación en los recursos hídricos y los responsables de los problemas ambientales con alto grado de repercusión en la calidad de vida de los seres vivos.

El  $\text{TiO}_2$  es adecuado para el proceso fotocatalítico de descontaminación de aguas por ser un semiconductor estable física y químicamente, de bajo precio, no tóxico y por poseer una gran habilidad de oxidación de contaminantes orgánicos.<sup>2</sup> A pesar de ello, este semiconductor presenta actividad en el rango de radiación ultravioleta, lo cual es un inconveniente para la salud de los seres humanos porque provoca enfermedades de tipo cancerígeno.<sup>3</sup> Debido a esto, se desea ampliar el rango en el cual el  $\text{TiO}_2$  presenta actividad fotocatalítica; combinándolo con otros materiales y de esta manera evitar el uso de radiación UV.

Por tal motivo, soportar  $\text{TiO}_2$  en un material altamente poroso como el carbón activado (AC) resulta ser una solución para este inconveniente, ya que se genera un efecto sinérgico entre adsorción y degradación, donde el AC retiene los contaminantes en su superficie y el  $\text{TiO}_2$  es el encargado del proceso fotocatalítico.<sup>4</sup>

En este proyecto se evalúa el funcionamiento del Dióxido de Titanio-Carbón Activado ( $\text{TiO}_2/\text{AC}$ ) como fotocatalizador por medio de un sistema de remoción de azul de metileno, ya que este colorante al ser un compuesto aromático sintético y poseer una estructura compleja<sup>5</sup> es empleado como indicador para describir la actividad fotocatalítica<sup>6</sup>.

---

<sup>1</sup> AHMAD,Rizwan, et al. Photocatalytic systems as an advanced environmental remediation: Recent developments, limitations and new avenues for applications. En: JOURNAL OF ENVIRONMENTAL CHEMICAL ENGINEERING, 2016. 12.vol. 4, no. 4, Part A, p. 4143-4164

<sup>2</sup> NAKATA,Kazuya and FUJISHIMA,Akira.  $\text{TiO}_2$  photocatalysis: Design and applications. En: JOURNAL OF PHOTOCHEMISTRY AND PHOTOBIOLOGY C: PHOTOCHEMISTRY REVIEWS. 2012, p. 169-89.

<sup>3</sup> GONZÁLEZ Maribel, VERNHES Marioly, SÁNCHEZ Ángel. La Radiación Ultravioleta. Su Efecto Dañino Y Consecuencias Para La Salud Humana, Theoria, 2009, p. 69-80.

<sup>4</sup> LI Min et al. Synergetic effect between adsorption and photodegradation on nanostructured  $\text{TiO}_2$  /activated carbon fiber felt porous composites for toluene removal. En: JOURNAL OF HAZARDOUS MATERIALS, 2017, p. 88-98.

<sup>5</sup> MARTÍNEZ Alma. Degradación de azul de metileno y 4- clorofenol por fotocatalisis con luz ultravioleta, utilizando  $\text{TiO}_2$  como catalizador. Instituto Tecnológico De Toluca, 2015.

<sup>6</sup> JANJIRA Sivapatarnkuna, KHANITTA Hathaisamitb, SAYAN Pudwata. High photocatalytic activity of F- $\text{TiO}_2$  on activated carbon. En: MATERIALS TODAY, 2016. no. 10, p. 125-126

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Evaluar la actividad fotocatalítica del Dióxido de Titanio ( $\text{TiO}_2$ ) soportado en Carbón Activado para la degradación de azul de metileno.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

1. Soportar  $\text{TiO}_2$  sobre Carbón activado.
2. Caracterizar el fotocatalizador morfológica y estructuralmente.
3. Evaluar el desempeño fotocatalítico del  $\text{TiO}_2/\text{AC}$  en la degradación de azul de metileno.

# 1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

## 1.1 PROCESOS AVANZADOS DE OXIDACIÓN

Los procesos avanzados de oxidación (PAO's) son procesos fisicoquímicos que buscan el reemplazo y la mejora de los métodos convencionales empleados en la remediación y destoxificación de medios acuosos, especialmente aguas residuales provenientes de las diferentes industrias.<sup>7,8,9</sup> Estos procesos se pueden llevar a cabo en presencia de luz (proceso fotoquímico) o ausencia de luz (proceso no fotoquímico) y se basan en la generación de agentes oxidantes altamente reactivos, principalmente el radical hidroxilo (OH\*),<sup>10</sup> ya que éste genera un cambio importante en la estructura del contaminante y posee una alta efectividad para la oxidación de materia orgánica. Entre estos procesos se encuentra la fotocatalisis heterogénea.<sup>11</sup>

**1.1.1 Fotocatálisis heterogénea.** Es una técnica de oxidación que consiste en la producción de radicales hidroxilos (OH\*) mediante la activación de un semiconductor, que cumple la función de fotocatalizador, por acción de la radiación UV; estos radicales posteriormente tendrán un efecto oxidante sobre los contaminantes.<sup>12,13</sup>

La absorción de luz por parte del semiconductor, es la etapa inicial de este proceso. El TiO<sub>2</sub> es el semiconductor más empleado. El TiO<sub>2</sub> toma la energía necesaria para superar el band gap y generar la excitación de un electrón de la banda de valencia a la banda de conducción. Este fenómeno da lugar a la formación de pares electrón hueco, los cuales migran a la superficie del semiconductor donde se obtienen los radicales libres, siendo estos últimos los responsables de la degradación de la

---

<sup>7</sup> DOMÉNECH Xavier, JARDIM Wilson, L. Marta, et al. Procesos avanzados de oxidación para la eliminación de contaminantes. En: Eliminación de Contaminantes por Fotocatálisis Heterogénea, 2001, p. 3-2.

<sup>8</sup> CATALDO, Salvatore, et al. Combination of advanced oxidation processes and active carbons adsorption for the treatment of simulated saline wastewater. En: SEPARATION AND PURIFICATION TECHNOLOGY, 2016. vol. 171, p. 101-111.

<sup>9</sup> RAF Dewil, DIONISSIOS Mantzavinos, IOANNIS Poullos, et al. New perspectives for Advanced Oxidation Processes. En: Journal of Environmental Management, 2017. vol 195, p. 93-99.

<sup>10</sup> DOMÉNECH Xavier, JARDIM F Wilson, y L. Marta, et al. Procesos avanzados de oxidación para la eliminación de contaminantes. En: ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES POR FOTOCATÁLISIS HETEROGÉNEA, 2001, p. 3-2.

<sup>11</sup> GARCÉS Luis, MEJÍA Edwin, SANTAMARÍA Jorge, et al. La fotocatalisis como alternativa para el tratamiento de aguas residuales. En: REVISTA LASALLISTA DE INVESTIGACIÓN, vol 1. No. 1, 2004, p. 83-92.

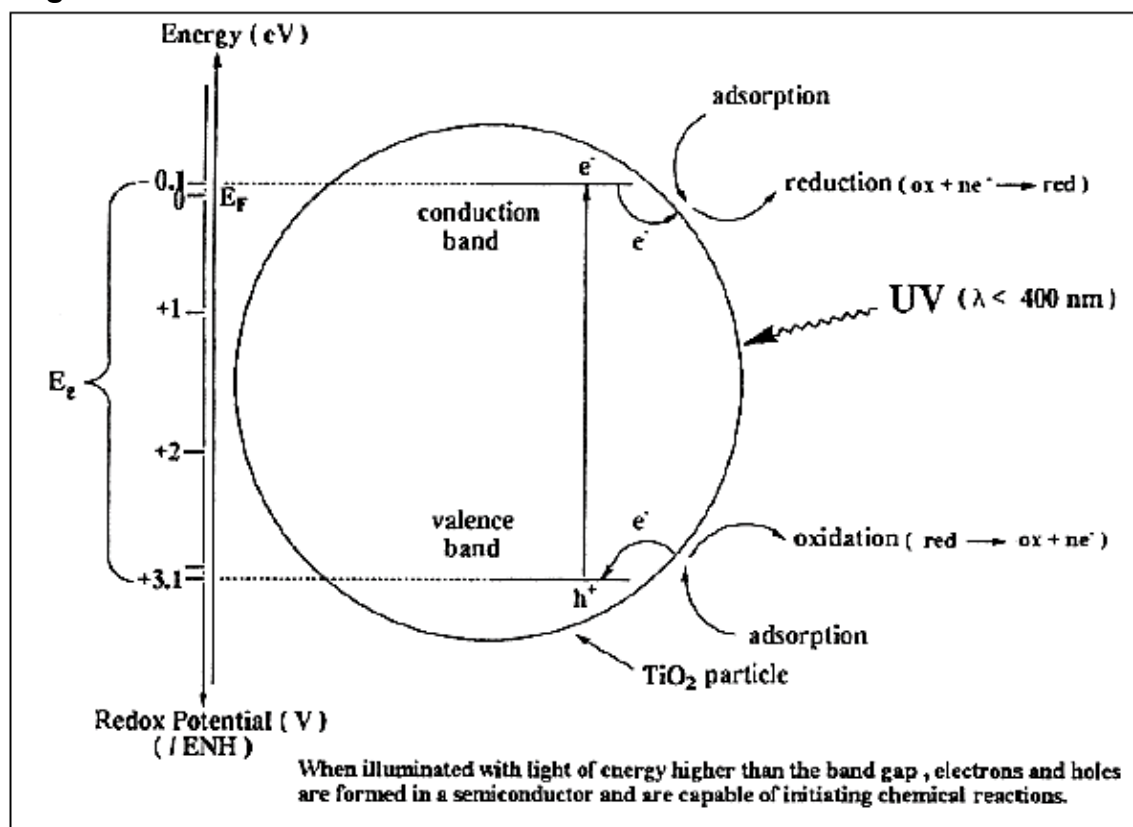
<sup>12</sup> ETACHERI, Vinodkumar, et al. Visible-light activation of TiO<sub>2</sub> photocatalysts: Advances in theory and experiments. En: JOURNAL OF PHOTOCHEMISTRY AND PHOTOBIOLOGY C: PHOTOCHEMISTRY REVIEWS, 2015. vol. 25, p. 1-29.

<sup>13</sup> GARCÉS Luis, MEJÍA Edwin, SANTAMARÍA Jorge, et al. La fotocatalisis como alternativa para el tratamiento de aguas residuales. En: REVISTA LASALLISTA DE INVESTIGACIÓN, vol 1. No. 1, 2004, p. 83-92.

materia orgánica<sup>14</sup>. En la Figura 1 se esquematiza el mecanismo de la fotocatalisis con TiO<sub>2</sub> como fotocatalizador.

Una molécula representativa de los diversos contaminantes que puede tener el agua es el AM, cuya reacción de degradación vía oxidación total encontrada en la literatura<sup>15</sup> se observa en la Figura 2.

**Figura 1.** Mecanismo de la fotocatalisis con TiO<sub>2</sub>



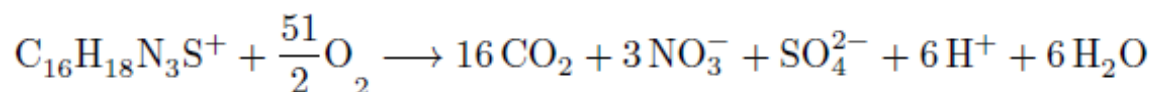
FUENTE: HERRMANN, Jean-Marie. Heterogeneous photocatalysis: fundamentals and applications to the removal of various types of aqueous pollutants. En: CATALYSIS TODAY. Octubre, 1999, vol. 53, p. 115-129.

<sup>14</sup> CARBAJO, Jaime, et al. Aplicación de la fotocatalisis solar a la degradación de contaminantes orgánicos en fase acuosa con catalizadores nanoestructurados de TiO<sub>2</sub>, 2013, p. 1-277.

<sup>15</sup> CLAVIJO, Julio, Sobre las reacciones de eliminación de compuestos contaminantes de aguas por fotocatalisis con TiO<sub>2</sub>/UV: caso azul de metileno Universidad de América. En: VIRTUAL PRO. 2013, p. 150-154.



**Figura 2.** Reacción de degradación de AM



Como se puede notar en la anterior ecuación, la degradación del AM termina produciendo compuestos totalmente inofensivos para la vida acuática, es decir, logra una mineralización totalmente conveniente.<sup>16</sup>

## 1.2 CARBÓN ACTIVADO

El carbón activado es un material sólido compuesto por heteroátomos de hidrógeno, oxígeno, azufre y nitrógeno que se caracteriza por poseer una estructura porosa bien desarrollada, similar a la del grafito<sup>17</sup> como se observa en la Figura 3. Dicha estructura le permite desarrollar áreas superficiales del orden de los 1500 m<sup>2</sup> por gramo de carbón, la cual varía de acuerdo a la materia prima precursora y el método de activación; y además de esto, le confiere una alta capacidad de adsorción.<sup>18</sup> El AC presenta gran versatilidad ya que es posible modificar y controlar la distribución y tamaño de sus poros.

La composición química del carbón activado es aproximadamente:<sup>19</sup>

- 75-80% en Carbono
- 5–10% en Cenizas
- 60% en Oxígeno
- 0,5% en Hidrógeno

---

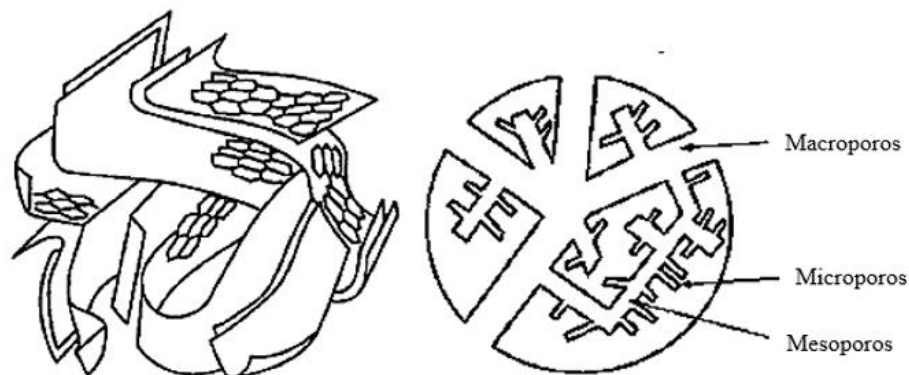
<sup>16</sup> CLAVIJO, Julio, Sobre las reacciones de eliminación de compuestos contaminantes de aguas por fotocatalisis con TiO<sub>2</sub>/UV: caso azul de metileno Universidad de América. En: VIRTUAL PRO. 2013, p. 150-154.

<sup>17</sup> MARTÍNEZ, María Cristina, et al. Preparación y caracterización de carbón activo a partir de lignina para su aplicación en procesos de descontaminación de aguas. Universidad Autónoma de Madrid, 2012, p. 7.

<sup>18</sup> BENITO Carlos, ALONSO Antonio, GARVI Dolores, MORÓN Carmen, LEBRATO Julián. Manual del carbón activo. Universidad de Sevilla, 2000, p. 1-89.

<sup>19</sup> BENITO Carlos, ALONSO Antonio, GARVI Dolores, MORÓN Carmen, LEBRATO Julián. Manual del carbón activo. Universidad de Sevilla, 2000, p. 1-89.

**Figura 3. Estructura porosa del AC**



FUENTE: MARTÍNEZ, María Cristina, et al. Preparación y caracterización de carbón activo a partir de lignina para su aplicación en procesos de descontaminación de aguas. En: Universidad Autónoma de Madrid, 2012, p. 7

**1.2.1 Carbón activado como soporte catalítico.** El AC ha sido ampliamente utilizado como soporte en procesos catalíticos<sup>20,21</sup> debido a las propiedades que le otorga al catalizador. Dentro de estas propiedades se destacan la estabilidad térmica, resistencia al envenenamiento y mayor actividad catalítica<sup>22</sup>. Además, ha sido empleado en catálisis heterogénea como soporte de semiconductores que dan lugar a reacciones medioambientales de oxidación y reducción de contaminantes<sup>23</sup>. En la Figura 4 se observa el mecanismo de fotodegradación de estos fotocatalizadores.

El AC presenta superioridad frente a otros soportes utilizados en catálisis heterogénea para el tratamiento de aguas residuales<sup>24</sup>, por sus características mencionadas en el numeral anterior, ya que brinda una mayor interacción entre el

---

<sup>20</sup> LEDERHOS Cecilia, FÍGOLI Nora, L'ARGENTIÈRE Pablo C. Carbon como soporte de un catalizador selectivo en la hidrogenación de 1-heptino. En: INCAPE, Instituto de Investigaciones en Catálisis y Petroquímica. Santiago del Estero, 2007, p 1-7.

<sup>21</sup> OSPINA Viviana, BUITRAGO Robison, LÓPEZ Diana P. Preparation and characterization of activated carbon from castor de-oiled cake, 17.32 (2014), p.75-84.

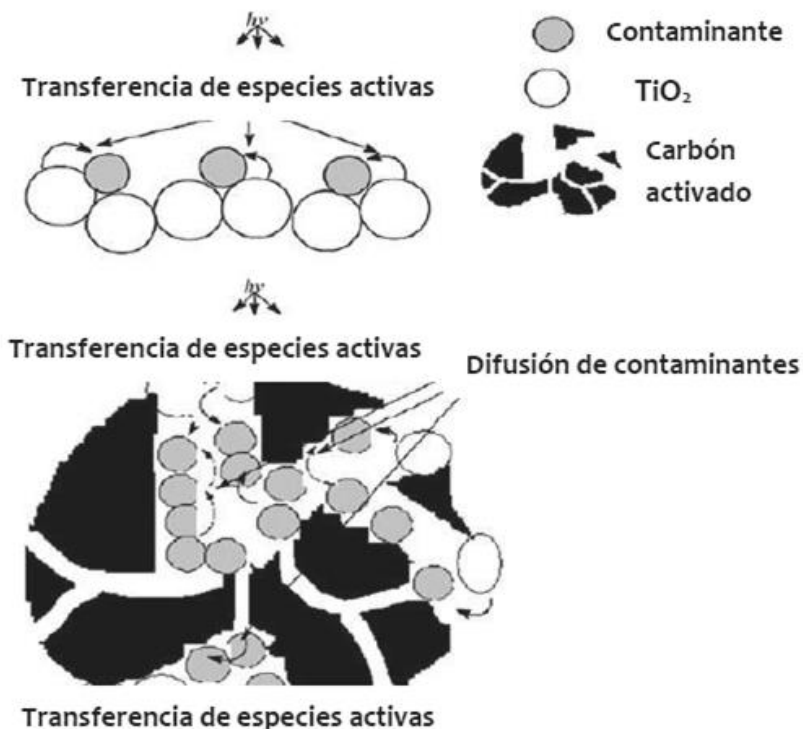
<sup>22</sup> ROBLES Andrade et al., Amidiq carbón activado modificado como soporte para catalizadores prototipo de hds modified activated charcoal as support of prototype hds catalysts, 2006, p. 279-84.

<sup>23</sup> ABDELOUAHAB Zinab, Catalizadores soportados en carbón activado para la oxidación total de Compuestos Orgánicos Volátiles. Universidad de Alicante. Departamento de Química Inorgánica, 2005, p. 26-29.

<sup>24</sup> VELASCO Leticia, ANIA Conchi. Materiales de carbono en fotocatalisis. Instituto Nacional del Carbón. España. 2011, p. 2-6.

semiconductor y contaminante logrando así una mejor actividad de por parte de éste<sup>25</sup>.

**Figura 4.** Mecanismo de fotodegradación de contaminantes en un fotocatalizador de TiO<sub>2</sub> soportado en AC



FUENTE: MURILLO Herman. Obtención de un compuesto de dióxido de titanio y carbón activado a la oxidación fotocatalítica del ión cianuro. Escuela Politécnica Nacional. Facultad de Ingeniería Química y Agroindustrial. 2015, p. 31.

### 1.3 TiO<sub>2</sub> SOPORTADO EN CARBÓN ACTIVADO

Soportar TiO<sub>2</sub> en materiales porosos, especialmente en AC, es una técnica empleada para la degradación de contaminantes; ya que el uso en conjunto de TiO<sub>2</sub> y AC logra un cambio significativo en el proceso de fotodegradación.<sup>26</sup> La mejora en la actividad fotocatalítica se debe principalmente a que el AC puede aumentar la velocidad de fotodegradación al permitir que una cantidad creciente de

<sup>25</sup> OUZZINE Mohammed, Nanopartículas de TiO<sub>2</sub> para la oxidación fotocatalítica de propeno en fase gas a baja concentración. Universidad de Alicante, 2014, p. 193.

<sup>26</sup> PARK In, CHOI Sun Young, HA Jeong, High-performance titanium dioxide photocatalyst on ordered mesoporous carbon support, En: CHEMICAL PHYSICS LETTERS, 2008, p. 198-201.

contaminante entre en contacto con el TiO<sub>2</sub> a través de los poros.<sup>27</sup> Sin embargo, debe tenerse en cuenta la relación entre la cantidad de semiconductor y soporte para lograr una mayor eficiencia.<sup>28</sup> En la Tabla 1 se encuentran datos acerca de las cantidades de TiO<sub>2</sub> y AC empleadas en anteriores investigaciones.<sup>29,30</sup>

El uso de AC como soporte permite el aprovechamiento de longitudes de onda mayores a las de radiación UV, ya que ayuda en la captura de electrones, disminuyendo el efecto de recombinación electrón – hueco.<sup>31</sup>

**Tabla 1.** Relaciones de TiO<sub>2</sub>/AC

TiO <sub>2</sub> /AC	Relación			Autor
	1/100	1/40	1/20	
TiO <sub>2</sub> /AC	1/5	1/15	1/30	MURILLO, Herman
TiO <sub>2</sub> /AC				JANJIRA, Sivapatarnkuna

#### 1.4 MÉTODO DE IMPREGNACIÓN DEL TIO<sub>2</sub> EN AC

Para lograr la fijación del TiO<sub>2</sub> sobre el AC como se observa en la Figura 5, el método más empleado es el de impregnación directa. Esta técnica se fundamenta en un tratamiento térmico utilizando el TiO<sub>2</sub> directamente para la impregnación. Consta de tres pasos:

- Impregnación o deposición de una disolución del elemento activo sobre el soporte: en este primer paso el AC, que actúa como soporte, entra en contacto íntimo con la suspensión de TiO<sub>2</sub>. Este procedimiento se realiza en una plancha de agitación magnética para lograr una mayor difusión del TiO<sub>2</sub> suspendido hacia los poros del AC.
- Secado: el AC impregnado es secado para eliminar el contenido de humedad y lograr una mejor redistribución del TiO<sub>2</sub> sobre la superficie.

<sup>27</sup> MURILLO Herman. Obtención de un composito de dióxido de titanio y carbón activado a la oxidación fotocatalítica del ión cianuro. Escuela Politécnica Nacional. Facultad de Ingeniería Química y Agroindustrial. 2015, p. 45.

<sup>28</sup> INAGAKI Michio, KANG Feiyu, TOYODA Masahiro and KONNO Hidetaka. Carbon Materials in Photocatalysis. Cap 13. En: ADVANCED MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING OF CARBON. 2013, p. 293.

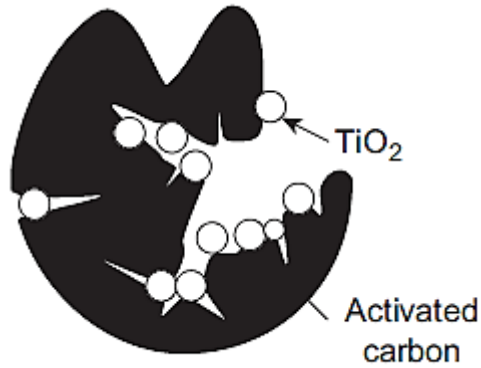
<sup>29</sup> MURILLO Herman. Obtención de un composito de dióxido de titanio y carbón activado a la oxidación fotocatalítica del ión cianuro. Escuela Politécnica Nacional. Facultad de Ingeniería Química y Agroindustrial. 2015, p. 45.

<sup>30</sup> JANJIRA Sivapatarnkuna, KHANITTA Hathaisamitb, SAYAN Pudwata. High photocatalytic activity of F-TiO<sub>2</sub> on activated carbon. En: MATERIALS TODAY, 2016. no. 10, p. 125-126

<sup>31</sup> LI Min et al., Synergetic effect between adsorption and photodegradation on nanostructured TiO<sub>2</sub> /activated carbon fiber felt porous composites for toluene removal, En: JOURNAL OF HAZARDOUS MATERIALS, 2017, p. 88-98.

- Calcinación: el AC impregnado con  $\text{TiO}_2$  es sometido a un tratamiento térmico para eliminar los materiales no deseados y reforzar la adhesión del  $\text{TiO}_2$  sobre la superficie del AC<sup>32</sup>.

**Figura 5.**  $\text{TiO}_2$  soportado en AC



FUENTE: INAGAKI Michio, KANG Feiyu, TOYODA Masahiro and KONNO Hidetaka. Carbon Materials in Photocatalysis. Cap 13. En: ADVANCED MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING OF CARBON. 2013, p. 290.

---

<sup>32</sup> RODRÍGUEZ Alicia, RAMOS Luis, heterogeneous catalysis: preparation of solid catalysts (part i), Facultad de Química, Universidad de Camagüey, Cuba, Vol.31 No.2 Santiago de Cuba mayo. 2011.

## 2. DESARROLLO EXPERIMENTAL

Para lograr la evaluación de la actividad fotocatalítica del  $\text{TiO}_2/\text{AC}$ , el desarrollo experimental se dividió en tres etapas de acuerdo a los objetivos específicos planteados. Se inició con la preparación del fotocatalizador en donde se obtuvieron las diferentes muestras que sirvieron para llevar a cabo la segunda etapa de caracterización por SEM y DRX y por último se procedió a hacer las pruebas de adsorción y degradación con los análisis correspondientes.

### 2.1 PREPARACIÓN DEL FOTOCATALIZADOR

**2.1.1 Curva de calibración.** Se partió de una solución de 100ppm y se prepararon soluciones de 1 a 10ppm de AM siguiendo el protocolo de APONTE Felipe y BENAVIDES Marcela en el Proyecto de grado “Adecuación de un sistema sustentable de bajo costo para la purificación de agua lluvia con fotocatalisis solar<sup>33</sup>, se elaboró la curva de calibración donde se obtuvo un comportamiento lineal descrito por la ley de Lambert Beer que indica la relación entre la luz que se absorbe en un medio material dado y las características del medio a medida que pasa la luz a través de éste.<sup>34</sup>

**2.1.2 Prueba de adsorción del AC.** Se utilizó carbón activado granular tipo antracita de la marca CLARIMEX. Se tomaron dos muestras de AC cada una de 1g, una de ellas fue sometida a un tratamiento térmico de reactivación a 500°C por una hora<sup>35</sup>, obteniendo un carbón reactivado (ACR). Seguido a esto, se realizó una prueba de adsorción de AM. La muestra de AC se agregó a una alícuota de 10mL de una solución de AM de 7ppm. Este procedimiento se repitió para la muestra de ACR. Las dos muestras se dejaron en reposo por dos días, se centrifugaron, se midió la absorbancia final a 665nm y se determinó la concentración final de cada uno de los tubos utilizando la ecuación de la recta de la curva de calibración. En la Figura 6 y 7 se muestra el protocolo de adsorción para el ACR y AC respectivamente. En la Tabla 2 se observan los resultados de la prueba.

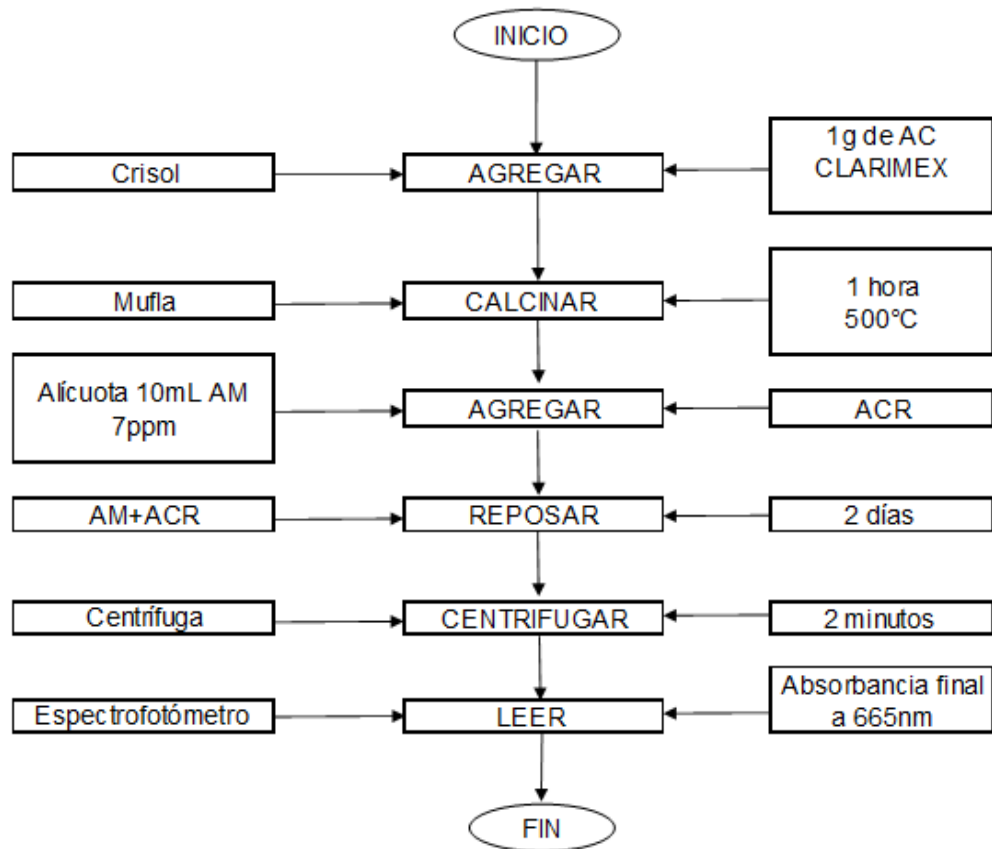
---

<sup>33</sup> APONTE, Felipe, BENAVIDES, Marcela. Adecuación de un sistema sustentable de bajo costo para la purificación de agua lluvia con fotocatalisis solar. Universidad de América. 2017, P. 32.

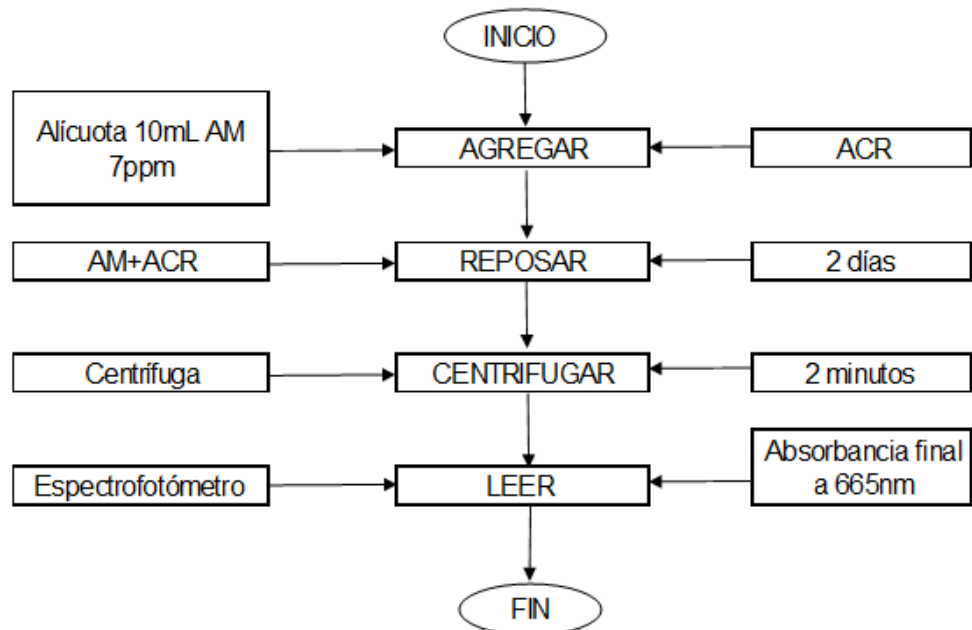
<sup>34</sup> SALIDO, Ezequiel M., et al. Phototransduction early steps model based on Beer-Lambert optical Law. En: VISION RESEARCH.2017, vol. 131, p. 75-81.

<sup>35</sup> CARBOTECHNIA. Reactivación de Carbón Activado Granular. [En línea] <<https://www.carbotecnia.info/encyclopedia/carbon-activado-reactivacion/>> [Citado el 29 de noviembre de 2017].

**Figura 6.** Protocolo de la prueba de adsorción para el ACR



**Figura 7.** Protocolo de la prueba de adsorción para el AC



**Tabla 2.** Absorbancia de las muestras de AC y ACR

Muestra	Absorbancia inicial AM	Absorbancia final AM
AC	1,719	0,359
ACR	1,719	0,326

Nota: la reactivación se realizó bajo una atmósfera inerte de nitrógeno para evitar la gasificación de AC en CO<sub>2</sub>.<sup>36,37</sup>

Se emplearon los siguientes equipos: balanza analítica, mufla, centrífuga, espectrofotómetro.

**2.1.3 Preparación de las suspensiones de TiO<sub>2</sub>.** Para lograr una adhesión adecuada del TiO<sub>2</sub> en el AC y con el fin de estudiar el efecto de la concentración de TiO<sub>2</sub> en los procesos de degradación, se realizaron tres suspensiones con diferentes porcentajes de TiO<sub>2</sub>. La suspensión inicial (S1) se preparó siguiendo la fórmula establecida por el Grupo de Investigación de Materiales Fotoactivos<sup>38</sup>, la cual contiene en su composición 5,17% de TiO<sub>2</sub>. Para obtener la suspensión 2 (S2) y disminuir el porcentaje de TiO<sub>2</sub>, se tomaron 26mL de S1 y se realizó una primera dilución agregando 10mL de isopropanol, 6mL de etilenglicol y 10mL de agua. Finalmente, para la suspensión 3 (S3), se tomaron 26mL de S2 y se llevó a cabo una segunda dilución con las mismas cantidades de la anterior. Los porcentajes de TiO<sub>2</sub> para S2 y S3 fueron 3,51% y 2,66% respectivamente. En la Figura 8 se puede observar el protocolo de preparación de las suspensiones. En las Tablas 3 y 4 se describen las composiciones de las suspensiones realizadas.

---

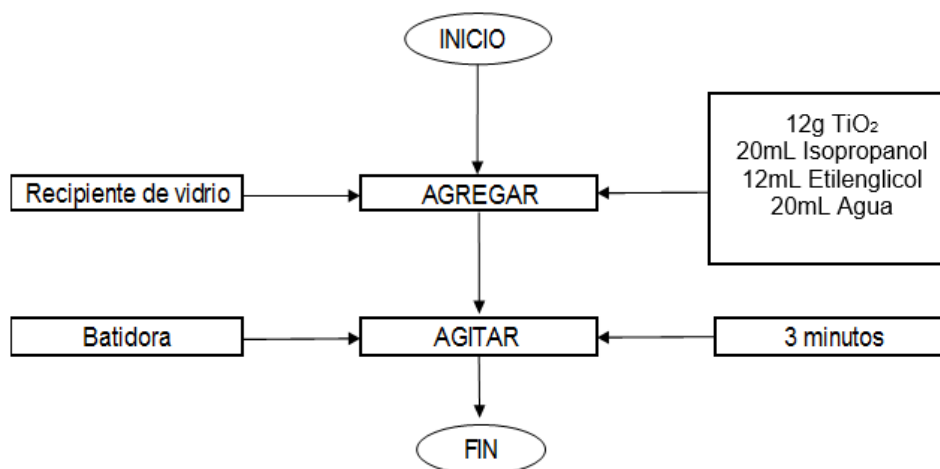
<sup>36</sup> LIU, X, CHEN, X. A TiO<sub>2</sub>/AC composite photocatalyst with high activity and easy separation prepared by a hydrothermal method. En: JOURNAL OF HAZARDOUS MATERIALS. Vol. 143, No. 1, 2007, p. 257-263.

<sup>37</sup> LI PUMA, Gianluca, et al. Preparation of titanium dioxide photocatalyst loaded onto activated carbon support using chemical vapor deposition: A review paper. En: JOURNAL OF HAZARDOUS MATERIALS. vol. 157, no. 2, 2008 p. 209-219.

<sup>38</sup> CORTÉS Andrés, RODRÍGUEZ Karen. Evaluación de la actividad fotocatalítica del Dióxido de Titanio sensibilizado con una base de mannich para la degradación de azul de metileno. Fundación Universidad de América, 2017.



**Figura 8.** Protocolo de preparación de suspensión de  $TiO_2$



**Tabla 3.** Composición de S1

Suspensión	Reactivo	Cantidad
S1	TiO <sub>2</sub> Hombitan	12g
	Isopropanol	20mL
	Etilenglicol	12mL
	Agua	20mL

**Tabla 4.** Composición de S2 y S3

Suspensión	Reactivo	Cantidad
S2	S1	26mL
	Isopropanol	10mL
	Etilenglicol	6mL
	Agua	10mL
S3	S2	26mL
	Isopropanol	10mL
	Etilenglicol	6mL
	Agua	10mL

Se emplearon los siguientes equipos: balanza analítica, batidora Oster, plancha de agitación magnética.

**2.1.4 Impregnación de AC con TiO<sub>2</sub>.** Una vez se prepararon las suspensiones, se procedió a fijar TiO<sub>2</sub> sobre el AC por el método de impregnación directa que se llevó a cabo en tres pasos<sup>39</sup>.

**2.1.4.1 Impregnación.** En un beaker de 250mL se agregaron 26mL de S1 y por un periodo de 5 minutos fue llevada a una plancha de agitación magnética. 30g de AC fueron adicionados gradualmente a S1 para lograr un contacto íntimo entre ellos y facilitar la difusión del TiO<sub>2</sub> hacia los poros del AC. La agitación se mantuvo constante hasta que el AC quedara cubierto en su totalidad. Como resultado de este procedimiento, se obtuvo la muestra 1 (M1). La preparación de las muestras 2 y 3 (M2 y M3) se realizó de la misma manera con S2 y S3 respectivamente. En la Tabla 5 se muestra la composición de M1, M2 y M3.

**Tabla 5.** Composición de M1, M2 y M3

Muestra	AC (g)	Suspensión
M1	30	S1
M2	30	S2
M3	30	S3

**2.1.4.2 Secado.** Como segundo paso las muestras se secaron en una plancha de calentamiento por 15 minutos a 100°C para retirar el exceso de humedad retenido en los poros del AC y evaporar los solventes presentes en los mismos. Debido a que la humedad interfiere negativamente en la fijación del TiO<sub>2</sub> sobre la superficie del AC. En la Figura 9 se evidencia la muestra después de realizársele el proceso de secado.

---

<sup>39</sup> CARBALLO, Luis. Introducción a la catálisis heterogénea. Universidad Nacional de Colombia. Departamento de Ingeniería Química, 2002, p. 171.

**Figura 9.** Muestra seca de AC impregnado con TiO<sub>2</sub>



**2.1.4.3 Calcinación.** Por último, la etapa de calcinación se realizó a temperaturas superiores a 400°C para favorecer la fijación del semiconductor<sup>40,41</sup>. M1 se dividió en dos partes iguales (M1A y M1B), las cuales se calcinaron en una mufla marca Ney Vulcan D-130 en presencia de atmósfera inerte de N<sub>2</sub> para evitar la formación de CO<sub>2</sub> a 500°C y 630°C respectivamente por un tiempo de 1 hora cada una.<sup>42</sup> Se eligieron estos dos valores con el fin de evaluar el efecto de la temperatura de calcinación en la preparación del fotocatalizador. M2 y M3 fueron sometidas al mismo procedimiento. En la Tabla 6 se resume el total de las muestras con su respectiva temperatura de calcinación.

**Tabla 6.** Temperaturas de calcinación de M1, M2 y M3

Muestra	T (°C)	
	500	630
M1	M1A	M1B
M2	M2A	M2B
M3	M3A	M3B

Adicionalmente a las muestras preparadas se les realizó un lavado con agua destilada para retirar el exceso de TiO<sub>2</sub> que durante el proceso de impregnación no se adhirió.

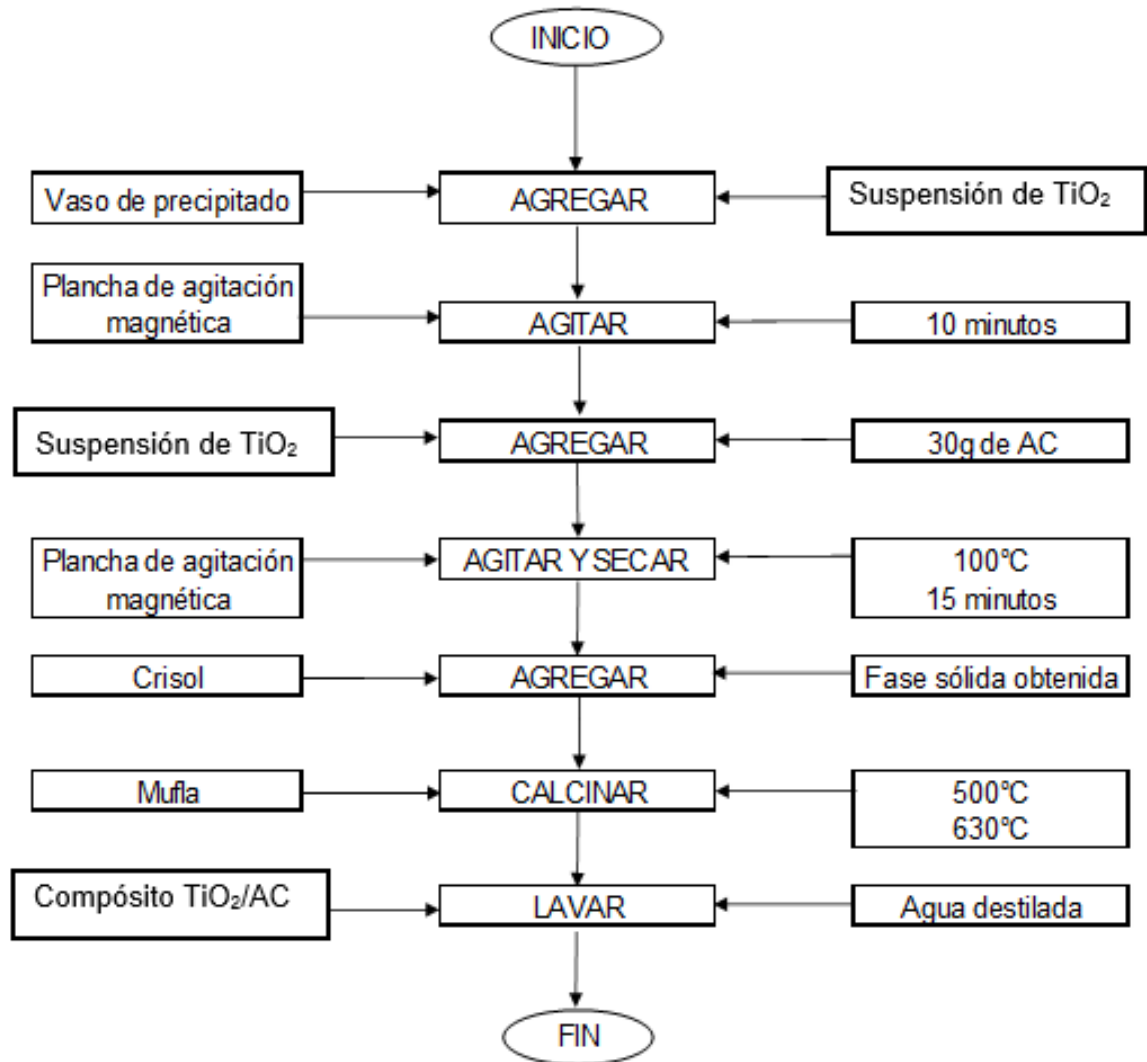
<sup>40</sup> MARTINS, Alessandro C., et al. Sol-gel synthesis of new TiO<sub>2</sub>/activated carbon photocatalyst and its application for degradation of tetracycline. En: CERAMICS INTERNATIONAL. vol. 43, no. 5, 2017, p. 4411-4418

<sup>41</sup> OUZZINE, M., et al. Spherical activated carbon as an enhanced support for TiO<sub>2</sub>/AC photocatalysts. En: CARBON. vol. 67, 2013, p. 104

<sup>42</sup> TAO, Yong. Development of TiO<sub>2</sub>/activated carbon composite photocatalyst for the removal of methanol and hydrogen sulfide from paper mills. University of Florida, 2006.

En la Figura 10 se puede observar el protocolo empleado para la impregnación de AC.

**Figura 10.** Protocolo de impregnación de AC



## 2.2 CARACTERIZACIÓN

**2.2.1 Microscopía electrónica de barrido.** Una vez preparadas las diferentes muestras, estas fueron llevadas a caracterización morfológica empleando la técnica de microscopía electrónica de barrido en el equipo SEM COXEM EM-30AX PLUS con el fin de comprobar la presencia y distribución del  $\text{TiO}_2$  fijado en los poros del AC.

**2.2.2 Difracción de rayos x.** Este análisis de caracterización estructural se realizó para determinar la fase cristalina en la que se encontraba el  $\text{TiO}_2$ , el AC y observar si existen cambios en la estructura del soporte al tener el  $\text{TiO}_2$  fijado. Esta prueba se llevó a cabo en el difractómetro Philips X'Pert ProPANalytical.

Las muestras llevadas a caracterización por SEM y DRX fueron M3A y M3B, las cuales contienen la misma cantidad de  $\text{TiO}_2$  impregnado pero calcinadas a diferente temperatura, 500 y 630°C respectivamente.

## 2.3 FOTODEGRADACIÓN

**2.3.1 Reactor.** Para llevar a cabo la degradación de AM se hizo uso de un recipiente de vidrio pyrex donde se encontraba la muestra de AM junto con el fotocatalizador y una tapa con cuatro orificios para facilitar la aireación, la entrada del led y la toma de muestras. Este montaje observado en la Figura 11 cumplió la función de fotoreactor.

*Figura 11. Reactor empleado en la fotodegradación*



**2.3.2 Fotodegradación.** Se realizaron diferentes pruebas para llevar a cabo la degradación de AM. La primera prueba consistió en evaluar la capacidad de adsorción del TiO<sub>2</sub>/AC. Se agregaron 20mL de AM al tubo pyrex y se midió la absorbancia inicial, luego se adicionó 1g de M1A, se introdujo aire por medio de una cánula para ayudar al proceso y se dio inicio a la prueba midiendo la absorbancia en intervalos de 3, 15, 30 y 60 minutos con ayuda de un espectrofotómetro marca Spectroquant Prove 600 a una longitud de onda de 665nm, ya que en esta región es donde esta sustancia absorbe su máximo de luz<sup>43</sup> por un tiempo de total de 4 horas.

Para la segunda prueba, la muestra empleada en el procedimiento anterior (M1A) se agregó en una alícuota nueva de 20mL de AM. Esta vez se introdujo un led de 3W conectado a una resistencia de 2,2Ω alimentado por una fuente de 1000mA y se llevó a cabo la primera fotodegradación. El seguimiento se realizó midiendo la absorbancia en periodos de tiempo de 1, 5, 15, 30 y 60 minutos por un tiempo total de 3 horas.

Finalmente, para la última prueba se repitió el procedimiento efectuado en la segunda con otro gramo de M1A en una alícuota nueva de 20mL de AM.

Las pruebas mencionadas anteriormente se repitieron para todas las muestras (M1A, M1B, M2A, M2B, M3A, M3B). Manteniendo constante variables de proceso como la concentración inicial de AM que fue de 7ppm, temperatura y presión ambiente con el fin de obtener degradaciones comparables. Se trabajó con 7ppm porque a esta concentración la relación con la absortividad es directamente proporcional como se observa en la Gráfica 1.

---

<sup>43</sup> NAWIMA y ZAIN, Salmiah Md. Enhancing the surface properties of the immobilized Degussa P-25 TiO<sub>2</sub> for the efficient photocatalytic removal of methylene blue from aqueous solution. En: APPLIED SURFACE SCIENCE. Vol. 258, No. 16, 2012, p. 6148-6157.

### 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

#### 3.1 PRUEBA DE ADSORCIÓN

Se realizó esta prueba con la finalidad de observar cuál de las dos muestras (AC, ACR) tiene la mayor capacidad de adsorción para tener un criterio de selección. Los resultados de la prueba se observan en la Tabla 7.

**Tabla 7.** Resultados de la prueba de adsorción

Muestra	Concentración inicial AM (ppm)	Concentración final AM (ppm)
AC	7	1,5
ACR	7	1,4

En la Tabla 7 se evidencia que el ACR tiene la mayor capacidad de adsorción llegando a una concentración final de 1,4ppm comparado con la alcanzada por el AC, 1,5ppm. Sin embargo, el AC fue elegido como soporte para la fijación del TiO<sub>2</sub> debido a que no se presenta mayor diferencia entre las concentraciones finales (0,1ppm) y se evitaría el proceso de reactivación disminuyendo así tiempos y costos de preparación del TiO<sub>2</sub>/AC.

#### 3.2 SUSPENSIÓN DE TiO<sub>2</sub>

La suspensión cumple un papel importante en la impregnación ya que es el medio por el cual el TiO<sub>2</sub> se difunde hacia los poros del AC. Para lograr la consistencia final esperada en las suspensiones, los componentes mencionados anteriormente en el desarrollo experimental fueron agitados en su respectiva cantidad. Se observó que el TiO<sub>2</sub> quedó suspendido en el medio y no precipitó en ninguna de las suspensiones preparadas (S1, S2, S3). En la Tabla 8 se encuentran los porcentajes obtenidos de TiO<sub>2</sub> para cada suspensión de acuerdo a la cantidad de compuestos utilizados en la preparación.

**Tabla 8.** Porcentajes de TiO<sub>2</sub> en las suspensiones

Suspensión	%TiO <sub>2</sub>
S1	5,17
S2	3,51
S3	2,66

### 3.3 OBTENCIÓN DE TiO<sub>2</sub>/AC

Para la obtención del TiO<sub>2</sub>/AC se tuvo en cuenta la relación entre la cantidad de estos, ya que un exceso de TiO<sub>2</sub> cubriría por completo los poros del soporte disminuyendo su capacidad de retención. Por esta razón, las suspensiones utilizadas en el proceso de impregnación fueron diluidas para evitar lo anteriormente descrito. Además, fue importante el control de la temperatura de calcinación debido a que este parámetro influye tanto en la distribución del TiO<sub>2</sub> sobre el AC como en los cambios en la estructura que éstos pueden presentar. En la Figura 12 se observan las muestras preparadas de TiO<sub>2</sub>/AC y en las Tablas 9 y 10 se encuentra la relación TiO<sub>2</sub>/AC para las temperaturas de 500 y 630°C respectivamente.

**Figura 12.** Muestras de TiO<sub>2</sub>/AC



**Tabla 9.** Compósitos calcinados a 500°C

Compósito	Relación TiO <sub>2</sub> -AC
M1A	2/5
M2A	4/15
M3A	1/15

**Tabla 10.** Compósitos calcinados a 630°C

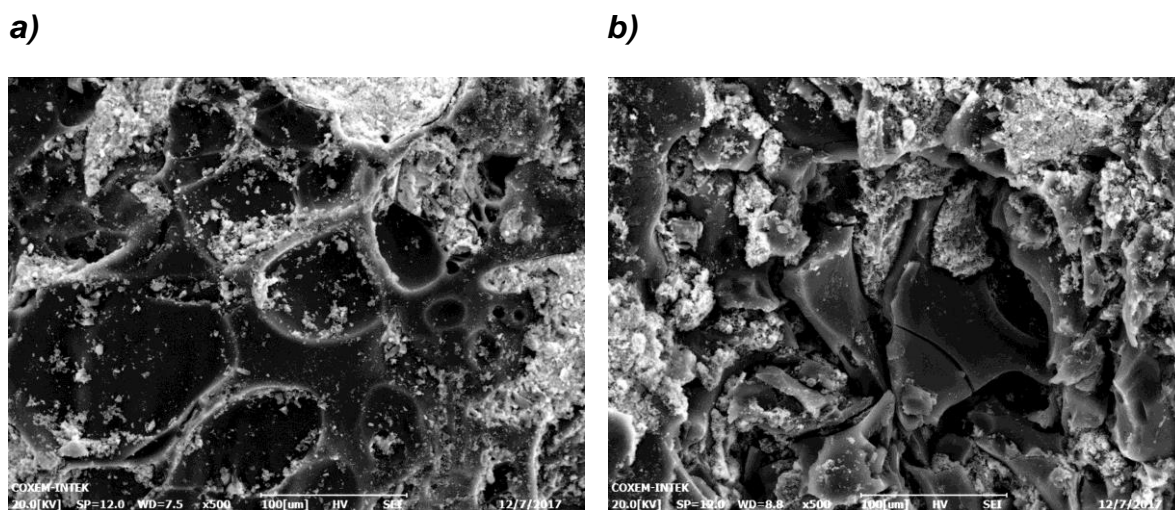
Compósito	Relación TiO <sub>2</sub> -AC
M1B	2/5
M2B	4/15
M3B	1/15



### 3.4 CARACTERIZACIÓN

**3.4.1 Microscopía electrónica de barrido.** Se utilizó SEM como técnica para evaluar la morfología y la distribución del  $\text{TiO}_2$  sobre los poros del AC en M3A y M3B las cuales fueron calcinadas a 500 y 630°C respectivamente. En la Figura 13 se observa que el tamaño de poro de M3B es más grande comparado con el de M3A debido a que a mayores temperaturas de calcinación se favorece el desarrollo y aumento de los sitios activos; y a su vez se logra una mejor distribución del  $\text{TiO}_2$  sobre el AC. También se observa que el semiconductor está fijo sobre la superficie del soporte sin recubrirla totalmente, lo cual permite la retención de AM en sus poros y facilita el proceso de remoción de éste.

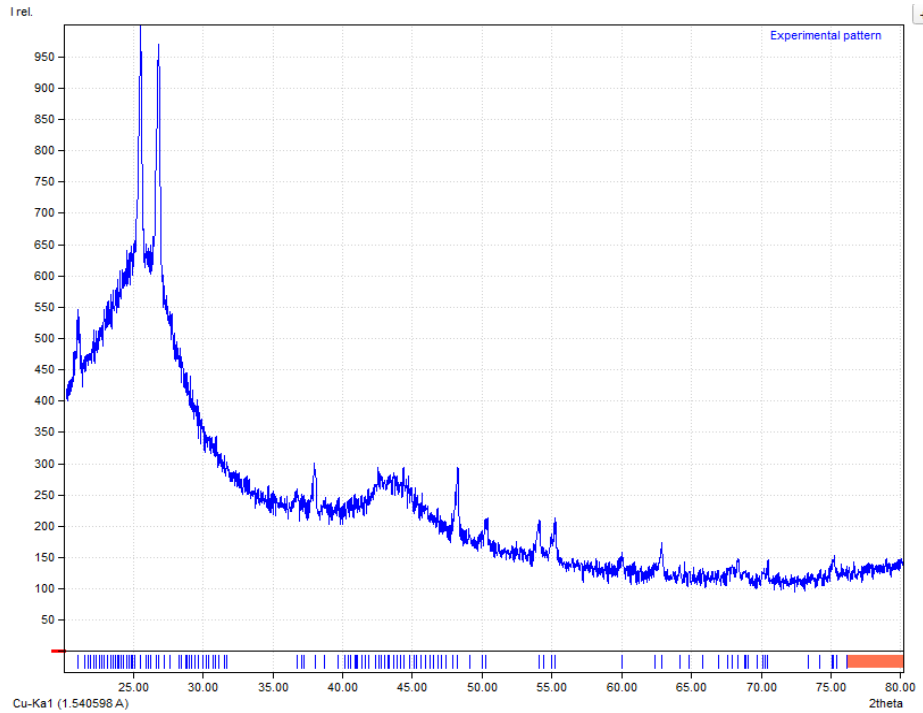
**Figura 13.** Muestras caracterizadas por SEM. a) M3A. b) M3B



**3.4.2 Difracción de rayos x.** Se empleó esta técnica para caracterizar estructuralmente M3A y M3B. En la Figura 14 se muestran los perfiles de DRX obtenidos para M3A calcinada a 500°C. Los patrones de DRX a 20° son compatibles con la estructura del AC, el pico entre 25 y 26° hace referencia a la fase anatasa del  $\text{TiO}_2$ , también se observa un pico con alta intensidad entre 27 y 30° el cual indica la presencia de la fase rutilo<sup>44</sup>, lo que se confirma con la ficha técnica del  $\text{TiO}_2$  HOMBITAN AFDC.

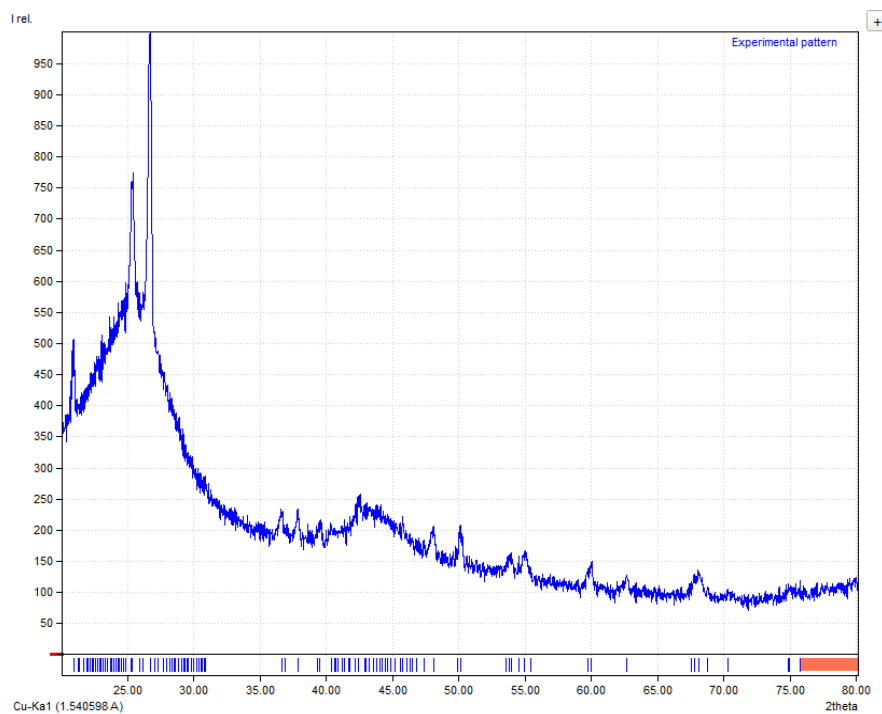
<sup>44</sup> RÉTI, Balázs, et al. Carbon sphere templates for  $\text{TiO}_2$  hollow structures: Preparation, characterization and photocatalytic activity. En: CATALYSIS TODAY. 2017. Apr. vol. 284, p. 160-168

**Figura 14. Difractograma de M3A**



En la Figura 15 se observa los perfiles de DRX para M3B, se puede evidenciar un cambio en la intensidad relativa de los picos, esto debido a que esta muestra tuvo un tratamiento térmico a 630°C. El pico para el AC se mantuvo constante, mientras que el pico indicador de la fase anatasa presentó una disminución en su intensidad, ya que a temperaturas superiores a 600°C el  $\text{TiO}_2$  inicia un cambio en su estructura teniendo una transición de la fase anatasa a la fase rutilo, teniendo ésta un menor rendimiento en la actividad fotocatalítica. Sin embargo, los mejores resultados de degradación de AM se obtuvieron a esta temperatura; esto puede explicarse porque es posible que haya ocurrido un cambio en la interacción entre el  $\text{TiO}_2$  y el AC o una mejora en la estructura del AC.

**Figura 15. Difractograma de M3B**



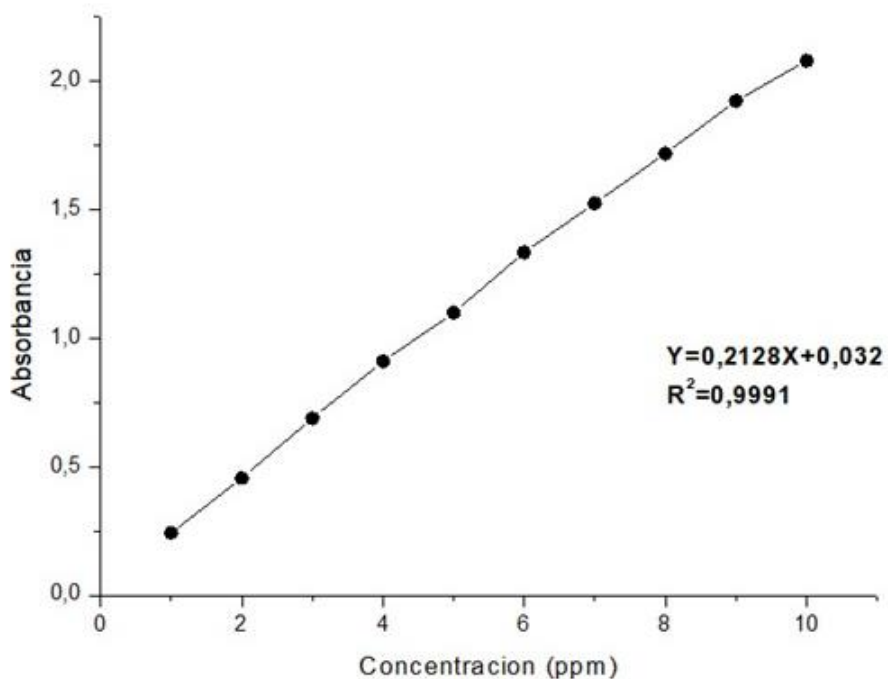
### 3.5 CURVA DE CALIBRACIÓN

Los datos utilizados con los cuales se elaboró la Curva de calibración de AM se observada en la Gráfica 1 se encuentran en la Tabla 11.

**Tabla 11. Datos de concentración y absorbancia de AM**

Concentración (ppm)	Absorbancia
1	0,243
2	0,456
3	0,688
4	0,91
5	1,099
6	1,334
7	1,525
8	1,719
9	1,924
10	2,08

**Gráfica 1.** Curva de calibración de AM



Se obtuvo la **Ecuación 1.**  $Y=0,213X+0,032$  y un  $R^2=0,9991$  la cual permite conocer las concentraciones a lo largo de del tiempo.

Dónde:

Y= Absorbancia

X= Concentración de AM

Para calcular los porcentajes de degradación y/o adsorción se utilizó la siguiente ecuación:

**Ecuación 2.** Porcentaje de degradación y/o adsorción.

$$\% \text{ de degradación y/o adsorción} = 100 - \frac{Af * 100}{Ai}$$

Dónde:

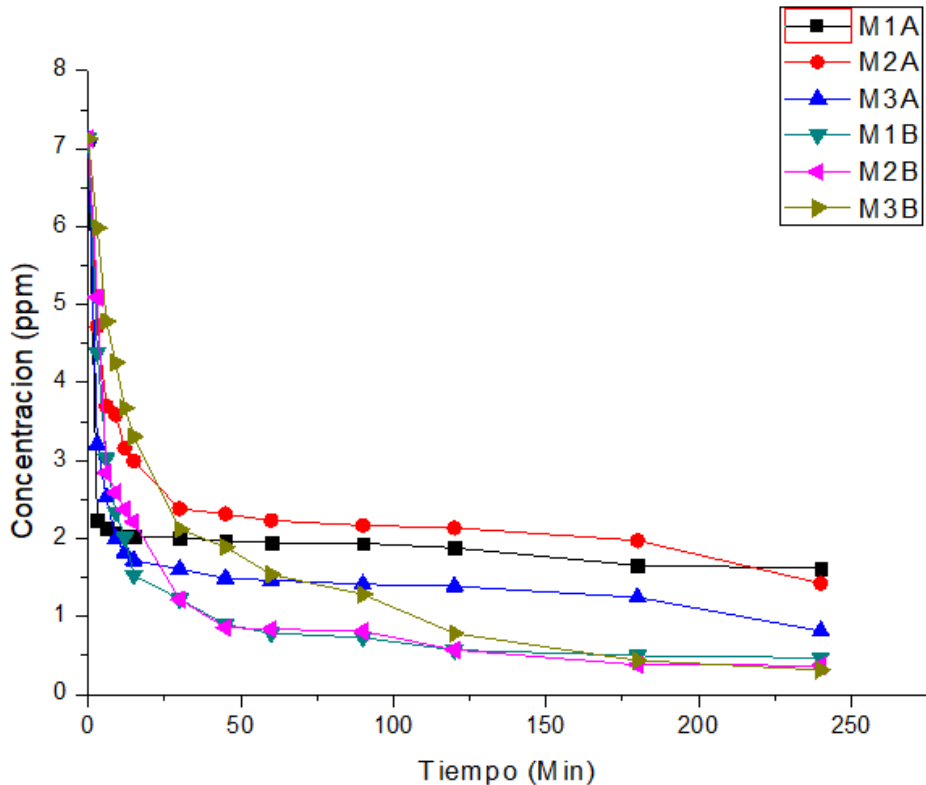
Af: Absorbancia final.

Ai: Absorbancia inicial.

### 3.6 EVALUACIÓN DE LA ACTIVIDAD FOTOCATALÍTICA

**3.6.1 Capacidad de adsorción.** En la Gráfica 2 se observó que todas las muestras tienen una capacidad de adsorción superior al 75%, lo que favoreció los procesos de degradación.

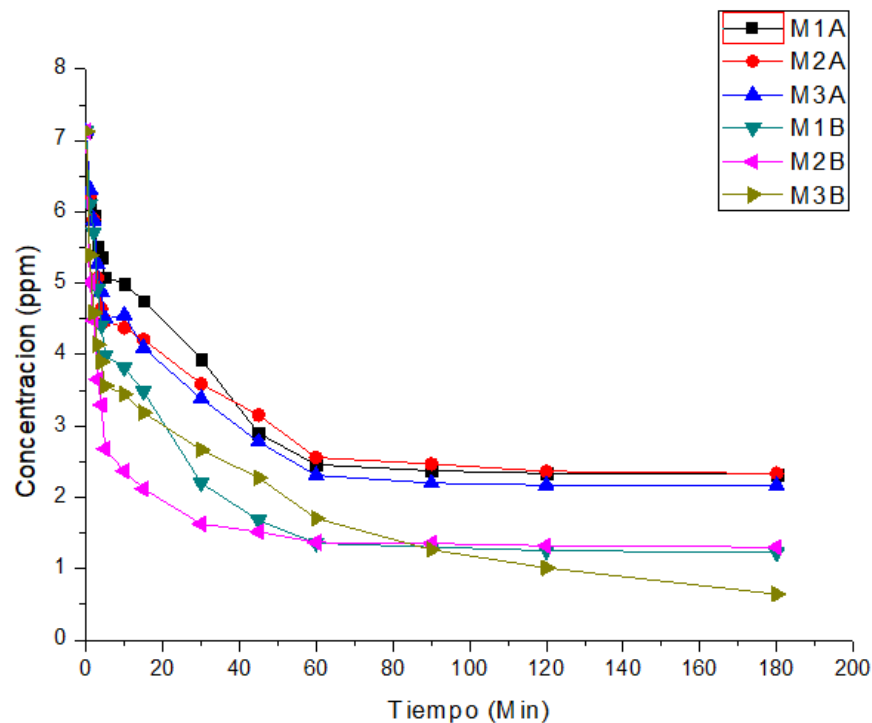
**Gráfica 2.** Prueba de adsorción para todas las muestras



Las muestras con mayor porcentaje son las del grupo B, es decir; M1B, M2B y M3B con porcentajes de adsorción de 93,41, 94,79 y 95,58% respectivamente; las cuales fueron sometidas a 630°C en la etapa de calcinación, indicando que en este proceso el desarrollo de los poros del soporte es mayor comparado con las muestras del grupo A calcinadas a 500°C. En cuanto a la cantidad de TiO<sub>2</sub> presente en el AC hay una relación inversamente proporcional, es decir, la capacidad de adsorción de los compósitos disminuye cuando la cantidad de TiO<sub>2</sub> es mayor.

**3.6.2 Desempeño fotocatalítico.** En la Gráfica 3 se presentan los resultados obtenidos de la primera prueba de degradación en la que se evaluaron las muestras empleadas en la prueba de adsorción; las cuales estuvieron sumergidas en una solución de AM de 7ppm por 4 horas. El seguimiento del proceso se realizó hasta el minuto 180 ya que después de este período la concentración varió de manera insignificante.

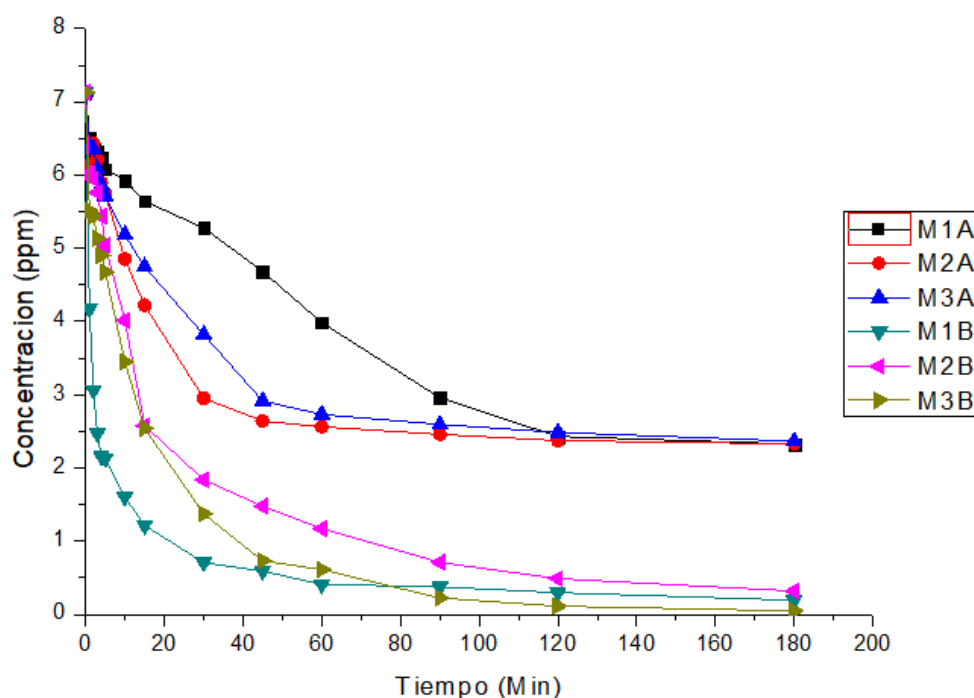
**Gráfica 3.** Prueba de fotodegradación para todas las muestras saturadas



M1A, M2A y M3A presentaron un comportamiento similar entre ellas con un porcentaje de degradación de 67,37, 67,30 y 66,84% respectivamente. Por otro lado, M1B, M2B y M3B obtuvieron los porcentajes más altos de degradación con 82,86, 81,74 y 90,97% respectivamente. Además, la temperatura de calcinación tuvo un efecto importante en esta prueba puesto que se notaron dos tendencias por parte de las muestras del grupo A calcinadas a 500°C y las del grupo B calcinadas a 630°C, dónde éstas últimas aumentaron su actividad en un 30,66% respecto a las otras.

En la Gráfica 4 se representan los resultados de la prueba de fotodegradación con muestras limpias de cada compuesto, el seguimiento se realizó de igual manera que el procedimiento anterior.

**Gráfica 4.** Prueba de fotodegradación para todas las muestras limpias

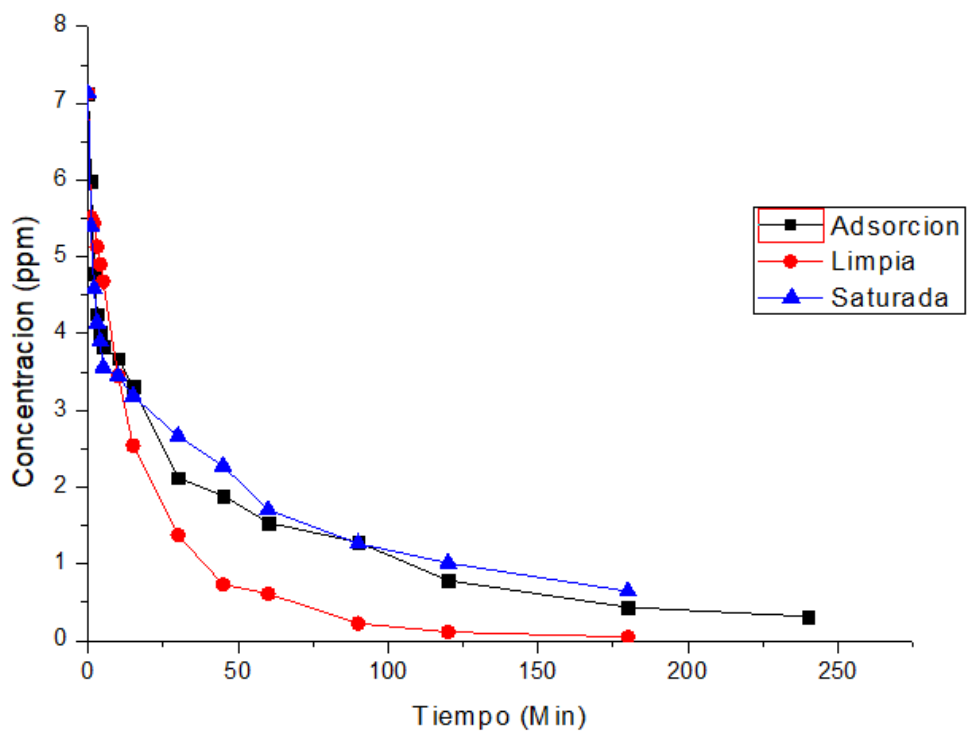


Nuevamente se observó un mejor rendimiento en la actividad fotocatalítica por parte de los fotocatalizadores calcinados a 630°C con un porcentaje promedio de 90,83% sobre un 70,23% de los calcinados a 500°C. Además, en esta última prueba se alcanzaron los porcentajes más altos de degradación ya que los poros del AC al estar libres de AM previo a su evaluación tienen una mayor capacidad de retención de éste y facilitan la interacción con el semiconductor.

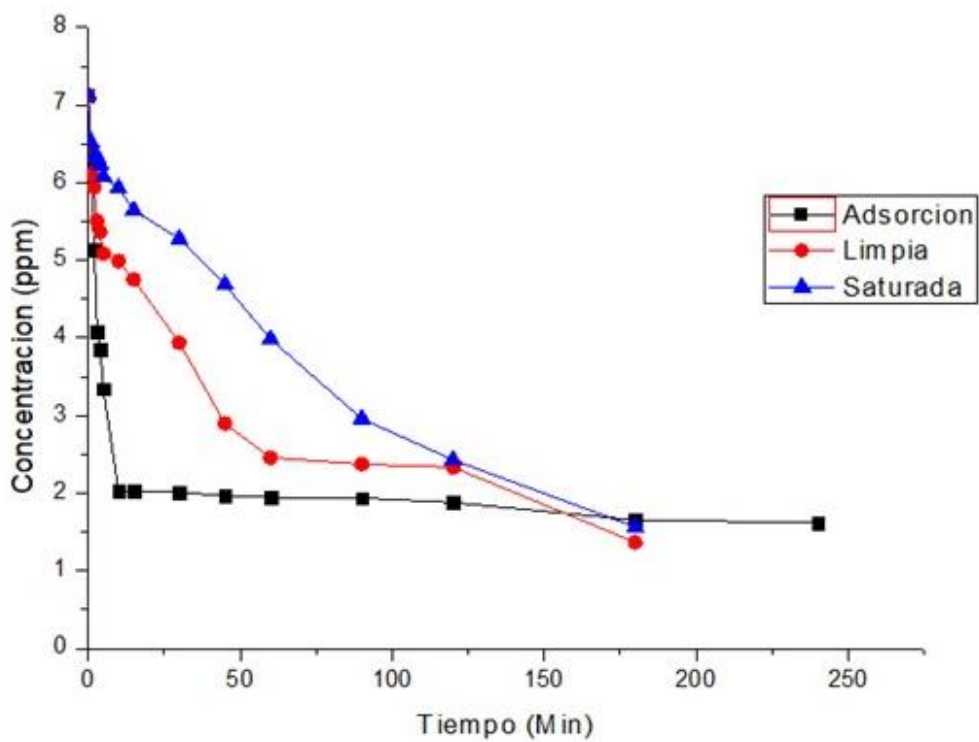
M3B fue la muestra con mejor desempeño en las pruebas de adsorción con 95,58% y fotodegradación tanto en la segunda como en la tercera prueba con porcentajes de remoción de 90,97, y 99,34% respectivamente. En la Gráfica 5 se observan los resultados de M3B.

Por otro lado, M1A fue una de las muestras con los porcentajes más bajos de adsorción y remoción en la primera y segunda prueba de AM con 67,37, 67,44 y 77,25% respectivamente. En la Gráfica 6 se observa el comportamiento de esta muestra, confirmando el efecto negativo que ocurre cuando el TiO<sub>2</sub> se encuentra en exceso sobre el soporte. Además, se puede observar que en la prueba de adsorción la concentración de AM disminuyó rápidamente hasta 2ppm aproximadamente y a partir de este valor el cambio de la concentración del AM a lo largo de la prueba no varió significativamente debido a que los sitios activos de esta muestra se saturaron con la solución.

**Gráfica 5.** Desempeño de M3B en las pruebas realizadas



**Gráfica 6.** Desempeño de M1A en las pruebas realizadas





En investigaciones realizadas anteriormente como la de JANJIRA Sivapatarnkun en su experimentación “High photocatalytic activity of F-TiO<sub>2</sub> on activated carbón”, donde se sintetizó TiO<sub>2</sub>-AC por el método sol-gel y se evaluó su desempeño fotocatalítico degradando AM en luz UV, se reportaron resultados de degradación de AM superiores al 90%.

El trabajo de grado realizado por CORTÉS Andrés y RODRÍGUEZ Karen en donde se evaluó la actividad fotocatalítica degradando AM en luz visible del TiO<sub>2</sub> sensibilizado con una base de Mannich, donde se logró desplazar notablemente la actividad fotocatalítica del Dióxido de Titanio hacia la región del visible con porcentajes de degradación de hasta el 36,45%.

Los resultados de degradación de AM obtenidos en este proyecto son superiores con los mencionados anteriormente, ya que se alcanzaron porcentajes de degradación de AM por encima del 95%. Haciendo una comparación con la investigación realizada por JANJIRA, se puede observar la cercanía en los resultados de degradación de AM. Sin embargo, cabe resaltar que la experimentación llevada a cabo en este proyecto se realizó en la región visible del espectro mientras que la descrita por JANJIRA bajo radiación UV. Además, se logró mejorar el desempeño fotocatalítico del TiO<sub>2</sub> en la región de luz visible comparado con el obtenido por CORTÉS Andrés y RODRÍGUEZ Karen.

#### 4. CONCLUSIONES

- El método de impregnación directa es una ruta sencilla, adecuada y reproducible para la obtención de compósitos de  $\text{TiO}_2/\text{AC}$  con actividad fotocatalítica para la remoción de AM.
- Soportar  $\text{TiO}_2$  sobre AC favorece los procesos de degradación al aumentar el área superficial del fotocatalizador. Esto se refleja en una mejor interacción entre contaminante y semiconductor, además desplaza la actividad fotocatalítica del  $\text{TiO}_2$  a regiones de luz visible del espectro electromagnético.
- La caracterización por microscopía electrónica de barrido permite observar la distribución de tamaños de poro del soporte, en este caso el AC y cómo el  $\text{TiO}_2$  quedó fijo sobre los sitios activos del mismo. En cuanto a difracción de rayos x, se confirmó la presencia de dos fases cristalinas del  $\text{TiO}_2$ , correspondientes a rutilo y anatasa, siendo ésta última la que permite llevar a cabo procesos de fotodegradación en luz visible.
- El compósito con una relación de 1/15 de  $\text{TiO}_2\text{-AC}$  calcinado a  $630^\circ\text{C}$  presentó el mejor desempeño en la remoción de AM con porcentajes de 95,58 y 99,34% para la segunda y tercera prueba respectivamente, debido a que a esta temperatura existe un mayor reordenamiento de las partículas del  $\text{TiO}_2$  sobre los sitios activos del AC.
- La relación entre las cantidades de  $\text{TiO}_2$  y AC es un factor importante que influye en el efecto sinérgico del compósito. Un exceso de  $\text{TiO}_2$  cubriría los poros del soporte causando una disminución en la capacidad retención de contaminantes lo que se refleja en un bajo rendimiento fotocatalítico.

## 5. RECOMENDACIONES

- Elaborar un diseño de experimentos y determinar cuáles son las variables de mayor importancia a tener en cuenta en los procesos de adsorción y degradación.
- Realizar un análisis a las aguas residuales de lavado en la preparación del fotocatalizador para determinar y cuantificar la cantidad de  $\text{TiO}_2$  que no fue fijada en el soporte.
- Llevar a cabo pruebas de análisis BET para determinar el área superficial, volumen y tamaño de poro de los carbones activados a emplear como soporte en la preparación del fotocatalizador.
- Determinar el efecto del compuesto  $\text{TiO}_2/\text{AC}$  en la remoción de contaminantes diferentes al azul de metileno.
- Controlar adecuadamente la agitación en el proceso de adsorción y fotodegradación para evitar la ruptura del carbón.
- Estudiar e investigar a profundidad la relación de la cantidad de  $\text{TiO}_2$  a impregnar para evitar excesos del mismo sobre el soporte.
- Realizar réplicas para cada una de las pruebas de adsorción y degradación evaluadas en este proyecto con el fin de validar los resultados obtenidos.

## BIBLIOGRAFÍA

ABDELOUAHAB Zinab, Catalizadores soportados en carbón activado para la oxidación total de Compuestos Orgánicos Volátiles. Universidad de Alicante. Departamento de Química Inorgánica, 2005, p. 26-29.

AHMAD,Rizwan, et al. Photocatalytic systems as an advanced environmental remediation: Recent developments, limitations and new avenues for applications. En: JOURNAL OF ENVIRONMENTAL CHEMICAL ENGINEERING, 2016. 12. Vol. 4, no. 4, Part A, p. 4143-4164.

BENITO Carlos, ALONSO Antonio, GARVI Dolores, MORÓN Carmen, LEBRATO Julián. Manual del carbón activo. Universidad de Sevilla, 2000, p. 1-89.

CARBAJO, Jaime, et al. Aplicación de la fotocatalisis solar a la degradación de contaminantes orgánicos en fase acuosa con catalizadores nanoestructurados de TiO<sub>2</sub>, 2013, p. 1-277

CARBALLO, Luis. Introducción a la catálisis heterogénea. Universidad Nacional de Colombia. Departamento de Ingeniería Química, 2002, p. 171.

CARBOTECNIA. Reactivación de Carbón Activado Granular. [En línea] <<https://www.carbotecnia.info/encyclopedia/carbon-activado-reactivacion/>> [Citado el 29 de noviembre de 2017].

CATALDO, Salvatore, et al. Combination of advanced oxidation processes and active carbons adsorption for the treatment of simulated saline wastewater. En: SEPARATION AND PURIFICATION TECHNOLOGY, 2016. vol. 171, p. 101-111.

DOMÉNECH Xavier, JARDIM Wilson, L. Marta, et al. Procesos avanzados de oxidación para la eliminación de contaminantes. En: ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES POR FOTOCATÁLISIS HETEROGÉNEA, 2001, p. 3-2.

ETACHERI, Vinodkumar, et al. Visible-light activation of TiO<sub>2</sub> photocatalysts: Advances in theory and experiments. En: JOURNAL OF PHOTOCHEMISTRY AND PHOTOBIOLOGY C: PHOTOCHEMISTRY REVIEWS, 2015. vol. 25, p. 1-29.

FARIA, J.L; SILVA A. Carbon based materials for photocatalytic solar applications in water treatment. Universidad de Porto. Departamento de ingeniería química. 2015. p. 1-3.

FU, Xiaofei, et al. The multiple roles of ethylenediamine modification at TiO<sub>2</sub>/activated carbon in determining adsorption and visible-light-driven

photoreduction of aqueous Cr(VI). En: JOURNAL OF ALLOYS AND COMPOUNDS. Mar.vol. 662, 2016, p. 165-172.

FUJISHIMA, Akira; ZHANG,Xintong y TRYK,Donald A. TiO<sub>2</sub> photocatalysis and related surface phenomena. En: SURFACE SCIENCE REPORTS, 2008. 12/15.vol. 63, no. 12, p. 515-582

GARCÉS Luis, MEJÍA Edwin, SANTAMARÍA Jorge, et al. La fotocatalisis como alternativa para el tratamiento de aguas residuales. En: REVISTA LASALLISTA DE INVESTIGACIÓN, vol 1. No. 1, 2004, p. 83-92.

GONZÁLEZ Maribel, VERNHES Marioly, SÁNCHEZ Ángel. La Radiación Ultravioleta. Su Efecto Dañino Y Consecuencias Para La Salud Humana, Theoria, 2009, p. 69-80.

INAGAKI Michio, KANG Feiyu, TOYODA Masahiro and KONNO Hidetaka. Carbon Materials in Photocatalysis. Cap 13. En: ADVANCED MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING OF CARBON. 2013, p. 293.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACIÓN. Documentación. Presentación de tesis trabajos de grado y otros trabajos de investigación. NTC 1486. Sexta actualización, Bogotá: el Instituto, 2008, p. 1

\_\_\_\_\_. Referencias bibliográficas, contenido, forma y estructura. NTC 5613. Bogotá: el Instituto, 2008, p. 12

\_\_\_\_\_. Referencias documentales para fuentes de informaciones electrónicas. NTC 4490. Bogotá: el Instituto, 1998, p.12

JANJIRA Sivapatarnkuna, KHANITTA Hathaisamitb, SAYAN Pudwata. High photocatalytic activity of F-TiO<sub>2</sub> on activated carbon. En: MATERIALS TODAY, 2016. no. 10, p. 125-126

LEDERHOS Cecilia, FÍGOLI Nora, L'ARGENTIÈRE Pablo C. Carbon como soporte de un catalizador selectivo en la hidrogenacion de 1-heptino. En: INCAPE, Instituto de Investigaciones en Catálisis y Petroquímica. Santiago del Estero, 2007, p 1-7.

LI Min et al. Synergetic effect between adsorption and photodegradation on nanostructured TiO<sub>2</sub> /activated carbon fiber felt porous composites for toluene removal. En: JOURNAL OF HAZARDOUS MATERIALS, 2017, p. 88-98.

LI PUMA, Gianluca, et al. Preparation of titanium dioxide photocatalyst loaded onto activated carbon support using chemical vapor deposition: A review paper. En: JOURNAL OF HAZARDOUS MATERIALS. Vol. 157, no. 2, 2008, p. 209-219.

LIU, X, CHEN, X. A TiO<sub>2</sub>/AC composite photocatalyst with high activity and easy separation prepared by a hydrothermal method. En: JOURNAL OF HAZARDOUS MATERIALS. Vol. 143, No. 1, 2007, p. 257-263.

MARTÍNEZ Alma. Degradación de azul de metileno y 4- clorofenol por fotocátalisis con luz ultravioleta, utilizando TiO<sub>2</sub> como catalizador. Instituto Tecnológico De Toluca, 2015.

MARTÍNEZ, María Cristina, et al. Preparación y caracterización de carbón activo a partir de lignina para su aplicación en procesos de descontaminación de aguas. Universidad Autónoma de Madrid, 2012, p. 7.

MARTINS, Alessandro C., et al. Sol-gel synthesis of new TiO<sub>2</sub>/activated carbon photocatalyst and its application for degradation of tetracycline. En: CERAMICS INTERNATIONAL. vol. 43, no. 5, 2017, p. 4411-4418

MURILLO Herman. Obtención de un composito de dióxido de titanio y carbon activado a la oxidación fotocatalítica del ión cianuro. Escuela Politécnica Nacional. Facultad de Ingeniería Química y Agroindustrial. 2015, p. 45.

NAKATA, Kazuya and FUJISHIMA, Akira. TiO<sub>2</sub> photocatalysis: Design and applications. En: JOURNAL OF PHOTOCHEMISTRY AND PHOTOBIOLOGY C: PHOTOCHEMISTRY REVIEWS. 2012, p. 169-89.

NAWIMA y ZAIN, Salmiah Md. Enhancing the surface properties of the immobilized Degussa P-25 TiO<sub>2</sub> for the efficient photocatalytic removal of methylene blue from aqueous solution. En: APPLIED SURFACE SCIENCE. Vol. 258, No. 16, 2012, p. 6148-6157.

OSPINA Viviana, BUITRAGO Robison, LÓPEZ Diana P. Preparation and characterization of activated carbon from castor de-oiled cake, 17.32 (2014), p.75-84.

OUZZINE, M., et al. Spherical activated carbon as an enhanced support for TiO<sub>2</sub>/AC photocatalysts. En: CARBON. vol. 67, 2013, p. 104

OUZZINE Mohammed, Nanoparticulas de TiO<sub>2</sub> para la oxidación fotocatalítica de propeno en fase gas a baja concentración. Universidad de Alicante, 2014, p. 193.

PARK In, CHOI Sun Young, HA Jeong, High-performance titanium dioxide photocatalyst on ordered mesoporous carbon support. En: CHEMICAL PHYSICS LETTERS, 2008, p. 198-201.

RAF Dewil, DIONISSIOS Mantzavinos, IOANNIS Poullos, et al. New perspectives for Advanced Oxidation Processes. En: JOURNAL OF ENVIRONMENTAL MANAGEMENT, 2017. vol 195, p. 93-99.

RÉTI, Balázs, et al. Carbon sphere templates for TiO<sub>2</sub> hollow structures: Preparation, characterization and photocatalytic activity. En: CATALYSIS TODAY. Apr.vol. 284, 2017, p. 160-168.

REY, Ana. Catalizadores de hierro soportado sobre carbón activo para la oxidación catalítica de fenol con peróxido de hidrógeno. Universidad Autónoma de Madrid, 2010.

ROBLES Andrade et al., Carbón activado modificado como soporte para catalizadores prototipo de hds, 2006, p. 279-84.

RODRÍGUEZ Alicia, RAMOS Luis, heterogeneous catalysis: preparation of solid catalysts (part i), Facultad de Química, Universidad de Camagüey, Cuba, Vol.31 No.2 Santiago de Cuba mayo. 2011.

SALIDO, Ezequiel M., et al. Phototransduction early steps model based on Beer-Lambert optical law. En: VISION RESEARCH.2017, vol. 131, 2017, p. 75-81.

SUHAS, P.J.M. Carrott, M.M.L. Ribeiro Carrott, Randhir Singh, L.P. Singh, Monika Chaudhary. An innovative approach to develop microporous activated carbons inoxidising atmosphere. En: JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION. 2017, p. 1-7.

TAO, Yong. Development of TiO<sub>2</sub>/activated carbon composite photocatalyst for the removal of methanol and hydrogen sulfide from paper mills. University of Florida, 2006.

V. Bello-Huitle; P. Fernández-Atenco and J.M. Ramos-Rodríguez Arana. Fabricación de carbón activado granular a partir de dos residuos agrícolas Production of granular activated carbon from two agricultural wastes. Departamento de Ingeniería Química. 2015, p. 1-5.

VELASCO Leticia, ANIA Conchi. Materiales de carbono en fotocatalisis. Instituto Nacional del Carbón. España. 2011, p. 2-6.

ZANGENEH, H., et al. Photocatalytic oxidation of organic dyes and pollutants in wastewater using different modified titanium dioxides: A comparative review. En: JOURNAL OF INDUSTRIAL AND ENGINEERING CHEMISTRY, 2015. 6/25.vol. 26, p. 1-36

## **ANEXOS**



## ANEXO A

### HOJA DE SEGURIDAD CARBÓN ACTIVADO CLARIMEX



#### CARBON ACTIVADO CLARIMEX CAGR 8 X 30


El Carbón Activado CLARIMEX CAGR es un producto de alta calidad, de origen mineral, fabricado a partir de lignita y lavado con ácido. Diseñado para cubrir las necesidades de operación en columnas de adsorción y susceptible de ser reactivado térmicamente.

Este producto por su alta eficiencia es ideal para aplicaciones de decoloración en fase líquida, también adsorbe eficientemente pesticidas y herbicidas, así como otros químicos tóxicos y precursores de trihalometanos, lo que lo hace un carbón ideal para tratamiento de agua.

El carbón CLARIMEX CAGR es ampliamente usado en la industria embotelladora debido a su alta eficiencia de decoloración. El carbón CLARIMEX CAGR cumple con los estándares de la AWWA B604.

	ESPECIFICACIONES	PROPIEDADES TÍPICAS
Humedad al empaçar, %	8 máx	4
pH	4.0 – 7.0	5.0 – 6.0
Actividad relativa de melazas, %	98 mín	102
Número de Iodo, (mg I <sub>2</sub> / g)	600 mín	660
Densidad Aparente, g / cc		0.38
Valor de Taninos (p.p.m)		220
Número de Melazas		425
Polvo %		0.30 max
Area superficial (Método N2 BET m <sup>2</sup> / g)		600
Diámetro promedio de poro, A		56
Volumen de poro, ml / g		0.93
Número de abrasión (NBS)		80
Densidad Lavado y Drenado gr/cc		0.35
Tamaño promedio de Partícula mm		1.3
GRANULOMETRIAS DISPONIBLES:		
8X30 + M 8	5 % máx.	2 %
- M 30	5 % máx.	2 %

EPT-CAGR  
07-03 R00


 Fundación Universidad de América	FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA	Código:
	PROCESO: GESTIÓN DE BIBLIOTECA	Versión 0
	Autorización para Publicación en el Repositorio Digital Institucional – Lumieres	Julio - 2016




## AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL LUMIERES

Nosotros David Alejandro Díaz Mieles y Karen Daniela Perdomo Rojas en calidad de titulares de la obra EVALUACIÓN DE LA ACTIVIDAD FOTOCATALÍTICA DEL TiO<sub>2</sub> SOPORTADO EN CARBÓN ACTIVADO PARA LA DEGRADACIÓN DE AZUL DE METILENO, elaborada en el año 2017, autorizamos al **Sistema de Bibliotecas de la Fundación Universidad América** para que incluya una copia, indexe y divulgue en el Repositorio Digital Institucional – Lumieres, la obra mencionada con el fin de facilitar los procesos de visibilidad e impacto de la misma, conforme a los derechos patrimoniales que nos corresponden y que incluyen: la reproducción, comunicación pública, distribución al público, transformación, en conformidad con la normatividad vigente sobre derechos de autor y derechos conexos (Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, entre otras).

Al respecto como Autores manifestamos conocer que:

- La autorización es de carácter no exclusiva y limitada, esto implica que la licencia tiene una vigencia, que no es perpetua y que el autor puede publicar o difundir su obra en cualquier otro medio, así como llevar a cabo cualquier tipo de acción sobre el documento.
- La autorización tendrá una vigencia de cinco años a partir del momento de la inclusión de la obra en el repositorio, prorrogable indefinidamente por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales del autor y podrá darse por terminada una vez el autor lo manifieste por escrito a la institución, con la salvedad de que la obra es difundida globalmente y cosechada por diferentes buscadores y/o repositorios en Internet, lo que no garantiza que la obra pueda ser retirada de manera inmediata de otros sistemas de información en los que se haya indexado, diferentes al Repositorio Digital Institucional – Lumieres de la Fundación Universidad América.
- La autorización de publicación comprende el formato original de la obra y todos los demás que se requiera, para su publicación en el repositorio. Igualmente, la autorización permite a la institución el cambio de soporte de la obra con fines de preservación (impreso, electrónico, digital, Internet, intranet, o cualquier otro formato conocido o por conocer).
- La autorización es gratuita y se renuncia a recibir cualquier remuneración por los usos de la obra, de acuerdo con la licencia establecida en esta autorización.
- Al firmar esta autorización, se manifiesta que la obra es original y no existe en ella ninguna violación a los derechos de autor de terceros. En caso de que el trabajo haya sido financiado por terceros, el o los autores asumen la responsabilidad del cumplimiento de los acuerdos establecidos sobre los derechos patrimoniales de la obra.
- Frente a cualquier reclamación por terceros, el o los autores serán los responsables. En ningún caso la responsabilidad será asumida por la Fundación Universidad de América.
- Con la autorización, la Universidad puede difundir la obra en índices, buscadores y otros sistemas de información que favorezcan su visibilidad.

	FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA	Código:
	PROCESO: GESTIÓN DE BIBLIOTECA	Versión 0
	Autorización para Publicación en el Repositorio Digital Institucional – Lumieres	Julio - 2016

	Atribución- no comercial- sin derivar: permite distribuir, sin fines comerciales, sin obras derivadas, con reconocimiento del autor.	<input checked="" type="checkbox"/>
	Atribución – no comercial: permite distribuir, crear obras derivadas, sin fines comerciales con reconocimiento del autor.	<input type="checkbox"/>
	Atribución – no comercial – compartir igual: permite distribuir, modificar, crear obras derivadas, sin fines económicos, siempre y cuando las obras derivadas estén licenciadas de la misma forma.	<input type="checkbox"/>

Licencias completas: [http://co.creativecommons.org/?page\\_id=13](http://co.creativecommons.org/?page_id=13)

Siempre y cuando se haga alusión de alguna parte o nota del trabajo, se debe tener en cuenta la correspondiente citación bibliográfica para darle crédito al trabajo y a sus autores.

De igual forma como autores autorizamos la consulta de los medios físicos del presente trabajo de grado así:

AUTORIZAMOS	SI	NO
La consulta física (sólo en las instalaciones de la Biblioteca) del CD-ROM y/o Impreso	X	
La reproducción por cualquier formato conocido o por conocer para efectos de preservación	X	

Información Confidencial: este Trabajo de Grado contiene información privilegiada, estratégica o secreta o se ha pedido su confidencialidad por parte del tercero, sobre quien se desarrolló la investigación. En caso afirmativo expresamente indicaremos, en carta adjunta, tal situación con el fin de que se respete la restricción de acceso.	SI	NO
		X

Para constancia se firma el presente documento en Bogotá D.C, a los 12 días del mes de febrero del año 2018.

#### LOS AUTORES:

##### Autor 1

<b>Nombres</b>	<b>Apellidos</b>
David Alejandro	Díaz Mieles
<b>Documento de identificación No</b>	<b>Firma</b>
1014259780	

##### Autor 2

<b>Nombres</b>	<b>Apellidos</b>
Karen Daniela	Perdomo Rojas
<b>Documento de identificación No</b>	<b>Firma</b>
1075285217	