

EVALUACION DEL EFECTO DE LA TEMPERATURA DE CALCINACION DE LA  
ILMENITA SOBRE LA ACIVIDAD MICROBIANA EN PRESENCIA DE LUZ  
VISIBLE

PAOLA ANDREA SUAREZ BUSTOS

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA  
BOGOTÁ D. C.  
2017

EVALUACION DEL EFECTO DE LA TEMPERATURA DE CALCINACION DE LA  
ILMENITA SOBRE LA ACIVIDAD MICROBIANA EN PRESENCIA DE LUZ  
VISIBLE

PAOLA ANDREA SUAREZ BUSTOS

Proyecto integral de grado para optar el título de  
INGENIERO QUÍMICO

Director  
Dr. Sc. César Augusto Quiñones Segura

Codirector  
Mg. Adriana Inés Páez

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA  
BOGOTÁ D. C.  
2017

Nota de aceptación

---

---

---

---

---

---

---

Firma del presidente del jurado

---

Firma del jurado

---

Firma del jurado

Bogotá D. C. Agosto de 2017

## **DIRECTIVAS**

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**

Decano General de la Facultad de Ingenierías

**Ing. JULIO CÉSAR FUENTES ARISMENDI**

Director de Investigaciones

**Ing. ARMANDO FERNÁNDEZ CÁRDENAS**

Director del Departamento 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 la autora.

A mi Mama dedico cada uno de mis logros, con quien he formado un equipo lleno de amor, admiración y apoyo mutuo. Gracias por enseñarme que aunque el camino sea difícil, con perseverancia y esfuerzo siempre se puede llegar.

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi director, Dr. Sc. César Augusto Quiñones Segura, quien me apoyo durante gran parte de mi carrera, son invaluablees todas las enseñanzas que me llevo para mi vida profesional y para mi futuro.

A la profesora Adriana Inés Páez Morales, quien brindo el conocimiento y los materiales microbiológicos necesarios para el desarrollo de este proyecto de grado. A mi grupo de investigación Materiales Fotoactivos, en donde aprendí a trabajar en equipo para llegar a un objetivo común, a mis compañeros de Ingeniería Mecánica quienes fueron un apoyo fundamental para esta investigación.

A Dios y la vida, por permitirme haber estudiado Ingeniería Química y cumplir uno de mis mayores sueños. A mis Papas, que aun sabiendo que no existirá una forma de agradecer toda una vida de sacrificio y de esfuerzos, siempre serán mi inspiración, este logro es de ustedes, los admiro, los respeto y los amo.

## CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	15
OBJETIVOS	16
1. FUNDAMENTOS TEORICOS	17
1.1 FOTOCATÁLISIS HETEROGÉNEA	17
1.1.1 Fotocatálisis para la desinfección	17
1.1 PROCESOS DE OXIDACION AVANZADA	18
1.2 SEMICONDUCTOR	18
1.3 ILMENITA	19
1.4.1 Ilmenita modificada térmicamente	19
1.4 1.4 SOPORTE DE CATALIZADOR	19
1.5.1 Poliestireno	20
1.5.2 Poliestireno de Alto impacto	20
1.6 <i>E.coli</i>	20
1.7 RECUENTO EN PLACA	21
1.8 PATRON DE MC FARLAND	21
2. DESARROLLO EXPERIMENTAL	23
2.1 MODIFICACION ILMENITA	23
2.1.1 Tamizado.	23
2.1.2 Ilmenita modificada químicamente	24
2.1.3 Ilmenita modificada térmicamente	25
2.2 ELABORACIÓN DE PELICULAS	25
2.2.1 Soporte de ilmenita en poliestireno	26
2.2.2 Método de Adhesión	26
2.3 EVALUACIÓN DE LA DEGRADACIÓN DE AZUL DE METILENO	27
2.4.1 Evaluación de la degradación de azul de metileno con ilmenita modificada	27
2.3 CONSTRUCCION DEL FOTOREACTOR	29
2.5.1 Diseño del fotoreactor	29
2.4 EVALUACIÓN MICROBIOLÓGICA:	30
3. RESULTADOS Y DISCUSIONES	33
3.1 DEGRADACIÓN DE AZUL DE METILENO	33
3.2 CARACTERIZACIÓN DE ILMENITA	39
3.2.1 Caracterización estructural	39
3.2.2 Caracterización morfológica	39
3.3 EVALUACIÓN DE LA DEGRADACION MICROBIOLÓGICA	40
3.3.1 Fotoreactor para la evaluación de la degradación microbiónológica	40
3.2.2 Seguimiento de la temperatura en el fotoreactor	41



3.2.3 Disposición de la luz	41
3.2.3 Conteo de microorganismos	42
3.3 EFECTIVIDAD DE LAS PELICULAS EN LA DEGRADACION DE <i>E.COLI</i>	42
4. CONCLUSIONES	47
5. RECOMENDACIONES	48
BIBLIOGRAFIA	49
ANEXOS	54

## LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Fotocatálisis heterogénea	17
Figura 2. Esquematización la estructura del género	21
Figura 3. Tamices referencia Endecotis Ltda	23
Figura 4. Modificación de la ilmenita con Ácido Sulfúrico	24
Figura 5. Método de Adhesión	26
Figura 6. Protocolo para la evaluación de azul de metileno	28
Figura 7. Vista general 3D del reactor	29
Figura 8. Vista frontal del reactor	30
Figura 9. Vista de la base del reactor	30
Figura 10. Comparación de turbidez entre el estándar de McFarland 0,5, Con la suspensión de E.coli en solución salina	31
Figura 11. Protocolo microbiológico	32
Figura 12. Caracterización por rayos X	39
Figura 13. Caracterización Morfológica	40
Figura 14. Interior del Fotoreactor	41

## LISTA DE GRAFICAS

	<b>pág.</b>
Grafica 1. Curva de calibración de azul de metileno	27
Grafica 2. Ilmenita modificada VIS	33
Grafica 3. Ilmenita con modificación térmica VIS	34
Grafica 4. Ilmenita modificada química y térmicamente UV	35
Grafica 5. Ilmenita modificada térmicamente UV	36
Grafica 6. T=600 °C VS T=650°C	38
Grafica 7. Evaluación del efecto de la temperatura en la degradación de E.coli	42

## LISTA DE ANEXOS

	pág.
<b>ANEXO A.</b> Degradación de azul de metileno, ilmenita modificada con ácido sulfúrico (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ), a diferentes temperaturas de calcinación en presencia de luz visible	55
<b>ANEXO B.</b> Degradación de azul de metileno, ilmenita sin modificar con ácido sulfúrico (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ), a diferentes temperaturas de calcinación en presencia de luz visible	61
<b>ANEXO C.</b> Degradación de azul de metileno, tabla de resultados de ilmenita modificada con ácido sulfúrico (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ), a diferentes temperaturas de calcinación, en presencia de luz UV	67
<b>ANEXO D.</b> Degradación de azul de metileno, tabla de resultados de ilmenita sin modificar con ácido sulfúrico (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ), a diferentes temperaturas de calcinación, en presencia de luz UV	69
<b>ANEXO E.</b> Degradación de azul de metileno, ilmenita modificada con ácido sulfúrico (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ) y sin calcinar	71
<b>ANEXO F.</b> Degradación de azul de metileno, ilmenita sin modificar con ácido sulfúrico (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ) y sin calcinar	74
<b>ANEXO G.</b> Ficha técnica – Poliestireno de alto impacto	77
<b>ANEXO H:</b> Planos fotoreactor	78

## GLOSARIO

**BANDA DE CONDUCCION:** es la gama más baja de estados electrónicos, esta banda se encuentra vacía.

**BANDA DE VALENCIA:** es la banda con niveles superiores energéticos, normalmente los electrones se encuentran a temperatura cero absoluto.

**BAND GAP:** es la energía necesaria para mover un electrón de la banda de valencia a la banda de conducción.

**DIFRACCION DE RAYOS X (DRX):** técnica para el análisis cualitativo y cuantitativo de fases cristalinas de un material, consiste en hacer pasar un haz de rayos X a través de un cristal, el cual genera un patrón que puede interpretarse según la ubicación de los átomos.

**ESPECTRO VISIBLE:** región del espectro electromagnético que es visible para el ojo humano, se encuentra entre 400 y 700 nanómetros, en este intervalo el sol presenta su máxima emisión.

**ILMENITA:** mineral cuya fórmula es  $ATiO_3$ , donde A puede ser Hierro, Cobalto o Níquel. Es conocido como un material inorgánico funcional con amplias aplicaciones en Materiales electrónicos

**MICROSCOPIA ELECTRONICA DE BARRIDO:** técnica de caracterización, la cual sustituye un haz de luz por un haz de electrones permitiendo enfocar los rayos catódicos (electrones) y obtener una imagen tridimensional de materiales.

**PROCESOS DE OXIDACIÓN AVANZADAS:** también conocidos como PAO's, son todos aquellos procesos en donde se genera la formación de radicales hidroxilo, los cuales tienen la capacidad de oxidar compuestos orgánicos debido a la generación de radicales orgánicos libres desencadenando una serie de reacciones de degradación oxidativa.

**RECuento EN PLACA:** es el método usado con más frecuencia para la medición de diversidad microbiana a través de la morfología de las colonias, las cuales son cuantificadas bajo el término de Unidades Formadoras.

**SEMICONDUCTOR:** material cuyo valor de conductividad eléctrico se encuentra en medio de los aislantes y los metales.

## RESUMEN

En el grupo de materiales fotoactivos, se estudia la forma de mejorar las condiciones de proceso de la fotocatalisis heterogénea, ya que es una de las tecnológicas más estudiadas y más innovadoras de la época. En esta investigación se elaboraron películas de ilmenita soportada en poliestireno de alto impacto por el método de adhesión, la cual fue sometida a modificación con  $H_2SO_4$  y a diferentes temperaturas de calcinación.

Se evaluaron que las películas fueran efectivas en la remoción de azul de metileno para posteriormente usarlas en la degradación microbiológica, después de establecer condiciones presentes en los fundamentos teóricos, se logró una remoción del 73,3% de azul de metileno en 215 minutos a partir de ilmenita modificada térmicamente a  $650^{\circ}C$ . Posteriormente se empleó el estándar de McFarland, en donde se estimó una concentración inicial de  $10^8$ , la cual fue expuesta en un Fotoreactor a luz visible junto con una película de Ilmenita soportada en poliestireno durante 9 horas en donde se observó mediante un recuento en placa que la ilmenita soportada en poliestireno no es eficaz en la degradación microbiológica a través del tiempo.

PALABRAS CLAVE: *E.coli*, FOTOCATÁLISIS HETEROGÉNEA, ILMENITA, LUZ VISIBLE, POLIESTIRENO.

## INTRODUCCIÓN

En el mundo al menos 1800 millones de personas se abastecen de una fuente de agua potable que está contaminada por heces<sup>1</sup>, la cual es la responsable de transmitir microorganismos que generan enfermedades como, diarrea, cólera, disentería, fiebre, entre otras, causando más de 502000 muertes al año junto con un gran porcentaje de personas infectadas, de las cuales, algunas son asintomáticas, es decir, que no mostraran síntomas hasta después de un tiempo, el cual es diferente para cada agente patógeno, las características demográficas y la prevalencia de inmunidad de la persona infectada. Lo que contribuye a la propagación secundaria de agentes patógenos.

En términos generales, el mayor riesgo microbiano del agua es derivado por la contaminación de excremento humano o animal, debido a que allí se alojan microorganismos patógenos, como la bacteria *E.coli*, que aunque esté presente en la microflora intestinal de los humanos y animales de manera natural, cierto serotipo como lo es la *E.coli* enterohemorrágica (ECEH) es capaz de desarrollar el síndrome (SHU) que sin un correcto tratamiento puede ser mortal; Por esta razón La bacteria *E.coli* es usada como indicador de contaminación fecal, ya que su detección nos alerta sobre la presencia de bacterias coliformes termotolerantes, causantes de las enfermedades nombradas anteriormente; El problema de la calidad microbiológica del agua radica en la variación rápida y en gran medida, produciendo mayor concentración de agentes patógenos que pueden aumentar considerablemente el riesgo de enfermedades y desencadenar brotes en la población.<sup>2</sup>

En Colombia, Según OPS-OMS en el 2012 la mortalidad por enfermedad diarreica aguda ocupa uno de los primeros lugares en la mortalidad de los menores de 5 años especialmente en los municipios con mayor proporción de necesidades básicas insatisfechas y mala calidad de agua para consumo humano<sup>3</sup>, se calcula que actualmente la tasa de mortalidad es de 8,79 x 1 000 000 de habitantes menores de 5 años por causa de la enfermedad diarreica aguda (EDA), causada por agentes microbiológicos presentes en el agua.<sup>3</sup>

---

<sup>1</sup>OMS. Calidad Del agua. Guías De la OMS Para La calidad del agua [en línea]. Noviembre 2016 [Citado el 13 Septiembre de 2016]. Disponible en <<http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs391/es/>>

<sup>2</sup>BES .Epidemiología. Cumplimiento en la notificación semana epidemiológica [en línea]. Marzo 2015 [Citado el 11 Septiembre de 2016]. Disponible en <http://www.ins.gov.co/lineas-de-accion/Subdireccion-Vigilancia/Informe%20de%20Evento%20Epidemiologico/EDA%202012.pdf>>

<sup>3</sup>OMS-OPS. Agua potable. Informe Del Evento Mortalidad Por Enfermedad Diarreica Aguda En Menores De Cinco Años, y Morbilidad En Todos Los Grupos De Edad, (proceso vigilancia y control en salud pública) [en línea]. Septiembre 2012 [Citado el 11 Septiembre de 2016]. Disponible en <<http://www.ins.gov.co/lineasdeaccion/SubdireccioVigilancia/Informe%20de%20Evento%20Epidemiologico/EDA%202012.pdf>>

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Evaluar el efecto de la temperatura de calcinación de la Ilmenita sobre la actividad microbiana en presencia de luz visible.

### **OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Modificar la ilmenita variando la temperatura de calcinación
- Caracterizar la ilmenita morfológicamente por medio del método SEM y estructuralmente por medio del método DRX.
- Evaluar la actividad antimicrobiana de la ilmenita modificada a diferentes temperaturas de calcinación sobre la bacteria *E.coli*, por medio del método conteo en placa.

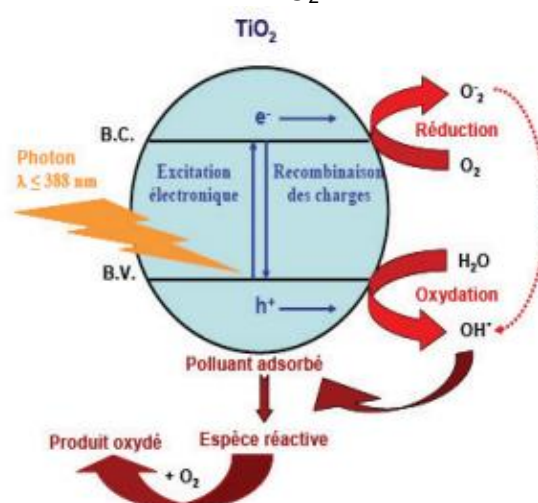


# 1. FUNDAMENTOS TEORICOS

## 1.1 FOTOCATÁLISIS HETEROGÉNEA

Se basa en la generación de radicales hidroxilo por medio de las reacciones de óxido-reducción que suceden en la superficie de un material fotocatalítico, el cual puede estar en forma de suspensión o inmovilizado sobre algún soporte para evitar una posterior etapa de separación, debido a la acción de la luz UV o luz visible y la presencia de un agente oxidante la región interfacial, entre el sólido excitado y la solución, tienen lugar las reacciones de destrucción de los contaminantes, sin que el fotocatalizador sufra cambios químicos.<sup>4</sup>

Figura 1. Fotocatálisis heterogénea en la partícula de  $\text{TiO}_2$



El semiconductor más utilizado es el dióxido de titanio en las fases Anatasa y Rutilo, debido a su fotoestabilidad, su bajo costo, resistencia a la corrosión química y ausencia de toxicidad a la hora de ser ingerido, debido a sus características propias, puede aprovechar los rayos ultravioleta naturales. Al contrario que otras partículas semiconductoras que hacen uso de fracciones más grandes del espectro solar, el  $\text{TiO}_2$  no se degrada.<sup>5</sup>

**1.1.1 Fotocatálisis para la desinfección.** Actualmente los métodos de desinfección más usados para tratar el agua contaminada, son el Cloro gaseoso ( $\text{Cl}_2$ ), el hipoclorito de sodio ( $\text{NaClO}$ ) dióxido de cloro ( $\text{ClO}_2$ ), el ozono ( $\text{O}_3$ ), radiación ultravioleta, irradiación con rayos  $\gamma$ , entre otros métodos. Sin embargo la

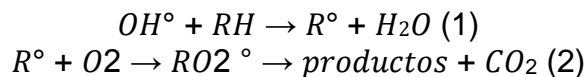
<sup>4</sup> HINCAPIE, Gina. Fotocatálisis Heterogénea y Foto-Fenton Aplicadas al Tratamiento de Aguas de Lavado de la Producción de Biodiesel. En: Información Tecnológica. Octubre, 2011, Vol. 22, p.36-42

<sup>5</sup> YASMINA, Mokhib. Treatment Heterogeneous Photocatalysis Factors Influencing the Photocatalytic Degradation by  $\text{TiO}_2$  Energy Procedia. En: Technologies and Materials for Renewable Energy, Environment and Sustainability. Agosto, 2014, Vol.50, p.559-566.

fotocatálisis ha jugado un papel importante como método innovador para la descontaminación de agentes orgánicos, en este caso, bacterias en donde su mecanismo de desinfección se basa en la absorción de la radiación por las proteínas, y por los ácidos nucleicos (RNA y DNA) de un dado microorganismo. La absorción de altas dosis de UV por las proteínas presentes en las membranas celulares lleva a la ruptura de esas membranas y, consecuentemente, a la muerte de la célula. En cambio, la absorción de bajas dosis de UV por el DNA puede interrumpir la capacidad del microorganismo de reproducirse, impidiéndole infectar el medio y seguir siendo causa de enfermedades.<sup>6</sup>

## 1.1 PROCESOS DE OXIDACION AVANZADA

Los procesos de oxidación avanzada (POA) suelen ser efectivos en la desinfección de aguas residuales por la inactivación de bacterias y virus en pequeña o mediana escala<sup>7</sup>. Actualmente suelen ser usados como una de las tecnologías más utilizadas para el tratamiento de aguas residuales con productos orgánicos, entre sus ventajas se encuentra su fácil adquisición ya que diversos minerales que se emplean en este proceso se encuentran en la naturaleza, a continuación se presentan la oxidación que se genera debido a la abstracción del hidrogeno que al generar un radical libre reacciona con el oxígeno molecular para formar peroxiradicales<sup>8</sup>:



## 1.2 SEMICONDUCTOR

Son elementos que tienen propiedades eléctricas intermediarias entre los buenos conductores metálicos y los buenos aislantes<sup>9</sup>. Su conductividad varía dependiendo del campo eléctrico o magnético, la temperatura o la radiación incidente. Los semiconductores más utilizados en fotocátalisis heterogénea son sólidos, principalmente elementos, como el Silicio, el Germanio y el Selenio en donde sus átomos constituyen una red tridimensional infinita.<sup>10</sup>

<sup>6</sup>BOLSON, J.R. Light compendium-ultraviolet: principles and applications. En: US.EPA Newsteller.Octubre, 1999, Vol. 22, p.9-37.

<sup>7</sup> DOMENECH Xavier, JARDIM Wilson y LITTER Marta. Procesos avanzados de oxidación para la eliminación de contaminantes. En: Red CYTED VIII-G. Eliminación de contaminantes por fotocátalisis heterogénea. 1 ed. Buenos Aires: Blesa. 2001. p. 5

<sup>8</sup>GARCES Fernando, MEJIA Edwin y SANTAMARIA Jorge. La fotocátalisis como alternativa para el tratamiento de aguas residuales. En: Revista Lasallista de Investigación. vol.1,no.1, p. 8

<sup>9</sup> PORTIS, Alan. Electrónica de semiconductores. 2 ed. California: Reverte S.A, 2009, p.3

<sup>10</sup> HUANG, C. Advanced chemical oxidation: It's present role and potential future in hazardous waste treatment. En: Journal of Waste Management. Julio, 2003, vol. 13, p.361-377

### 1.3 ILMENITA

Es un mineral que se concentra en arenas de ríos y playas, el cual se forma originalmente en magmas, y se descompone luego por la meteorización. Está compuesto principalmente por óxido de titanio y hierro ( $\text{FeTiO}_3$ ), junto con otros elementos, razón por la cual debe someterse a un complicado tratamiento de pulverización, en donde, primero se separa la magnetita (un tipo de mineral magnético) usando un imán muy potente; al retirarlo es necesario remover otros elementos adheridos mediante ácidos sulfúrico, clorhídrico y nítrico. Así se purifica y se adquiere un alto contenido de dióxido de titanio y óxido de hierro. La ilmenita tiene una gravedad específica de 4,5-5, forma una estructura trigonal y romboedrales<sup>11</sup> y sus partículas tienen diámetros entre 0,1 y 0,2 mm<sup>12</sup>. En el cuadro 1 se muestran las propiedades físicas y químicas más relevantes del mineral.

Cuadro 1. Propiedades físicas y químicas de la ilmenita

Propiedad	Característica
Dureza	5,5 - 6
Densidad	4,7 g/cm <sup>3</sup>
Color	Negro
Brillo	Metálico
Ópticas	Opaco
Solubilidad	Ácido Sulfúrico

Fuente: MATÍAS, Diógenes. Ilmenita.

Distribuidores de ilmenita [en línea]. Disponible en <<http://distribuidoresdeilmenita.com/>> [citado el 01 de abril de 2017]

**1.4.1 Ilmenita modificada térmicamente.** El incremento de la temperatura de calcinación generalmente conduce al aumento del radio de poro promedio, al aumentar la temperatura de calcinación los grupos hidroxilos de la estructura presentes son retirados, alterando la estabilidad del material e induciendo al reordenamiento del mismo debido al colapso de la estructura micro porosa.<sup>13</sup>

#### 1.4 1.4 SOPORTE DE CATALIZADOR

La forma más común disponer la ilmenita como catalizador es soportarla sobre un sustrato, entre los más usados, se encuentra el vidrio, cerámicos, polímeros y

<sup>11</sup>AMETHYST GALLERIES: MINERAL GALLERY. The Mineral Ilmenite [Enlínea].Disponible en: <http://www.galleries.com/Ilmenite> [citado el 26 de marzo de 2017]

<sup>12</sup>MATÍAS, Diógenes. Ilmenita. Distribuidores de ilmenita [en línea]. Disponible en <<http://distribuidoresdeilmenita.com/>> [citado el 01 de abril de 2017]

<sup>13</sup> TORRES, Juan, *et al.* Effect of calcination temperature on the textural and structural properties of Fe (III)-TiO<sub>2</sub>. En: Revista de facultad de ciencias. Septiembre, 2014, vol.10 , no.2, p.186-195

metales.<sup>14</sup>La mayor ventaja de usar el catalizador soportado es evitar la filtración al final del proceso, el cual genera pérdidas del mismo.<sup>15</sup>

**1.5.1 Poliestireno.** Es un termoplástico amorfo, también conocido químicamente como polivinilbenceno, los grupos bencénicos característicos de este polímero quedan distribuidos aleatoriamente a lo largo de la cadena polimérica, su monómero tiene una gran tendencia a reaccionar consigo mismo y polimerizar, incluso a temperatura ambiente cuando se somete a radiaciones luminosas o entra en contacto con el oxígeno del aire. El poliestireno presenta una buena resistencia química a bases, ácidos, alcoholes, grasas y aceites. No resiste a los hidrocarburos (normales o halogenados), ésteres ni cetonas.<sup>16</sup>

**1.5.2 Poliestireno de Alto impacto.** El poliestireno de alto impacto es un sistema compuesto por dos fases, una fase poliestireno dura, cohesionada y una segunda fase de partículas de caucho fina uniformemente repartidas en el seno de la primera. Es un termoplástico amorfo, que presenta mayor absorción de agua que el poliestireno convencional, su fabricación se puede realizar como copolímero de estireno y butadieno (SB), o bien como una mezcla física de poliestireno y caucho, es por esta razón que se pierde el carácter transparente, adquiriendo cierta turbidez e incluso llega a ser opaco.<sup>17</sup>

## **1.6 *E.coli***

La bacteria *Escherichia coli*, se compone de bacilos gramnegativos, siendo el principal anaerobio facultativo que habita en el Intestino de humanos y animales de sangre caliente<sup>18</sup> el organismo se considera generalmente inocuo, aunque algunas cepas desarrollan la capacidad de inducir infecciones extra intestinales en humanos y animales, gracias al mecanismo de adhesión y colonización en las células eucariotas, que al generar toxinas, produce un cuadro clínico de enfermedad.<sup>19</sup> Las infecciones causadas por *E.coli* patógena intestinal están relacionadas con el consumo de alimentos y agua contaminada<sup>20</sup> Aunque en la mayoría de los casos

---

<sup>14</sup>DELGADO, Carol. Revisión del estado tecnológico de los reactores fotocatalíticos para la descontaminación de agua. Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Químico. Cali: Universidad del Valle .Facultad de Ingenierías.2014

<sup>15</sup>RAMÍREZ, Yazmin. Diseño, construcción y puesta en marcha de un reactor tubular fotocatalítico (uv-a) para la degradación de desechos químicos orgánicos. Trabajo de grado para optar al título de Químico Industrial .Pereira: Universidad tecnológica de Pereira. Facultad de tecnología. 2013

<sup>16</sup>PARRES, Francisco. Investigación de las variables limitantes en la recuperación de residuos de poliestireno procedentes del sector envase. Trabajo de grado para optar al título de Doctor. Valencia: Universidad politécnica de valencia. Departamento de ingeniería mecánica y de materiales. 2005. p. 13-18

<sup>17</sup>Ibid., p. 38-39

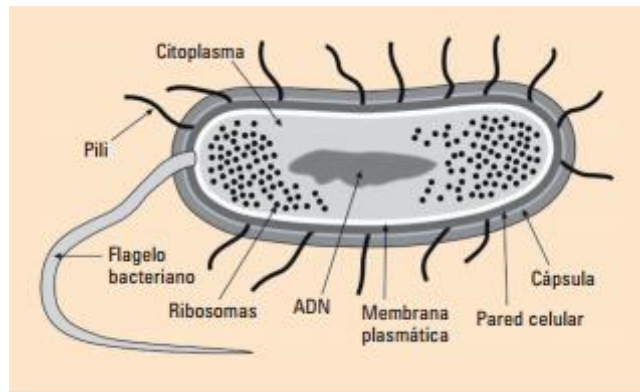
<sup>18</sup>GOMES,Tania, *et al.* Diarrheagenic *Escherichia coli*: Brazilian . En: Journal of Microbiology. Diciembre, 2016, vol. 47,p. 3-30

<sup>19</sup>POOLMAN, Jan. *Escherichia coli*. En: Reference Module in Biomedical Sciences encyclopedia of Microbiology, Octubre ,2016,ed.3, p.585-593

<sup>20</sup>YANG, Xianqin, WANG, Hui. Pathogenic *E. coli* (Introduction).En: Encyclopedia of Food Microbiology, Agosto, 2014, ed.2, p. 695–701

remite espontáneamente, la enfermedad puede llegar a poner en peligro la vida, por ejemplo cuando da lugar al síndrome hemolítico urémico, especialmente en niños pequeños y ancianos.<sup>21</sup> E.Coli pertenece a la familia Enterobacteriaceae por lo general sus medidas varían entre, 1-3  $\mu\text{m}$  de largo y 0,5  $\mu\text{m}$  de diámetro.

Figura 2. Esquematización la estructura del género Enterobacteriaceae.



Fuente: PUERTA, A, MATEOS, F. Enterobacterias, En: Medicine Unidad de Enfermedades Infecciosas. Medicine.2010, vol.10, p. 3426-3431

Estas bacterias pueden ser móviles (la mayoría) o inmóviles, la mayor parte de ellas fermentan la lactosa y son capaces de producir Indol a partir de triptófano<sup>22</sup>

## 1.7 RECUESTO EN PLACA

Para identificar y cuantificar las bacterias presentes en una muestra de agua es aconsejable realizar un análisis microbiológico de recuento de placa o recuento estándar en placa, ya que nos permite visualizar solo las células viables, a diferencia de otros métodos como el conteo en peso seco o en contraste con conteo microscópico. El método de conteo en placa permite valorar la diversidad microbiana a través de la morfología de las colonias, las cuales pueden surgir en pares, grupos o células unidas, razón por la cual, se cuantifican bajo el término de Unidades formadoras de colonias.

## 1.8 PATRON DE MC FARLAND

Es un patrón de turbidez importante en la preparación de suspensiones de microorganismos<sup>23</sup>, se puede preparar a partir de una mezcla entre una solución de bario deshidratado y ácido sulfúrico, la cual se conserva en tubos de prueba a

<sup>21</sup>OMS. *Escherichia coli*. Temas de salud [en línea]. Septiembre 2015 [Citado el 13 Febrero de 2017]. Disponible en < [http://www.who.int/topics/escherichia\\_coli\\_infections/es/](http://www.who.int/topics/escherichia_coli_infections/es/)>

<sup>22</sup> PUERTA, A, MATEOS, F. Enterobacterias, En: Medicine Unidad de Enfermedades Infecciosas. Medicine.2010, vol.10, p. 3426-3431

<sup>23</sup> BECTON, McFarland Turbidity Standard No. 0,5. Dickinson and Company, 2002 .8808421JAA

temperatura ambiente entre 22°C y 25°C; la composición de la turbidez del patrón Mc Farland varían de acuerdo a la densidad de bacterias<sup>24</sup>, como se muestra en el cuadro 2.

Cuadro 2. Composición de la turbidez estándar de Mc Farland

Número de la turbidez estándar	Cloruro de bario dihidratado (1,175%)	Ácido sulfúrico (1%)	Densidad de bacterias aproximada correspondiente
0,5	0,5 mL	99,5 mL	1 x 10 <sup>8</sup>
1	0,1 mL	9,9 mL	3 x 10 <sup>8</sup>
2	0,2 mL	9,8 mL	6 x 10 <sup>8</sup>
3	0,3 mL	9,7 mL	9 x 10 <sup>8</sup>
4	0,4 mL	9,6 mL	12 x 10 <sup>8</sup>
5	0,5 mL	9,5 mL	15 x 10 <sup>8</sup>
6	0,6 mL	9,4 mL	18 x 10 <sup>8</sup>
7	0,7 mL	9,3 mL	21 x 10 <sup>8</sup>
8	0,8 mL	9,2 mL	24 x 10 <sup>8</sup>
9	0,9 mL	9,1 mL	27 x 10 <sup>8</sup>
10	1,0 mL	9,0 mL	30 x 10 <sup>8</sup>

Fuente: CDC-OMS, medios reactivos y control de calidad, En: Medicina & Laboratorio, 2009, vol.15, p.558

<sup>24</sup> CDC-OMS, medios reactivos y control de calidad, En: Medicina & Laboratorio, 2009, vol.15, p.558

## 2. DESARROLLO EXPERIMENTAL

### 2.1 MODIFICACION ILMENITA

**2.1.1 Tamizado.** Mediante los tamices que se observan en la figura 5, la ilmenita fue separada por tamaño de partícula, con el fin de retirar impurezas y lograr uniformidad en el catalizador a la hora de elaborar las películas.

Figura 3. Tamices referencia Endecotis Ltda.  
Regidos bajo la Norma ASTM-E- 11



Los tamices fueron seleccionados en el siguiente orden: 40, 60, 80, 100, 120, 140,170.

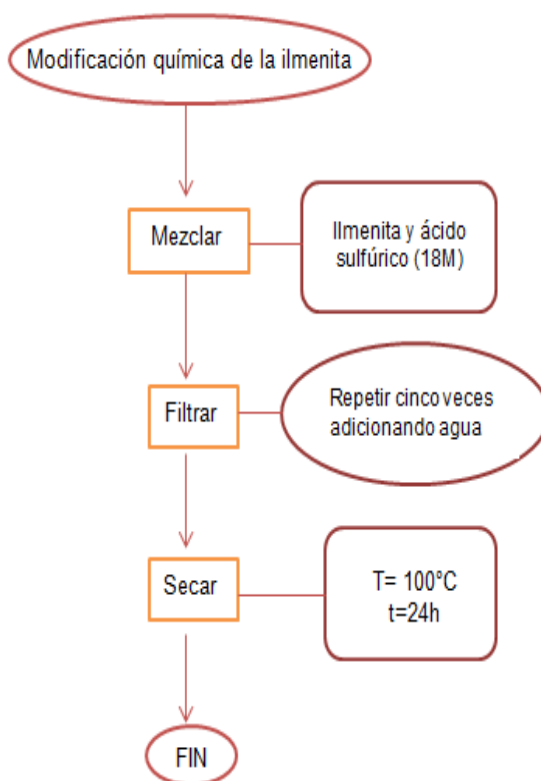
Tabla 1.Resultado del proceso de tamizado

Masa pesada : 1744,1 g					
Malla	Abertura ( $\mu\text{m}$ )	Masa retenida	$\Delta\phi$	$\phi$	% masa retenida
40	425	44,9	0,02574394	0,02574394	2,57
60	250	251,7	0,14431512	0,17005906	14,43
80	180	438	0,25113239	0,42119145	25,11
100	149	429,5	0,24625882	0,66745026	24,63
120	125	282,2	0,16180265	0,82925291	16,18
140	106	228	0,13072645	0,95997936	13,07
170	0,09	47,1	0,02700533	0,98698469	2,7
Fondos		22,7	0,01301531	1	1,3
Total		1744,1			100

Según los resultados obtenidos en la tabla 1, el mayor porcentaje de masa retenida se encuentra en las mallas 80,100, 120, para un total de 65,2% de los 1744,1 g iniciales de ilmenita, aunque el resultado de la malla 60 también es significativo, se descarta porque no permite uniformidad a la hora de elaborar películas. Por esta razón, se elaboró una mezcla de la masa obtenida en las mallas 80,100 y 120, ya que en estudios previos se muestra una considerable mejoría fotocatalítica al elaborar una mezcla de diferentes tamaños de partícula.

**2.1.2 Ilmenita modificada químicamente.** Para garantizar una mejor actividad fotocatalítica se ha estudiado que el modificar la ilmenita a través de ácidos fuertes es efectivo para limpiar las impurezas posiblemente presentes en la superficie<sup>25</sup>. Para la modificación química se utilizó ácido sulfúrico 18M proveniente de laboratorios Merck KGaA mezclado con ilmenita en una proporción de 1:1. La modificación se realizó bajo el siguiente protocolo:

**Figura 4. Modificación de la ilmenita con Ácido Sulfúrico**



<sup>25</sup> RAJ, Joseph, et al, Sulfated Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-TiO<sub>2</sub> synthesized from ilmenite ore: A visible light active photocatalyst. *En: Colloids and Surfaces Physicochemical and Engineering Aspects*, Septiembre, 2010, vol.367, p.140-147



**2.1.3 Ilmenita modificada térmicamente.** Para activar aún más fotocatalíticamente la ilmenita, se procedió a calcinar el mineral, ya que, según estudios previos, al calcinar se aumenta el radio de la porosidad generada en la superficie del mineral, debido a que el choque térmico crea una serie de capas de hierro generando un porcentaje alto de titanio en el núcleo.<sup>26</sup> Cuando se somete la ilmenita a un cambio térmico su estructura tiende a sufrir cambios, debido que el TiO<sub>2</sub> cambia su fase rutilo a fase rutilo-anatasa lo que permite un mayor porcentaje de degradación.<sup>27</sup>

Para realizar este procedimiento, la ilmenita modificada anteriormente con ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), junto con ilmenita sin modificar, fue expuesta a modificación térmica durante 20 minutos para cada temperatura, las temperaturas de calcinación fueron: 500, 550, 600, 650, 700 °C, debido que en este rango de temperatura la ilmenita presenta un mayor grado de cristalinidad, lo que conduce a la transformación desde la fase anatasa a la forma más estable de la fase rutilo.<sup>28</sup>

Tabla 2. Modificación térmica de la ilmenita

Temperatura de calcinación (°C)	Tiempo de exposición	Masa ilmenita modificada (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 18M) (g)	Masa ilmenita sin modificar
500	20	15	15
550	20	15	15
600	20	15	15
650	20	15	15
700	20	15	15

## 2.2 ELABORACIÓN DE PELICULAS

Los materiales poliméricos actualmente se posicionan como uno de los sustratos más usados, gracias a sus propiedades de fuerza, facilidad de producción <sup>29</sup> bajo

<sup>26</sup> CUADRAT, Ana. Combustión de carbón con captura de CO<sub>2</sub> usando ilmenita como transportador de Oxígeno. Trabajo de grado para optar por el título de Doctor. Zaragoza: Universidad de Zaragoza. PhD , 2012. p. 52

<sup>27</sup> PAL, Bonamali. et al. Preparation and characterization of TiO<sub>2</sub>/Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> binary mixed oxides and its photocatalytic properties. *En: Materials Chemistry and Physics*. Febrero, 1999, p. 254-261

<sup>28</sup> SIMPRADITPAN, Athapon, et al. Effect of calcination temperature on structural and photocatalyst properties of nanofibers prepared from low-cost natural ilmenite mineral by simple hydrothermal method. *En: Materials research bulletin*. Mayo, 2013, vol. 48, p. 3211-3217

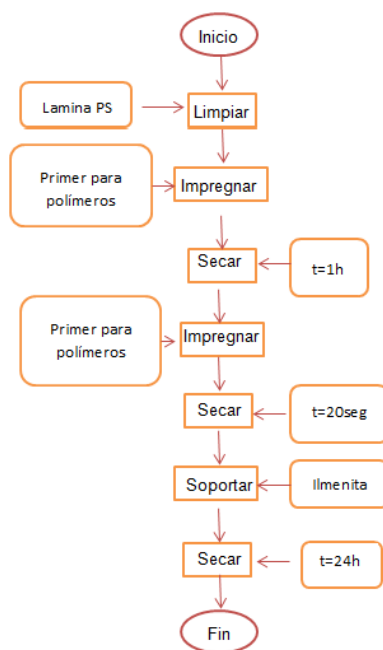
<sup>29</sup> MARIN, Juan, et al. Soporte de Nuevas Películas de TiO<sub>2</sub> y TiO<sub>2</sub>/SiO<sub>2</sub> sobre Gránulos de Poliéster para Aplicación en Fotocatálisis. *Inf. tecnol.* [online]. 2008, vol.19, n.6 [citado 06 de Mayo de 2017], p.9-20. Disponible en: < [http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-07642008000600003](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642008000600003)>

peso y resistencia al impacto los convierte en un material ideal para ser usado como revestimiento fotocatalítico.<sup>30</sup> Y así obtener sistemas con propiedades mejoradas<sup>31</sup>

**2.2.1 Soporte de ilmenita en poliestireno.** Se seleccionó poliestireno (PS) de alto impacto, calibre 25.4 milésimas de milímetro, el cual permite una alta transmitancia en el rango de activación para la inmovilización del semiconductor<sup>32</sup>. En el Anexo G, se observa la ficha técnica del poliestireno usado en la investigación.

**2.2.2 Método de Adhesión.** Para soportar la ilmenita en el poliestireno se inicia con la limpieza del sustrato, que de acuerdo con especificaciones del fabricante la lámina de poliestireno de alto impacto se limpia fácilmente con una solución de agua y 1% de jabón, luego se aplica el adhesivo o primer para polímeros, en este caso se usó Plastic Primer, Rust Oleum y posteriormente se adiciona el fotocatalizador el cual se deja secar a temperatura ambiente por un periodo de 24h. Este procedimiento se realiza con el fin de lograr uniformidad y alta adherencia de la ilmenita al sustrato.<sup>33</sup> Ver figura 7.

**Figura 5. Método de Adhesión**



<sup>30</sup> LEE, Chang-Soo, et al. Photocatalytic functional coatings of TiO<sub>2</sub> thin films on polymer substrate by plasma enhanced atomic layer deposition. En: Applied Catalysis B: Environmental. Septiembre, 2009, vol. 91, p. 628–633

<sup>31</sup> MARIN. Op.cit., p.16

<sup>32</sup> CAMARA, RM. Et al. Enhanced photocatalytic activity of TiO<sub>2</sub> thin films on plasma-pretreated organic polymers. En: Catalysis Today. Julio, 2014, vol.230, p.145-151

<sup>33</sup> CASTIBLANCO, Jhoana; GÓMEZ Angie. Evaluación del prototipo de un fotorreactor híbrido y portátil para el mejoramiento de la calidad del agua de la quebrada Santa Isabel. Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Químico. Bogotá D.C.: Universidad de América. Facultad de Ingenierías. Departamento de Ingeniería Química, 2014, p. 45

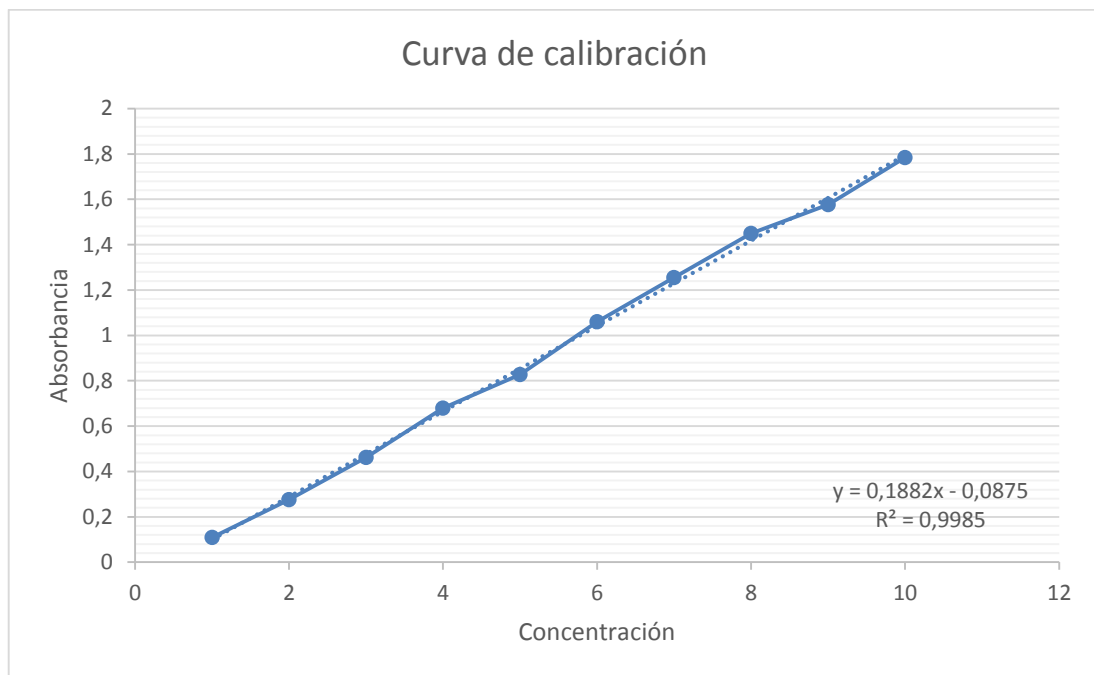
Se elaboraron 20 películas inicialmente, de 2,5cm x 3cm, con el fin de evaluar la actividad fotocatalítica en las diferentes condiciones de temperatura y modificación química nombradas anteriormente.

### 2.3 EVALUACIÓN DE LA DEGRADACIÓN DE AZUL DE METILENO

Con el fin de evaluar la actividad foto catalítica, el grupo de materiales fotoactivos de la universidad américa desarrollo un Fotoreactor para hacer pruebas de remoción de azul de metileno.

Para poder elaborar la curva de degradación de azul de metileno se usó un espectrofotómetro para medir la absorbancia desde 1ppm hasta 8 ppm a una longitud de onda de 665 nm. A continuación se observa en la gráfica 1 los resultados obtenidos de absorbancia frente a concentración.

**Gráfica 1. Curva de calibración de azul de metileno**



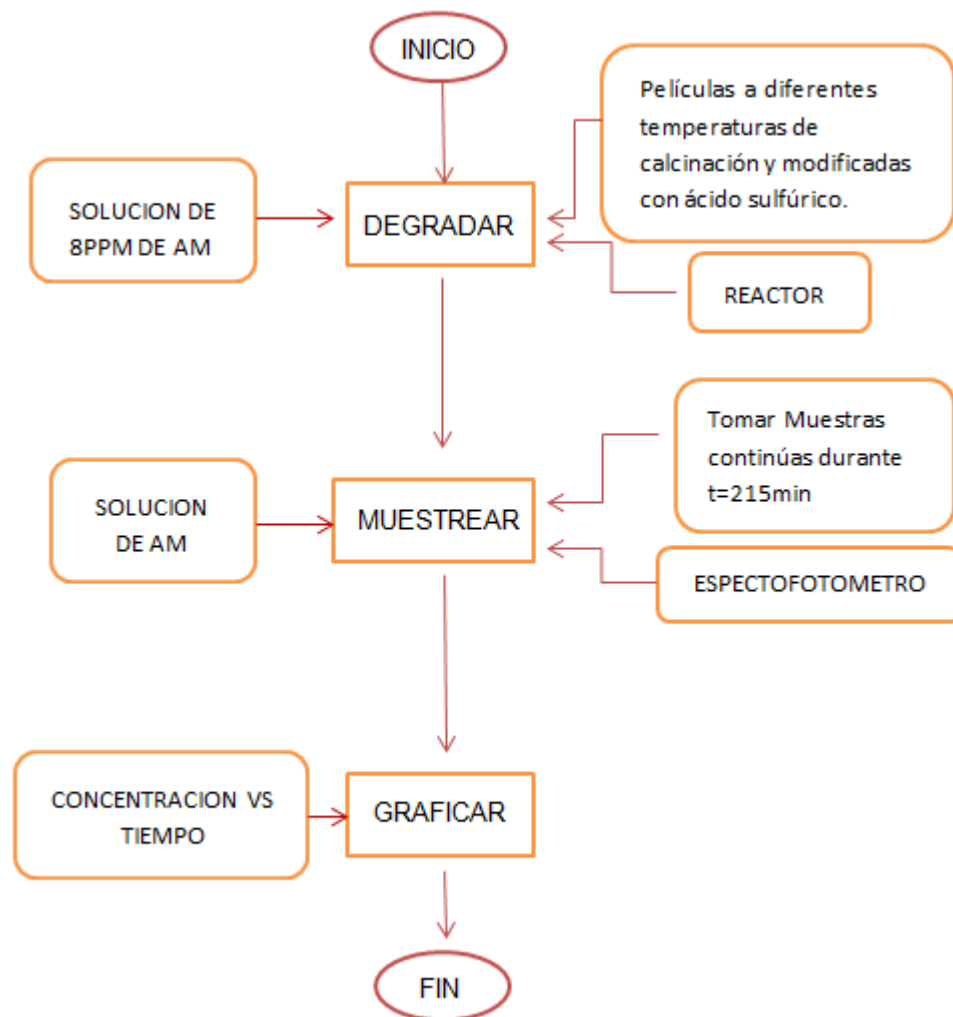
A partir de la gráfica 1, se obtiene la ecuación  $y = 0,1882x - 0,0875$ , la cual fue usada como referencia para la degradación de azul de metileno, contra el tiempo.

**2.4.1 Evaluación de la degradación de azul de metileno con ilmenita modificada.** Para evaluar el efecto de las diferentes modificaciones que se realizaron a la ilmenita las cuales fueron nombradas anteriormente en el cuadro 2, se dispuso en un reactor de escala laboratorio con 30ml de azul de metileno (8ppm), junto con un Led de 3W y un sistema de aireación Power life air pump p-500, en

donde se estudió la disminución de la concentración de azul de metileno con respecto al tiempo.

Para empezar el proceso de degradación, se sumergió la película en una solución de AM de 8ppm dentro del fotoreactor, en el cual posteriormente se dispuso un Led y una manguera de aireación. Permitiendo que se generara una disminución considerable de la concentración al inicio de AM. Para observar con más detalle la disminución de la concentración a través del tiempo, se tomaron 17 muestras así:

**Figura 6. Protocolo para la evaluación de azul de metileno**

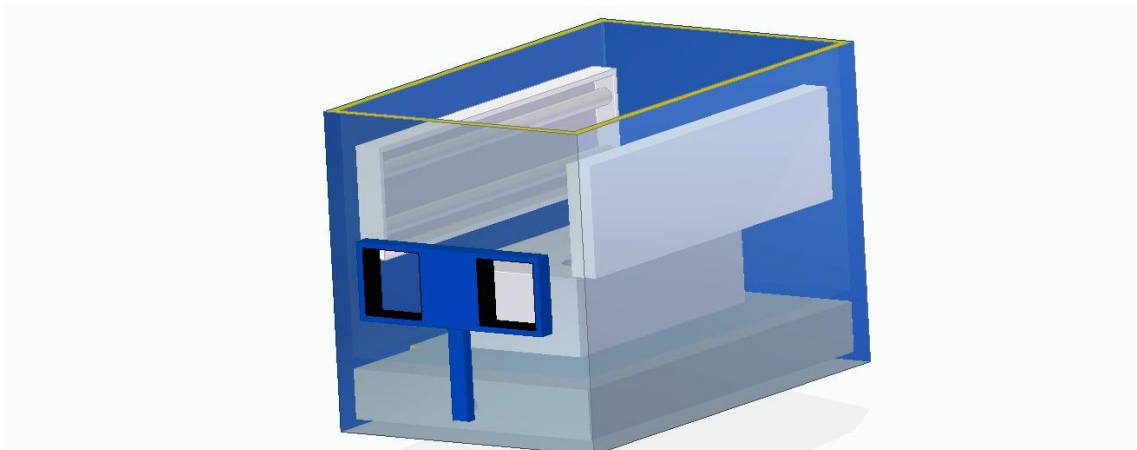


### 2.3 CONSTRUCCION DEL FOTOREACTOR:

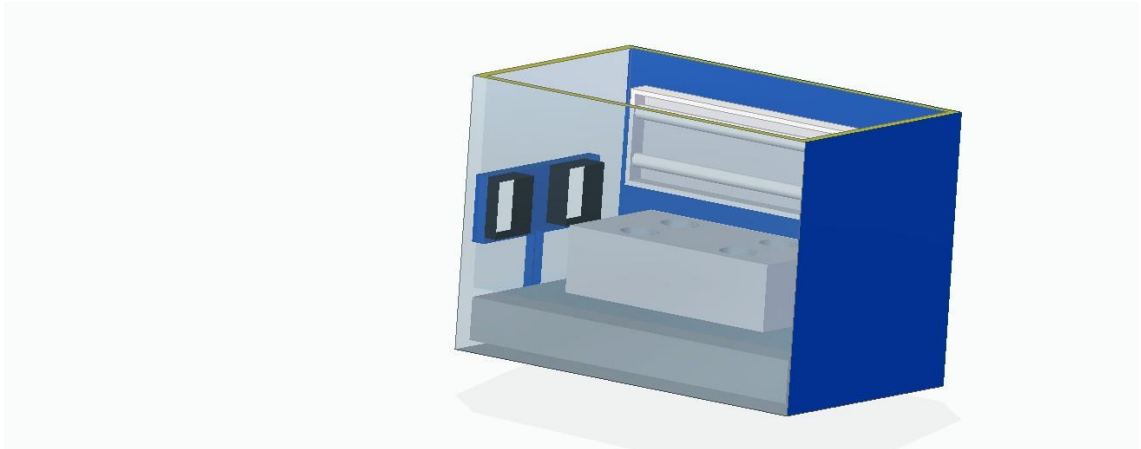
Para poder realizar la degradación microbiológica de la investigación, se construyó un Fotoreactor que fuese económico y de fácil mantenimiento, con el propósito de dejarlo en el grupo de materiales fotoactivos para posteriores investigaciones. El Fotoreactor consiste principalmente en una caja de 37cm de largo x 27cm de fondo x 22 cm de altura ,totalmente forrada en su interior con Aluminio industrial, y sellada de manera que no existan escapes de luz, dentro de ella se encuentran cuatro Leds visibles cada uno de 4W conectados de manera independiente y soportados en la paredes de la caja, en el centro se encuentra una base de acrílico allí se disponen cuatro bioreactores donde se almacena la solución a degradar y se introducen películas de ilmenita modificada; Para el sistema de aireación se utilizan dos ventiladores con el fin de mantener la temperatura del fotoreactor supervisada. Mediante software, se realizó una serie de comandos, en donde se creó como herramienta de seguridad un activador general del sistema que en tal caso de un corto pueda apagarse de manera rápida y eficaz, la programación que se realizo es de tipo booleanos, con arreglos numéricos para hacer una traducción a lenguajes digitales, lo que permite la obturación en los relés, mediante lenguajes de uno y cero. Para medir la temperatura del sistema se usaron dos sensores LM35 y finalmente el burbujeo del sistema se controló de manera independiente por si se requiere en algún momento conectar una tercera fuente de burbujeo. El sistema general se conectó a una toma de 110 voltios y al computador.

**2.5.1 Diseño del fotoreactor.** A continuación En la figura 9 se observa el diseño en general del Fotoreactor, el cual fue elaborado en el software Solid Edge ST9, que se adquirió mediante licencia estudiantil.

Figura 7. Vista general 3D del reactor

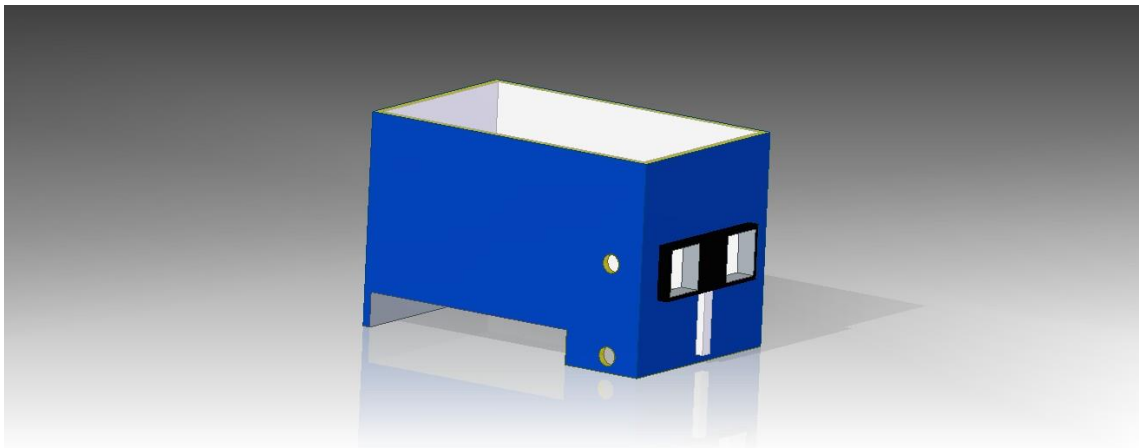


**Figura 8. Vista frontal del reactor**



Debajo del Fotoreactor se encuentra una base de 8 cm de altura, 36 cm de largo y 21cm de fondo en donde se disponen todas las conexiones eléctricas.

**Figura 9. Vista de la base del reactor**

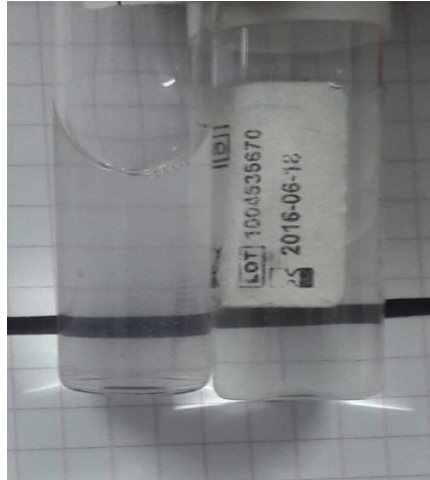


## **2.4 EVALUACIÓN MICROBIOLÓGICA:**

Después de verificar que las películas de ilmenita, degradaran azul de metileno, se procedió a realizar la evaluación microbiológica. Todos los materiales pasaron por un proceso de esterilización en un autoclave para evitar que los resultados se vean alterados. Posteriormente se activó la bacteria *E.coli*, la cual se encontraba en crioconservación, depositándola en un caldo nutritivo BHI a 37°C durante 24h para llevarla a su fase exponencial, luego se adicionaron varias colonias de *E.coli* en una solución salina de 4,5ml y 0,85 % P/V la cual ayudó a mantener las condiciones isotónicas adecuadas.

La mezcla anterior se comparó con el patrón 0,5 de Mc Farland que equivale aproximadamente a  $1,5 \times 10^8$  UFC/ml, como se demuestra en la figura 10.

**Figura 10. Comparación de turbidez entre el estándar de McFarland 0,5, Con la suspensión de *E.coli* en solución salina**



Finalmente se toma la mezcla de 4,5 ml y se lleva a suspensión en 45,5ml de solución salina.

Para la evaluación de la degradación de *E.coli* a través del tiempo, se utiliza un bioreactor de 50ml, en donde se monitorea durante todo el proceso, las condiciones de temperatura, luz y aireación, ya que son factores relevantes para el crecimiento microbiano. Durante 9 horas, se tomó una muestra de 2 ml cada hora y se procedió a realizar diluciones seriadas en solución salina, las cuales se llevaron posteriormente a un análisis por el método de conteo en placa.

Para sembrar las muestras en las cajas de Petri, se eligieron solo las diluciones que se encontraran en una concentración entre 30-300 UFC, para evitar errores en el conteo<sup>34</sup>, Finalmente, se toma una alícuota de 100  $\mu$ l la cual se lleva a la placa y a incubación por 24 horas con el fin de realizar la curva de destrucción de *E.coli* a través del tiempo.

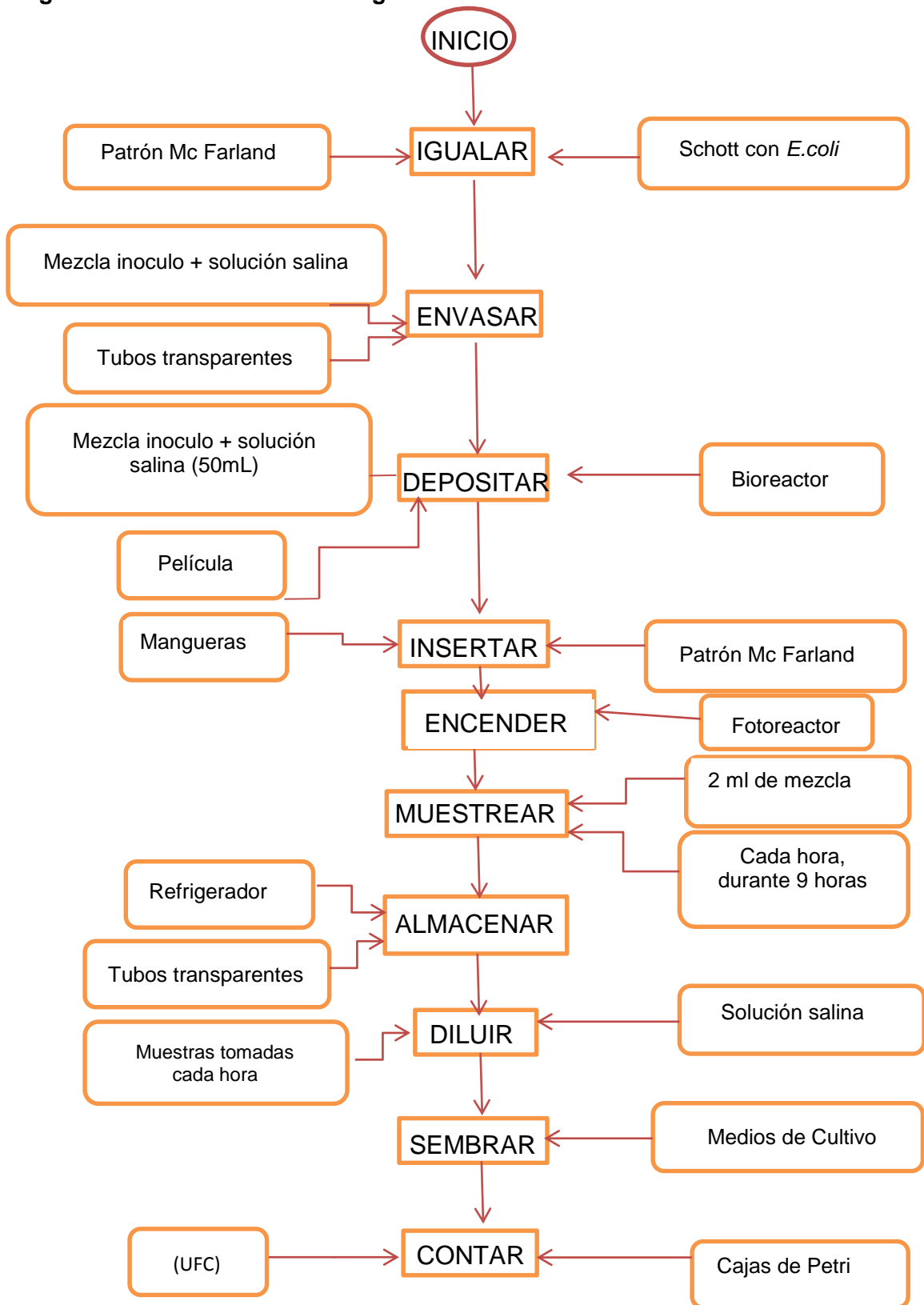
A continuación se observa de forma detallada el protocolo microbiológico<sup>35</sup>:

---

<sup>34</sup> QUINTERO, María Camila. DISEÑO CONCEPTUAL Y CONSTRUCCIÓN DE UN FOTORREACTOR DE ALTA EFICIENCIA A ESCALA LABORATORIO PARA LA DISMINUCIÓN DE *E.coli* EN AGUA Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Químico. Bogotá D.C: Universidad de América. Facultad de Ingenieras. Departamento de Ingeniería Química,2015, p.40

<sup>35</sup> BOLAÑOS, David, PACHECO, Nicolás. Evaluación del efecto de la temperatura de calcinación sobre mezcla  $\text{TiO}_2/\text{CuOx}$  para la inactivación fotocatalítica de *E. coli* en presencia de luz visible. Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Químico. Bogotá D.C: Universidad de América. Facultad de Ingenieras. Departamento de Ingeniería Química,2014, p.46

Figura 11. Protocolo microbiológico

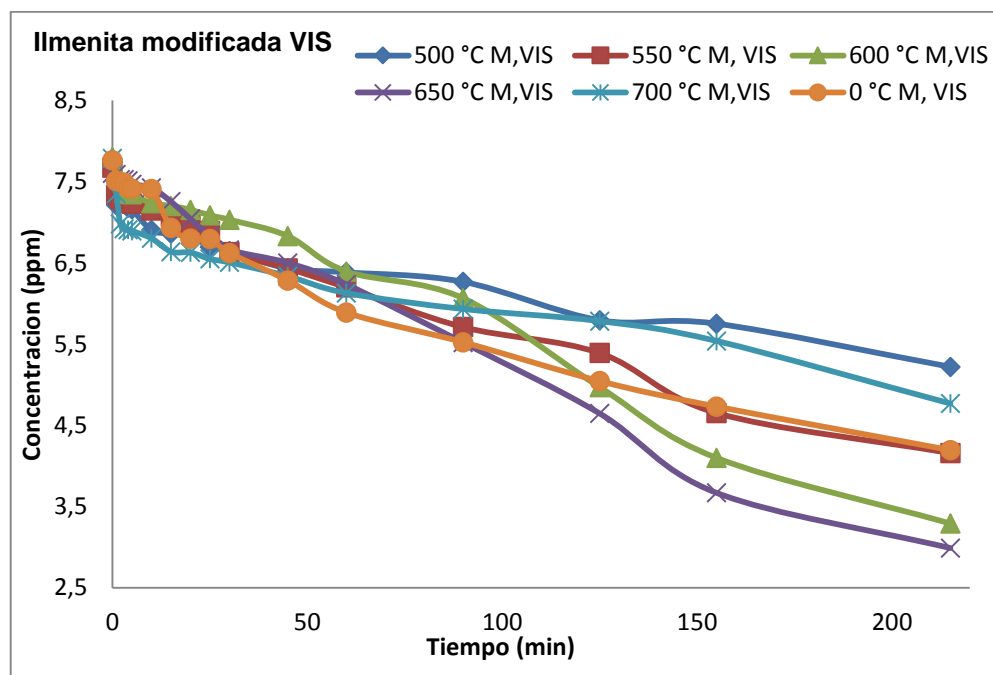




### 3. RESULTADOS Y DISCUSIONES

#### 3.1 DEGRADACIÓN DE AZUL DE METILENO

Grafica 2. Ilmenita modificada VIS

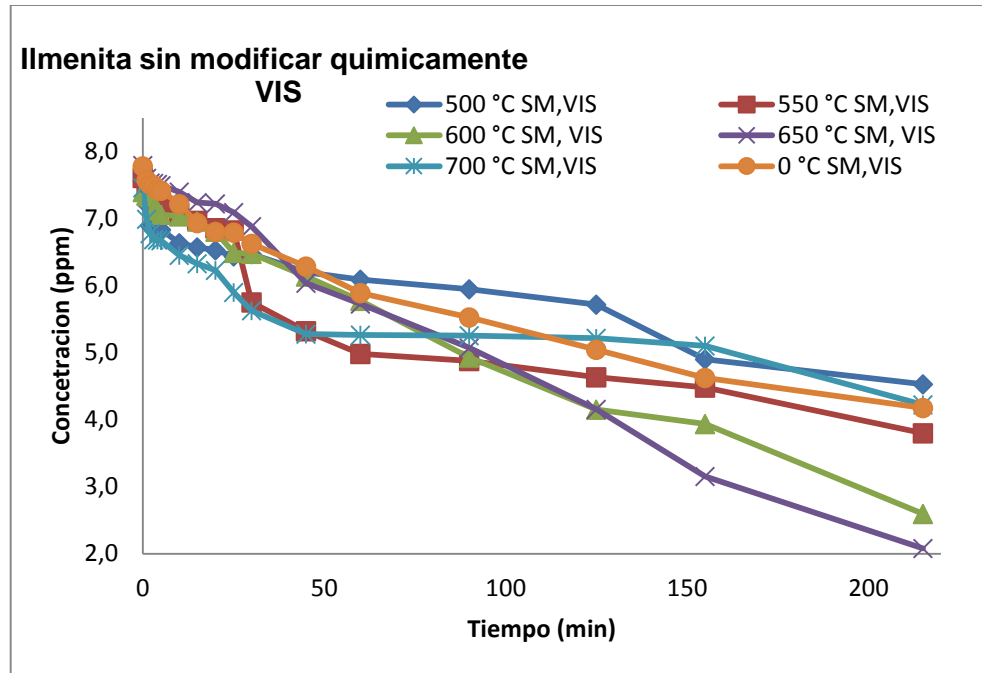


La primera evaluación que se realizó, fue ilmenita modificada con ácido sulfúrico 18M, junto con cinco temperaturas de calcinación diferentes. Se observó un buen comportamiento de la mayoría de las películas. Se percató que las dos películas, que presentan mayor actividad fotocatalítica, son las calcinadas a 650 °C siendo la más eficiente en la remoción de azul de metileno (60,68%) y 600 °C teniendo una eficiencia de 57,82%. Las películas que fueron calcinadas en 500 °C y 700 °C, fueron las que presentaron menor actividad fotocatalítica. En la tabla 5, se muestra la eficiencia de ilmenita modificada con Ácido sulfúrico en presencia de luz visible.

Tabla 3. Eficiencia ilmenita modificada VIS

PELICULA	EFICIENCIA
T=0 °C M, VIS	45,98%
T=500 °C M, VIS	32,54%
T=550 °C M, VIS	45,83%
T=600 °C M, VIS	57,82%
T=650 °C M, VIS	60,68%
T=700 °C M, VIS	38,78%

**Grafica 3. Ilmenita con modificación térmica VIS**



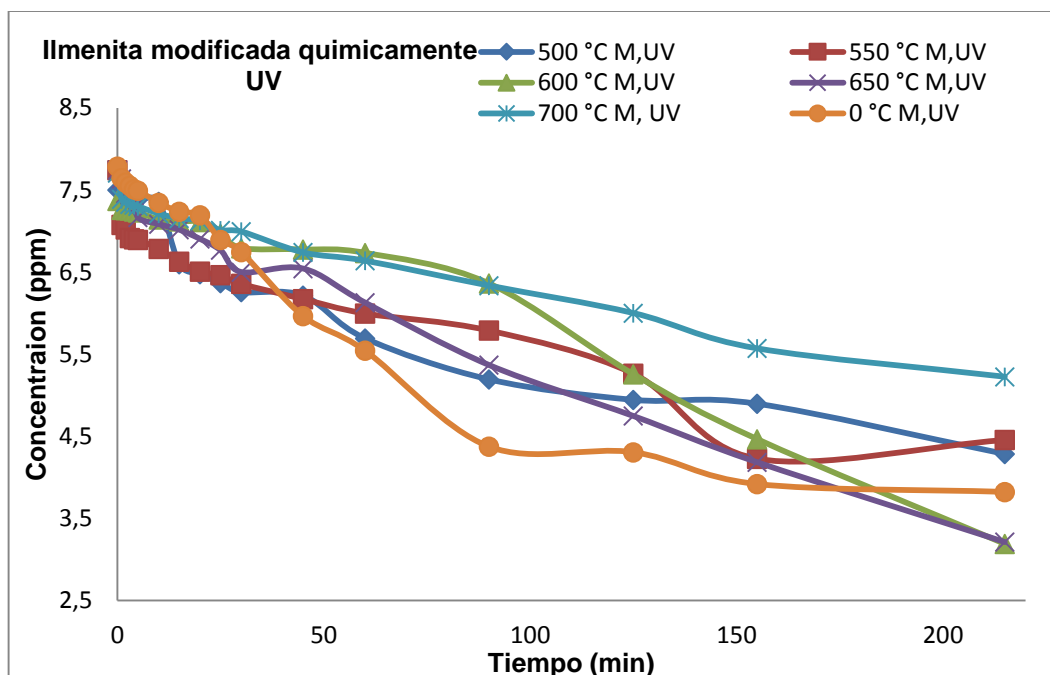
SM : Sin modificar químicamente (Acido sulfurico 18M)  
 VIS: Ilmenita expuesta a luz visible

Se evaluo, la degradacion de seis peliculas, cada una calcinada a diferente temperaturas, en donde la Ilmenita no sufrio ningun tipo de modificacion quimica. Las dos peliculas que presentaron mayor actividad fotocatalitica fueron calcinadas a 650°C y 600°C , con una eficiencia de remocion de 73,3% y 64,89%, respectivamente. Las peliculas que presentaron menor actividad fotocatalitica en el espectro visible, fueron calcinadas a 500°C y 700°C.

Tabla 4. Eficiencia ilmenita con modificación Térmica VIS

PELICULA	EFICIENCIA
T=0 °C SM, VIS	46,33%
T=500°C SM, VIS	40,11%
T=550 °C SM, VIS	50,08%
T=600°C SM, VIS	64,89%
T=650°C SM, VIS	73,30%
T=700°C SM, VIS	43,40%

**Grafica 4. Ilmenita modificada química y térmicamente UV**



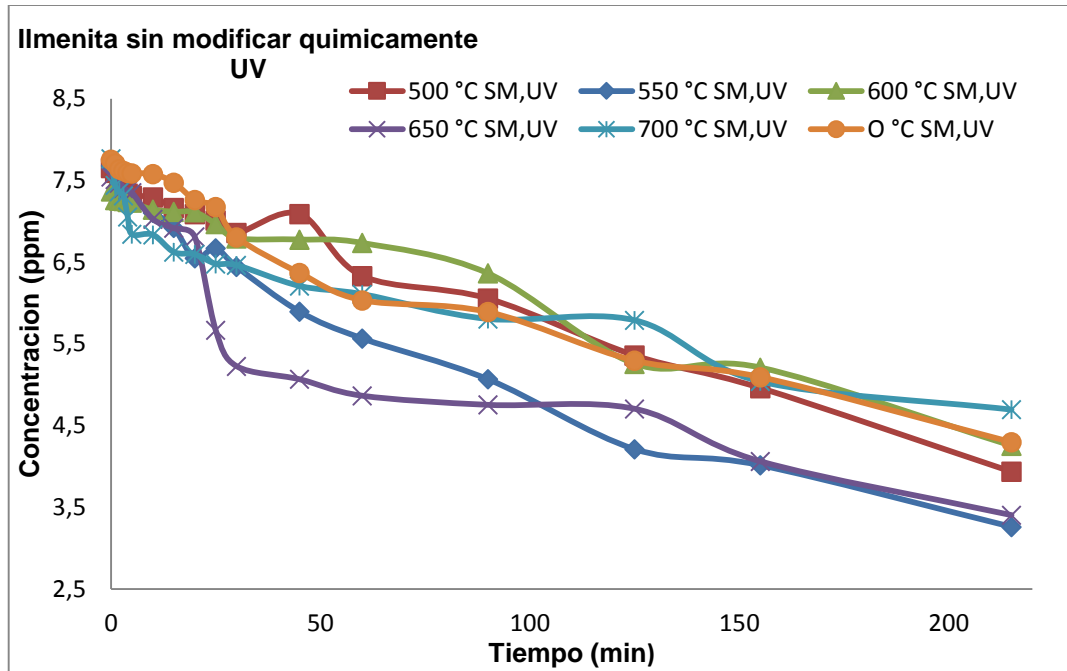
M : Modificada químicamente (Acido sulfúrico 18M)  
 UV: Ilmenita expuesta a luz ultra violeta

Igualmente, Se evaluaron películas modificadas con Ácido sulfúrico a diferentes temperaturas de calcinación , pero esta vez en el espectro UV, los resultados en cuanto a las dos películas que presentaban mayor degradación fotocatalítica , son iguales a los presentados anteriormente en la gráfica 2: Las dos películas con mayor eficiencia, fueron calcinadas a 650°C y 600°C. Sin embargo en comparación con la gráfica 2, son ligeramente más eficientes estas películas (650 y 600 °C), en el espectro visible para la degradación de azul de metileno, lo que indica que no tiene relevancia significativa, degradar ilmenita modificada químicamente con luz UV o luz VIS.

Tabla 5. Eficiencia ilmenita modificada Química y térmicamente UV

PELICULA	EFICIENCIA
T=0 °C M, UV	50,90%
T=500°C M,UV	42,86%
T=550 °C M, UV	42,96%
T=600°C M,UV	56,88%
T=650°C M,UV	58,53%
T=700°C M,UV	32,20%

**Grafica 5. Ilmenita modificada térmicamente UV**



SM : Sin modificar químicamente (Acido sulfurico 18M)  
 UV: Ilmenita expuesta a luz ultra violeta

Las películas se evaluaron sin sufrir ninguna modificación química, a cinco temperaturas diferentes, en radiación UV, Las películas que presentaron mayor degradación a través de tiempo, fueron las calcinadas a 550 °C y 650°C (57,55%, 42,26%).

En comparación con la gráfica 3, la película que contiene Ilmenita calcinada a 650°C es un 18,43%, más eficiente en la degradación fotocatalitica de azul de metileno cuando es sometida, bajo el espectro visible, como se observa en la tabla 10.

**Tabla 6. Eficiencia ilmenita modificada Térmicamente UV**

PELICULA	EFICIENCIA
T=0 °C SM, UV	44,60%
T=500°C SM, UV	48,59%
T=550 °C SM,UV	57,55%
T=600°C SM,UV	42,26%
T=650°C SM,UV	54,87%
T=700°C SM,UV	39,60%

**Tabla 7. Diferencia de % en la eficiencia entre la luz UV y la luz VIS, de las películas con ilmenita modificadas químicamente a diferentes temperaturas de calcinación**

Película	Diferencia en el % de Eficiencia
T=0 °C M	4,92%
T=500°C M	10,32%
T=550 °C M	2,87%
T=600°C M	0,94%
T=650°C M	2,15%
T=700°C M	6,58%

**Nota:** Las casillas que se encuentran de color rosa, significan que las películas presentaron mayor eficiencia en la radiación UV, que en el espectro visible, mientras las que se encuentran en blanco hacen referencia a una mayor degradación de azul de metileno en el espectro VIS.

La diferencia de eficiencia entre las películas modificadas químicamente con ácido sulfúrico, las cuales fueron sometidas bajo radiación UV y bajo el espectro visible, no son significativas.

**Tabla 8. Diferencia de % en la eficiencia entre la luz UV y la luz VIS, de las películas con ilmenita sin modificar químicamente a diferentes temperaturas de calcinación**

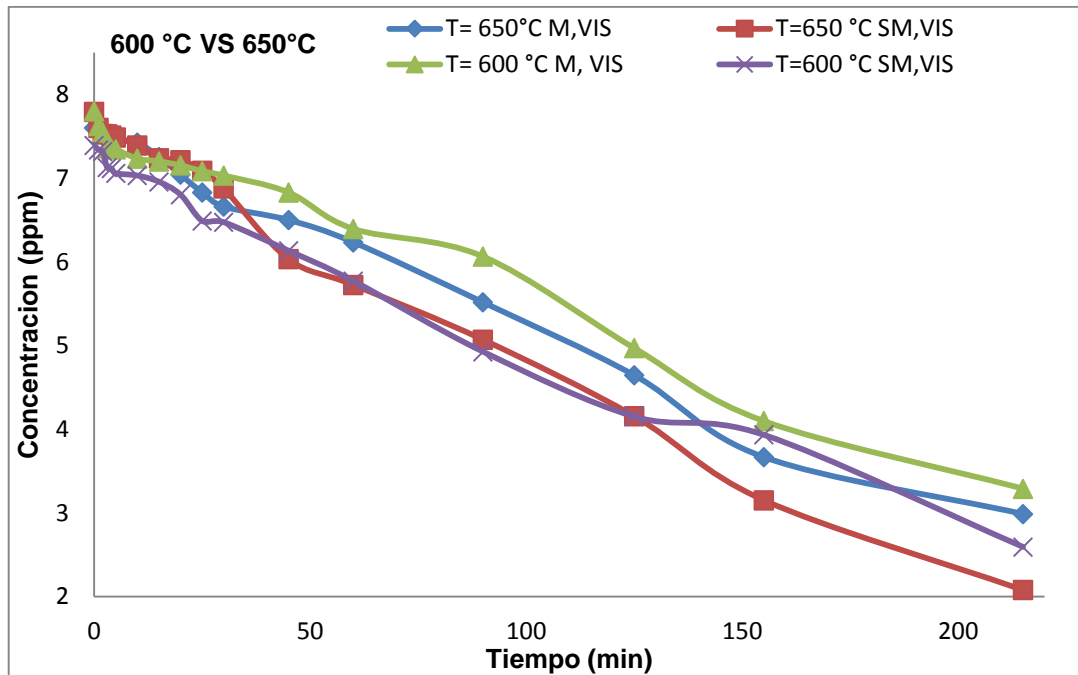
Película	Diferencia en el % de Eficiencia
T=0 °C SM	1,73%
T=500°C SM	8,48%
T=550 °C SM	7,47%
T=600°C SM	22,63%
T=650°C SM	18,43%
T=700°C SM	3,80%

**Nota:** Las casillas que se encuentran de color rosa, significan que las películas presentaron mayor eficiencia en la radiación UV, que en el espectro visible, mientras las que se encuentran en blanco hacen referencia a una mayor degradación de azul de metileno en el espectro VIS.

Para las películas con ilmenita soportada sin sufrir ningún tipo de modificación química, la diferencia al ser sometidas bajo la radiación UV y el espectro visible, si son significativas, en especial a temperaturas de calcinación de 600 °C y 650°C, mostrando que son mucho mejores en la actividad fotocatalítica, bajo luz visible. Se realizó una comparación, como se muestra en la gráfica 7, entre las películas calcinadas a 600°C y 650°C, ya que en resultados anteriores son las que presentaron mayor eficiencia en la degradación de azul de metileno, con respecto

a las otras temperaturas de calcinación a la que fue sometida la ilmenita, Se consideró para esta comparación, las películas de ilmenita que fue modificada químicamente con Ácido sulfúrico y así poder elegir las que mostraran una mayor eficiencia en la remoción de AM y posteriormente usarlas para la degradación de *E.coli*.

**Grafica 6. T=600 °C VS T=650°C**



M : Ilmenita modificada químicamente (Acido sulfurico 18M) y termicamente  
 SM: Ilmenita solo con modificacion termica  
 VIS: Ilmenita expuesta a luz visible

Las películas que presentaron mayor eficiencia en la degradación de AM, contenían ilmenita calcinada a 600 °C y 650°C, Ninguna de estas dos películas sufrió modificación química. A partir de la tabla 2. Se eligieron las películas con mayor eficiencia la cuales fueron usadas en la degradación microbiológica, estas se encuentran subrayadas con color rosa.

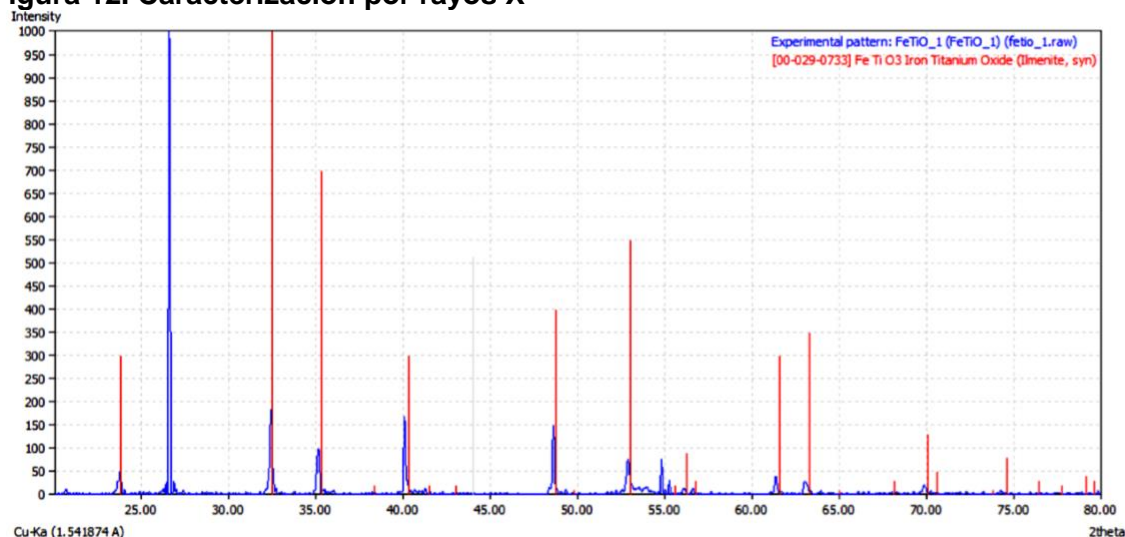
**Tabla 9. Eficiencia T=600 °C VS T=650°C**

PELICULA	EFICIENCIA
T=600°C SM,VIS	64,89%
T=600°C M,VIS	57,82%
T=650°C SM,VIS	73,30%
T=650°C M,VIS	60,68%

## 3.2 CARACTERIZACIÓN DE ILMENITA

**3.2.1 Caracterización estructural.** La ilmenita que se caracteriza en este trabajo, pertenece de igual manera al trabajo presentado por (Mora y Murcia, 2012). Por esta razón, se utiliza el mismo análisis de rayos X el cual se realizó en el laboratorio de difracción de Rayos X de la Universidad Nacional de Colombia realizado en un rango entre 20- 80°, con un paso de barrido de 0,002° y tiempo de paso de 0,60 segundos<sup>36</sup>

**Figura 12. Caracterización por rayos X**



Fuente: MORA MERA, César Augusto y MURCIA SANGUINO, Mario Leonardo. Evaluación de la actividad fotocatalítica de la ilmenita modificada con ácido sulfúrico para la degradación de azul de metileno. Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Químico. Bogotá D.C.: Fundación Universidad de América. Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Química, 2012. 98 p

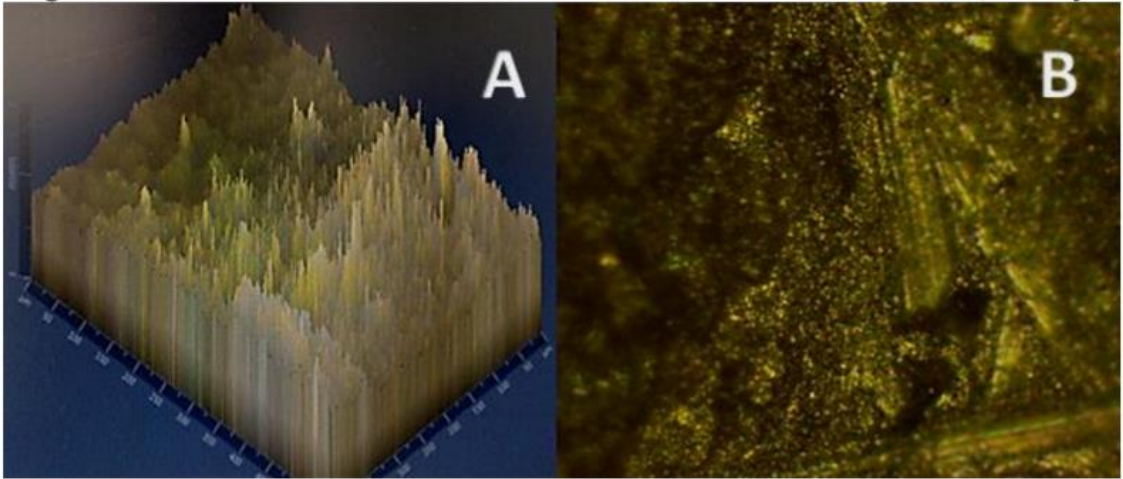
En la figura 12 se presenta, el pico con mayor intensidad 26,52° corresponde a un óxido mixto de hierro/titanio  $Fe_4(TiO_4)_3$ <sup>37</sup>.

**3.2.2 Caracterización morfológica.** Para la caracterización se analizó la morfología de la mezcla de tres tamaños diferentes de partícula de la Ilmenita 80,100 y 120. El análisis se realizó en la Fundación Universidad de América, usando un microscopio metalográfico a 20 aumentos marca Olympus.

<sup>36</sup> MORA MERA, César Augusto y MURCIA SANGUINO, Mario Leonardo. Evaluación de la actividad fotocatalítica de la ilmenita modificada con ácido sulfúrico para la degradación de azul de metileno. Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Químico. Bogotá D.C.: Fundación Universidad de América. Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Química, 2012. 98 p

<sup>37</sup> Ibid., p. 98

**Figura 13. Caracterización Morfológica**



a. Distribución de la ilmenita (80, 100 y 120) b. Microfotografía de la película de ilmenita con mezcla de mallas 80, 100 y 120

### **3.3 EVALUACIÓN DE LA DEGRADACION MICROBIOLÓGICA**

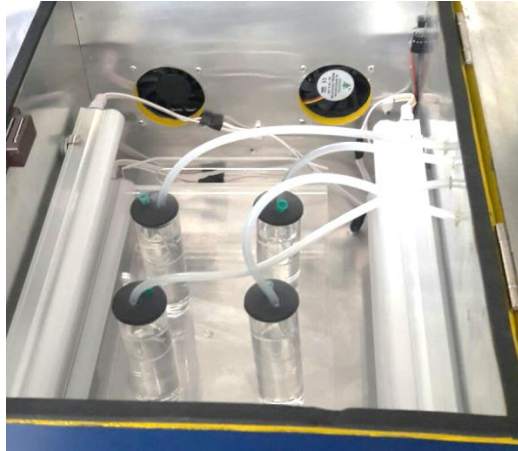
Para evaluar la degradación microbiológica, se dispuso una mezcla de solución salina y *E.coli* en dos bioreactores durante nueve horas, junto con dos películas (una en cada bioreactor), las cuales no fueron expuestas a un proceso de modificación con Ácido Sulfúrico.

La primera película de ilmenita sufrió una modificación térmica a 600°C, mientras que la segunda sufrió una modificación térmica a 650°C. Estas películas fueron seleccionadas ya que presentan la mayor actividad fotocatalítica en la degradación de azul de metileno.

**3.3.1 Fotoreactor para la evaluación de la degradación microbiológica.** Como se nombró anteriormente en el numeral 2.5, Se construyó un fotoreactor para la degradación de *E.coli* en presencia de luz visible.



**Figura 14. Interior del Fotoreactor**



**3.2.2 Seguimiento de la temperatura en el fotoreactor** . Se monitoreo, la temperatura del fotoreactor, debido a que el incremento de temperatura supone crecimiento hasta el punto en que tienen lugar las reacciones de activación, para cada microorganismo se puede asignar temperaturas cardinales, Es decir, una temperatura **mínima** en la cual no es posible el crecimiento, una temperatura **óptima**, a la que se produce el mayor crecimiento, y finalmente una temperatura **máxima** la cual puede llegar a desactivar la bacteria por completo.<sup>38</sup> En este caso, *E. coli* es una bacteria mesófila, su temperatura óptima de crecimiento se encuentra en el entorno de la temperatura corporal de los animales de sangre caliente (35-43 °C).<sup>39</sup> Es por este motivo que se mantuvo monitoreada la temperatura durante las 9 horas que duró la fotodregación y así poder evaluar los factores adicionales del crecimiento microbiano.

La temperatura promedio del fotoreactor, se mantuvo en 25,5°C durante las nueve horas de funcionamiento, lo que nos indica que fue una temperatura adecuada para la prueba, ya que no influyo en el crecimiento ni en la destrucción del microorganismo. Esta se monitoreó a partir de dos sensores LM35 ubicados cada uno en un extremo de la caja.

**3.2.3 Disposición de la luz.** Cuando un haz de luz paralelo golpea una partícula en suspensión, parte de la luz es reflejada, parte es diseminada, parte es absorbida y parte es transmitida, Estudios previos han mostrado que en soluciones diluidas, la absorbancia es proporcional al peso seco e independientemente del tamaño celular

---

<sup>38</sup> MADIGAN, Michael , MARTINKO, Joh. *Brock Biología de los Microorganismos*. 10ed. Sevilla: Pearson educación, 2004

<sup>39</sup> CANET, Juan. *Escherichia Coli: características, patogenicidad y prevención (I)* [En línea]. Disponible en: <<http://www.betelgeux.es/blog/2016/01/19/escherichia-coli-caracteristicas-patogenicidad-y-prevencion-i/>> [citado el 01 de Junio de 2017]

del microorganismo.<sup>40</sup> La luz visible, si es muy intensa provoca foto-oxidaciones en proteínas y ácidos nucleicos debido a la absorción de energías por moléculas como riboflaminas.<sup>41</sup>

El fotoreactor, cuenta con 4 Leds, conectados de manera independiente, cada Led proyecta 350 Lumenes, lo que indica 3535,36 lux por led, para un total aproximado de 14141,42 lux aproximadamente en el fotoreactor. La influencia de la luz visible es despreciable<sup>42</sup>. Después de analizar los resultados, se observó que la luz incidente en los bioreactores, no fue un factor determinante en la degradación de *E.coli*.

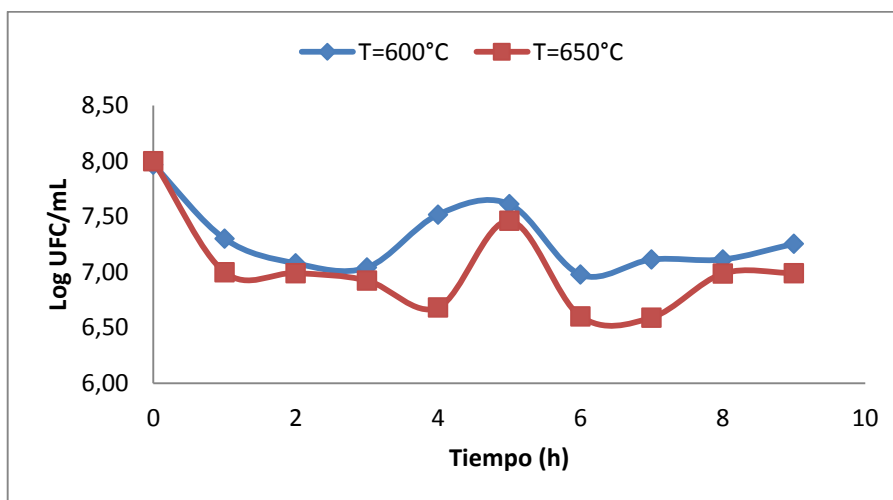
**3.2.3 Conteo de microorganismos.** Para realizar el conteo de microorganismos se usó la siguiente ecuación<sup>43</sup>:

$$\frac{UFC}{ml} \hat{=} \frac{UFC}{g} = No. de colonias por placa * Factor de dilucion * ml de muestra sembrado$$

El resultado de la exposición de *E.coli* a películas de ilmenita modificada térmicamente a 600°C y 650°C en la cual se llevó a cabo en un fotoreactor durante nueve horas, se presenta a continuación

### 3.3 EFECTIVIDAD DE LAS PELICULAS EN LA DEGRADACION DE *E.COLI*

Grafica 7. Evaluación del efecto de la temperatura en la degradación de *E.coli*



<sup>40</sup> BACTERIOLOGIA. En: Microbiología Outside [en línea], [ Citado el 14 de Mayo de 2017], Disponible en: < <http://www.microbiologia.com.ar/bacteriologia/fisiologia.php?Mostrar=medida>>

<sup>41</sup> SANCHEZ, Ines. Diversidad microbiana y taxonomía. En: Departamento de Microbiología.[En línea], 2016, [Citado el 15 de Mayo de 2017] , Disponible en: < [http://www.diversidadmicrobiana.com/index.php?option=com\\_content&view=article&id=448&Itemid=542](http://www.diversidadmicrobiana.com/index.php?option=com_content&view=article&id=448&Itemid=542)>

<sup>42</sup> CANTERAS, J. Efecto de la radiación luminosa en la desaparición de *escherichia coli* ( $t_{90}$ ) en medio acuático. En: eliminación de *escherichia coli*\_, Septiembre, 1999, vol. 6, no.3 p. 269

<sup>43</sup> IZURIETA, Natalia. Laboratorio de bacteriología y Micología. [Diapositivas]. Abril, 2011

Como se observa en la gráfica 7, no hubo degradación de *E.coli* durante las nueve horas en la que estuvo expuesto el microorganismo en ilmenita modificada a diferentes temperaturas de calcinación en el Fotoreactor, sin embargo, en la gráfica se observa ciertas alteraciones en las medidas. Teniendo en cuenta que ninguna cantidad física se puede medir con certeza perfecta y que los errores experimentales son inherentes al proceso de medición la distribución del microorganismo en la muestra ensayada, el volumen de dilución sembrado, la temperatura y tiempo de incubación, son algunos de los muchos factores implicados en el resultado final; por no hablar del estado fisiológico del propio microorganismo. Todo esto afecta a los resultados obtenidos y la cuantificación de la variabilidad aportada por cada factor resulta compleja.<sup>44</sup> Es importante analizar la medida de incertidumbre y verificar que los resultados obtenidos, se encuentren en un rango de valores posibles, de no ser así, es importante analizar otras fuentes adicionales que lograron alterar el resultado.

Para generar el rango de valores posibles se calculó la incertidumbre como la raíz cuadrada positiva de la suma de los términos, siendo estos términos, las varianzas o covarianzas de esas cantidades divididas por los resultados de esas mediciones, en la tabla 12 y tabla 13 se observa que los resultados obtenidos, se encuentran en el rango de resultados obtenidos, a excepción de la medida inicial, lo que nos indica que no hubo crecimiento ni mortalidad del microorganismo a través de las 9 horas.

**Tabla 10. Degradación de UFC/mL,  
(Ilmenita calcinada a T=600°C)**

t	UFC/mL	Log UFC/mL
0	9,30E+07	7,97
1	2,00E+07	7,3
2	1,20E+07	7,08
3	1,10E+07	7,04
4	3,30E+07	7,52
5	4,10E+07	7,61
6	9,50E+06	6,98
7	1,30E+07	7,11
8	1,30E+07	7,11
9	1,80E+07	7,26

*Valor Aceptado, UFC/mL = 7,30 ± 0,32*

<sup>44</sup>TAYLOR, Jhon, An Introduction to Error Analysis: The Study of Uncertainties in Physical Measurements, 2d Edition, University Science Books, 1997

**Tabla 11. Degradación de UFC/mL,  
(Ilmenita calcinada a T=650°C)**

t	UFC/mL	log UFC/mL
0	1,00E+08	8
1	1,00E+07	7
2	9,80E+06	6,99
3	8,40E+06	6,92
4	4,80E+06	6,68
5	2,90E+07	7,46
6	4,00E+06	6,6
7	3,90E+06	6,59
8	9,70E+06	6,99
9	9,80E+06	6,99

*Valor Aceptado, UFC/mL = 7,03 ± 0,44*

En la hora 5, como se observa en la gráfica hubo un aumento de la concentración de UFC/mL, probablemente en el momento de sembrar la alícuota en el medio de cultivo no hubo la suficiente agitación y por esta razón la mezcla no fue homogénea.<sup>45,46</sup>

En el grupo de materiales fotoactivos, no existen antecedentes en investigación que relacionen el uso de la ilmenita para la degradación de *E.coli* en presencia de luz visible, es por esta razón que se inició una nueva línea de investigación para comprobar su efectividad, sin embargo, La falta de efectos de degradación microbiológica claramente indicó que se necesita realizar una exploración adicional en el área de cuantificación de la degradación polimérica <sup>47</sup>,

Hubo tres factores relevantes que se consideraron luego del resultado obtenido, el primero habla sobre la influencia de la temperatura de calcinación en la degradación microbiana, sin embargo se observa que en la gráfica 7 se evaluó el efecto a dos diferentes temperaturas y en ninguna de las dos hubo destrucción significativa de *E.coli*, es decir que la temperatura no fue un factor importante de influencia. En segundo lugar se discute sobre la actividad fotocatalítica de la ilmenita en la eliminación microbiana, la cual sufre cambios en su estructura después de un proceso térmico, obteniendo como resultado una notable reducción de Fe y un aumento considerable de otros elementos, como lo son, 75 % de TiO<sub>2</sub> y 5% de

<sup>45</sup> OAA, GUIA PARA LA VALIDACIÓN DE MÉTODOS MICROBIOLÓGICOS,[En línea], disponible en:  
<<http://www.oaa.org.ar/docs/GUI-LE-05%20v1.pdf>>

<sup>46</sup> HOLGUIN, Martha et al. Manual de técnicas de análisis para control de calidad microbiológico de alimentos para consumo humano.2000, Bogotá D.C: Santafé de Bogotá, INVIMA.

<sup>47</sup> Opcit., CAMARA

MgO<sup>48</sup>. Al realizar un análisis estructural de la ilmenita se encuentran tres fases; ilmenita (FeTiO<sub>3</sub>), rutilo (TiO<sub>2</sub>) y pseudorutilo (Fe<sub>3</sub>+2Ti<sub>3</sub>O<sub>9</sub>), en donde la fase cristalina mayoritaria es el rutilo, y en una menor proporción minerales como el zircón, cuarzo y óxidos de Fe y Ti<sup>49</sup>, esta es la razón por la que la remoción de azul de metileno es mejor cuando se realiza una modificación térmica previa de la ilmenita, ya que la coexistencia de partículas de TiO<sub>2</sub> con diferentes estructuras cristalinas dan lugar al incremento en la generación de especies reactivas<sup>50</sup> tales como, radicales hidroxilo (OH<sup>\*</sup>), peróxidos de hidrogeno (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), aniones superóxido (O<sub>2</sub><sup>-</sup>) y radicales hidroperóxido (OH<sub>2</sub><sup>\*</sup>) causando la peroxidación de lípidos, proteínas y polisacáridos de la membrana bacteriana con el fin de oxidar ADN y RNA suprimiendo procesos de respiración, metabolismo y reproducción<sup>51,52,53</sup>. Se expuso el microorganismo a un rango de emisión entre 350 y 650 nm, longitud en la que se encuentra la luz visible, la cual equivalente aproximadamente a 2,83 eV<sup>54</sup>, la cual es similar a la banda prohibida de la ilmenita (2,58 - 2,9 eV). Lo que impide que los electrones pasen a la banda de conducción y se produzcan los pares electrón-hueco y se generen las reacciones de óxido-reducción de manera eficiente, produciendo una modificación en la interacción de los donantes y aceptores de electrones con los semiconductores de óxido metálico.<sup>55</sup>

Debido a que la carga superficial de las células de *E.coli* es negativa, y las partículas de TiO<sub>2</sub> presentes en la ilmenita tienen un punto isoeléctrico alrededor de 6.3<sup>56</sup>, demuestra que puede existir una repulsión electrostática entre la superficie del

---

<sup>48</sup> POURABDOLI M, RAYGAN S, ABDIZADEH H, HANAEI K. Production of high titania slag by electro-slag crucible melting (ECSM). En: process. Int. J. Miner. Process., Febrero, 2006 p.78, 175–181.

<sup>49</sup> GÁZQUEZ, Manuel, BOLIVAR, Juan, VACA, Federico, GARCÍA, Rafael. Caracterización Físico-Química y Radiactiva del Inatacado de Ilmenita para su Valorización. En: revista de la sociedad española de mineralogía, Julio, 2015, no.15, p.64

<sup>50</sup> ROJAS, Naydu, et.,al. Evaluación de la efectividad de la fotocatalisis heterogénea con TiO<sub>2</sub> para la inactivación de *Escherichia coli*. Trabajo de grado para optar al título de Microbiólogo Industrial. Bogotá D.C: Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de ciencias básicas.

<sup>51</sup> Huang, Z., Maness, P., Blake, D.M., Wolfrum, E.J., Smolinski, S.L., Jacoby, W.A. Bactericidal mode of titanium dioxide photocatalysis. En: Journal of Photochemistry and Photobiology, 2000, Vol.130, p. 163–170.

<sup>52</sup> Sunada, K., Watanabe, T., Hashimoto, K. Studies on photokilling of bacteria on TiO<sub>2</sub> thin film. En: Journal of Photochemistry and Photobiology, 2003, p. 227–233.

<sup>53</sup> Wainwright, M. Methylene blue derivatives – suitable photoantimicrobials for blood product disinfection?. En: International Journal of Antimicrobial Agents, 2000, Vol. 16, p. 381–394

<sup>54</sup> ZALESKA, A., JANUSZ, W., SOBCZAK B., GRABOWSKA, E. y JAN, H. Preparation and photocatalytic activity of boron-modified TiO<sub>2</sub> under UV and visible light. En: Applied Catalysis, 2008, Vol.78, p.92–100.

<sup>55</sup> Opcit., ROJAS

<sup>56</sup> CHO M., CHUNG H., CHOI W., YOON J. Linear correlation between inactivation of *E.coli* and OH radical concentration in TiO<sub>2</sub> photocatalytic disinfection. En: Water Research, 2004, Vol.38, p. 1069–1077.

catalizador y la bacteria <sup>57</sup>por esta razón se requiere de una mayor energía para crear grupos oxidantes.

Como tercer parámetro, se discute sobre el soporte polimérico en el que se encuentra el catalizador ya que investigaciones recientes en las cuales se ha soportado TiO<sub>2</sub>, en diferentes polímeros, se ha encontrado por ejemplo que polímeros tales como, poliestireno y PET, en la actividad fotocatalítica son favorecidos por mayores tiempos de residencia en el fotorreactor en comparación con otras superficies de soporte como acrílico y PVC <sup>58</sup>. Existe la posibilidad de que los soportes basados en polímeros puedan ser degradados cuando se utilizan como soportes catalíticos. <sup>59</sup>Por ejemplo, en una prueba que se realizó para la eliminación de dióxido de Carbono, utilizando láminas de poliestireno como soporte para TiO<sub>2</sub> se obtuvieron valores ligeramente superiores a los esperados, lo que sugiere que se estaba produciendo una cierta degradación del soporte de poliestireno. <sup>60</sup>

Otro factor importante para analizar, es el tamaño de la película, la cual no recubría en su totalidad la solución salina en el que se encontraba el microorganismo, razón por la cual la determinación del área de contacto del catalizador está relacionada con la inactivación bacteriana <sup>61</sup>

---

<sup>57</sup> CARP, O., HUISMAN, C., RELLER, A. Photoinduced reactivity of titanium dioxide. En: Progress in Solid State Chemistry, 2004, p. 33–17

<sup>58</sup> Opcit., CAMARA, p. 561

<sup>59</sup> FABIYI, ME. Photocatalytic mineralisation of methylene blue using buoyant TiO<sub>2</sub>-coated polystyrene beads. En: Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry. Marzo, 2000, vol. 132, p. 121-128

<sup>60</sup> H.L. Gotterman, R.S. Chymon, M.A.M. Ohstad, Londres, 1978 (2nd edn.), IBP Handbook no. 9, Methods for Physical and Chemical Analysis of Fresh Water, Blackwell Scientific

<sup>61</sup> RIMTI, SAMI et al. Innovative transparent non-scattering TiO<sub>2</sub> bactericide thin films inducing increased E. coli cell wall fluidity. En: Chemical Engineering Journal, Enero, 2016, vol. 283, p. 535-543

#### 4. CONCLUSIONES

- Ilmenita soportada en poliestireno con un tiempo de residencia de 9 horas en el fotoreactor, no es eficiente para la degradación de *E.coli*
- La efectividad en la degradación de azul de metileno no es proporcional a la degradación de *E.coli* a través del tiempo
- La modificación térmica de la Ilmenita tiene efectos significativos en la remoción de Azul de metileno
- La temperatura de calcinación a la que se expuso la Ilmenita durante 20 minutos que presentó mayor degradación de azul de metileno es 650°C, logrando un porcentaje de remoción de 73,3%

## 5. RECOMENDACIONES

- Estudiar la incidencia de diferentes soportes poliméricos para la ilmenita, en la degradación de azul de metileno.
- Degradar *E.coli* dando mayor importancia a la disposición de luz que incide en el bioreactor.



## BIBLIOGRAFIA

AMETHYST GALLERIES: MINERAL GALLERY. The Mineral Ilmenite [En línea]. Disponible en: <http://www.galleries.com/Ilmenite> [citado el 26 de marzo de 2017]

BECTON, McFarland Turbidity Standard No. 0,5. Dickinson and Company, 2002 .8808421JAA

BES .Epidemiología. Cumplimiento en la notificación semana epidemiológica [en línea]. Marzo 2015 [Citado el 11 Septiembre de 2016]. Disponible en <<http://www.ins.gov.co/boletinepidemiologico/Boletn%20Epidemiolgico/2015%20Boletin%20epidemiologico%20semana%2012.pdf>>

BOLAÑOS, David, PACHECO, Nicolás. Evaluación del efecto de la temperatura de calcinación sobre mezcla  $\text{TiO}_2/\text{CuO}$  para la inactivación fotocatalítica de *E. coli* en presencia de luz visible. Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Químico. Bogotá D.C: Universidad de América. Facultad de Ingenierías. Departamento de Ingeniería Química, 2014, p.46

BOLSON, J.R. Light compendium-ultraviolet: principles and applications. En: US.EPA Newsteller. Octubre, 1999, Vol. 22, p.9-37.

CAMARA, RM. *Et al.* Enhanced photocatalytic activity of  $\text{TiO}_2$  thin films on plasma-pretreated organic polymers. En: Catalysis Today. Julio, 2014, vol.230, p.145-151

CANET, Juan. *Escherichia Coli*: características, patogenicidad y prevención (I) [En línea]. Disponible <<http://www.betelgeux.es/blog/2016/01/19/escherichia-coli-caracteristicas-patogenicidad-y-prevencion-i/>> [citado el 01 de Junio de 2017]

CANTERAS, J. Efecto de la radiación luminosa en la desaparición de *Escherichia coli* ( $t_{90}$ ) en medio acuático. En: eliminación de *Escherichia coli*, Septiembre, 1999, vol. 6, no.3 p. 269

CASTIBLANCO, Jhoana; GÓMEZ Angie. Evaluación del prototipo de un fotorreactor híbrido y portátil para el mejoramiento de la calidad del agua de la quebrada Santa Isabel. Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Químico. Bogotá D.C.: Universidad de América. Facultad de Ingenierías. Departamento de Ingeniería Química, 2014, p. 45

CARP, O., HUISMAN, C., RELLER, A. Photoinduced reactivity of titanium dioxide. En: Progress in Solid State Chemistry, 2004, p. 33–17

CDC-OMS, medios reactivos y control de calidad, En: Medicina & Laboratorio, 2009, vol.15, p.558

CHO M., CHUNG H., CHOI W., YOON J. Linear correlation between inactivation of *E.coli* and OH radical concentration in TiO<sub>2</sub> photocatalytic disinfection. En: Water Research , 2004, Vol.38,p. 1069–1077.

CUADRAT, Ana. Combustión de carbón con captura de CO<sub>2</sub> usando ilmenita como transportador de Oxígeno. Trabajo de grado para optar por el título de Doctor. Zaragoza: Universidad de Zaragoza. PhD , 2012. p. 52

DELGADO, Carol. Revisión del estado tecnológico de los reactores fotocatalíticos para la descontaminación de agua. Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Químico. Cali: Universidad del Valle .Facultad de Ingenierías.2014

DOMENECH Xavier, JARDIM Wilson y LITTER Marta. Procesos avanzados de oxidación para la eliminación de contaminantes. En: Red CYTED VIII-G. Eliminación de contaminantes por fotocatálisis heterogénea. 1 ed. Buenos Aires: Blesa. 2001. p. 5

GARCES Fernando, MEJIA Edwin y SANTAMARIA Jorge. La fotocatálisis como alternativa para el tratamiento de aguas residuales. En: Revista Lasallista de Investigación. vol.1, no.1, p. 8

GÁZQUEZ, Manuel, BOLIVAR, Juan, VACA, Federico, GARCÍA, Rafael. Caracterización Físico-Química y Radiactiva del Inatacado de Ilmenita para su Valorización. En: revista de la sociedad española de mineralogía, Julio, 2015 , no.15 , p.64

GOMES,Tania, *et al.* Diarrheagenic *Escherichia coli*: Brazilian . En: Journal of Microbiology. Diciembre, 2016, vol. 47, p. 3-30

HINCAPIE, Gina. Fotocatálisis Heterogénea y Foto-Fenton Aplicadas al Tratamiento de Aguas de Lavado de la Producción de Biodiesel. En: Información Tecnológica. Octubre, 2011, Vol. 22, p.36-42

HUANG, C. Advanced chemical oxidation: It's present role and potential future in hazardous waste treatmen. En: Journal of Waste Management. Julio, 2003, vol. 13, p.361-37

Huang, Z., Maness, P., Blake, D.M., Wolfrum, E.J., Smolinski, S.L., Jacoby, W.A. Bactericidal mode of titanium dioxide photocatalysis. En: Journal of Photochemistry and Photobiology ,2000, Vol.130 ,p. 163–170.

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.1

LEE, Chang-Soo, et al. Photocatalytic functional coatings of TiO<sub>2</sub> thin films on polymer substrate by plasma enhanced atomic layer deposition. En: Applied Catalysis B: Environmental. Septiembre, 2009, vol. 91, p. 628–633

MADIGAN, Michael , MARTINKO, Joh. *Brock Biología de los Microorganismos*. 10ed. Sevilla: Pearson educación, 2004

IZURIETA, Natalia. Laboratorio de bacteriología y Micología.[Diapositivas]. Abril, 2011

MARIN, Juan, et al. Soporte de Nuevas Películas de TiO<sub>2</sub> y TiO<sub>2</sub>/SiO<sub>2</sub> sobre Gránulos de Poliéster para Aplicación en Fotocatálisis. *Inf. tecnol.* [en línea]. 2008, vol.19, n.6 [citado 06 de Mayo de 2017],. Disponible en:<[http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S071807642008000600003](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S071807642008000600003)

MATÍAS, Diógenes. Ilmenita. Distribuidores de ilmenita [en línea]. Disponible en <<http://distribuidoresdeilmenita.com/>> [citado el 01 de abril de 2017]

OMS. Calidad Del agua. Guías De la OMS Para La calidad del agua [en línea]. Noviembre 2016 [Citado el 13 Septiembre de 2016]. Disponible en <<http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs391/es/>.>

MORA MERA, César Augusto y MURCIA SANGUINO, Mario Leonardo. Evaluación de la actividad fotocatalítica de la ilmenita modificada con ácido sulfúrico para la degradación de azul de metileno. Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Químico. Bogotá D.C.: Fundación Universidad de América. Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Química, 2012. 98 p

OMS. *Escherichia coli*. Temas de salud [en línea]. Septiembre 2015 [Citado el 13 Febrero de 2017]. Disponible en <[http://www.who.int/topics/escherichia\\_coli\\_infections/es/](http://www.who.int/topics/escherichia_coli_infections/es/).>

OMS-OPS. Agua potable. Informe Del Evento Mortalidad Por Enfermedad Diarreica Aguda En Menores De Cinco Años, y Morbilidad En Todos Los Grupos De Edad, (proceso vigilancia y control en salud pública) [en línea]. Septiembre 2012 [Citado el 11 Septiembre de 2016]. Disponible en <http://www.ins.gov.co/lineasdeaccion/SubdireccionVigilancia/Informe%20de%20Evento%20Epidemiolgico/EDA%202012.pdf>.

PAL, Bonamali. et al. Preparation and characterization of TiO<sub>2</sub>/Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> binary mixed oxides and its photocatalytic properties. En: Materials Chemistry and Physics. Febrero, 1999, p. 254-261

PARRES, Francisco. Investigación de las variables limitantes en la recuperación de residuos de poliestireno procedentes del sector envase. Trabajo de grado para optar al título de Doctor. Valencia: Universidad politécnica de valencia. Departamento de ingeniería mecánica y de materiales. 2005, p.13-39

POOLMAN, Jan. *Escherichia coli*. En: Reference Module in Biomedical Sciences encyclopedia of Microbiology, Octubre ,2016, ed.3, p.585-593  
PORTIS, Alan. *Electrónica de semiconductores. 2 ed. California: Reverte S.A, 2009, p.3*

POURABDOLI M, RAYGAN S, ABDIZADEH H, HANA EI K. Production of high titania slag by electro-slag crucible melting (ECSM). En: process. Int. J. Miner. Process., Febrero, 2006 p.78, 175–181.

PUERTA, A, MATEOS, F. Enterobacterias, En: Medicine Unidad de Enfermedades Infecciosas. Medicine.2010, vol.10, p. 3426-3431

RAJ, Joseph, et al, Sulfated Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>–TiO<sub>2</sub> synthesized from ilmenite ore: A visible light active photocatalyst. En: Colloids and Surfaces Physicochemical and Engineering Aspects, Septiembre, 2010, vol.367, p.140-147

RAMÍREZ, Yazmin. Diseño, construcción y puesta en marcha de un reactor tubular fotocatalítico (uv-a) para la degradación de desechos químicos orgánicos. Trabajo de grado para optar al título de Químico Industrial .Pereira: Universidad tecnológica de Pereira. Facultad de tecnología. 2013

RINCON, Ángela, *et al*, Desinfección de agua por fotocátalisis aspectos básicos, En: Solar Safe Water, 2004, p.203-225

ROJAS, Naydu, et.al, Evaluación de la efectividad de la fotocátalisis heterogénea con TiO<sub>2</sub> para la inactivación de *Escherichia coli*. Trabajo de grado para optar al título de Microbiólogo Industrial. Bogotá D.C: Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de ciencias básicas

SANCHEZ, Inés. Diversidad microbiana y taxonomía. En: Departamento de Microbiología.[En línea], 2016, [Citado el 15 de Mayo de 2017] , Disponible en: <[http://www.diversidadmicrobiana.com/index.php?option=com\\_content&view=article&id=448&Itemid=542](http://www.diversidadmicrobiana.com/index.php?option=com_content&view=article&id=448&Itemid=542)>

SIMPRADITPAN, Athapon, et al. Effect of calcination temperature on structural and photocatalyst properties of nanofibers prepared from low-cost natural ilmenite

mineral by simple hydrothermal method. En: Materials research bulletin. Mayo, 2013, vol. 48, p. 3211-3217

Sunada, K., Watanabe, T., Hashimoto, K. Studies on photokilling of bacteria on TiO<sub>2</sub> thin film. En: Journal of Photochemistry and Photobiology ,2003, p. 227–233.

TORRES, Juan, *et al.* Effect of calcination temperature on the textural and structural properties of Fe (III)-TiO<sub>2</sub>. En: Revista de facultad de ciencias. Septiembre, 2014, vol.10, no.2, p.186-195

YANG, Xianqin, WANG, Hui. Pathogenic *E. coli* (Introduction).En: Encyclopedia of Food Microbiology, Agosto, 2014, ed.2, p. 695–701

YASMINA,Mokhib. Treatment Heterogeneous Photocatalysis Factors Influencing the Photocatalytic Degradation by TiO<sub>2</sub> Energy Procedia. En: Technologies and Materials for Renewable Energy, Environment and Sustainability. Agosto, 2014, Vol.50, p.559-566

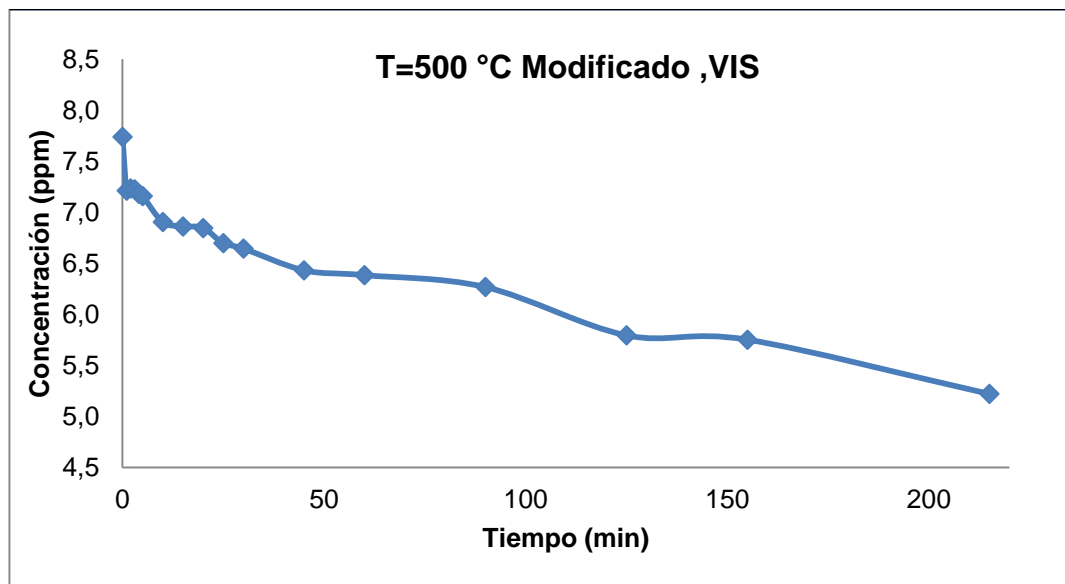
WAINWRIGHT, M. Methylene blue derivatives – suitable photoantimicrobials for blood product disinfection? En: International Journal of Antimicrobial Agents ,2000, Vol. 16 , p. 381–394

ZALESKA, A., JANUSZ, W., SOBCZAK B., GRABOWSKA, E. y JAN, H. Preparation and photocatalytic activity of boron-modified TiO<sub>2</sub> under UV and visible light.En: Applied Catalysis, 2008, Vol.78, p.92–100.

## **ANEXOS**

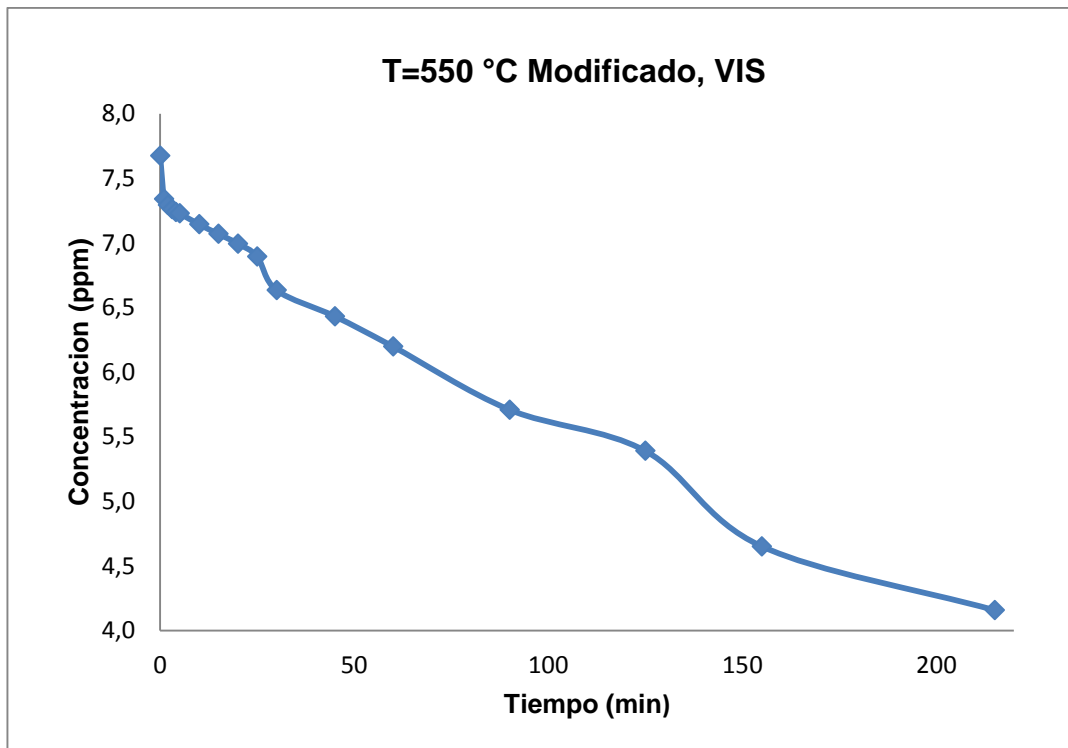
**ANEXO A**  
**DEGRADACION DE AZUL DE METILENO, ILMENITA MODIFICADA CON**  
**ÁCIDO SULFÚRICO (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), A DIFERENTES TEMPERATURAS DE**  
**CALCINACION EN PRESENCIA DE LUZ VISIBLE**

T=500°C Modificado, Visible	
Concentración (ppm)	Absorbancia
7,739	1,369
7,213	1,27
7,234	1,274
7,224	1,272
7,181	1,264
7,160	1,26
6,905	1,212
6,862	1,204
6,846	1,201
6,698	1,173
6,645	1,163
6,432	1,123
6,384	1,114
6,267	1,092
5,794	1,003
5,752	0,995
5,221	0,895

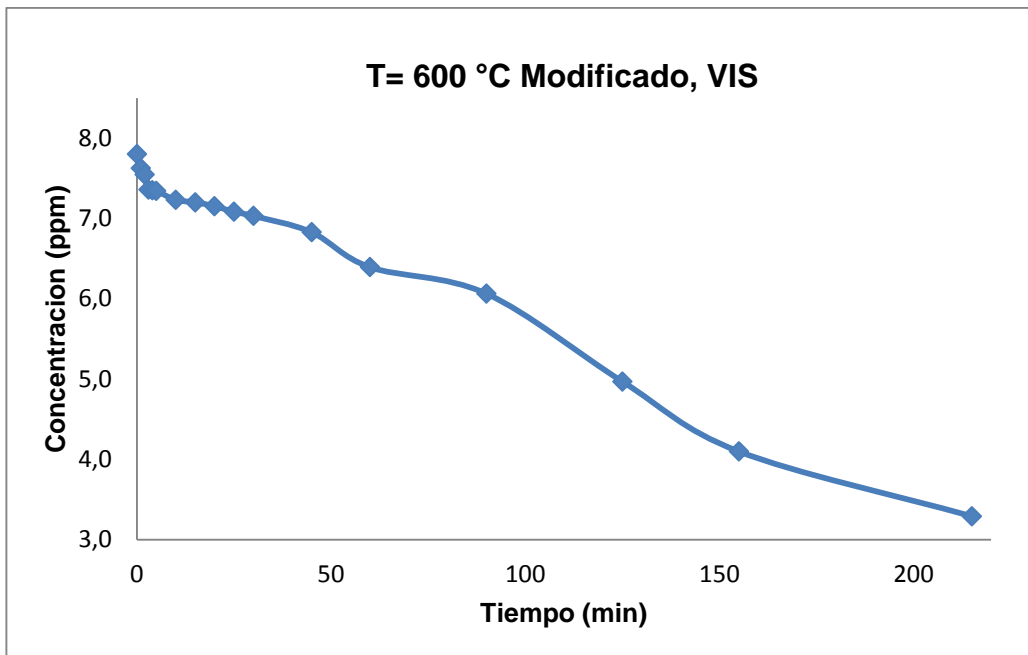


<b>T= 550 °C Modificado ,Visible</b>	
<b>Concentración (ppm)</b>	<b>Absorbancia</b>
7,675	1,357
7,341	1,294
7,293	1,285
7,261	1,279
7,240	1,275
7,229	1,273
7,144	1,257
7,070	1,243
6,995	1,229
6,894	1,21
6,634	1,161
6,432	1,123
6,198	1,079
5,709	0,987
5,391	0,927
4,652	0,788
4,158	0,695

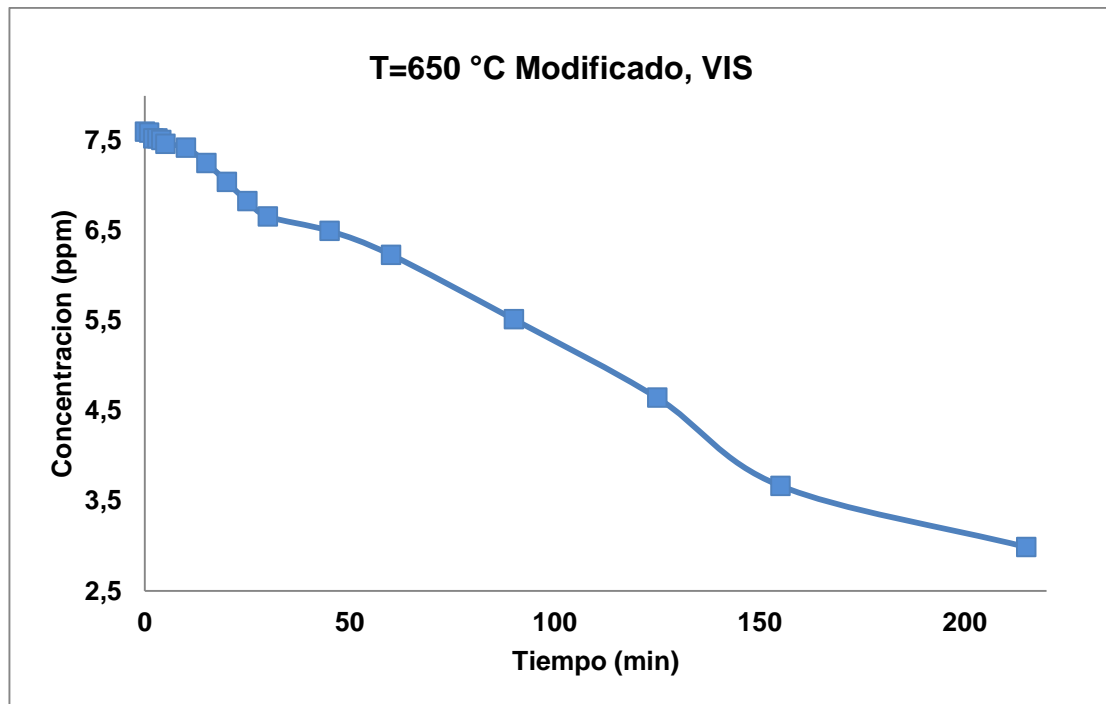




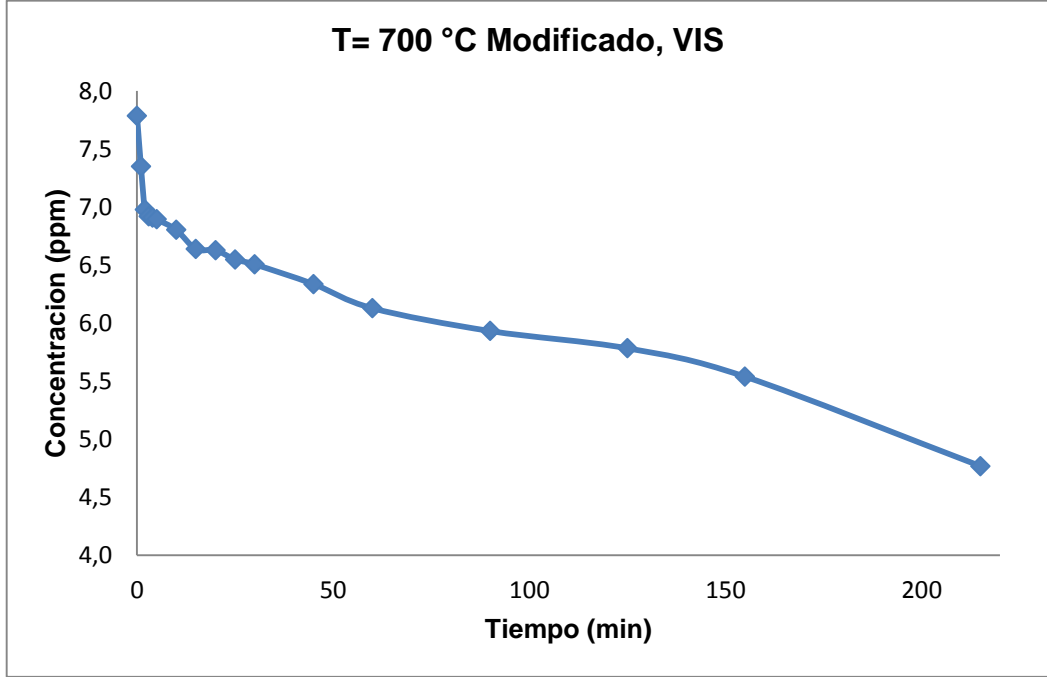
<b>T= 600°C Modificado, Visible</b>	
<b>Concentración (ppm)</b>	<b>Absorbancia</b>
7,802869288	1,381
7,627523911	1,348
7,547821467	1,333
7,361849097	1,298
7,351222104	1,296
7,345908608	1,295
7,234325186	1,274
7,202444208	1,268
7,154622742	1,259
7,08554729	1,246
7,032412327	1,236
6,830499469	1,198
6,394792774	1,116
6,065356004	1,054
4,97077577	0,848
4,09936238	0,684
3,291710946	0,532



<b>T= 650 °C Modificado , Visible</b>	
<b>Concentración (ppm)</b>	<b>Absorbancia</b>
7,600956429	1,343
7,590329437	1,341
7,526567481	1,329
7,526567481	1,329
7,510626993	1,326
7,468119022	1,318
7,425611052	1,31
7,255579171	1,278
7,04303932	1,238
6,830499469	1,198
6,660467588	1,166
6,501062699	1,136
6,235387885	1,086
5,518065887	0,951
4,646652497	0,787
3,668969182	0,603
2,988841658	0,475

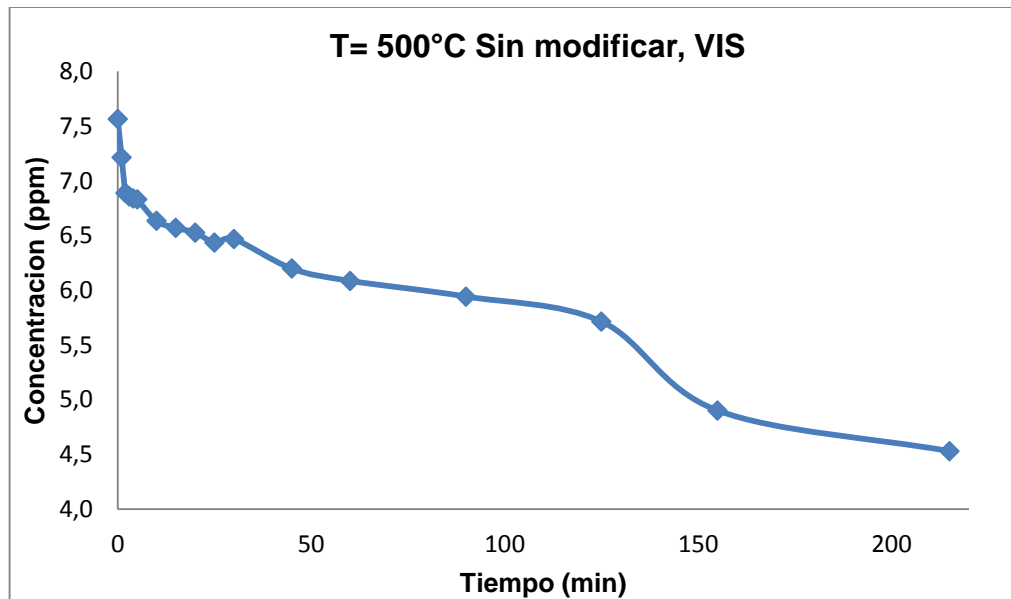


<b>T=700°C Modificado, VIS</b>	
<b>Concentración (ppm)</b>	<b>Absorbancia</b>
7,415	1,308
7,351	1,296
6,979	1,226
6,921	1,215
6,910	1,213
6,894	1,21
6,804	1,193
6,639	1,162
6,629	1,16
6,549	1,145
6,506	1,137
6,336	1,105
6,129	1,066
5,933	1,029
5,784	1,001
5,539	0,955
4,769	0,81

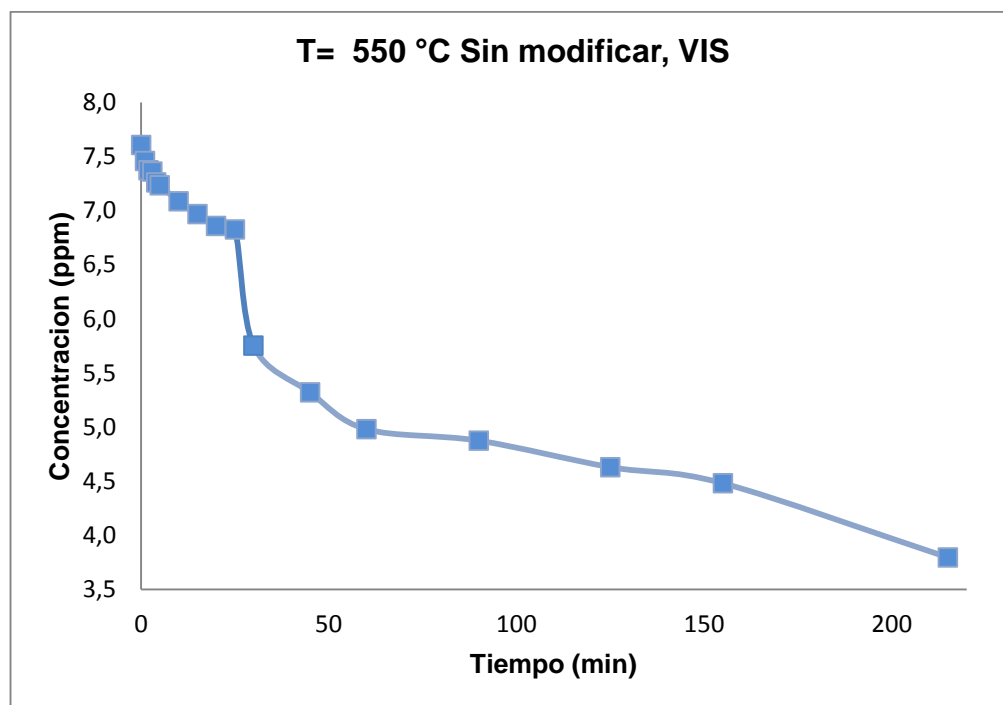


**ANEXO B**  
**DEGRADACION DE AZUL DE METILENO, ILMENITA SIN MODIFICAR CON**  
**ÁCIDO SULFÚRICO (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), A DIFERENTES TEMPERATURAS DE**  
**CALCINACION EN PRESENCIA DE LUZ VISIBLE**

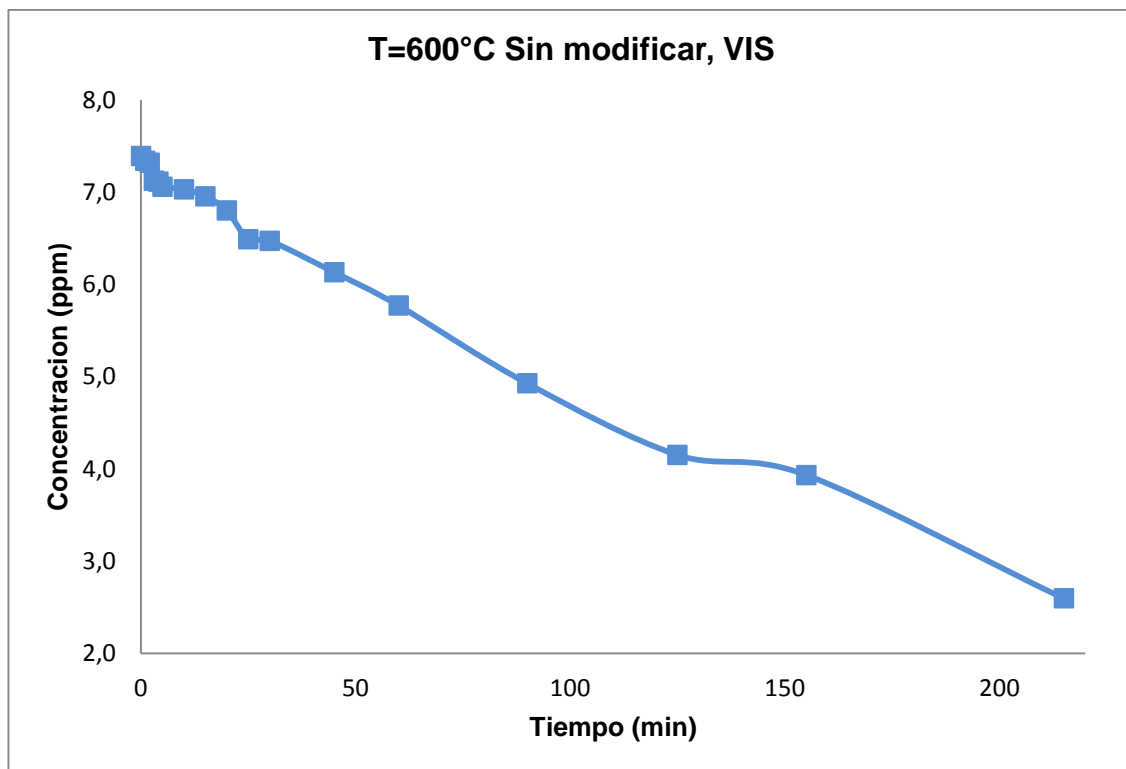
T=500 °C Sin modificar, Visible	
Concentración (ppm)	Absorbancia
7,564	1,336
7,213	1,27
6,889	1,209
6,857	1,203
6,841	1,2
6,830	1,198
6,634	1,161
6,570	1,149
6,528	1,141
6,437	1,124
6,469	1,13
6,198	1,079
6,087	1,058
5,943	1,031
5,715	0,988
4,902	0,835
4,530	0,765



<b>T=550°C Sin modificar, Visible</b>	
<b>Concentración (ppm)</b>	<b>Absorbancia</b>
7,606269926	1,344
7,45749203	1,316
7,372476089	1,3
7,361849097	1,298
7,260892667	1,279
7,234325186	1,274
7,08554729	1,246
6,968650372	1,224
6,85706695	1,203
6,825185972	1,197
5,751859724	0,995
5,321466525	0,914
4,981402763	0,85
4,875132837	0,83
4,630712009	0,784
4,481934113	0,756
3,796493092	0,627

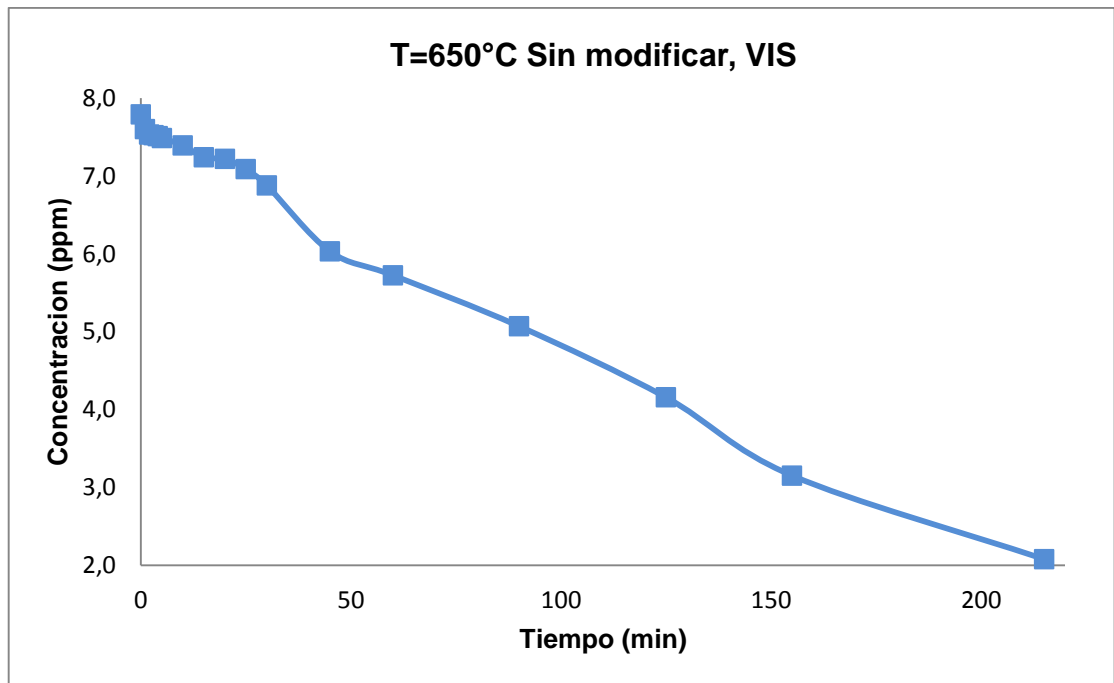


<b>T=600°C Sin modificar, Visible</b>	
<b>Concentración (ppm)</b>	<b>Absorbancia</b>
7,393730074	1,304
7,340595112	1,294
7,319341126	1,29
7,12805526	1,254
7,117428268	1,252
7,058979809	1,241
7,032412327	1,236
6,958023379	1,222
6,803931987	1,193
6,490435707	1,134
6,474495218	1,131
6,134431456	1,067
5,773113709	0,999
4,9282678	0,84
4,152497343	0,694
3,934643996	0,653
2,595642933	0,401

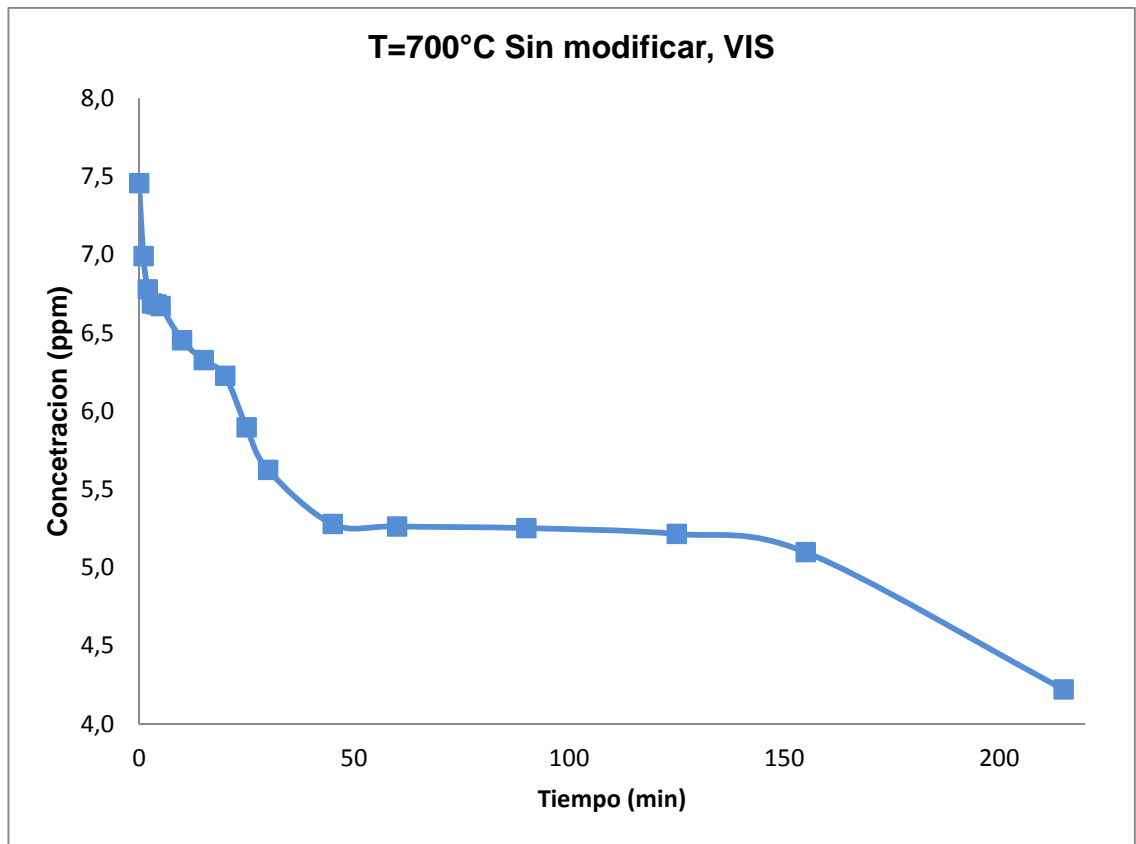


<b>T= 650°C Sin modificar, VIS</b>	
<b>Concentración (ppm)</b>	<b>Absorbancia</b>
7,792242295	1,379
7,600956429	1,343
7,531880978	1,33
7,526567481	1,329
7,510626993	1,326
7,489373007	1,322
7,393730074	1,304
7,239638682	1,275
7,218384697	1,271
7,090860786	1,247
6,878320935	1,207
6,033475027	1,048
5,725292242	0,99
5,0717322	0,867
4,15781084	0,695
3,153560043	0,506
2,080233794	0,304





<b>T= 700 °C Sin modificar, VIS</b>	
<b>Concentración (ppm)</b>	<b>Absorbancia</b>
7,457	1,316
6,990	1,228
6,777	1,188
6,687	1,171
6,682	1,170
6,671	1,168
6,453	1,127
6,326	1,103
6,225	1,084
5,895	1,022
5,624	0,971
5,279	0,906
5,263	0,903
5,252	0,901
5,215	0,894
5,098	0,872
4,222	0,707



**ANEXO C**  
**DEGRADACION DE AZUL DE METILENO , TABLA DE RESULTADOS DE**  
**ILMENITA MODIFICADA CON ÁCIDO SULFÚRICO (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), A DIFERENTES**  
**TEMPERATURAS DE CALCINACION, EN PRESENCIA DE LUZ UV**

<b>T=500°C Modificado, UV</b>		<b>T=550°C Modificado, UV</b>	
<b>Concentracion (ppm)</b>	<b>Absorbancia</b>	<b>Concentracion (ppm)</b>	<b>Absorbancia</b>
7,5	1,324	7,744420829	1,37
7,478746015	1,32	7,074920298	1,244
7,473432519	1,319	7,021785335	1,234
7,452178533	1,315	6,915515409	1,214
7,430924548	1,311	6,89957492	1,211
7,383103082	1,302	6,894261424	1,21
7,3565356	1,297	6,782678002	1,189
6,596705632	1,154	6,62858661	1,16
6,474495218	1,131	6,506376196	1,137
6,368225292	1,111	6,463868225	1,129
6,25664187	1,09	6,3575983	1,109
6,2141339	1,082	6,17162593	1,074
5,693411265	0,984	5,996280553	1,041
5,193942614	0,89	5,789054198	1,002
4,944208289	0,843	5,263018066	0,903
4,896386823	0,834	4,226886291	0,708
4,28533475	0,719	4,455366631	0,751

<b>T=600°C Modificado, UV</b>		<b>T=650 °C Modificado UV</b>	
<b>Concentracion (ppm)</b>	<b>Absorbancia</b>	<b>Concentracion (ppm)</b>	<b>Absorbancia</b>
7,367162593	1,299	7,744420829	1,37
7,260892667	1,279	7,638150903	1,35
7,255579171	1,278	7,45749203	1,316
7,250265675	1,277	7,441551541	1,313
7,239638682	1,275	7,430924548	1,311
7,22901169	1,273	7,165249734	1,261
7,143995749	1,257	7,08554729	1,246
7,117428268	1,252	7,016471838	1,233
7,112114772	1,251	6,904888417	1,212
6,968650372	1,224	6,766737513	1,186
6,793304995	1,191	6,501062699	1,136
6,777364506	1,188	6,54357067	1,144
6,734856536	1,180	6,12911796	1,066
6,362911796	1,110	5,369287991	0,923
5,25770457	0,902	4,747608927	0,806
4,465993624	0,753	4,184378321	0,7
3,190754516	0,513	3,212008502	0,517

<b>T=700°C Modificado, UV</b>	
<b>Concentracion (ppm)</b>	<b>Absorbancia</b>
7,707226355	1,363
7,388416578	1,303
7,351222104	1,296
7,324654623	1,291
7,319341126	1,29
7,303400638	1,287
7,213071201	1,27
7,154622742	1,259
7,12805526	1,254
7,011158342	1,232
6,995217853	1,229
6,740170032	1,181
6,639213603	1,162
6,336344315	1,105
6,001594049	1,042
5,57120085	0,961
5,225823592	0,896

**ANEXO D**  
**DEGRADACION DE AZUL DE METILENO , TABLA DE RESULTADOS DE**  
**ILMENITA SIN MODIFICAR CON ÁCIDO SULFÚRICO (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), A DIFERENTES**  
**TEMPERATURAS DE CALCINACION, EN PRESENCIA DE LUZ UV**

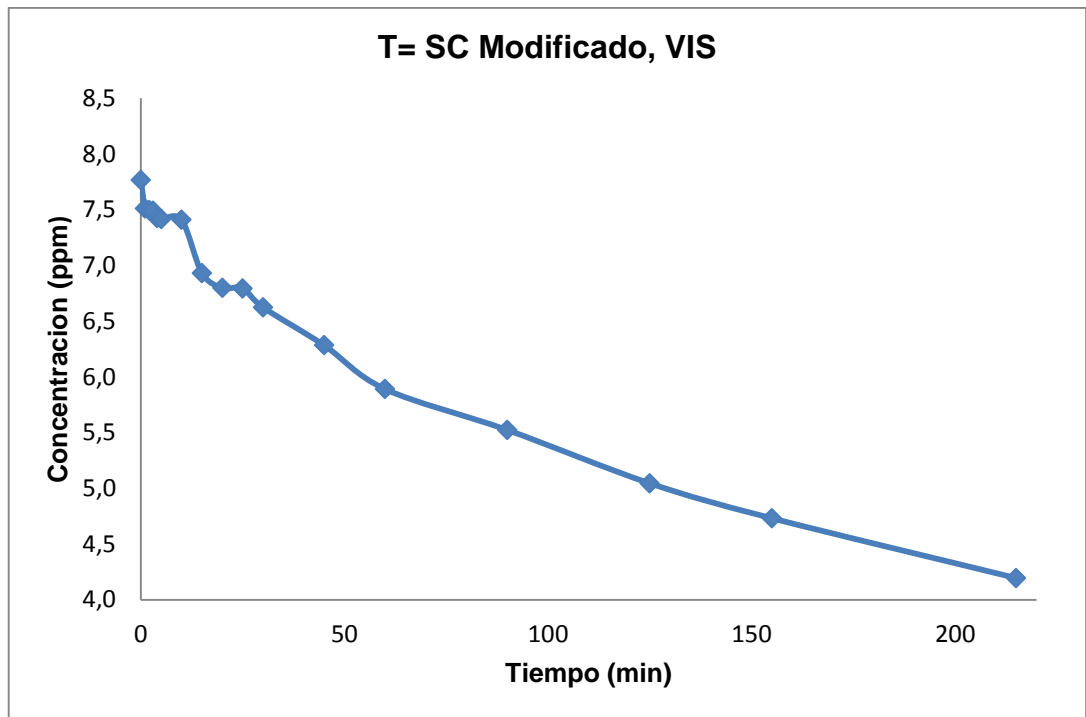
<b>T=500°C Sin modificar, UV</b>		<b>T=550 °C Sin modificar, UV</b>	
<b>Concentracion (ppm)</b>	<b>Absorbancia</b>	<b>Concentracion (ppm)</b>	<b>Absorbancia</b>
7,654091392	1,353	7,680658874	1,358
7,595642933	1,342	7,345908608	1,295
7,441551541	1,313	7,298087141	1,286
7,393730074	1,304	7,282146652	1,283
7,340595112	1,294	7,244952179	1,276
7,31402763	1,289	7,223698193	1,272
7,292773645	1,285	7,106801275	1,25
7,165249734	1,261	6,920828905	1,215
7,090860786	1,247	6,548884166	1,145
7,011158342	1,232	6,67109458	1,168
6,85706695	1,203	6,44261424	1,125
7,090860786	1,247	5,895324123	1,022
6,331030818	1,104	5,565887354	0,96
6,054729012	1,052	5,066418704	0,866
5,358660999	0,921	4,210945802	0,705
4,960148778	0,846	4,01434644	0,668
3,934643996	0,653	3,259829968	0,526

<b>T=600°C Sin modificar, UV</b>		<b>T=650°C Sin modificar, UV</b>	
<b>Concentracion (ppm)</b>	<b>Absorbancia</b>	<b>Concentracion (ppm)</b>	<b>Absorbancia</b>
7,367162593	1,299	7,54250797	1,332
7,260892667	1,279	7,510626993	1,326
7,255579171	1,278	7,468119022	1,318
7,250265675	1,277	7,404357067	1,306
7,239638682	1,275	7,377789586	1,301
7,22901169	1,273	7,351222104	1,296
7,143995749	1,257	7,027098831	1,235
7,117428268	1,252	6,915515409	1,214
7,112114772	1,251	6,809245484	1,194
6,968650372	1,224	5,666843783	0,979
6,793304995	1,191	5,225823592	0,896
6,777364506	1,188	5,066418704	0,866
6,734856536	1,180	4,864505845	0,828
6,362911796	1,110	4,752922423	0,807
5,25770457	0,902	4,705100956	0,798
5,209883103	0,893	4,062167906	0,677
4,784803401	0,813	3,403294368	0,553

<b>T=700°C Sin modificar, UV</b>	
<b>Concentracion (ppm)</b>	<b>Absorbancia</b>
7,765674814	1,374
7,441551541	1,313
7,361849097	1,298
7,31402763	1,289
7,053666312	1,24
6,841126461	1,2
6,835812965	1,199
6,623273114	1,159
6,596705632	1,154
6,479808714	1,132
6,463868225	1,129
6,208820404	1,081
6,107863974	1,062
5,804994687	1,005
5,789054198	1,002
5,039851222	0,861
4,694473964	0,796

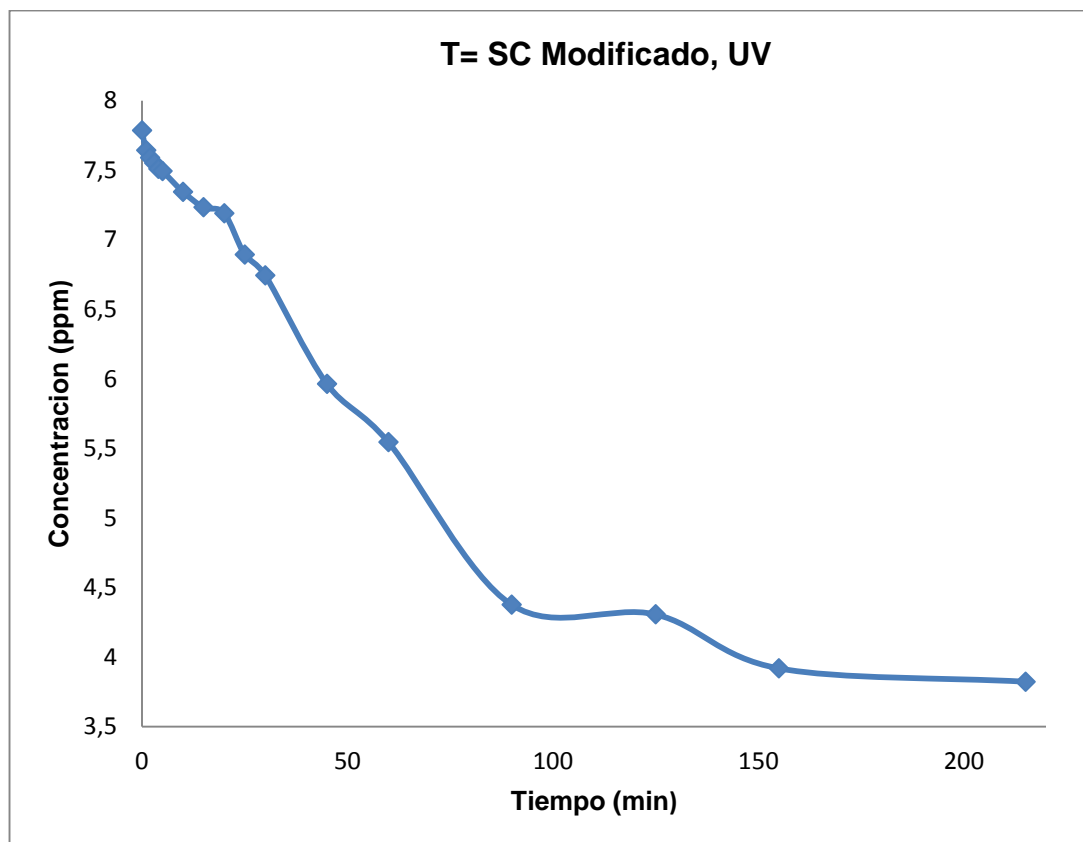
**ANEXO E**  
**DEGRADACION DE AZUL DE METILENO, ILMENITA MODIFICADA CON**  
**ÁCIDO SULFÚRICO (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) Y SIN CALCINAR**

<b>T= SC Modificado, VIS</b>	
<b>Concentración (ppm)</b>	<b>Absorbancia</b>
7,765674814	1,374
7,510626993	1,326
7,494686504	1,323
7,489373007	1,322
7,425611052	1,31
7,41498406	1,308
7,409670563	1,307
6,931455898	1,217
6,798618491	1,192
6,793304995	1,191
6,623273114	1,159
6,283209352	1,095
5,890010627	1,021
5,523379384	0,952
5,045164718	0,862
4,731668438	0,803
4,195005313	0,702



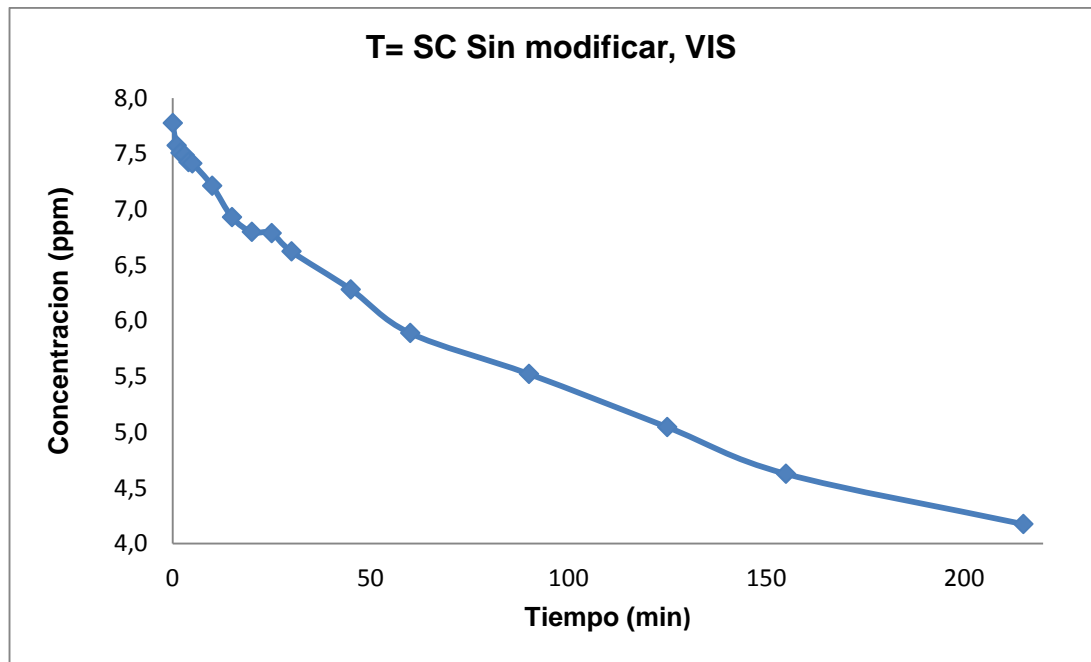
<b>T= SC Modificado ,UV</b>	
<b>Concentración (ppm)</b>	<b>Absorbancia</b>
7,786928799	1,378
7,6434644	1,351
7,590329437	1,341
7,553134963	1,334
7,510626993	1,326
7,494686504	1,323
7,345908608	1,295
7,234325186	1,274
7,191817216	1,266
6,894261424	1,21
6,745483528	1,182
5,964399575	1,035
5,544633369	0,956
4,375664187	0,736
4,306588735	0,723
3,918703507	0,65
3,823060574	0,632



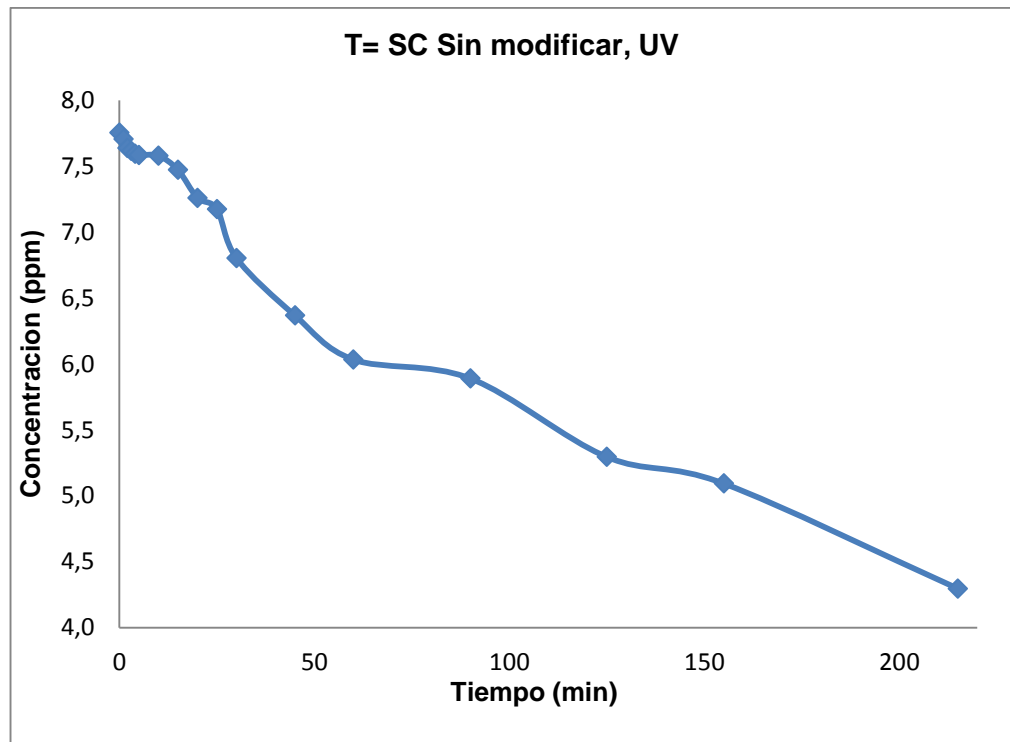


**ANEXO F**  
**DEGRADACION DE AZUL DE METILENO, ILMENITA SIN MODIFICAR CON**  
**ÁCIDO SULFÚRICO (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) Y SIN CALCINAR**

<b>T=SC Sin modificar, VIS</b>	
<b>Concentración (ppm)</b>	<b>Absorbancia</b>
7,776301807	1,376
7,574388948	1,338
7,510626993	1,326
7,489373007	1,322
7,425611052	1,31
7,41498406	1,308
7,213071201	1,27
6,931455898	1,217
6,798618491	1,192
6,787991498	1,19
6,623273114	1,159
6,283209352	1,095
5,890010627	1,021
5,523379384	0,952
5,045164718	0,862
4,625398512	0,783
4,173751328	0,698



<b>T= SC Sin modificar, UV</b>	
<b>Concentración (ppm)</b>	<b>Absorbancia</b>
7,755047821	1,372
7,707226355	1,363
7,638150903	1,35
7,616896918	1,346
7,595642933	1,342
7,58501594	1,34
7,579702444	1,339
7,473432519	1,319
7,260892667	1,279
7,175876727	1,263
6,803931987	1,193
6,368225292	1,111
6,033475027	1,048
5,890010627	1,021
5,294899044	0,909
5,092986185	0,871
4,295961743	0,721



**ANEXO G**  
**FICHA TECNICA - HIPS**



**DESCRIPCION DEL PRODUCTO.**

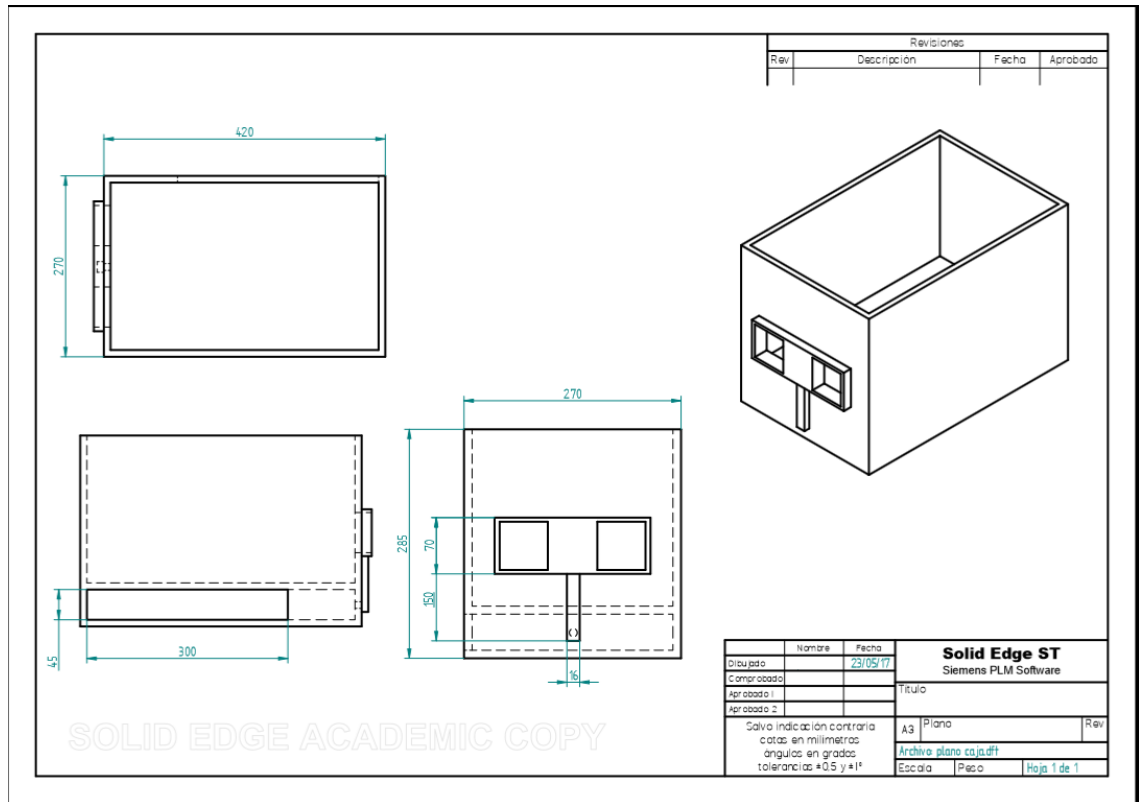
Lamina fabricada en Poliestireno de alto impacto con buena resistencia al impacto y excelentes propiedades mecánicas.

<b>Propiedades Físicas</b>	
<b>Características</b>	<b>Descripción</b>
Densidad ASTM D792	1,06 g/cm <sup>3</sup>
Contracción de molde (flujo) ASTM D955	0,3 a 0,6 %
Absorción del agua ASTM D570	0,03%
Índice de fluidez 220°C/ 5kg ASTM D1238	4,5G/10 min
<b>Propiedades Mecánicas</b>	
<b>Características</b>	<b>Descripción</b>
Resistencia a la tensión ASTM D638	280 kg/cm <sup>2</sup>
Elongación en el punto de ruptura ASTM D638	55%
Resistencia a la flexión ASTM D790	350 kg/cm <sup>2</sup>
Módulo de reflexión ASTM D790	17,500 kg/cm <sup>2</sup>
IZOD Resistencia al impacto, 3.2 mm ASTM D256	9,5 kg cm/ cm
Dureza rockwell (escala L) ASTM D785	65.
<b>Propiedades Térmicas</b>	
<b>Características</b>	<b>Descripción</b>
Temperatura de deformación por calor 18.6 kg f/cm <sup>2</sup> ASTM D648	80°C
Temperatura de ablandamiento Vicat 1 kg, 50°C/h ASTM D1525	80°C
Flamabilidad UL (1.6 mm) UL94	HB.

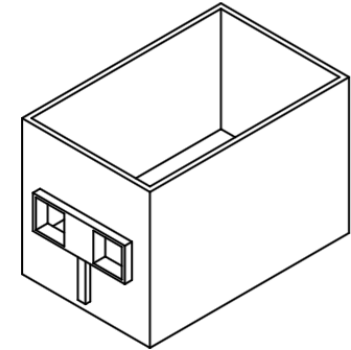
**CALIBRE**

Desde 10 milésimas de pulgada, O su equivalente en milímetros 25.4 milésimas de milímetro. Hasta 240 milésimas de pulgada, O su equivalente en milímetros 609.6 milésimas de milímetro.

## ANEXO H: PLANOS FOTOREACTOR

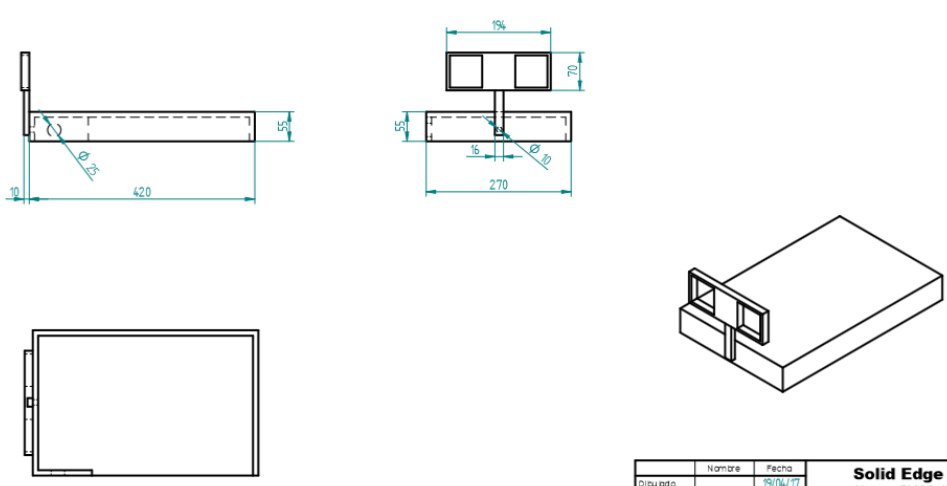


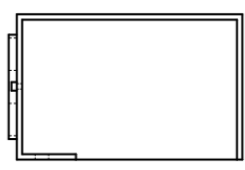
Revisiones			
Rev	Descripcion	Fecha	Aprobado



Nombre	Fecha	Solid Edge ST	
Dibujado	23/05/17	Siemens PLM Software	
Comprobado			
Aprobado 1			
Aprobado 2			
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias: ±0.5 y ±1*		A3	Plano
		Archivo: plano_caja.dwg	
		Escala	Piso
		Hoja 1 de 1	


Revisiones			
Rev	Descripcion	Fecha	Aprobado





Nombre	Fecha	<b>Solid Edge ST</b> Siemens PLM Software	
Dibujado	19/04/17	Titulo	
Comprado			
Aprobado 1			
Aprobado 2			
Salvo indicacion contraria cotas en milimetros angulos en grados tolerancias *0.5 y *1*		A3	Plano
		Escala	Peso
		Hoja 1 de 1	

SOLID EDGE ACADEMIC COPY

 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


Yo **PAOLA ANDREA SUAREZ BUSTOS** en calidad de titular de la obra **EVALUACION DEL EFECTO DE LA TEMPERATURA DE CALCINACION DE LA ILMENITA SOBRE LA ACIVIDAD MICROBIANA EN PRESENCIA DE LUZ VISIBLE**, elaborada en el año 2016, autorizo 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 me(nos) corresponde(n) 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 Autor(es) 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.

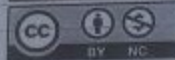
Conforme a las condiciones anteriormente expuestas, como autor(es) establezco (establecemos) las siguientes condiciones de uso de mi (nuestra) obra de acuerdo con la **licencia Creative Commons** que se señala a continuación:



	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.



**Atribución - no comercial:** permite distribuir, crear obras derivadas, sin fines comerciales con reconocimiento del autor.



**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.

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 su(s) autor(es).

De igual forma como autor (es) autorizo (amos) la consulta de los medios físicos del presente trabajo de grado así:

AUTORIZO (AUTORIZAMOS)	SI	NO
La consulta física (sólo en las instalaciones de la Biblioteca) del CD-ROM y/o impreso	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
La reproducción por cualquier formato conocido o por conocer para efectos de preservación	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>Información Confidencial:</b> 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 indicaré (indicaremos), en carta adjunta, tal situación con el fin de que se respete la restricción de acceso.	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Para constancia se firma el presente documento en (la ciudad), a los ONCE días del mes de AGOSTO del año 2017.

EL(LOS) AUTOR(ES):

Autor 1

Nombres	Apellidos
PAOLA ANDREA	SUAREZ BUSTOS
Documento de identificación No	Firma
1020792155	