



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD CIENCIAS**

**ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS**

**“EVALUACIÓN MULTIVARIADA DE UN FOTOCATALIZADOR  
DOPADO CON NANOPARTÍCULAS DE PLATA PARA LA  
DEGRADACIÓN DE COMPUESTOS ORGÁNICOS EN UNA  
MUESTRA DE AGUA RESIDUAL.”**

**TRABAJO DE TITULACIÓN**

**TIPO: PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN**

Previo a la obtención del Título de:

**INGENIERO EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL.**

**AUTOR: EDUARDO PATRICIO LOZANO ORNA**

**TUTOR: DR. GERARDO LEÓN**

Riobamba-Ecuador

2017

**©2017, Eduardo Patricio Lozano Orna**

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

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS**

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El trabajo de investigación: **“EVALUACIÓN MULTIVARIADA DE UN FOTOCATALIZADOR DOPADO CON NANOPARTÍCULAS DE PLATA PARA LA DEGRADACIÓN DE COMPUESTOS ORGÁNICOS EN UNA MUESTRA DE AGUA RESIDUAL”**, de responsabilidad del señor egresado Eduardo Patricio Lozano Orna, ha sido prolijamente revisado por los Miembros del Tribunal de Tesis, quedando autorizada su presentación.

**FIRMA**

**FECHA**

Dr. Gerardo León

**DIRECTOR DE TESIS**

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

PhD. Robert Cazar

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Yo, Eduardo Patricio Lozano Orna, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Superior Politécnica de Chimborazo puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

---

Eduardo Patricio Lozano Orna

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, a la Facultad de Ciencias y a mis maestros por hacerme participe de sus conocimientos y contribuir en mi formación como profesional.

Al Dr. Wilian Bravo por haberme guiado en la elaboración de mi tema de titulación y haber compartido sus experiencias conmigo.

A la Universidad Nacional de Chimborazo, al Dr. Víctor Gracia quienes contribuyeron con su ayuda para la realización del análisis del fotocatalizador en el Scanning Electron Microscopy (SEM) del laboratorio de materiales.

A Jehová por permitirme alcanzar esta meta y darme muchas bendiciones, a mi familia por alentarme y contribuir en mi vida para yo ser una mejor persona.

Eduardo L.

## **DEDICATORIA**

La vida se ve llena de retos como también de metas, alcanzarlos implica superar cada uno de los retos que se presenten en el camino hacia ella.

Este trabajo de titulación dedico a los seres más importantes en mi vida a mi madre Mariana por su apoyo incondicional, su esfuerzo que ha hecho por mí y ejemplo de superación, a mi tía Nelly que ha sido mi apoyo incondicional, a mi hermano Jhonatan quien ha sido mi amigo y ayuda en momentos difíciles, a Evelyn por su compañía y amor, por ser quienes aportaron para que yo culminara mi meta.

A Ainara y Jhonatan, sea para ellos un estímulo en su futuro y vean que para cumplir un sueño siempre es necesario esfuerzo, trabajo y perseverancia.

Eduardo L.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>RESUMEN.....</b>	<b>XVII</b>
<b>SUMMARY.....</b>	<b>XVIII</b>
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>JUSTIFICACIÓN.....</b>	<b>2</b>
<b>ANTECEDENTES.....</b>	<b>3</b>
<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>5</b>

### CAPÍTULO I

<b>1. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>6</b>
1.1. Adsorción.....	6
1.2. Absorción.....	6
1.3. Microscopia Electrónica de Barrido(SEM).....	6
1.4. Fotón.....	7
1.5. Radiación Ultravioleta.....	8
1.6. Nanopartículas.....	8
1.7. Semiconductores.....	9
1.8. Semiconductor Dopado.....	9
1.9. Fotocatálisis.....	10
1.10. Dióxido de Titanio.....	10
1.11. Propiedades estructurales y electrónicas del Dióxido de Titanio.....	11
1.12. Actividad fotocatalítica del dióxido de titanio.....	11
1.13. Lámparas UVc.....	12
1.14. Fotólisis.....	12
1.15. Correlación de Pearson.....	12
1.16. Calidad del agua.....	13
1.17. Agua residual.....	13

### CAPÍTULO II

<b>2. METODOLOGÍA - PARTE EXPERIMENTAL.....</b>	<b>14</b>
2.1 Preparación de nanopartículas de TiO <sub>2</sub> dopadas con plata por el método Sol-Gel.....	14
2.1.1 Dopado con plata del TiO <sub>2</sub> .....	14
2.2 Medición de intensidad lumínica de lámpara UVc.....	14

2.3	Curva de calibración del azul de metileno.....	15
2.3.1	Preparación de soluciones de azul de metileno.....	15
2.3.2	Identificación de longitud de onda adecuada por espectroscopia UV-vis.....	15
2.3.3	Análisis de muestras de azul de metileno por espectroscopia UV-vis.....	15
2.3.4	Gráfica de la curva de calibración.....	16
2.4	Caracterización química del fotocatalizador.....	16
2.5	Caracterización física del fotocatalizador.....	16
2.6	Fotólisis del azul de metileno.....	16
2.7	Determinación de la actividad fotocatalítica.....	17
2.8	Curva de calibración de la actividad fotocatalítica del fotocatalizador dopado para un blanco de azul de metileno.....	18
2.9	Tiempo residencia óptimo para la degradación de compuestos orgánicos.....	18
2.10	Muestreo de agua residual.....	18
2.11	Actividad fotocatalítica del fotocatalizador dopado en compuestos orgánicos presentes en la muestra de agua residual.....	19
2.11.1	Porcentajes de remoción de parámetros analizados de la muestra de agua residual.....	20
2.11.2	Interpretación de caracterización del agua considerando la norma ambiental AM 097.....	20
2.12	Análisis Estadístico.....	20

### **CAPÍTULO III**

<b>3.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>21</b>
3.1	Preparación de nanopartículas de TiO <sub>2</sub> dopadas con plata por el método Sol-Gel.....	21
3.2	Medición de intensidad lumínica de lámpara UVc.....	22
3.3	Curva de calibración del azul de metileno.....	23
3.3.1	Identificación de longitud de onda adecuada por espectroscopia UV-vis.....	23
3.3.2	Análisis de muestras de azul de metileno por espectroscopia UV-vis.....	23
3.3.3	Gráfica de la curva de calibración.....	24
3.4	Caracterización química del fotocatalizador.....	25
3.4.1	Análisis de los valores de pH.....	25
3.4.2	Análisis de los fotocatalizadores en espectrofotómetro Infrarrojo.....	25
3.5	Caracterización física del fotocatalizador mediante Scanning Electron Microscopy (SEM).....	28
3.6	Fotólisis del azul de metileno.....	30
3.7	Degradación fotocatalítica del azul de metileno.....	31
3.7.1	Degradación fotocatalítica del azul de metileno con lámpara de 40W.....	31
3.7.2	Degradación fotocatalítica del azul de metileno con lámpara de 20W.....	35



3.7.3	Degradación fotocatalítica del azul de metileno con lámpara de 10W.....	40
3.8	Actividad fotocatalítica del fotocatalizador dopado en compuestos orgánicos presentes en la muestra de agua residual.....	46
3.8.1	Porcentajes de remoción de parámetros analizados de la muestra de agua residual.....	46
3.8.2	Interpretación de caracterización del agua considerando la norma ambiental AM 097.....	48
3.9	Análisis estadístico de correlación.....	49
3.9.1	Absorbancia vs Concentración de plata.....	49
3.9.2	Absorbancia vs Tiempo de exposición.....	50
	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>52</b>
	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>54</b>
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	
	<b>ANEXOS</b>	

## ÍNDICE DE TABLAS

	PÁGINA
<b>Tabla 1-3:</b> Intensidad lumínica de lámparas UVc antes y después de pasar por la solución de A.M. con el fotocatalizador.....	23
<b>Tabla 2-3:</b> Longitudes de ondas de los picos obtenidos después de realizar un barrido inteligente en UVvis.....	23
<b>Tabla 3-3:</b> Datos de la curva de calibración de la solución de azul de metileno ABS vs Concentración en mg/mL.....	24
<b>Tabla 4-3:</b> pH de fotocatalizadores en agua destilada.....	25
<b>Tabla 5-3:</b> Porcentajes de degradación de azul de metileno según absorbancia por UVc y aireación.....	31
<b>Tabla 6-3:</b> ABS de solución de A.M con fotocatalizador al 10% sometido a 344 lux durante 24 horas.....	32
<b>Tabla 7-3:</b> ABS de solución de A.M con fotocatalizador al 20% sometido a 344 lux durante 24 horas.....	33
<b>Tabla 8-3:</b> ABS de solución de A.M. con fotocatalizador al 50% sometido a 344 lux durante 24 horas.....	34
<b>Tabla 9-3:</b> ABS de solución de A.M. con fotocatalizador al 10% sometido a 220 lux durante 24 horas.....	36
<b>Tabla 10-3:</b> ABS de solución de A.M. con fotocatalizador al 20% sometido a 220 lux durante 24 horas.....	37
<b>Tabla 11-3:</b> ABS de solución de A.M con fotocatalizador al 50% sometido a 220 lux durante 24 horas.....	39
<b>Tabla 12-3:</b> ABS de solución de A.M con fotocatalizador al 10% sometido a 206 lux durante 24 horas.....	41
<b>Tabla 13-3:</b> ABS de solución de A.M con fotocatalizador al 20% sometido a 206 lux durante 24 horas.....	42
<b>Tabla 14-3:</b> ABS de solución de A.M con fotocatalizador al 50% sometido a 206 lux durante 24 horas.....	44
<b>Tabla 15-3:</b> Resultado de análisis de Turbiedad de la muestra de agua residual en porcentaje de incremento.....	46
<b>Tabla 16-3:</b> Resultados análisis de la muestra de agua residual en porcentaje de remoción.....	47
<b>Tabla 17-3:</b> Comparación de los resultados de los parámetros de la muestra de agua residual analizada con los límites permisibles establecidos en la tabla 9 del acuerdo ministerial 097.....	49
<b>Tabla 18-3:</b> Estadísticos descriptivos de Absorbancia Vs Concentración.....	50

<b>Tabla 19-3:</b> Correlaciones entre Absorbancia vs Concentración de plata .....	<b>50</b>
<b>Tabla 20-3:</b> Estadísticos descriptivos Absorbancia vs Tiempo de exposición.....	<b>50</b>
<b>Tabla 21-3:</b> Correlaciones entre Absorbancia vs Tiempo de exposición.....	<b>51</b>

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

	<b>PÁGINA</b>
<b>Gráfico 1-3:</b> Curva de calibración de la solución de azul de metileno sin fotocatalizador ABS vs Concentración.....	<b>24</b>
<b>Gráfico 2-3:</b> Comparación Espectros Infrarrojos de los fotocatalizadores de 50%(v), 20%(a) y 10%(r).....	<b>26</b>
<b>Gráfico 3-3:</b> Curva de degradación de la solución de A.M. a partir de ABS vs tiempo con el fotocatalizador al 10% de plata sometido a 344lux durante 24 horas .....	<b>32</b>
<b>Gráfico 4-3:</b> Curva de degradación de la solución de A.M. a partir de ABS vs tiempo con el fotocatalizador al 20% de plata sometido a 344lux durante 24 horas .....	<b>33</b>
<b>Gráfico 5-3:</b> Curva de degradación de la solución de A.M. a partir de ABS vs tiempo con el fotocatalizador al 50% de plata sometido a 344lux durante 24 horas .....	<b>35</b>
<b>Gráfico 6-3:</b> Curva de degradación de la solución de A.M. a partir de ABS vs tiempo con el fotocatalizador al 10% de plata sometido a 220 lux durante 24 horas .....	<b>36</b>
<b>Gráfico 7-3:</b> Curva de degradación de la solución de A.M. a partir de ABS vs tiempo con el fotocatalizador al 20% de plata sometido a 220 lux durante 24 horas .....	<b>38</b>
<b>Gráfico 8-3:</b> Curva de degradación de la solución de A.M. a partir de ABS vs tiempo con el fotocatalizador al 50% de plata sometido a 220 lux durante 24 horas .....	<b>40</b>
<b>Gráfico 9-3:</b> Curva de degradación de la solución de A.M. a partir de ABS vs tiempo con el fotocatalizador al 10% de plata sometido a 206 lux durante 24 horas .....	<b>41</b>
<b>Gráfico 10-3:</b> Curva de degradación de la solución de A.M. a partir de ABS vs tiempo con el fotocatalizador al 20% de plata sometido a 206 lux durante 24 horas .....	<b>43</b>
<b>Gráfico 11-3:</b> Curva de degradación de la solución de A.M. a partir de ABS vs tiempo con el fotocatalizador al 50% de plata sometido a 206 lux durante 24 horas .....	<b>44</b>
<b>Gráfico 12-3:</b> Porcentaje de degradación de cada fotocatalizador según la intensidad lumínica expuesta.....	<b>45</b>
<b>Gráfico 13-3:</b> Porcentaje de remoción de los parámetros analizados de agua residual después de tratar con el fotocatalizador al 20% de plata a 344 lux y aireación. ....	<b>47</b>
<b>Gráfico 14-3:</b> Incremento de la Turbiedad en la muestra de agua residual. ....	<b>48</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

	PÁGINA
<b>Figura 1-1:</b> Adsorción.....	6
<b>Figura 2-1:</b> Absorción.....	6
<b>Figura 3-1:</b> Longitudes de Onda según espectros .....	8
<b>Figura 4-1:</b> Fotocatálisis con TiO <sub>2</sub> .....	10
<b>Figura 5-1:</b> Celdas primitivas de (a) Rutilo, (b) Anatasa y (c) Brookita .....	11
<b>Figura 6-1:</b> Fotolisis en microorganismo.....	12
<b>Figura 1-2:</b> Fotorreactor.....	17
<b>Figura 2-2:</b> Fotorreactor para muestra de agua residual con sistema de aireación .....	19
<b>Figura 1-3:</b> Fotocatalizador en fase gel.....	21
<b>Figura 2-3:</b> Fotocatalizador en cristales.....	22
<b>Figura 3-3:</b> Fotocatalizador en polvo.....	22
<b>Figura 4-3:</b> Espectro de infrarrojo del dióxido de titanio en fase anastasa comercial al 99% .....	27
<b>Figura 5-3:</b> Imagen muestra de Fotocatalizador al 20% obtenida a través de Scanning Electron Microscopy.....	28
<b>Figura 6-3:</b> Barrido horizontal de la muestra del fotocatalizador al 20 % (Azul: Ti, Rojo: Ag, Verde: C).....	29
<b>Figura 7-3:</b> Mapping general de la muestra de fotocatalizador al 20%. .....	29
<b>Figura 8-3:</b> Mapping de Ti y Ag del fotocatalizador al 20% de Ag. ....	30
<b>Figura 9-3:</b> Vaso de cuarzo con fotocatalizador al 50% de plata después de 24h .....	39

## ÍNDICE DE ECUACIONES

	PÁGINA
<b>Ecuación 1-3:</b> Ec. de la curva de calibración de azul de metileno .....	<b>25</b>

## ÍNDICE DE ANEXOS

**Anexo A:** Construcción fotocatalizador

**Anexo B:** Instalación lámparas UVc en el fotorreactor.

**Anexo C:** Instalación de sistema de aireación

**Anexo D:** Espectro obtenido de la solución de azul de metileno sin fotocatalizador por medio de un barrido inteligente en el espectrofotómetro UVvis.

**Anexo E:** Peso de azul de metileno para preparación de soluciones

**Anexo F:** Soluciones de azul de metileno en diferente concentración para curva de calibración

**Anexo G:** Preparación de soluciones de azul de metileno para validación del fotocatalizador

**Anexo H:** Medición de intensidad lumínica de lámparas UVc

**Anexo I:** Medición de intensidad lumínica de lámparas UVc con software COBRA 4

**Anexo J:** Análisis de fotocatalizadores en espectrofotómetro IR, Jasco FT/IR-4100

**Anexo K:** Espectro Infrarrojo del fotocatalizador al 10%.

**Anexo L:** Espectro Infrarrojo del fotocatalizador al 10% con datos de picos representativos

**Anexo M:** Espectro Infrarrojo del fotocatalizador al 20%.

**Anexo N:** Espectro Infrarrojo del fotocatalizador al 20% con datos de picos representativos.

**Anexo O:** Espectro Infrarrojo del fotocatalizador al 50% en IR

**Anexo P:** Espectro Infrarrojo del fotocatalizador al 10% con datos de picos representativos.

**Anexo Q:** Soluciones de fotocatalizadores para medición de pH.

**Anexo R:** Soluciones de azul de metileno más fotocatalizadores para mediación de pH.

**Anexo S:** Peso fotocatalizador

**Anexo T:** Mezcla del fotocatalizador con la solución de azul de metileno

**Anexo U:** Soluciones de azul de metileno con fotocatalizador

**Anexo V:** Soluciones con fotocatalizador sometido a intensidad lumínica

**Anexo W:** Soluciones después de someter a 206 luxómetros

**Anexo X:** Soluciones después de someter a 344 lux

**Anexo Y:** Soluciones después de someter a 220 lux

**Anexo Z:** Muestra a ser analiza después de someter a 24 horas a una intensidad de 344 lux

**Anexo AA:** Muestra a ser analizada después de someter a 24 horas a una intensidad lumínica de 206 lux

**Anexo BB:** Muestra a ser analizada después de someter a 24 horas a una intensidad lumínica de 220 lux

**Anexo CC:** Construcción fotorreactor para agua residual

**Anexo DD:** Muestreo de agua residual, puente de río Chibunga, punto uno.

**Anexo EE:** Muestreo de agua residual, parque ecológico, punto dos

**Anexo FF:** Descargas de aguas negras al río Chibunga

**Anexo GG:** Muestreo de agua residual punto dos, Parque Ecológico

**Anexo HH:** Muestreo de agua residual punto tres, San Juan

**Anexo II:** Análisis inicial de agua residual

**Anexo JJ:** Agua residual en fotorreactor

**Anexo KK:** Mezcla de fotocatalizador al 20% con agua residual

**Anexo LL:** Agua residual en tratamiento

**Anexo MM:** Agua residual después de 24 horas de tratamiento

**Anexo NN:** Filtro de carbón activado

**Anexo OO:** Sedimentos en papel filtro

**Anexo PP:** Agua residual después del filtrado con papel filtro común.

**Anexo QQ:** Análisis después de 24 horas de tratamiento con fotocatalizador al 20% de plata y 344 lux



## RESUMEN

Se evaluó la actividad fotocatalítica de un fotocatalizador dopado con nanopartículas de plata para degradar compuestos orgánicos en solución acuosa. Elaborando 3 fotocatalizadores por el método sol-gel usando como base tetrabutoóxido de titanio ( $\text{Ti}(\text{O-But})_4$ ), alcohol isopropílico como solvente, ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ) como catalizador y nitrato de plata ( $\text{AgNO}_3$ ) a diferentes concentraciones de 10, 20 y 50% de plata como solución dopante. Evaluando la actividad fotocatalítica por triplicado en un blanco de azul de metileno con soluciones 0,01520 mg/mL las cuales se sometieron a intensidades lumínicas de 344, 220, 206 lux proporcionadas por lámparas de luz ultravioleta (UVC) de 40, 20 y 10W respectivamente, con agitación continua por medio de aireación en 24 horas, las mediciones de cambio de concentración se realizaron por espectrofotometría de UV-Visible. Se encontró que la concentración de plata óptima en el fotocatalizador fue de 20% y la intensidad lumínica adecuada fue de 344 lux, con esto se midió la actividad fotocatalítica en una muestra de agua residual del río Chibunga, se realizó un análisis inicial, luego se evaluó los cambios después de 24 horas de exposición obteniendo como resultados finales la disminución de la concentración de algunos parámetros en la muestra de agua residual como aceites y grasas de 78.0 mg/L a 1.0mg/L , Nitratos 22.33 mg/L a 5.30 mg/L y la eliminación de Coliformes totales de  $4.8 \times 10^6$  a 0 UFC/100mL. Se determinó que existe actividad fotocatalítica del fotocatalizador la cual tuvo un valor de  $K= 0,017 \text{ min}^{-1}$  en la muestra, se identificó la intensidad lumínica, tiempo de residencia y la concentración de plata optima a la cual se pueden degradar compuestos orgánicos en solución acuosa. Se recomienda realizar este ensayo en muestras de aguas contaminadas con metales pesados, hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP's) para aumentar la información respecto a la degradación de contaminantes por este método.

**PALABRAS CLAVE:** <BIOTECNOLOGÍA>, <MEDIO AMBIENTE>, <FOTOCATÁLISIS HETEROGÉNEA>, <FOTOLISIS>, < LUZ ULTRAVIOLETA (UVC)>, <ESPECTROMETRÍA DE INFRARROJO (IR)>, <MÉTODO SOL-GEL>.

## SUMMARY

The photocatalytic activity of a photocatalyst doped with silver nanoparticles was evaluated to degrade organic compounds in aqueous solution. Preparing three photocatalysts by the “sol-gel” method using titanium tetrabutoxide ( $\text{Ti}(\text{O-But})_4$ ) as base, isopropyl alcohol as solvent, nitric acid ( $\text{HNO}_3$ ) as catalyst and silver nitrate ( $\text{AgNO}_3$ ) at different concentrations of 10, 20 and 50% of silver as the dopant solution. The photocatalytic activity was evaluated in triplicate in a target of methylene blue with solutions 0.01520 mg/mL which were subjected to light intensities of 344, 220, 206 lux provided by ultraviolet light (UVC) lamps of 40, 20 and 10W respectively, with continuous stirring by aeration in 24 hours, concentration change measurements were measured by UV-Visible spectrophotometry. It was found that the optimum silver concentration in the photocatalyst was 20% and the adequate light intensity was 344 lux, with this the photocatalytic activity was measured in a residual water sample of the Chibunga river, an initial analysis was performed, then the changes were evaluated after 24 hours of exposure, obtaining as final results the decrease in the concentration of some parameters in the sample of residual water such as oils and fats from 78.0 mg / L to 1.0 mg / L, Nitrates from 22.33 mg / L to 5.30 mg / L and the removal of total coliforms from  $4.8 \times 10^6$  to 0 UFC / 100mL. It was determined that photocatalytic activity of the photocatalyst had a value of  $k = 0.017 \text{ min}^{-1}$  in the sample, light intensity, residence time and optimum silver concentration were identified at which organic compounds could be degraded in aqueous solution. It is recommended to perform this test on water samples contaminated with heavy metals, polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) to increase information regarding contaminant degradation by this method.

**KEYWORDS:** <BIOTECHNOLOGY>, <ENVIRONMENT>, < HETEROGENEUS PHOTOCATALYSIS >, <PHOTOLYSIS>, <ULTRAVIOLET LIGHT (UVC)>, <INFRARED SPECTROMETRY (IR) >, <SOL-GEL METHOD>.

## INTRODUCCIÓN

La falta de un adecuado sistema de tratamiento de aguas residuales, provoca aumento de la contaminación, generando otros problemas en las ciudades como mal olor, presencia de vectores, contaminación suelo, aire, cultivos, enfermedades, pérdida de ecosistemas y especies de flora y fauna, etc.

La contaminación en los ríos a nivel nacional resulta perjudicial para la salud de las personas, ya que el agua es utilizada en un 80% en el riego y alimentación de animales para consumo humano según un estudio realizado por la SENAGUA, las aguas residuales contienen una alta concentración de contaminantes orgánicos, químicos, microbiológicos que estos pueden ser bioacumulables e infecciosos en persona y animales.

Los altos costos que implica el tratamiento de aguas residuales y la difícil remoción de los contaminantes, como también la falta de investigación de tratamientos alternativos eficientes en nuestro país, son un limitante para dar un tratamiento adecuado a las aguas residuales, por lo cual en esta investigación se plantea aplicar y evaluar un método alternativo como la fotocatalisis heterogénea, ya que la fotocatalisis es un método que forma parte de los procesos de oxidación avanzada (POA) que se han utilizado los últimos años a nivel mundial para dar soluciones a la problemática de la contaminación de aguas.

Para el tratamiento de aguas residuales se propone la elaboración de un fotocatalizador dopado con plata mediante el método de sol-gel conjuntamente con la elaboración de un fotorreactor el cual está constituido por 3 lámparas UVc, un sistema de aireación por burbujeo, vasos de cuarzo que conjuntamente con el fotocatalizador con concentraciones de 10,20,50 % se usaron para degradar compuestos orgánicos presentes en un blanco de azul de metileno, se escogió la concentración de plata, el tiempo e intensidad lumínica óptimos que mejor resultado dio que para aplicar en la muestra de agua residual.

## JUSTIFICACIÓN

La contaminación del agua es una problemática de carácter ambiental debido al alto impacto que causa al ser humano y al medio ambiente a nivel mundial, además afecta de manera directa a las especies de fauna y flora, ya que los contaminantes presentes en el agua pueden acumularse en sus tejidos, como también pueden ser transportados y llegar a contaminar, suelo y aguas subterráneas. Es importante abordar este tema porque la salud en las zonas urbanas y rurales se ve afectada por el alto nivel de contaminación del agua, pero también lo es en gran medida para el medioambiente.

La disponibilidad de estudios respecto a tratamientos alternativos mediante fotocátalisis de aguas contaminadas en el Ecuador es limitada, por lo cual la iniciativa de este estudio pretende evaluar una tecnología que permitan el tratamiento de los contaminantes presentes en el agua de una manera más eficiente, de bajo costo, de menor tiempo y más amigable con el medio ambiente.

La investigación se realizó con el propósito escoger la concentración de plata óptima en el fotocatalizador sintetizado a partir de tetrabutoxido de titanio y nitrato de plata , midiendo la actividad fotocatalítica de cada uno de los fotocatalizadores en el blanco de azul de metileno, para este proceso se tomó como variables al tiempo, la intensidad lumínica y concentración de la plata en el fotocatalizador, para luego aplicar el mejor fotocatalizador , intensidad lumínica y tiempo en una muestra de agua residual.

En los procesos de fotocátalisis están involucrados la formación de radicales hidroxilos y otros compuestos como el hidroperóxido y cantidades ínfimas de peróxido de hidrogeno siendo los hidroxilos quien tiene el mayor potencial de oxidación por lo que puede producir una rápida degradación del contaminante sea orgánico o inorgánico como metales pesados, siendo una tecnología más amigable con el ambiente y de menor costo. (Garcés Giraldo, y otros, 2007)

La importancia de esta investigación radica en la implementación de la fotocátalisis como un método alternativo para el tratamiento de aguas residuales utilizando el fotocatalizador dopado con plata ya que es un método de bajo costo, viable, alternativo, de fácil implementación, y eficiente para degradar compuestos orgánicos.

## ANTECEDENTES

Un primer trabajo corresponde a (Gil Pavas, 2002) donde propone a la fotocatalisis como una tecnología eficaz, de bajo costo e innovadora para el tratamiento de aguas con contaminantes fenólicos proveniente de industrias ya que muchas de estas sustancias contaminantes son altamente tóxicas y difíciles de ser degradadas, para resolver este problema se empleó una sustancia fotocatalítica como el  $\text{TiO}_2$  en estado acuoso en diferentes concentraciones más la interacción de la luz UV o radiación solar, esta tecnología puede proporcionar a la industria una poderosa herramienta para destruir desechos perjudiciales para el ambiente, haciendo uso de una fuente de energía limpia, como lo es la energía solar.

En Colombia (Garcés Giraldo, y otros, 2007) investigaron sobre la fotocatalisis como tratamiento de aguas residuales, en el cual aplica la fotocatalisis haciendo uso de la radiación solar para producir un efecto de fotólisis y fotooxidación, en esta investigación aplica dos tipos diferentes de fotocatalisis como fueron la fotocatalisis con reactivo Fenton, fotocatalisis heterogénea con dióxido de titanio ( $\text{TiO}_2$ ), en el cual toma como variables a la temperatura y pH y evalúa a la concentración inicial y final del contaminante.

Otro trabajo en el cual se utiliza la fotocatalisis es una tesis doctoral realizada por (Oller Alberola, 2008) en la cual propone el tratamiento de aguas contaminadas con pesticidas mediante dos tratamientos POA: fotocatalisis heterogénea con  $\text{TiO}_2$  y fotocatalisis homogénea conocida como foto-Fenton conjuntamente con una oxidación biológica aplicada posterior a la fotocatalisis, para tratar aguas residuales contaminadas con pesticidas de seis tipos que comúnmente se emplean en la agricultura intensiva de la provincia de Almería, los resultados más relevantes que se obtuvieron fueron que el proceso de foto-Fenton resulta más eficiente que la fotocatalisis heterogénea respecto al tiempo de tratamiento para la degradación completa de los contaminantes y para su mineralización, tanto para los pesticidas tratados de forma individual como para el caso del tratamiento de la mezcla de éstos.

Los aportes de la fotocatalisis como método alternativo para el tratamiento de aguas residuales son amplios como es el caso que reporta la investigación realizada por (Villanueva Jaramillo, 2011) bajo la temática de “Fotocatalisis con  $\text{TiO}_2$ /ultravioleta y  $\text{TiO}_2$   $\text{CuSO}_4$ /visible como sistemas de desinfección para inactivar *E. coli* proveniente de agua residual doméstica.” En la cual se realizó una fotocatalisis heterogénea con  $\text{TiO}_2$  y se elaboraron películas a partir de este a diferentes temperaturas y se realizaron una caracterización mediante: SEM, barrido UV-Vis y EDS. En las cuales se evaluaron el crecimiento de la *E. coli*.

Uno de las investigaciones más reciente fue la realizada por (Baicue, 2015) que trata sobre la degradación del azul de metileno y verde de malaquita por fotocatalisis heterogénea utilizando dióxido de titanio dopado con nitrógeno (N-TiO<sub>2</sub>) bajo luz visible. El dióxido de titanio dopado con nitrógeno fue sintetizado mediante el método del precursor polimérico (método de Pechini). En el proceso se encontró que después de realizar un análisis de varianzas ANOVA multifactorial para los porcentajes de degradación con combinaciones para el azul de metileno de diferentes pH , concentraciones de colorante y concentración de catalizador N-TiO<sub>2</sub>, se obtuvieron las mejores degradaciones (71,285% y 90,508%) en un reactor artesanal con una lámpara TG-LED 036 Cricon de 50 W de luz visible y evaluado espectrofotométricamente a 664 nm para el azul de metileno y a 617 nm para el verde de malaquita.

(Leal , y otros, 2016) aplican dos diferentes procesos fotocatalíticos que fueron la fotocatalisis homogénea y heterogénea para tratar aguas residuales variando su concentración en la muestra. Con esto se determinó la influencia que tiene la concentración del catalizador y el proceso de fotocatalisis adecuado, siendo la fotocatalisis homogénea la adecuada para realizar el tratamiento y que a mayor concentración del catalizador mayor es la velocidad de la reacción de degradación.

Actualmente en el 2017 Naruemon Setthaya, Prinya Chindaprasirt, Shu Yin realizaron el estudio de Fotocatalisis de TiO<sub>2</sub>-zeolita hecha de metacaolín y ceniza de cáscara de arroz para la eliminación de colorante azul de metileno, en esta investigación las zeolitas se sintetizaron por método solvotérmico utilizando metacaolin y ceniza de cáscara de arroz como materiales de partida. Los productos sintetizados se caracterizaron utilizando espectrómetro de fluorescencia de rayos X (XRF), rayos X, la transformada de Fourier infrarroja (FTIR), Espectroscopia ultravioleta-visible (UV-vis), analizador de tamaño de partícula y medición de área superficial, los fotocatalizadores TiO<sub>2</sub>-zeolitas sintetizados mostraron una mayor adsorción y degradación del azul de metileno que las zeolitas puras y la pura anatasa de TiO<sub>2</sub> (Naruemon , y otros, 2017)

(Darja Maučeca, 2017) realizaron el estudio sobre Titania versus nanopartículas de óxido de zinc sobre soportes de sílice mesoporosa como fotocatalizadores para la eliminación de colorantes de aguas residuales a pH neutro este artículo habla sobre el tratamiento de aguas residuales que contienen concentraciones más bajas de colorantes como contaminantes, comparando estos dos métodos, se observó una degradación ( $k = 0,0544 \text{ min}^{-1}$  a 25 ° C) sobre ZnO / sílice desordenada con relación molar de Zn: Si 1: 1. Las nanopartículas de TiO<sub>2</sub> puro o soportadas con sílice fueron estables bajo irradiación UV.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

- Evaluar un fotocatalizador dopado con nanopartículas de plata para degradar compuestos orgánicos y Coliformes Totales en una solución acuosa.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

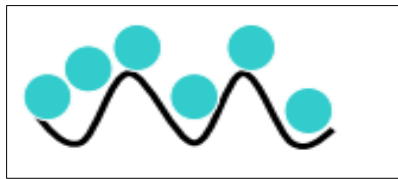
- Determinar la actividad fotocatalítica del fotocatalizador con respecto al tiempo para la degradación de compuestos orgánicos en un blanco de azul de metileno.
- Identificar la intensidad lumínica óptima para disminuir la concentración de compuestos orgánicos.
- Identificar la concentración óptima de plata en la matriz de  $\text{TiO}_2$ .
- Determinar la actividad fotocatalítica del fotocatalizador dopado para compuestos orgánicos presentes en la muestra de agua residual.
- Determinar la actividad fotocatalítica del fotocatalizador para disminuir la cantidad de Coliformes presentes en la muestra de agua residual

# CAPÍTULO I

## 1. MARCO TEÓRICO

### 1.1. Adsorción:

Fenómeno por el cual un sólido o un líquido atrae y detiene en su superficie gases, vapores, líquidos o cuerpos disueltos. (Viades Trejo, 2013)

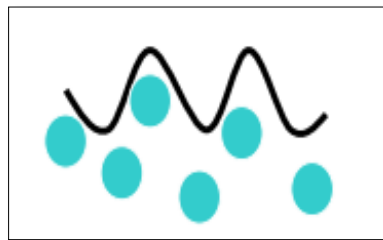


**Figura 1-1:** Adsorción

Fuente: (Viades Trejo, 2013)

### 1.2. Absorción:

Fenómeno en el cual existe una penetración física de una fase gaseosa en una fase sólida o en una líquida. (Viades Trejo, 2013)



**Figura 2-1:** Absorción

Fuente: (Viades Trejo, 2013)

### 1.3. Microscopia Electrónica de Barrido(SEM):

Se refiere al Microscopio electrónico de barrido o SEM por sus siglas en inglés Scanning Electron Microscopy, este microscopio usa un haz de electrones para formar una imagen ampliada de un objeto. Este instrumento ayuda, facilita la observación y caracterización de la superficie de sólidos inorgánicos y orgánicos ya que se pueden realizar estudios de los aspectos morfológicos de zonas microscópicas de diferentes materiales, también se puede estudiar y



procesar las imágenes adquiridas. Tiene una alta resolución (~1 nm), gran profundidad y fácil preparación de las muestras. (Sanchez Vázquez, 2016)

La preparación de las muestras es fácil, la muestra debe tener características principales como son: muestra sólida, conductora. Si la muestra no posee estas características, la muestra es recubierta con una capa de carbón o una capa delgada de un metal para que tenga propiedades conductoras. De lo contrario, las muestras no conductoras se trabajan en bajo vacío (cimav, 2015). Después de ello se incide el haz de electrones sobre la muestra, una vez que el haz entra en contacto con la muestra, se generan principalmente 2 partículas:

- **Electrones retrodispersados (e1):** Se originan cuando un electrón del haz colisiona frontalmente con el núcleo de un átomo de la muestra, siendo repelido en sentido contrario fuera de la muestra. La intensidad del efecto varía proporcionalmente con el número atómico de la muestra. Se utilizan para obtener un mapa con información sobre la composición superficial de la muestra. (Caballer, 2017)
- **Electrones secundarios (e2):** Se originan cuando un electrón del haz pasa muy cerca del núcleo de un átomo de la muestra, suministrando la suficiente energía a uno o varios de los electrones interiores para saltar fuera de la muestra. Estos electrones son de muy baja energía, por lo que deben encontrarse muy cerca de la superficie para poder escapar. Precisamente por eso proporcionan una valiosa información topográfica de la muestra. (Caballer, 2017)

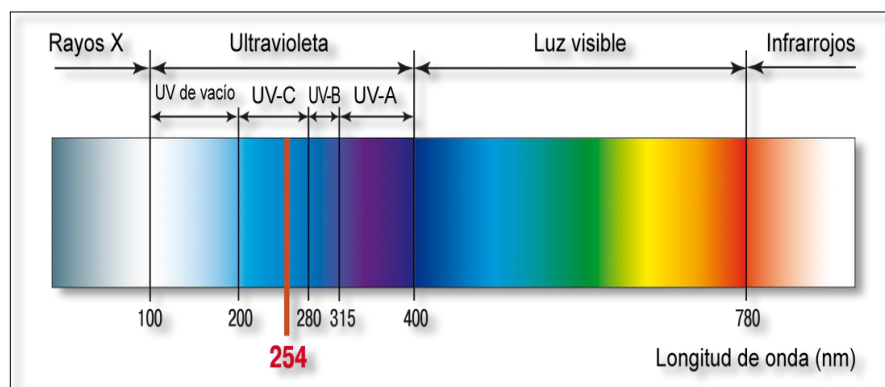
En el interior del microscopio hay detectores de este tipo de electrones que recogen la energía, electrones formados y así formando la imagen. (Carlos, 2015)

#### 1.4. Fotón:

Los fotones son, efectivamente, partículas de masa en reposo nula cuya energía  $E$  y momento  $P$  están relacionados a una onda de frecuencia  $\nu$  y longitud de onda  $\lambda$  que viajan a la velocidad de la luz en el vacío  $c$  ( $\lambda=c/\nu$ ). Los fotones pueden clasificarse por su origen en Radiación de radio frecuencia, microondas, Radiación infrarroja, luz visible y ultravioleta, rayos x característicos, Radiación de frenado, Radiación de sincrotrón, Rayos  $\gamma$ , radiación de aniquilación. (FAMAF, 2006)

### 1.5. Radiación Ultravioleta:

La radiación ultravioleta (UV) corresponde a la franja del espectro electromagnético con longitudes de onda entre 400 y 100 nm aproximadamente. Va desde la parte violeta del espectro visible hasta la zona de rayos X blandos (Portero, 2004). La luz ultravioleta se compone de fotones que se emiten por transiciones electrónicas entre niveles exteriores de átomos y moléculas. 1ev, están en el rango de 100 a 400 nm dentro de estas se encuentran UV-A, UV-B, UV-C (FAMAF, 2006), La luz visible comprende una Longitud de onda de 400 a 780 nm, mientras que la longitud del ultravioleta está en el rango de 100 a 400 nm.



**Figura 3-1:** Longitudes de Onda según espectros

**Fuente:** (Anastasia, 2012), Luz Ultravioleta

### 1.6. Nanopartículas:

Son partículas que tiene una dimensión de 1 a 100 nm generalmente. (Gutierrez Wing, 2006). El atributo más importante que definen a las nanopartículas es el tamaño, una nanopartícula es un cuerpo que tiene una dimensión del orden de 100 nanómetros equivalente a alrededor de un millar de átomos o 0,1 micras, estas dimensiones se consiguen a nivel de laboratorio y algunas en la naturaleza, pero también existen nanopartículas que se encuentran en la naturaleza como es el caso de la luz visible que tiene partículas de 380 nanómetros o 0,38 micras (Beatriz, 2011). Dependiendo de la composición estas se pueden clasificar en carbonosas, metálicas, cerámicas y poliméricas como también su procedencia se natural o artificial. Estos a su vez se pueden convertir nanomateriales (Gutierrez Wing, 2006)

### 1.7. Semiconductores:

Los semiconductores componen una amplia clase de materiales cuya conductividad eléctrica incrementa con la temperatura y es significativamente menor que la de los metales. Estos materiales actúan como un conductor o como un aislante dependiendo de algunos factores, como el campo eléctrico o magnético, la presión, la radiación que le incide, o la temperatura del ambiente en el que se encuentre. (Roberto, y otros, 2003)

### 1.8. Semiconductor Dopado:

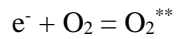
El dopado de un semiconductor consiste en introducir previamente en el semiconductor electrones o huecos desde el exterior. Este proceso consiste en sustituir algunos átomos de Titanio por átomos de otros elementos, generalmente se utiliza metales de transición con propiedades semiconductoras como el Cu, Au Ag, no metales como el C, N, B, S y metales de tierras raras como La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu que facilitan la liberación de electrones y disminuyen el ancho de la banda prohibida del TiO<sub>2</sub> permitiéndole de esta manera ser activo en presencia de la luz visible incluso con muy poca iluminación. Estos átomos introducidos se les conoce con el nombre de impurezas. Dependiendo del tipo de impureza con el que se dope al semiconductor puro o intrínseco aparecen dos clases de semiconductores. (Sierra, 2014)

- **Semiconductor tipo p:** Cuando al dopar introducimos átomos con tres electrones de valencia en un elemento de átomos con cuatro electrones de valencia, con esto estamos formando un semiconductor tipo P, viniendo su nombre del exceso de carga aparentemente positiva que tienen estos elementos. Estos átomos que hemos añadido se recombinan con el resto, pero nos queda un hueco libre que produce atracción sobre los electrones que circulan por nuestro elemento. También se produce una circulación de estos huecos colaborando en la corriente. (Geocites, 2006)
- **Semiconductor tipo n:** Si los átomos añadidos tienen cinco electrones en su última capa el semiconductor se denomina de tipo N, por ser potencialmente más negativo que uno sin dopar. En este tipo de materiales tenemos un quinto electrón que no se recombina con los demás y que, por tanto, está libre y vaga por el elemento produciendo corriente. (Geocites, 2006)

## 1.9. Fotocatálisis:

Es un fenómeno natural en el que una sustancia, llamada fotocatalizador, modifica la velocidad de una reacción química a través de la acción de la luz. Usando la energía luminosa, los fotocatalizadores inducen la formación de reactivos fuertemente oxidantes que son capaces de oxidar algunas sustancias orgánicas e inorgánicas. Favorece la descomposición más rápida de los contaminantes evitando su acumulación. Si probamos a fijarnos en detalle, encontramos que su funcionamiento recalca lo más simple que existe en la naturaleza. (Clemente, 2008)

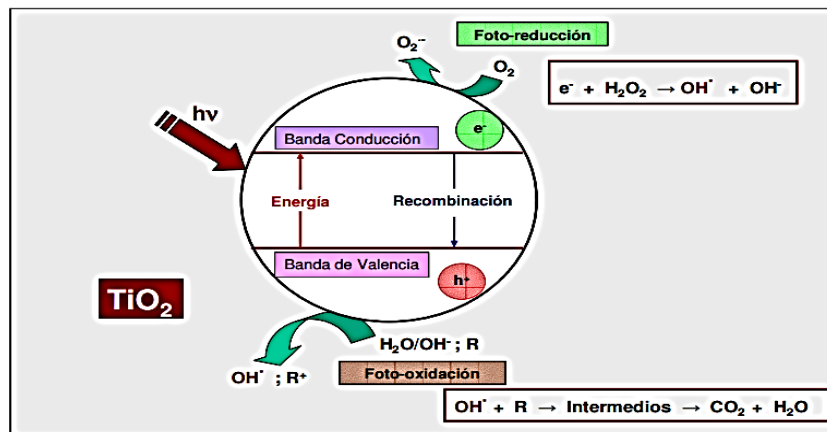
Cundo un fotón de energía  $h\nu$  superior a la energía de banda prohibida del semiconductor incide sobre este, se produce un salto de un electrón ( $e^-$ ) de la banda de valencia hacia la banda de conducción, generando un hueco ( $h^+$ ) en la banda de valencia, esto se conoce como fotoexcitación, el par  $e^-$ ,  $h^+$  migra hacia la superficie donde se produce la recombinación donde el electrón es captado por las moléculas de oxígeno generando el radical superóxido



mientras que el  $h^+$  es atrapado por los grupos  $OH^-$  generando el radical hidroxilo ( $OH^*$ )



Foto-reducción donde el electrón reaccionara con una molécula de  $H_2O_2$  produciendo radicales  $OH^- + OH^-$  Mientras que la foto-oxidación se produce cuando los radicales hidroxilos formados reaccionan con un compuesto R produciendo  $CO_2$  y  $H_2O$  (Clemente, 2008).



**Figura 4-1:** Fotocatálisis con  $TiO_2$

Fuente: (Clemente, 2008),Proceso de fotocatalisis

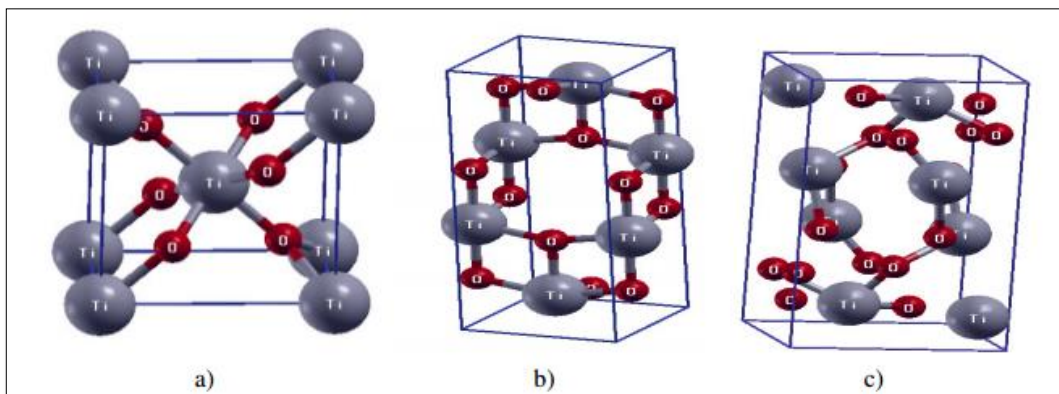
## 1.10. Dióxido de Titanio

El dióxido de titanio ( $TiO_2$ ), es un semiconductor tipo n sensible a la luz que absorbe radiación electromagnética en la región del UV, es anfótero y muy estable químicamente. Por las

características mencionadas es el fotocatalizador más empleado y actualmente se utiliza para degradar moléculas orgánicas durante la purificación del agua. (Yasser, y otros, 2010)

### 1.11. Propiedades estructurales y electrónicas del Dióxido de Titanio:

El  $\text{TiO}_2$  puede presentarse bajo varias fases como rutilo (estructura tetragonal), anatasa (estructura octaédrica) y Brookita (estructura ortorrómbica) (Pacheco, 2013). Estas fases se pueden identificar mediante la estructura de bandas de energía, la densidad de estados, la energía total en función del volumen o comparando las constantes de red calculadas y el valor del gap de la estructura de bandas con valores reportados experimentalmente. (Pacheco, 2013) Las fases también se pueden caracterizar según su tamaño de partícula como la fase anastasa, esta fase presenta un tamaño de partícula promedio entre 50 y 100 nm, rutilo tiene un tamaño de partícula de 40 nm (Rosales García , 2010), como también por la temperatura a que se sometieron, anatasa de 500 a 600 °C, Rutilo de 700 a 800°C. (Gutiérrez, y otros, 2011)



**Figura 5-1:** Celdas primitivas de (a) Rutilo, (b) Anatasa y (c) Brookita

**Fuente:** (Pacheco, 2013), Estudio DFT de Propiedades Estructurales y Electrónicas del dióxido de Titanio en sus fases: Rutilo, Anatasa Y Brookita

### 1.12. Actividad fotocatalítica del dióxido de titanio:

El  $\text{TiO}_2$  es un excelente fotocatalizador en presencia de la luz ultravioleta ( $< \lambda$  380 nm). Para mejorar la respuesta fotocatalítica en presencia de la radiación visible (luz solar) se pueden utilizar diferentes metodologías como la sensibilización con colorantes orgánicos o sintéticos, el dopado con elementos metálicos o con elementos no metálicos y la mezcla con otros óxidos semiconductores. (Sierra, 2014)

### 1.13. Lámparas UVc:

Son lámparas que emiten una longitud de onda de 200 a 280 nm con alto poder germicida, La radiación ultravioleta C (UVC); es la parte más energética del espectro, esto le da una importante acción bactericida. Las fuentes artificiales como las lámparas se usan en la actualidad para la esterilización, el tratamiento de las micosis fúngicas y las úlceras de decúbito. Además, el UV-C ioniza los gases de la atmosfera, esto ayuda en la creación y mantenimiento de la capa de ozono. (Portero, 2004)

### 1.14. Fotolisis:

Es la ruptura de enlaces químicos por causa de energía radiante, es la disociación de moléculas orgánicas complejas por efecto de la luz, y se define como la interacción de uno o más fotones con una molécula objetivo. Cualquier fotón con energía suficiente puede afectar los enlaces químicos de un compuesto químico o biológico. (Robles, 2010)



**Figura 6-1:** Fotolisis en microorganismo

Fuente: (Josep, 2012), ruptura del ADN por acción de UV

### 1.15 Correlación de Pearson

El coeficiente de correlación de Pearson, se utiliza para variables aleatorias cuantitativas, es un índice que mide el grado de relación que existe entre las variables relacionadas linealmente siempre y cuando ambas sean cuantitativas. El coeficiente de correlación de Pearson es un índice de fácil ejecución e interpretación.

El valor del coeficiente de Pearson puede tomar valores entre -1 a +1, indicando los signos si es Inversa (-) o Directa (+), entre los valores que puede tomar el coeficiente de Pearson pueden ser:

- Fuerte (0,9 a 1)
- Moderada (0,5 a 0,9)

- Débil (0 a 0,5)

Si el resultado del análisis de correlación es 0 no existe correlación entre estas variables si es 1 hay una perfecta correlación. (Rubén, 2017)

### **1.16 Calidad del agua.**

Se refiere a la concentración numérica o descriptiva recomendada sobre parámetros físicos, químicos y biológicos del agua para mantener un determinado uso y beneficio de ella. Los criterios de calidad para diversos usos del agua son la base para determinación de los objetivos de calidad en los tramos de un cuerpo receptor. (MAE, 2015)

### **1.17 Agua residual.**

Es el agua que tiene una composición variada que resulta de un uso doméstico, industrial, comercial, agrícola, pecuario o de otra índole, esta puede ser pública o privada y que por tal motivo haya sufrido degradación en su calidad original". (MAE, 2015)

## CAPÍTULO II

### 2. METODOLOGÍA - PARTE EXPERIMENTAL

#### 2.1 Preparación de nanopartículas de $\text{TiO}_2$ dopadas con plata por el método Sol-Gel

La preparación de las nanopartículas de  $\text{TiO}_2$  dopadas con plata se tomó el tetrabutoxido de titanio ( $\text{Ti}(\text{O-But})_4$ ) como base para sintetizar  $\text{TiO}_2$  y se realizó una mezcla con el solvente orgánico que en este caso será el alcohol isopropílico (Isop-OH) en una relación volumétrica de 5 de Isop-OH a 1 del  $\text{Ti}(\text{O-But})_4$ . El siguiente paso fue agregar el catalizador que producirá la hidrólisis, el catalizador que se utilizó es ácido Nítrico al 69% en una relación volumétrica de 0,022 de  $\text{HNO}_3$  a 1 de  $\text{Ti}(\text{O-But})_4$ . Después de realizar este proceso se agitó por 45 minutos en un agitador magnético. (Aldana, y otros, 2010)

##### 2.1.1 Dopado con plata del $\text{TiO}_2$

Para dopar el  $\text{TiO}_2$  con plata se preparó 2 mL de agua destilada más una cantidad de  $\text{AgNO}_3$ , la cantidad se varió para preparar soluciones a diferentes concentraciones en peso de plata, 10% (0,157 g), 20% (0,31 g), 50% (0,78g). Posterior a esto se agitó esta solución hasta conseguir la dilución de la plata en el agua destilada y se procedió a guardar las soluciones en completa oscuridad (Aldana, y otros, 2010)

Para conseguir que se generen las nanopartículas de  $\text{TiO}_2$  y Ag se agregó lentamente la solución de  $\text{AgNO}_3$  en la solución de Isop-OH /  $\text{Ti}(\text{O-But})_4$  hasta conseguir que se forme un gel. El gel formado se dejó en reposo alrededor de 1 hora, luego se procedió a secar en una estufa a  $70^\circ\text{C}$  de 6h, por medio de este proceso se obtuvo cristales de  $\text{TiO}_2$  con plata, posterior a esto se trituró los cristales obtenidos con la ayuda de un mortero y se guardaron en frascos de plástico previamente esterilizados en total oscuridad. (Aldana, y otros, 2010)

#### 2.2 Medición de intensidad lumínica de lámpara UVc

La medición de la intensidad lumínica de las lámparas se realizó con el equipo de medición Cobra 4 de PHYWE. Estas intensidades lumínicas son a las que se sometieron a las diferentes muestras.



## **2.3 Curva de calibración del azul de metileno.**

Para realizar la curva de calibración se realizó el siguiente proceso:

### ***2.3.1 Preparación de soluciones de azul de metileno.***

Para realizar la curva de calibración del azul de metileno se preparó una solución inicial de azul de metileno en 10 mL de agua destilada donde se colocó 0,2024 g de azul de metileno al 94% y se aforo inmediatamente hasta 50 mL, la solución obtenida tuvo una concentración de 3,805 mg/mL. De esta solución se tomó un mililitro con la ayuda de una pipeta Pasteur y se diluyó en 10 mL de agua destilada la cual se aforo hasta 50 mL, la concentración de esta solución fue 0,0761mg/mL esta solución fue la solución madre (SM) a partir de la cual se realizó 5 diluciones más a 1 mL, 2 mL, 3 mL, 5 mL, 10 mL en 10 mL de agua destilada cada una y se aforaron hasta 50 mL.

### ***2.3.2 Identificación de longitud de onda adecuada por espectroscopia UV-vis.***

Una vez preparada la solución de calibración se utilizó la que tenía mayor concentración y se realizó un barrido en un intervalo de longitud de onda en el equipo UVvis Helios Beta de la solución de azul de metileno (A.M.) obteniendo un espectro (Anexo D) en el cual se pudieron identificar 3 picos con su longitud de onda respectiva. Posterior a esto se utilizaron las tres longitudes de onda para identificar cual es la que produce absorbancia en la muestra de azul de metileno.

### ***2.3.3 Análisis de muestras de azul de metileno por espectroscopia UV-vis.***

Una vez identificada la longitud de onda adecuada para las mediciones de las absorbancias de las soluciones de azul de metileno, se procedió a programar al equipo en la opción de Fija donde se estableció la longitud de onda de 577nm para realizar los análisis de absorbancia. Las muestras a analizar fueron las diluciones preparadas anteriormente de 1 mL, 2 mL, 3 mL, 5 mL, 10 mL. Cada muestra se realizó un total de 3 lecturas de ABS para poder sacar un promedio total de cada muestra, las 3 lecturas de cada muestra se realizaron con un intervalo de 10 segundos entre cada una.

#### **2.3.4 Gráfica de la curva de calibración.**

Los datos obtenidos de las Absorbancia (ABS) se introdujeron en Excel para generar los promedios y la gráfica de dispersión mediante la cual se obtuvo la ecuación que define la curva de calibración. Esta ecuación nos ayuda a encontrar la concentración de azul de metileno después de haberla sometido a fotocátalisis conociendo previamente su ABS la cual se midió en el espectrofotómetro UVvis y reemplazando este valor en la ecuación.

#### **2.4 Caracterización química del fotocatalizador**

A las muestras de fotocatalizador se realizó la medición del pH de cada una, para después someter a las muestras a un análisis de espectrometría IR, el análisis de las muestras de los fotocatalizadores de 10, 20 y 50% de plata se lo realizó en un espectrofotómetro Infrarrojo JASCO 4100, para identificar los picos representativos de cada muestra pertenecientes a los diferentes grupos funcionales que la componen, el análisis se realizó con una longitud de onda en un rango de 400 a 4000  $\text{cm}^{-1}$  donde se analiza los posibles grupos funcionales presentes en las muestras, posterior a la obtención de los espectros (Anexo L, N, P) se realizó una comparación de los tres espectros de los fotocatalizadores y se procedió a comparar los picos y longitudes de ondas que se obtuvieron en el análisis de 400 a 4000  $\text{cm}^{-1}$  con datos de picos representativos obtenidos en estudios similares utilizados como muestra patrón mediante bibliografía (Yasser, y otros, 2010) y los grupos funcionales restantes se encontraron en tablas en un artículo de Spectra–Structure Correlations in the Mid- and Far-infrared (Shurvell, 2002)

#### **2.5 Caracterización física del fotocatalizador**

Se sometió a la muestra que mejor resultado arrojó en la degradación de azul de metileno a un análisis en el SEM (Scanning Electron Microscopy) con una energía de fotón de HV= 30,0kV, la cual se realizó un barrido horizontal para obtener una primera imagen panorámica y poder identificar los compuestos más abundantes. Posterior a esto se realizó un mapping de la muestra de fotocatalizador y se obtuvo una imagen donde se observa los compuestos pigmentados con colores diferentes.

#### **2.6 Fotolisis del azul de metileno**

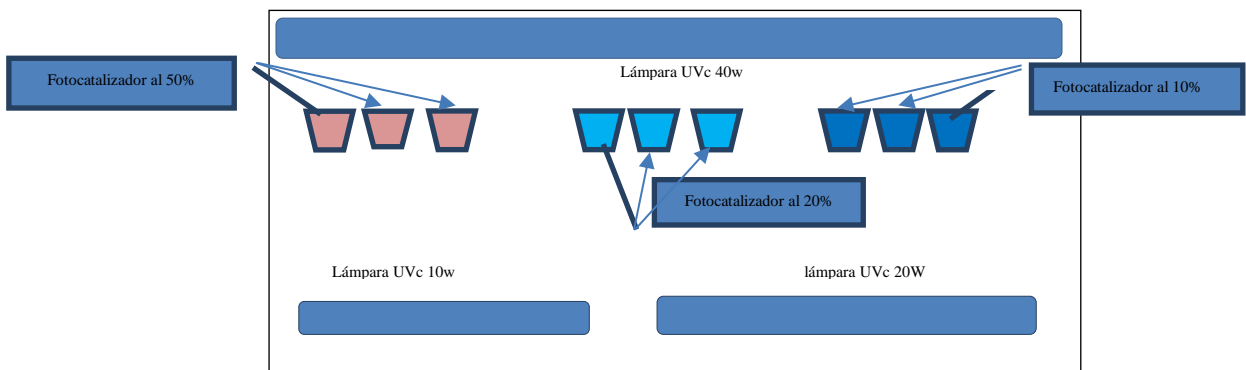
Se realizó la prueba de fotolisis a una solución de azul de metileno (A.M.) con el propósito de identificar cuanto se degrada espontáneamente esta sustancia con solo estar expuesta a la luz

UVc y otra en la cual la solución este con aireación y expuesta a la luz UVc, para ello se preparó una solución de azul de metileno a una concentración de 0,0165 mg/mL. De esta solución se realizaron tres muestras las cuales dos de ellas se sometieron a radiación UVc y aireación y la otra solo a radiación UVc por 6 horas.

## 2.7 Determinación de la actividad fotocatalítica.

Se probaron 3 lámparas de UVc de 10,20,40 W conjuntamente con los fotocatalizadores que tenían diferentes concentraciones en peso de plata que fueron 10,20 y 50%, las pruebas duraron 24 horas para cada lámpara.

Para ello se prepararon 9 soluciones de azul de metileno a 0,0165 mg/mL, en vasos de precipitación de cuarzo de 50 mL los cuales se dividieron en 3 grupos de tres donde se aplicó 0,2034 g de fotocatalizador en cada solución según la concentración que corresponda a cada vaso, los vasos con las soluciones de azul de metileno y fotocatalizador se ubicaron a 5cm de la lámpara UVc como se muestra en la Figura 1-2.



**Figura 1-2:** Fotorreactor

Realizado por: Lozano E, 2017

Posterior a ello se procedió a colocar las mangueras de aireación en cada vaso para que exista un movimiento continuo de la solución, una vez ya preparada las soluciones con el fotocatalizador y la aireación se sometieron a la intensidad lumínica de las lámparas UVc que corresponda ese momento. Después de encender la lámpara se procedió tomar muestras de cada vaso durante las 3 primeras horas y una final a las 24 horas, para medir las absorbancias de cada muestra. Para elaborar este ensayo se consideró una temperatura ambiente y una agitación constante de la muestra (burbujeo).

## **2.8 Curva de calibración de la actividad fotocatalítica del fotocatalizador dopado para un blanco de azul de metileno.**

Para generar las gráficas de degradación de las soluciones de azul de metileno se procedió a tomar 4mL de muestra las 3 primeras horas y a las 24 horas a las cuales se filtró con la ayuda de un papel filtro, el resultado de la filtración se procedió a medir las ABS en el espectrómetro UV visible, Con los datos obtenidos se realizó la curva de calibración (ABS vs Tiempo).

## **2.9 Tiempo residencia óptimo para la degradación de compuestos orgánicos.**

Para identificar el tiempo optimo escogimos primero la lámpara y el fotocatalizador que mejores resultados dieron en cuanto a la degradación de la solución de azul de metileno una vez realizado esto se identificó el tiempo al cual da una mayor degradación a partir de la gráfica y datos de la curva de ABS vs Tiempo de la actividad fotocatalítica del fotocatalizador dopado al 20%. Este tiempo fue el tiempo máximo que la muestra debe permanecer para degradar compuestos orgánicos.

## **2.10 Muestreo de agua residual**

La muestra de agua residual utilizada se recolecto en el río Chibunga de la ciudad de Riobamba por el método de muestreo aleatorio simple, la muestra se tomó en 3 puntos como son: en el puente del rio Chibunga, en el parque ecológico y en san juan, estas muestras se mezclaron para obtener una muestra compuesta que fue un total de 3 litros. Esta muestra se transportó en frascos ámbar completamente esterilizados y limpios, dentro de un cooler para mantener la muestra, inmediatamente después del muestreo se utilizó 1 litros de la muestra total para realizar un análisis principal, de los siguientes parámetros:

- Coliformes totales (UFC/100mL)
- pH (en unidades de pH)
- Conductividad eléctrica
- Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5 en mg/ L)
- Demanda Química de Oxígeno (DQO en mg/L)
- Nitratos (NO3 en mg/L)
- Fosfatos (PO4 en mg/L)
- Oxígeno Disuelto
- Turbidez (UNT)

- Sólidos disueltos totales (en mg/L)
- Grasas y aceites

A los 2 litros restantes fueron a los cuales se aplicó el fotocatalizador al 20% de plata conjuntamente con la lámpara de 40W por 24 horas, posterior a ello se filtró en carbón activado y papel filtro común. Una vez concluido el ensayo de laboratorio se procedió a realizar un análisis final de los parámetros analizados en un inicio para constatar cuantitativamente el porcentaje de variación de cada uno de los parámetros.

### **2.11 Actividad fotocatalítica del fotocatalizador dopado en compuestos orgánicos presentes en la muestra de agua residual.**

Para determinar la actividad fotocatalítica del fotocatalizador dopado en una muestra de agua residual, se utilizó una caja de vidrio a la par con el sistema de burbujeo para que exista un movimiento continuo transparente como se observa en la Figura 2-2.



**Figura 2-2:** Fotorreactor para muestra de agua residual con sistema de aireación

**Realizado por:** Lozano E, 2017

Se tomó las variables que mejores resultados obtuvieron en cuanto a la degradación del blanco de azul de metileno, las variables consideradas para aplicar en el agua residual fueron intensidad

lumínica proporcionada por la lámpara de 40w y la concentración de plata en el fotocatalizador que el que mejor resultado dio fue el fotocatalizador con 20% de peso de plata.

#### ***2.11.1 Porcentajes de remoción de parámetros analizados de la muestra de agua residual.***

Una vez aplicado el fotocatalizador, intensidad lumínica por 24 horas se procedió a filtrar en un filtro elaborado con carbón activado y papel filtro común posterior a ello se realizó el análisis de los parámetros citados anteriormente, de estos resultados se procedió a crear una tabla y sacar los porcentajes de remoción con la cual se creó una gráfica en la que se puede evidenciar dichos porcentajes.

#### ***2.11.2 Interpretación de caracterización del agua considerando la norma ambiental AM 097.***

Para conocer la calidad de agua final se utilizó los resultados obtenidos después del tratamiento con el fotocatalizador al 20% de plata a 344 lux en 24 horas de exposición y se comparó con la tabla nueve del acuerdo ministerial 097A, con la cual se pudo identificar los límites permisibles establecidos para las descargas en cuerpos de agua dulce.

#### **2.12 Análisis Estadístico.**

El análisis estadístico se realizó en el software IBM SPSS Statistics 21 en el cual se analizó las variables absorbancia vs concentración de plata y la absorbancia vs el tiempo mediante un análisis de correlación de Pearson para identificar el grado de significancia y con estos ver si estas variables están correlacionadas entre sí. Se analizó también el P valor de las variables con la finalidad de ver si se aprueba o rechaza la hipótesis planteada.

## CAPÍTULO III

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1 Preparación de nanopartículas de $\text{TiO}_2$ dopadas con plata por el método Sol-Gel

Por medio del uso del método sol-gel se obtuvo un gel consistente y denso de un color blanquecino (Figura 1-3).



**Figura 1-3:** Fotocatalizador en fase gel

**Realizado por:** Lozano E, 2017

Después de sometió al gel a la estufa por 6 horas a  $70^\circ\text{C}$  se obtuvieron cristales, estos cristales tenían una coloración amarillenta esto se debe a la presencia de plata en las muestras (Figura 2-3).



**Figura 2-3:** Fotocatalizador en cristales

Realizado por: Lozano E, 2017

El resultado final después de la trituration fue un polvo de color amarillento y un tanto café como lo muestra la Figura 3-3.



**Figura 3-3:** Fotocatalizador en polvo

Realizado por: Lozano E, 2017

### 3.2 Medición de intensidad lumínica de lámpara UVc

La medición de la intensidad lumínica con el equipo de medición Cobra 4 de PHYWE, se obtuvo los siguientes resultados que se muestra en la tabla 1-3.



**Tabla 1-3:** Intensidad lumínica de lámparas UVc antes y después de pasar por la solución de A.M. con el fotocatalizador.

Lámparas	Intensidad lumínica lámpara
40 W	344 lux
20 W	220 lux
10 W	206 lux

Realizado por: Lozano E, 2017

### 3.3 Curva de calibración del azul de metileno

#### 3.3.1 Identificación de longitud de onda adecuada por espectroscopia UV-vis.

Los picos obtenidos después del barrido inteligente en el equipo UV vis Helios Beta de la solución de azul de metileno se muestra en la tabla 2-3.

**Tabla 2-3:** Longitudes de ondas de los picos obtenidos después de realizar un barrido inteligente en UVvis

Numero de Pico	$\lambda$ nm	ABS
1	573.0	4.091
2	<b>577.0</b>	4.104
3	638.0	2.235

Realizado por: Lozano E, 2017

Siendo la de 577.0nm las más adecuada para realizar los análisis en el equipo UV vis.

#### 3.3.2 Análisis de muestras de azul de metileno por espectroscopia UV-vis.

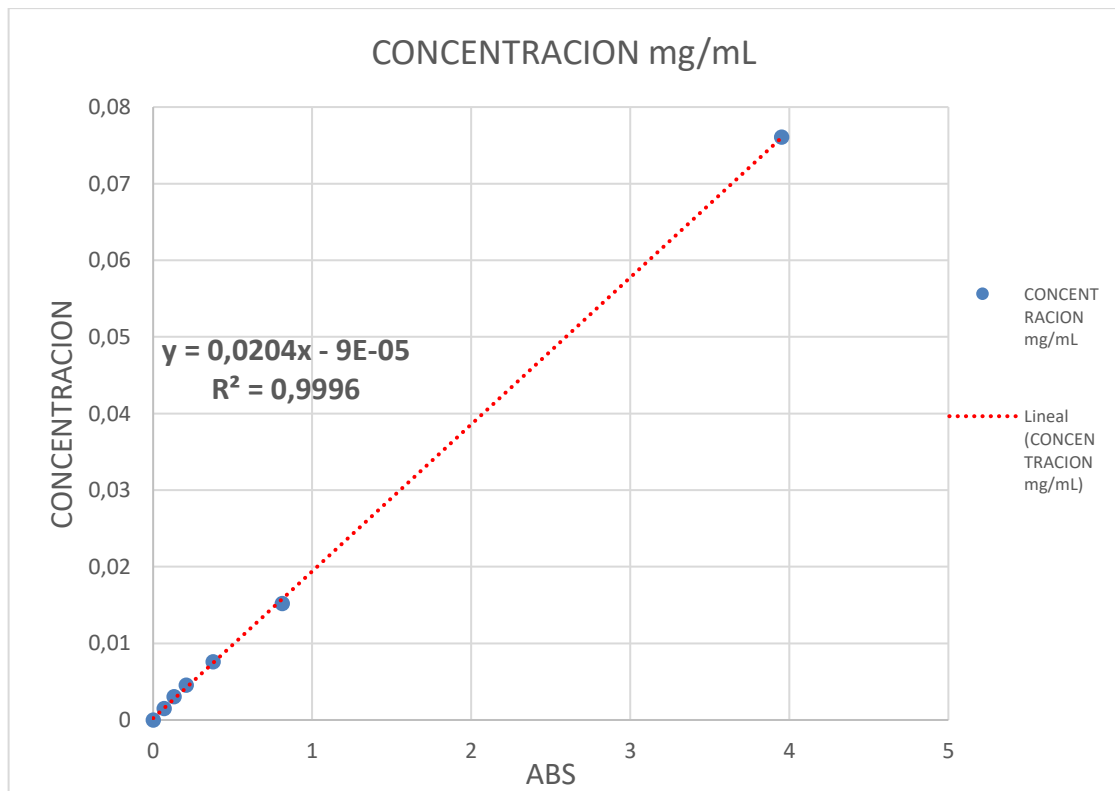
Al realizar el análisis de las muestras de azul de metileno, las lecturas de absorbancia obtenidas con una longitud de onda de 577nm con un intervalo de 10 segundos entre cada lectura se muestran en la tabla 3-3, estos resultados se utilizaron para graficar la curva de calibración.

**Tabla 3-3:** Datos de la curva de calibración de la solución de azul de metileno ABS vs Concentración en mg/mL

	ABS1	ABS2	ABS3	PROM. ABS	CONCENTRACIÓN mg/mL
C1(1mL)	0,069	0,070	0,071	0,070	0,00152
C2(2mL)	0,132	0,132	0,131	0,132	0,00304
C3(3mL)	0,208	0,208	0,208	0,208	0,00458
C4(5mL)	0,377	0,377	0,376	0,377	0,00760
C5(10mL)	0,813	0,813	0,811	0,812	0,01520
Solución Madre(SM)	3,688	3,932	4,237	3,952	0,07610

Realizado por: Lozano E, 2017

### 3.3.3 Gráfica de la curva de calibración.



**Gráfico 1-3:** Curva de calibración de la solución de azul de metileno sin fotocatalizador ABS vs Concentración.

Realizado por: Lozano E, 2017

A partir de la curva de calibración se obtuvo la ecuación:

$$Y = 0.0204x - 9E^{-05}$$

**Ecuación 1-3:** Ec. de la curva de calibración de azul de metileno

**Realizado por:** Eduardo Lozano, 2017

Donde:

- Y= concentración desconocida
- x= ABS

### 3.4 Caracterización química del fotocatalizador

#### 3.4.1 Análisis de los valores de pH

El pH de los fotocatalizadores es un pH ácido cuyos valores varían entre 1,75 y 2,05 dependiendo de la concentración de plata existente en el fotocatalizador como se muestra en la tabla 4-3.

**Tabla 4-3:** pH de fotocatalizadores en agua destilada.

Concentración	pH
C1 (10%)Ag	1.75
C2 (20%)Ag	1.80
C3 (50%)Ag	2.05

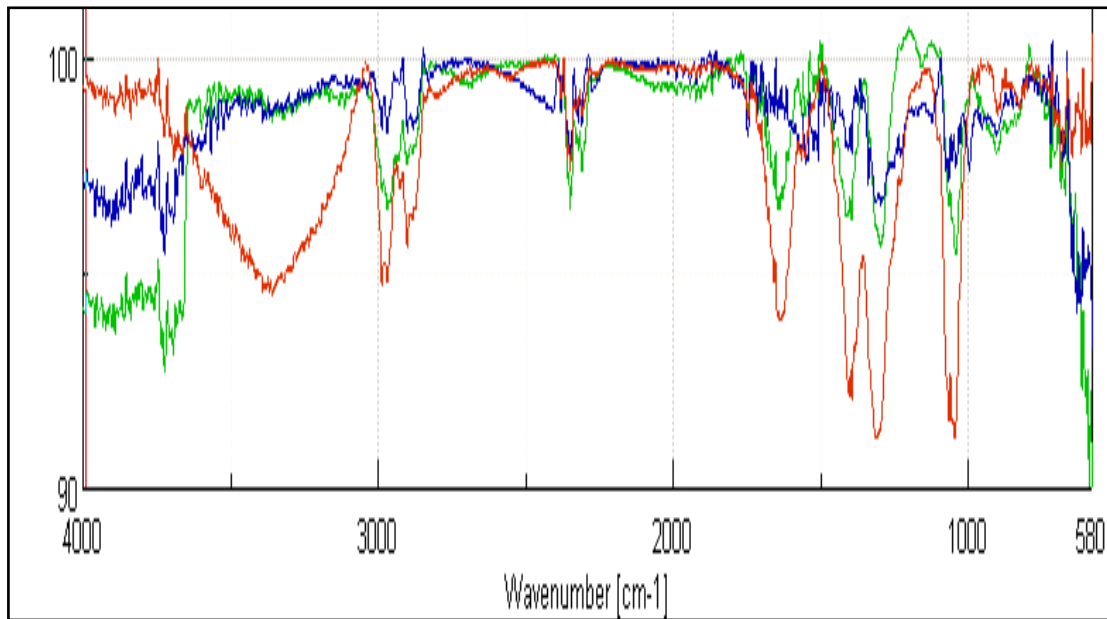
**Realizado por:** Lozano E, 2017

Mientras más concentración de plata en la muestra, menos acida se vuelve. Esto es porque el nitrato de plata al ser una sal inorgánica mixta tiene un pH de alrededor de 6 baja la acidez del compuesto.

#### 3.4.2 Análisis de los fotocatalizadores en espectrofotómetro Infrarrojo

El análisis de las muestras de los fotocatalizadores de 10,20 y 50% de plata en el espectrofotómetro Infrarrojo JASCO 4100 se obtuvo los siguientes espectros:

### 3.4.2.1 Comparación de espectros

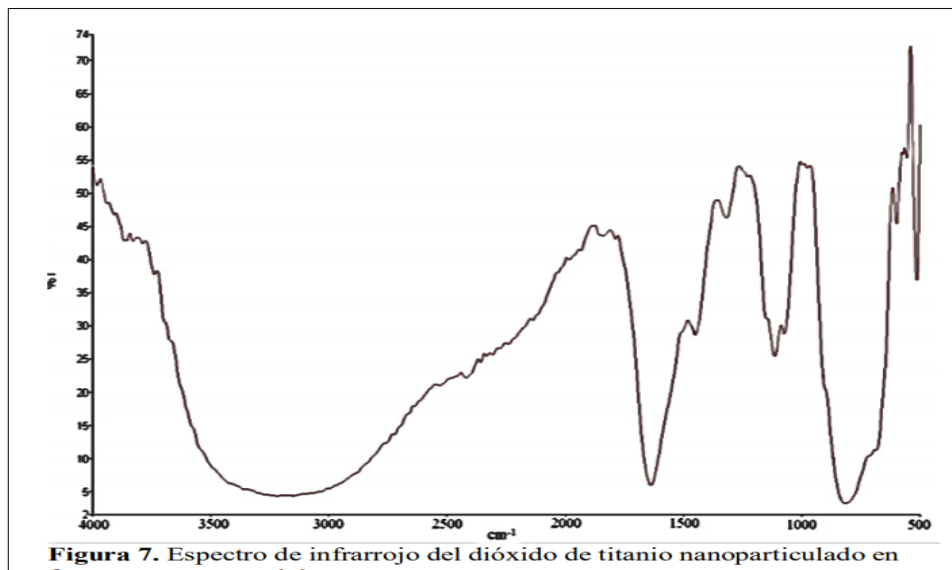


**Gráfico 2-3:** Comparación Espectros Infrarrojos de los fotocatalizadores de 50%(verde), 20%(azul) y 10%(rojo)

**Realizado por:** Lozano E, 2017

En el gráfico 2-3 se puede observar que existen los mismos grupos funcionales en todos los fotocatalizadores analizados en el espectrofotómetro Infrarrojo JASCO 4100, según la comparación realizada de los espectros, los grupos funcionales se encuentran en diferentes concentraciones según la transmitancia.

Se realizó una comparación de los picos principales obtenidos con datos de picos representativos obtenidos en estudios similares que aparecen a la misma longitud de onda mediante bibliografía,



**Figura 4-3:** Espectro de infrarrojo del dióxido de titanio en fase anatasa comercial al 99%

**Fuente:** (Mosquera, y otros, 2015)

En la Figura 4-3 se presenta el espectro de infrarrojo de la muestra comercial de dióxido de titanio nanoparticulado en fase anatasa. Como se puede ver en la figura, las bandas que aparecen en el rango entre  $3500$  a  $3000\text{ cm}^{-1}$  se deben a estiramientos vibracionales de los enlaces  $\text{-OH}$ . Los cuales también se presentan en nuestros espectros. Aquellas que están alrededor de los  $1600\text{ cm}^{-1}$  se deben a la deformación tipo tijera de los protones del agua adsorbida. Existen bandas situadas en el intervalo de  $700\text{-}400\text{ cm}^{-1}$  características de enlaces  $\text{Ti-O-Ti}$ . Los valores cercanos a  $551, 602, 650, 685$  y  $800\text{ cm}^{-1}$  indican enlaces  $\text{Ti-O}$  para fase anatasa (Mosquera, y otros, 2015)

En el rango de  $3100$  a  $3700\text{ cm}^{-1}$  se encuentran los alcoholes los dos siguientes picos pueden corresponder a grupos alifáticos como el  $\text{-CH-CH}_2$  o  $\text{CH}_3$  estos están en un rango de  $2800$  a  $3000\text{ cm}^{-1}$ . En el rango de  $2600$  a  $2800\text{ cm}^{-1}$  se encuentran los enlaces de  $\text{-CHO}$  que posiblemente sean aldehídos, de  $2000$  a  $2400\text{ cm}^{-1}$  encontramos nitrilos  $\text{-C}\equiv\text{N}$  este compuesto es más probable que  $\text{-C}\equiv\text{C-}$  ya que en la elaboración de los fotocatalizadores se utilizó  $\text{HNO}_3$  y  $\text{AgNO}_3$ .

Se encontró que en el rango de  $1650$  a  $1870\text{ cm}^{-1}$  encontramos un enlace de  $\text{C=O}$  que pueden ser ácidos carboxílicos ya que se puede dar la reacción entre un grupo hidroxilo y un grupo carbonilo; haluros de ácido ya que es un proceso donde se libera  $\text{-OH}$  y se reemplaza por un halógeno.

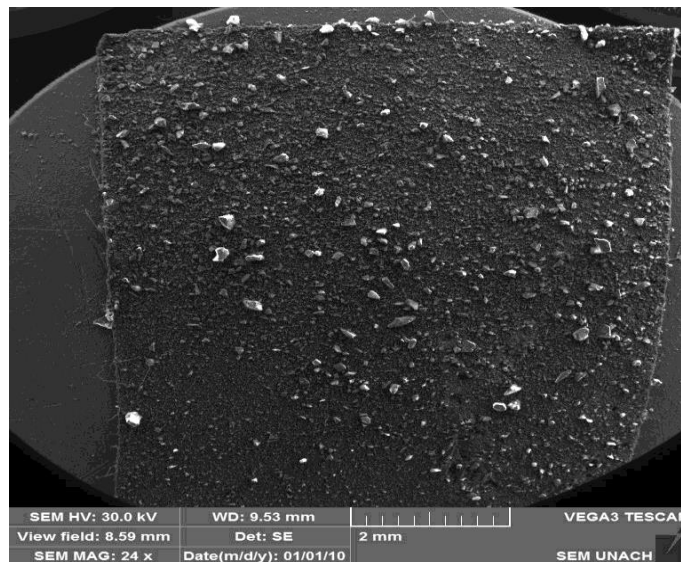
En el rango de  $1550$  a  $1650\text{ cm}^{-1}$  se encuentran enlaces de  $\text{C}=\text{N}$ ,  $\text{N}=\text{H}$ , mientras que en  $1300$  a  $1550\text{ cm}^{-1}$  se encuentran los enlaces de  $\text{Ti}-\text{C}-\text{N}$ . (Shurvell, 2002)

(Yasser, y otros, 2010) Se encontraron Esteres y alcoholes en el rango de  $1000$  a  $1300\text{ cm}^{-1}$ , mientras que en la banda de  $837\text{ cm}^{-1}$  se puede asociar el grupo  $\text{Ti}-\text{OH}$  según el espectro obtenido, también se puede evidenciar que existen productos de la reacción de condensación de los grupos  $\text{Ti}-\text{OH}$  que corresponde a los grupos  $\text{Ti}-\text{O}-\text{Ti}$ .

El más importante se encuentra en el rango de  $407.871\text{ cm}^{-1}$  que indica la presencia de partículas de plata ya que esa es el rango de absorción de estas al comparar los datos obtenidos por (Luis, y otros, 2015) al analizar nanopartículas de plata en un espectro IR esto se comparó los valores de la longitud de onda de los picos y así poder dilucidar la composición de los espectros.

### 3.5 Caracterización física del fotocatalizador mediante Scanning Electron Microscopy (SEM)

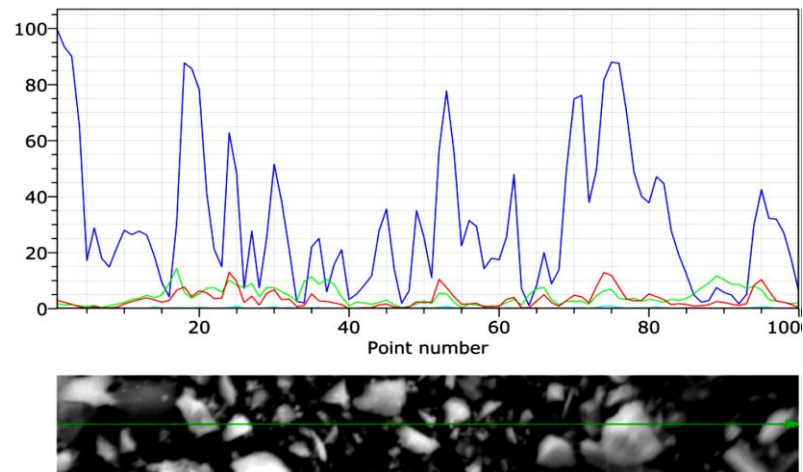
Se sometió a un análisis en el microscopio electrónico SEM al fotocatalizador dopado con 20% de plata ya que este fue el más estable y el que mejor resultado de degradación dio. Obteniendo una imagen principal de  $9\text{ mm}$ , como se muestra en la figura 5-3.



**Figura 5-3:** Imagen muestra de Fotocatalizador al 20% obtenida a través de Scanning Electron Microscopy.

Realizado por: Lozano E, 2017

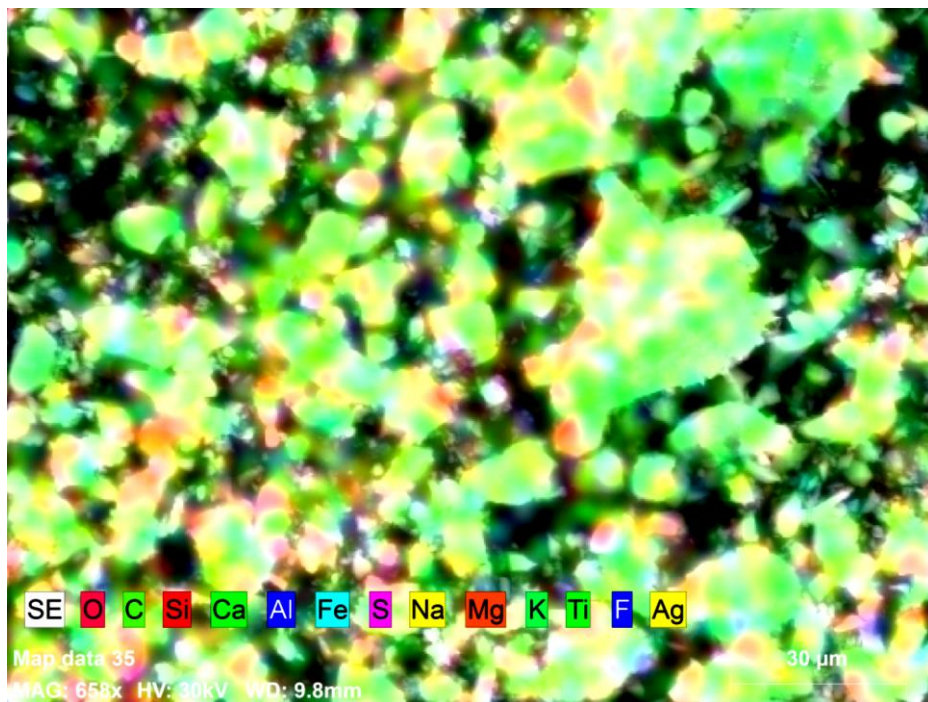
Posterior a ello se utilizó una energía de fotón (HV) de 30,0 KV con la cual se realizó un barrido horizontal de la muestra donde se encontró la presencia de Ti, C, Ag. Ya que estos compuestos son los más abundantes en el fotocatalizador, se puede observar en la figura 6-3.



**Figura 6-3:** Barrido horizontal de la muestra del fotocatalizador al 20 % (Azul: Ti, Rojo: Ag, Verde: C)

Realizado por: Lozano E, 2017

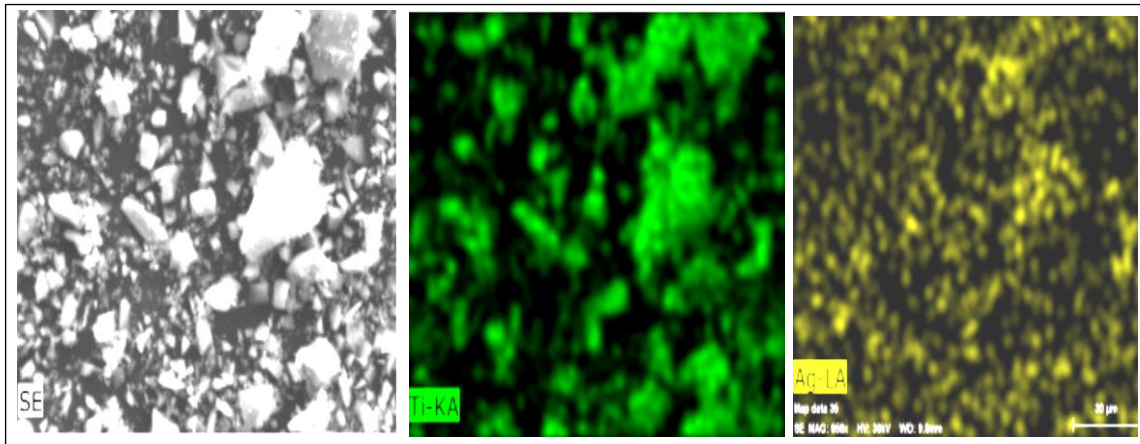
Después de esto se sometió a un mapping para identificar las partículas por coloración según su composición como se puede evidenciar en la figura 7-3.



**Figura 7-3:** Mapping general de la muestra de fotocatalizador al 20%.

Realizado por: Lozano E, 2017

Posterior a esto se realizó el análisis de Ti, Ag para realizar una comparación y ver la cantidad del compuesto que está presente en el fotocatalizador.



**Figura 8-3:** Mapping de Ti y Ag del fotocatalizador al 20% de Ag.

Realizado por: Lozano E, 2017

En la figura 8-3 se puede observar la presencia de Titanio y Plata, las partículas están compuestas en mayor cantidad de Ti y se puede observar que la plata está impregnada sobre las partículas de Ti, esto es producto de la reacción del método sol-gel ya que el momento en que se produce la hidrólisis del  $\text{TiO}_2$  provocada por el  $\text{HNO}_3$  se liberan  $\text{Ti}^+$ , estos están en forma de radical y al mezclar con la solución de  $\text{AgNO}_3$  esta reaccionara con la plata formando un enlace iónico que producirá el intercambio de electrones , hay que recordar que la plata puede participar como dador o aceptor de electrones según la estructura electrónica de semiconductores, por ello es más fácil que se una con el Ti ya que los dos son semiconductores y así facilitar que el  $\text{TiO}_2$  pueda capturar más energía del  $h\nu$  proveniente de la región del espectro visible para que sea más fácil el paso de  $e^-$  y  $h^+$  por la banda prohibida.

### 3.6 Fotolisis del azul de metileno

El azul de metileno se degrada espontáneamente en cantidades muy pequeñas en las 6 horas de exposición a la radiación UVc, sin embargo, al momento que se le adiciona aire por medio del burbujeo aumenta la degradación un poco, esto se constató por medio de la variación de las ABS de las muestras, como se muestra en la tabla 5-3.



**Tabla 5-3:** Porcentajes de degradación de azul de metileno según absorbancia por UVc y aireación

Vasos	ABS1	ABS2	ABS3	Promedio ABS	ABS inicial	Porcentaje de degradación
Vaso1 con aireación.	0,723	0,723	0,720	0,722	0,812	11,08%
Vaso3 con aireación.	0,721	0,720	0,720	0,720	0,812	11,33%
Vaso2 A.M. sin aireación	0,778	0,778	0,778	0,778	0,812	4,19%

Realizado por: Lozano E, 2017

### 3.7 Degradación fotocatalítica del azul de metileno.

Al aplicar los 3 fotocatalizadores a diferentes concentraciones en las soluciones de azul de metileno y someterlas a la intensidad lumínica proporcionada por cada lámpara se pudo obtener los siguientes resultados de degradación:

#### 3.7.1 Degradación fotocatalítica del azul de metileno con lámpara de 40W

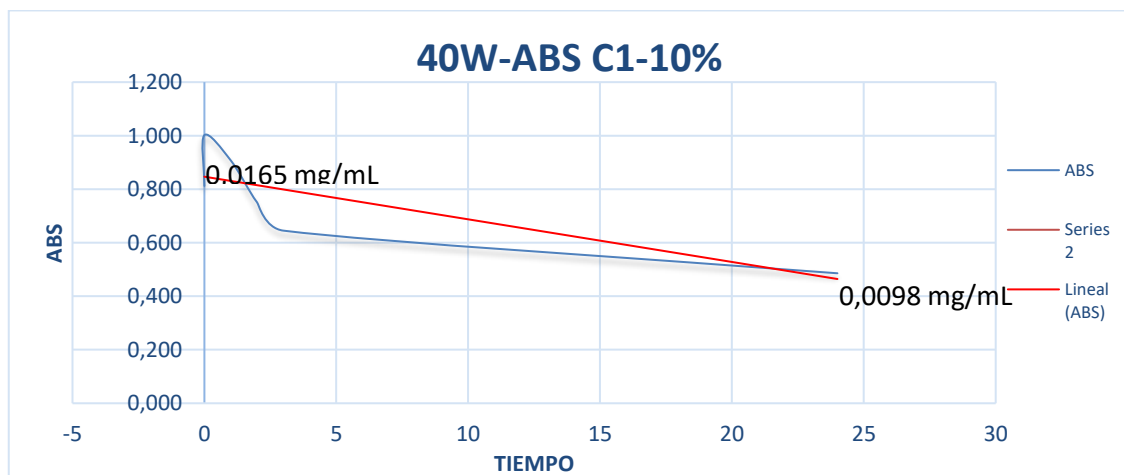
##### 3.7.1.1 Degradación de azul de metileno con fotocatalizador al 10% de plata sometido a 344 lux

Los resultados obtenidos después de someter la solución de azul de metileno más el fotocatalizador al 10% a la lámpara de 40W(344lux) después de 24 horas la ABS se redujo de 0,812 a 0,486 esto corresponde a un 40,18% de reducción de la ABS hasta finalizar el proceso. Se midió la ABS de la solución del azul de metileno sin fotocatalizador y después de haber puesto 0,2034 g del fotocatalizador al 10%, en la cual se notó un aumento de la ABS esto sucede por la composición que tiene el fotocatalizador que está compuesta por Ag y Ti las cuales al ser semiconductores estos se excitan en la longitud de onda del espectro que emite el UVvis e interfieren en la lectura del equipo aumentando las lecturas de ABS. Después de ello se midieron las ABS las 3 primeras horas al estar expuesta a la lámpara, notando así una disminución de la ABS como se muestra en la tabla 6-3:

**Tabla 6-3:** ABS de solución de A.M con fotocatalizador al 10% sometido a 344 lux durante 24 horas

40W - C1 (10%)		
TIEMPO	ABS	Y (mg/mL)
0	0,812	0,0165
0	1,002	0,0204
1	0,907	0,0184
2	0,750	0,0152
3	0,645	0,0131
24	0,486	0,0098

Realizado por: Lozano E, 2017



**Gráfico 3-3:** Curva de degradación de la solución de A.M. a partir de ABS vs tiempo con el fotocatalizador al 10% de plata sometido a 344lux durante 24 horas.

Realizado por: Lozano E, 2017

La ABS a las 24 horas aplicando la ecuación que define a la curva de calibración del azul de metileno encontramos que la solución después de las 24 horas tiene una concentración de 0,0098 mg/mL como se indica en el gráfico 3-3.

### 3.7.1.2 Degradación de azul de metileno con fotocatalizador al 20% de plata sometido a 344 lux

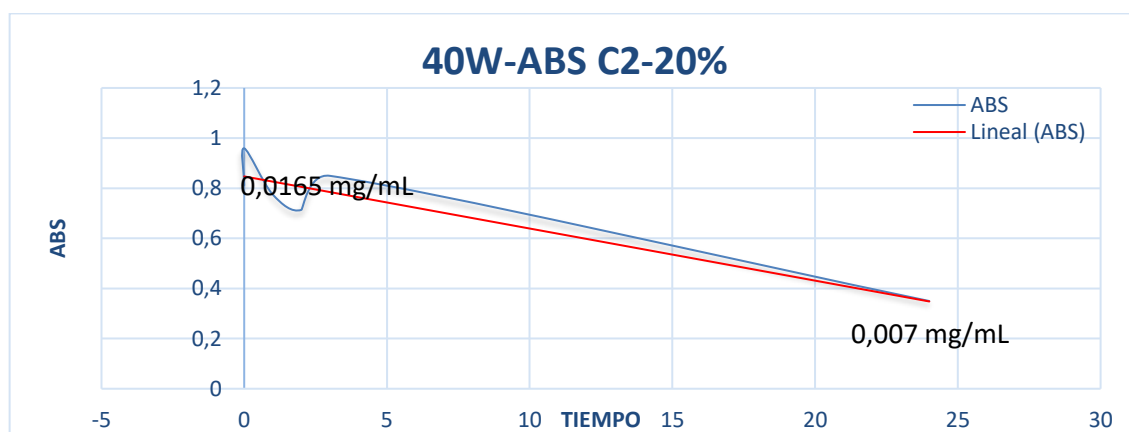
Los resultados obtenidos después de someter la solución de azul de metileno con el fotocatalizador al 20% de plata en la lámpara de 40W(344lux) a las 24 horas la ABS se redujo de 0,812 a 0,3498 esto corresponde a un 56,92% de reducción de la ABS hasta finalizar el proceso.

Se midió la ABS de la solución del azul de metileno sin fotocatalizador y después de haber puesto 0,2034 g del fotocatalizador al 20%, lo cual se notó un aumento de la ABS esto sucede por la composición que tiene el fotocatalizador que está compuesta por Ag y Ti las cuales al ser semiconductores estos se excitan en la longitud de onda del espectro que emite el UVvis e interfieren en la lectura del equipo aumentando las lecturas de ABS. Después de ello se midieron las ABS las 3 primeras horas, notando así una disminución de la ABS como se muestra en la tabla 7-3:

**Tabla 7-3:** ABS de solución de A.M con fotocatalizador al 20% sometido a 344 lux durante 24 horas

40W - C2 (20%)		
TIEMPO	ABS	Y (mg/mL)
0	0,812	0,0165
0	0,959	0,0195
1	0,7747	0,0157
2	0,7136	0,0145
3	0,8494	0,0172
24	0,3498	0,0070

Realizado por: Lozano E, 2017



**Gráfico 4-3:** Curva de degradación de la solución de A.M. a partir de ABS vs tiempo con el fotocatalizador al 20% de plata sometido a 344lux durante 24 horas

Realizado por: Lozano E, 2017

En la gráfica 4-3 encontramos que la solución después de las 24 horas tiene una concentración de 0,007mg/mL.

### 3.7.1.3 Degradación de azul de metileno con fotocatalizador al 50% de plata sometido a 344 lux

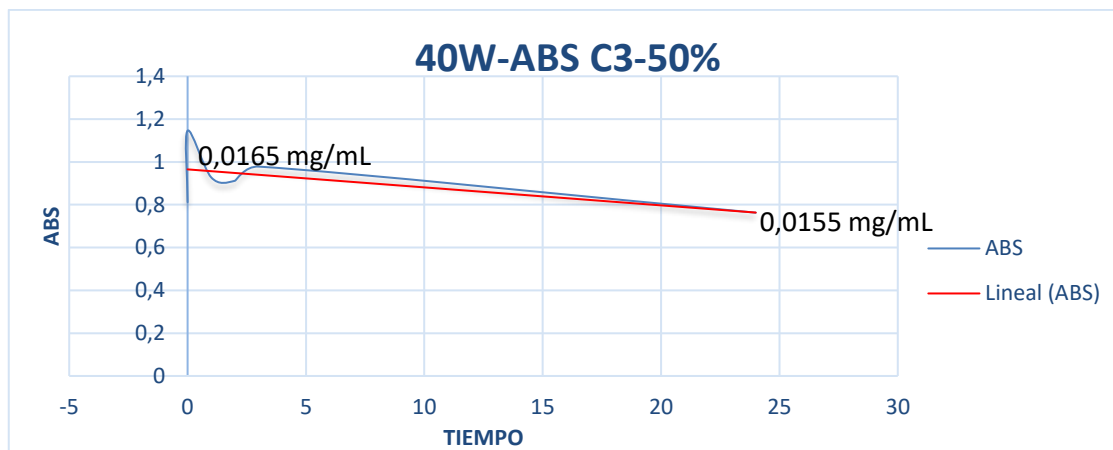
Los resultados obtenidos después de someter la solución de azul de metileno con el fotocatalizador al 50% de plata en la lámpara de 40W(344lux) a las 24 horas la ABS se redujo de 0,812 a 0,7628 esto corresponde a un 6,06% de reducción de la ABS hasta finalizar el proceso.

Se midió la ABS de la solución del azul de metileno sin fotocatalizador y después de haber puesto 0,2034 g del fotocatalizador al 50%, lo cual se notó un aumento de la ABS esto sucede por la composición que tiene el fotocatalizador que está compuesta por Ag y Ti las cuales al ser semiconductores estos se excitan en la longitud de onda del espectro que emite el UVvis e interfieren en la lectura del equipo aumentando las lecturas de ABS. Después de ello se midieron las ABS las 3 primeras horas, notando así una disminución de la ABS como se muestra en la tabla 8-3:

**Tabla 8-3:** ABS de solución de A.M. con fotocatalizador al 50% sometido a 344 lux durante 24 horas

40W - C3 (50%)		
TIEMPO	ABS	Y (mg/mL)
0	0,812	0,0165
0	1,146	0,0233
1	0,9274	0,0188
2	0,9119	0,0185
3	0,9781	0,0199
24	0,7628	0,0155

Realizado por: Lozano E, 2017



**Gráfico 5-3:** Curva de degradación de la solución de A.M. a partir de ABS vs tiempo con el fotocatalizador al 50% de plata sometido a 344lux durante 24 horas

**Realizado por:** Lozano E, 2017

Usando la ABS obtenida a las 24 horas y aplicando la ecuación que define a la curva de calibración del azul de metileno encontramos que la solución después de las 24 horas tiene una concentración de 0,0155mg/mL como se indica en el gráfico 5-3.

### 3.7.2 Degradación fotocatalítica del azul de metileno con lámpara de 20W

#### 3.7.2.1 Degradación de azul de metileno con fotocatalizador al 10% de plata sometido a 220 lux

Los resultados obtenidos después de someter la solución de azul de metileno con el fotocatalizador al 10% de plata en la lámpara de 20W(220lux) a las 24 horas la ABS se redujo de 0,812 a 0,6657 esto corresponde a un 6,06% de reducción de la ABS hasta finalizar el proceso. Se midió la ABS de la solución del azul de metileno sin fotocatalizador y después de haber puesto 0,2034 g del fotocatalizador al 10%, lo cual se notó un aumento de la ABS esto sucede por la composición que tiene el fotocatalizador que está compuesta por Ag y Ti las cuales al ser semiconductores estos se excitan en la longitud de onda del espectro que emite el UVvis e interfieren en la lectura del equipo aumentando las lecturas de ABS.

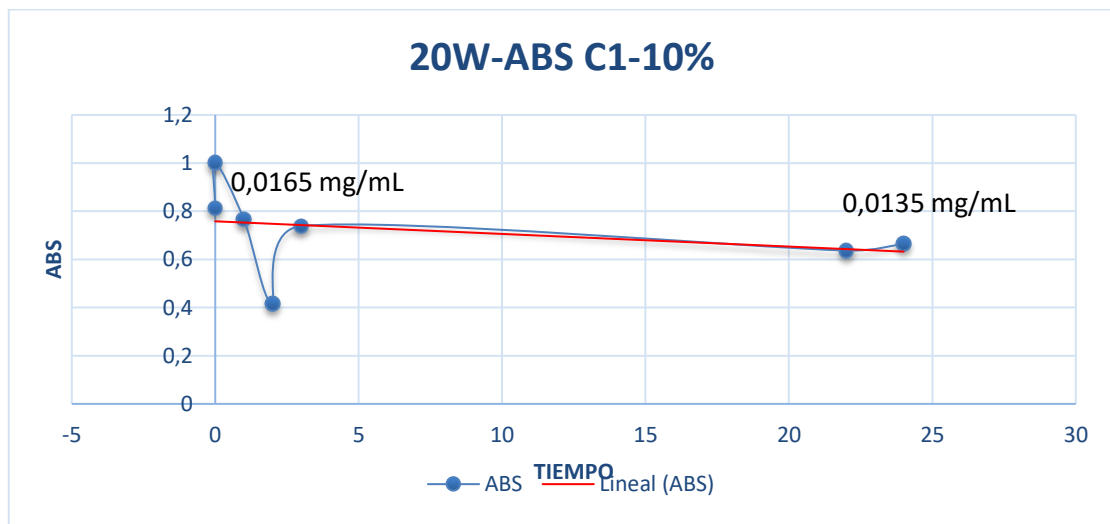
Después de ello se midieron las ABS las 3 primeras horas, notando así una disminución de la ABS hasta la segunda hora, la cual fue la mayor degradación alcanzada por este fotocatalizador, posteriormente a la 3 hora se registra que la ABS aumento de 0,4147 a 0,7378 la cual va disminuyendo muy poco hasta las 22 horas en las 24 horas aumenta levemente la ABS, esto nos indica que el fotocatalizador al estar en contacto a una intensidad lumínica de

220 lux genera varios compuestos y no degrada lo suficiente la materia orgánica. Los datos obtenidos se muestran en la tabla 9-3:

**Tabla 9-3:** ABS de solución de A.M. con fotocatalizador al 10% sometido a 220 lux durante 24 horas

20W - C1 (10%)		
TIEMPO	ABS	Y (mg/mL)
0	0,812	0,0165
0	1,002	0,0204
1	0,7659	0,0155
2	0,4147	0,0084
3	0,7387	0,0150
22	0,6370	0,0129
24	0,6657	0,0135

Realizado por: Lozano E, 2017



**Gráfico 6-3:** Curva de degradación de la solución de A.M. a partir de ABS vs tiempo con el fotocatalizador al 10% de plata sometido a 220 lux durante 24 horas

Realizado por: Lozano E, 2017

Usando la ABS obtenida a las 24 horas y aplicando la ecuación que define a la curva de calibración del azul de metileno encontramos que la solución después de las 24 horas tiene una concentración de 0,0135 mg/mL, pero siendo a la segunda hora la concentración más baja obtenida que fue de 0,0084 mg/mL como se muestra en el gráfico 6-3.

### 3.7.2.2 Degradación de azul de metileno con fotocatalizador al 20% de plata sometido a 220 lux

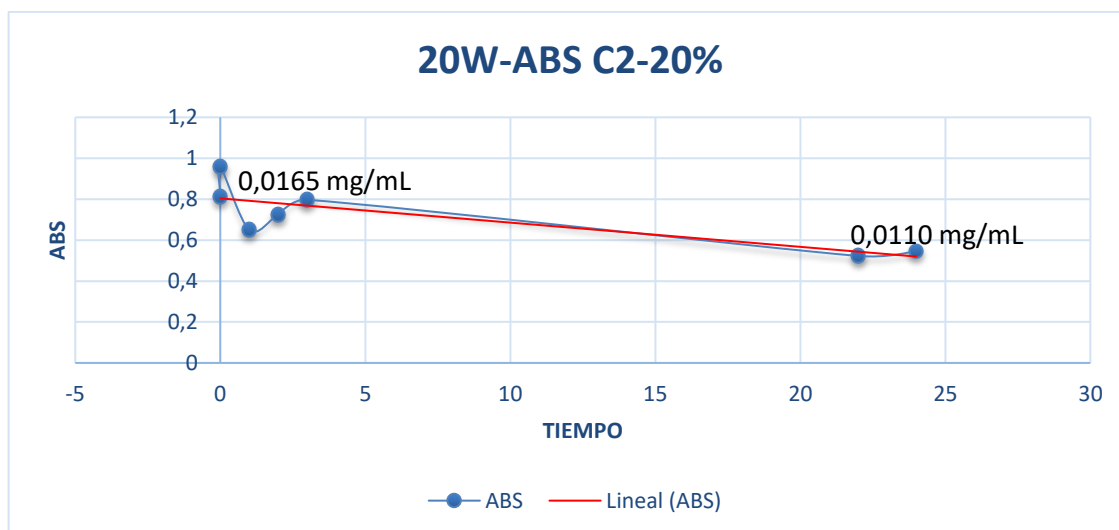
Los resultados obtenidos después de someter la solución de azul de metileno con el fotocatalizador al 20% de plata en la lámpara de 20W(220lux) a las 24 horas la ABS se redujo de 0,812 a 0,5460 esto corresponde a un 32,76% de reducción de la ABS hasta finalizar el proceso. Se midió la ABS de la solución del azul de metileno sin fotocatalizador y después de haber puesto 0,2034 g del fotocatalizador al 20%, lo cual se notó un aumento de la ABS esto sucede por la composición que tiene el fotocatalizador que está compuesta por Ag y Ti las cuales al ser semiconductores estos se excitan en la longitud de onda del espectro que emite el UVvis e interfieren en la lectura del equipo aumentando las lecturas de ABS.

Después de ello se midieron las ABS las 3 primeras horas, notando así una disminución de la ABS a la primera hora, posteriormente a la 2 y 3 hora se registra que la ABS aumentó y comienza a disminuir hasta las 22 horas, en las 24 horas aumenta levemente la ABS, esto nos indica que el fotocatalizador de 20% de plata al estar en contacto a una intensidad lumínica de 220 lux genera compuestos por que no reacciono en su totalidad el fotocatalizador y el sobrante interfiere en las lecturas del fotocatalizador . Los datos obtenidos se muestran en la tabla 10-3:

**Tabla 10-3:** ABS de solución de A.M. con fotocatalizador al 20% sometido a 220 lux durante 24 horas

20W - C2 (20%)		
TIEMPO	ABS	Y (mg/mL)
0	0,812	0,0165
0	0,959	0,0195
1	0,6508	0,0132
2	0,7248	0,0147
3	0,7970	0,0162
22	0,5227	0,0106
24	0,5460	0,0110

Realizado por: Lozano E, 2017



**Gráfico 7-3:** Curva de degradación de la solución de A.M. a partir de ABS vs tiempo con el fotocatalizador al 20% de plata sometido a 220 lux durante 24 horas

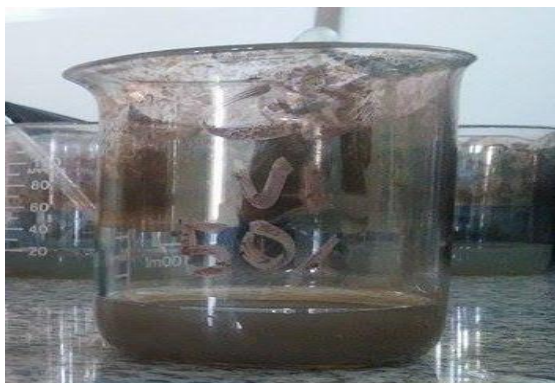
**Realizado por:** Lozano E, 2017

Usando la ABS obtenida a las 24 horas aplicando la ecuación que define a la curva de calibración del azul de metileno encontramos que la solución después de las 24 horas de exposición a la intensidad lumínica tiene una concentración de 0,0110 mg/mL como se muestra en el gráfico 7-3.

### 3.7.2.3 Degradación de azul de metileno con fotocatalizador al 50% de plata sometido a 220 lux

Los resultados obtenidos después de someter la solución de azul de metileno con el fotocatalizador al 50% de plata en la lámpara de 20W(220lux) a las 24 horas la ABS fue de 0,812 a 1,079 esto ocurre porque el fotocatalizador tiene una concentración de plata del 50%, y no va a reaccionar en su totalidad porque está saturado, y al estar en contacto con la radiación emitida por la lámpara el exceso del fotocatalizador reacciona formando el espejo de plata como se puede observar en la figura 9-3.





**Figura 9-3:** Vaso de cuarzo con fotocatalizador al 50% de plata después de 24h

**Realizado por:** Lozano E, 2017

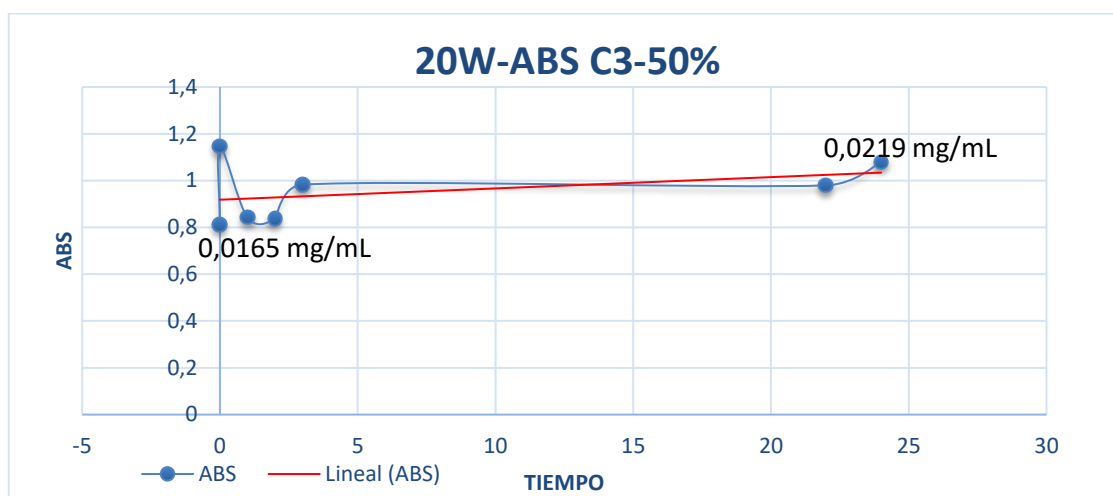
Se midió la ABS de la solución del azul de metileno sin fotocatalizador y después de haber puesto 0,2034 g del fotocatalizador al 50%, lo cual se notó un aumento de la ABS esto sucede por la composición que tiene el fotocatalizador que está compuesta por Ag y Ti las cuales al ser semiconductores estos se excitan en la longitud de onda del espectro que emite el UVvis e interfieren en la lectura del equipo aumentando las lecturas de ABS.

Después de ello se midieron las ABS las 3 primeras horas al estar en contacto con la lámpara, notando así una leve disminución de la ABS a la primera y segunda hora, posteriormente a la 3 hora se registra que la ABS aumentó y comienza a disminuir hasta las 22 horas, en las 24 horas aumenta considerablemente la ABS, esto nos indica que el fotocatalizador de 50% de plata satura a la solución de A.M con plata y al estar en contacto a una intensidad lumínica de 220 lux genera compuestos y la plata en exceso reacciona formando la reacción del espejo de plata y se impregna en el vaso. Los datos obtenidos se muestran en la tabla 11-3:

**Tabla 11-3:** ABS de solución de A.M con fotocatalizador al 50% sometido a 220 lux durante 24 horas

20W - C3(50%)		
TIEMPO	ABS	Y (mg/mL)
0	0,812	0,0165
0	1,146	0,0233
1	0,8421	0,0171
2	0,8367	0,0170
3	0,9828	0,0200
22	0,9798	0,0199
24	1,0799	0,0219

**Realizado por:** Lozano E, 2017



**Gráfico 8-3:** Curva de degradación de la solución de A.M. a partir de ABS vs tiempo con el fotocatalizador al 50% de plata sometido a 220 lux durante 24 horas

**Realizado por:** Lozano E, 2017

Usando la ABS obtenida a las 24 horas y aplicando la ecuación que define a la curva de calibración del azul de metileno encontramos que la solución después de las 24 horas de exposición a la intensidad lumínica de 220 lux da una concentración de 0,0219 mg/mL como se muestra en el gráfico 8-3. Según este resultado se puede considerar que no existe degradación con este fotocatalizador a esta intensidad lumínica ya que las ABS aumentaron por la formación de nuevos compuestos en el transcurso de las 24 horas como también por que la pendiente es positiva.

### 3.7.3 Degradación fotocatalítica del azul de metileno con lámpara de 10W

#### 3.7.3.1 Degradación de azul de metileno con fotocatalizador al 10% de plata sometido a 206 lux

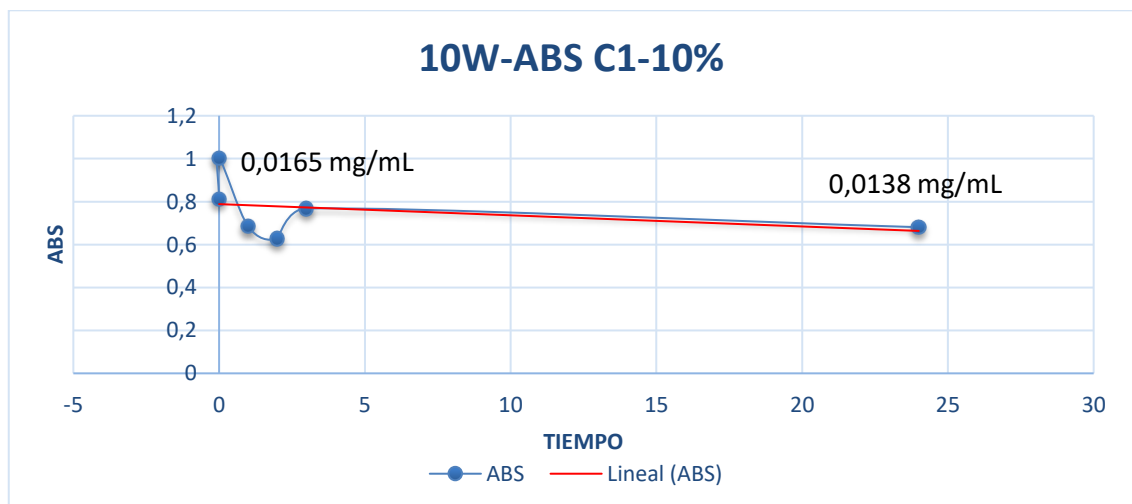
Los resultados obtenidos después de someter la solución de azul de metileno con el fotocatalizador al 10% de plata en la lámpara de 10W (206 lux) a las 24 horas la ABS se redujo de 0,812 a 0,6808 esto corresponde a un 16,15% de reducción de la ABS hasta finalizar el proceso. Se midió la ABS de la solución del azul de metileno sin fotocatalizador y después de haber puesto 0,2034 g del fotocatalizador al 10%, lo cual se notó un aumento de la ABS esto sucede por la composición que tiene el fotocatalizador que está compuesta por Ag y Ti las cuales al ser semiconductores estos se excitan en la longitud de onda del espectro que emite el UVvis e interfieren en la lectura del equipo aumentando las lecturas de ABS. Después de ello se midieron las ABS las 3 primeras horas al estar expuesta a la luz UVc de la lámpara, notando así

una disminución hasta la segunda hora, la tercera hora sufre un aumento en la ABS, a partir de esta hasta las 24 horas logra una disminución como se muestra en la tabla 12-3:

**Tabla 12-3:** ABS de solución de A.M con fotocatalizador al 10% sometido a 206 lux durante 24 horas

10W - C1 (10%)		
TIEMPO	ABS	Y (mg/mL)
0	0,812	0,0165
0	1,002	0,0204
1	0,6839	0,0139
2	0,6277	0,0127
3	0,7680	0,0156
24	0,6808	0,0138

Realizado por: Lozano E, 2017



**Gráfico 9-3:** Curva de degradación de la solución de A.M. a partir de ABS vs tiempo con el fotocatalizador al 10% de plata sometido a 206 lux durante 24 horas

Realizado por: Lozano E, 2017

Utilizando la ABS obtenida a las 24 horas y aplicando la ecuación que define a la curva de calibración del azul de metileno encontramos que la solución después de las 24 horas de exposición a la intensidad lumínica de 206 lux tiene una concentración de 0,0138 mg/mL como se muestra en el gráfico 9-3.

### 3.7.3.2 Degradación de azul de metileno con fotocatalizador al 20% de plata sometido a 206 lux

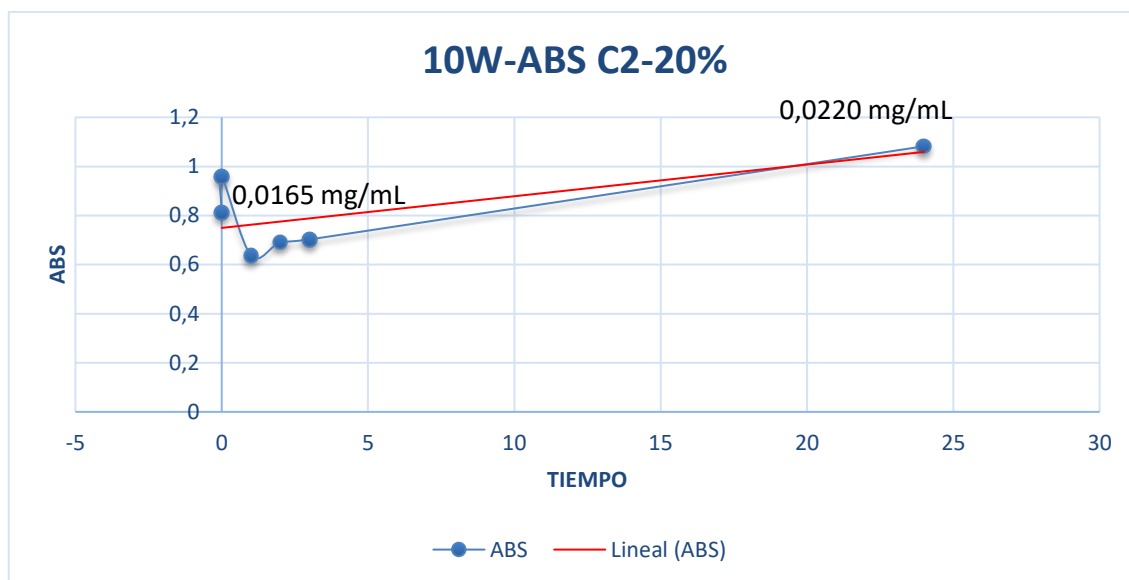
Los resultados obtenidos después de someter la solución de azul de metileno con el fotocatalizador al 20% de plata en la lámpara de 10W (206 lux) a las 24 horas la ABS aumento de 0,812 a 1,0821 hasta finalizar el proceso.

Se midió la ABS de la solución del azul de metileno sin fotocatalizador y después de haber puesto 0,2034 g del fotocatalizador al 20%, lo cual se notó un aumento de la ABS esto sucede por la composición que tiene el fotocatalizador que está compuesta por Ag y Ti las cuales al ser semiconductores estos se excitan en la longitud de onda del espectro que emite el UVvis e interfieren en la lectura del equipo aumentando las lecturas de ABS. Después de ello se midieron las ABS las 3 primeras horas, notando así una disminución en la primera hora donde se obtuvo la ABS más baja que fue de 0,6372 esto corresponde a una reducción del 24,53% de la ABS, a partir de esta la ABS aumento hasta las 24 horas como se muestra en la tabla 13-3:

**Tabla 13-3:** ABS de solución de A.M con fotocatalizador al 20% sometido a 206 lux durante 24 horas

10W - C2 (20%)		
TIEMPO	ABS	Y (mg/mL)
0	0,812	0,0165
0	0,959	0,0195
1	0,6372	0,0129
2	0,6917	0,0140
3	0,7024	0,0142
24	1,0821	0,0220

Realizado por: Lozano E, 2017



**Gráfico 10-3:** Curva de degradación de la solución de A.M. a partir de ABS vs tiempo con el fotocatalizador al 20% de plata sometido a 206 lux durante 24 horas

**Realizado por:** Lozano E, 2017

En el gráfico 10-3 se puede observar que existe una disminución mínima a la primera hora y después aumenta la ABS, esto nos indica que se formaron nuevos compuestos en la muestra y que la degradación fue mínima hasta la primera hora, esto sucede por la baja intensidad lumínica de la lámpara que no es suficiente para producir el efecto de fotocátalisis y el porcentaje del fotocatalizador que no degrado la materia orgánica es alta y este genera nuevos compuestos durante las 24 horas. La pendiente es positiva porque aumento la ABS por los productos generados y la interferencia del exceso de fotocatalizador sin reaccionar por lo tanto se considera que no hubo degradación.

### 3.7.3.3 Degradación de azul de metileno con fotocatalizador al 50% de plata sometido a 206 lux

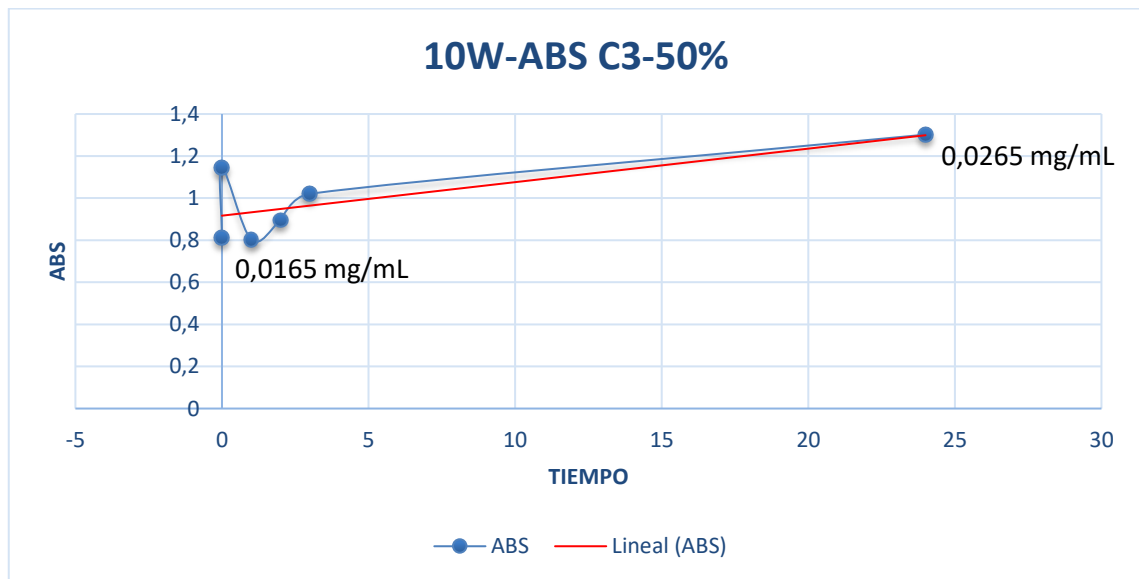
Los resultados obtenidos después de someter la solución de azul de metileno con el fotocatalizador al 50% de plata en la lámpara de 10W (206 lux) a las 24 horas la ABS aumento de 0,812 a 1,3019 hasta finalizar el proceso. Se midió la ABS de la solución del azul de metileno sin fotocatalizador y después de haber puesto 0,2034 g del fotocatalizador al 20%, lo cual se notó un aumento de la ABS esto sucede por la composición que tiene el fotocatalizador que está compuesta por Ag y Ti las cuales al ser semiconductores estos se excitan en la longitud de onda del espectro que emite el UVvis e interfieren en la lectura del equipo aumentando las lecturas de ABS. Después de ello se midieron las ABS las 3 primeras horas, notando así una

disminución en la primera hora donde se obtuvo la ABS más baja que fue de 0,8026 esto corresponde a una reducción del 1,16% de la ABS, a partir de esta la ABS aumento hasta las 24 horas como se muestra en la tabla 14-3:

**Tabla 14-3:** ABS de solución de A.M con fotocatalizador al 50% sometido a 206 lux durante 24 horas

10W - C3 (50%)		
TIEMPO	ABS	Y (mg/mL)
0	0,812	0,0165
0	1,146	0,0233
1	0,8026	0,0163
2	0,8950	0,0182
3	1,0208	0,0207
24	1,3019	0,0265

Realizado por: Lozano E, 2017

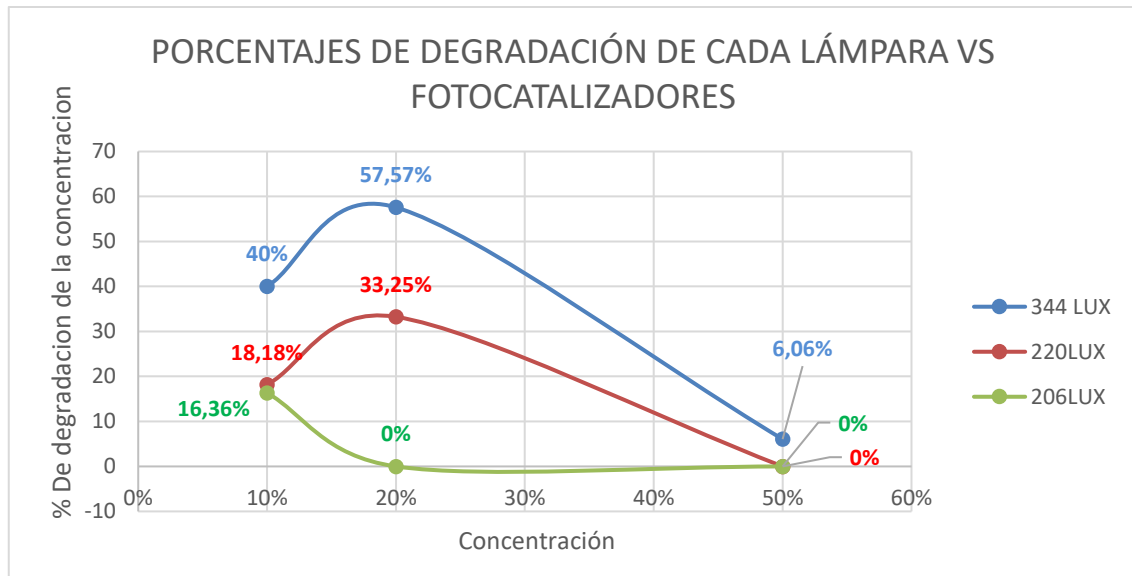


**Gráfico 11-3:** Curva de degradación de la solución de A.M. a partir de ABS vs tiempo con el fotocatalizador al 50% de plata sometido a 206 lux durante 24 horas

Realizado por: Lozano E, 2017

En el gráfico 11-3 se puede observar que existe una disminución mínima a la primera hora y después aumenta la ABS, esto nos indica que se formaron nuevos compuestos en la muestra y que la degradación fue mínima hasta la primera hora. Esto sucede por la baja intensidad lumínica de la lámpara que no es suficiente para producir el efecto de fotocátalisis y el

porcentaje del fotocatalizador que no degrado la materia orgánica es alta y este genera nuevos compuestos durante las 24 horas. La pendiente es positiva porque aumento la ABS por los productos generados y la interferencia del exceso de fotocatalizador sin reaccionar por lo tanto se considera que no hubo degradación.



**Gráfico 12-3:** Porcentaje de degradación de cada fotocatalizador según la intensidad lumínica expuesta

**Realizado por:** Lozano E, 2017

En el gráfico 12-3 se muestra a los diferentes fotocatalizadores y las intensidades lumínicas usadas, en el caso del **fotocatalizador al 10%** de plata tuvo una degradación del 40% a una intensidad lumínica de 344 lux , mientras que a 220 lux tuvo una degradación de 18,18% y a 206 lux tuvo una degradación de 16,36%, que es relativamente baja al compararla con la del **fotocatalizador al 20%** ya que a 344 lux tuvo una degradación del 57,57% de la concentración siendo esta la más alta alcanzada , a los 220 lux degrado el 33,25% y a 206 lux tuvo una degradación de 0%. **El fotocatalizador al 50%** tuvo una mínima degradación a una intensidad lumínica de 344 lux que fue del 6,06% a 220 lux no hubo degradación y se formaron nuevos compuestos ya que la ABS variaron al igual que en la intensidad lumínica de 206 lux.

Según (Aldana, y otros, 2010) tuvieron un porcentaje de remoción con los fotocatalizadores dopados con plata en 3 y 5% su porcentaje de remoción fue entre el 10 y 15% respectivamente, en nuestro caso el porcentaje de degradación fue de 54,94% ya que el porcentaje de plata fue del 20%. en otras investigaciones se cita que tuvieron una degradación del 15% en una hora y 20min. (Alma, 2010)

### 3.8 Actividad fotocatalítica del fotocatalizador dopado en compuestos orgánicos presentes en la muestra de agua residual.

El análisis de la muestra de agua residual se realizó de los siguientes parámetros: turbiedad, conductividad, sólidos totales disueltos, aceites y grasas, oxígeno disuelto, Demanda Química de Oxígeno, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Fosfatos, Nitratos, pH, Coliformes totales.

Dando fuera de los límites permisibles las grasas y aceites 78 mg/L, DQO 326 mg/L, DBO 132 mg/L, Nitratos 22.33 mg/L, Coliformes Totales  $4.8 \times 10^6$  UFC/100 mL (Anexo QQ.).

#### 3.8.1 Porcentajes de remoción de parámetros analizados de la muestra de agua residual.

Después de someter a la muestra de agua residual a 24 h de exposición con el fotocatalizador al 20% de plata a 344 lux de intensidad lumínica y aireación existió un pequeño incremento de la turbiedad como se puede evidenciar en la tabla 15.

**Tabla 15-3:** Resultado de análisis de Turbiedad de la muestra de agua residual en porcentaje de incremento.

PARÁMETRO	UNIDAD	V. INICIAL	V. FINAL	% INCREMENTO
1 Turbiedad	UNT	137	156	13,86

Realizado por: Lozano E, 2017

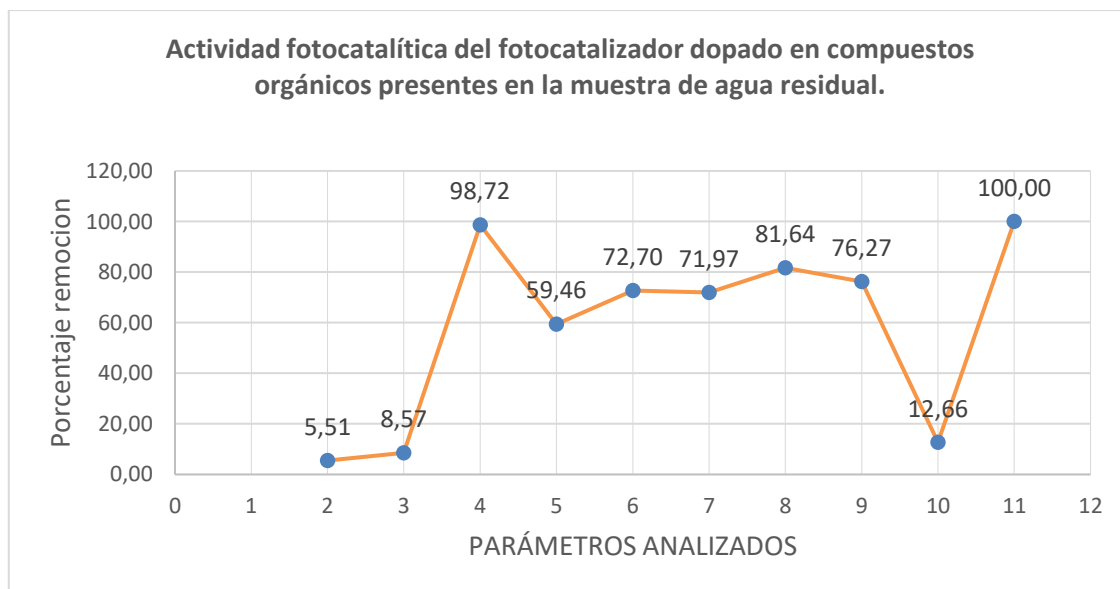
Y una notable disminución del resto de los parámetros analizados como se observa en la tabla 16.



**Tabla 16-3:** Resultados análisis de la muestra de agua residual en porcentaje de remoción

	PARÁMETRO	UNIDAD	V. INICIAL	V. FINAL	% REMOCIÓN
2	Conductividad	μSiems/cm	635	600	5,51
3	Solidos totales Disueltos	mg/L	350	320	8,57
4	Aceites y Grasas	mg/L	78	1	98,72
5	Oxígeno Disuelto		3,7	1,5	59,46
6	Demanda Química de Oxígeno(DQO)	mg/L	326	89	72,70
7	Demanda Bioquímica de Oxígeno(DBO)	mg/L	132	37	71,97
8	Fosfato	mg/L	2,07	0,38	81,64
9	Nitratos	mg/L	22,33	5,3	76,27
10	pH	Unid.	7,74	6,76	12,66
11	Coliformes Totales	UFC/100mL	4800000	Ausencia	100,00

Realizado por: Lozano E, 2017



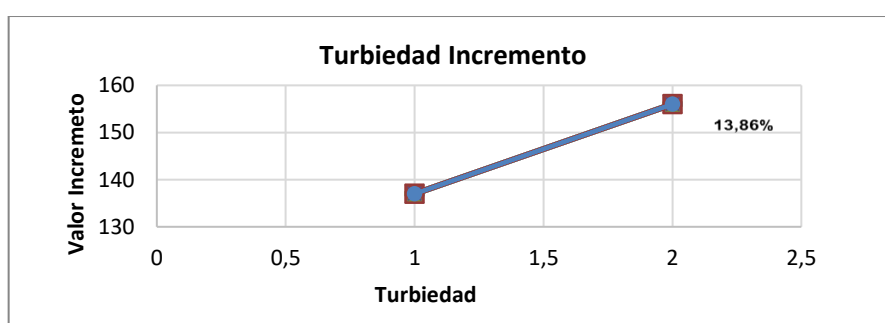
**Gráfico 13-3:** Porcentaje de remoción de los parámetros analizados de agua residual después de tratar con el fotocatalizador al 20% de plata a 344 lux y aireación.

Realizado por: Lozano E, 2017.

Como se puede observar en la gráfica 13-3 los parámetros que disminuyeron casi en su totalidad fueron las grasas y aceites que disminuyeron de 78,0 mg/L a 1,0 mg/L teniendo un porcentaje de

remoción del 98,72%, en el caso de los Coliformes totales se inhibió en su totalidad la presencia de estos en la muestra de agua residual es decir un 100% de remoción, por ende, se disminuyó la DBO de 100 a 37 mg/L que corresponde a un 71,97% de remoción

En el caso de la DQO disminuyó de 326 a 89 mg/L que corresponde a 72,90% de remoción lo cual indica que el tratamiento también es eficiente para compuestos inorgánicos como químicos, sulfuros yoduros presentes en el agua residual ya que la DQO indica la cantidad de oxígeno requerida para oxidar por medios químicos, por consiguiente, hubo una disminución en la concentración de Nitratos y Fosfatos con un porcentaje de remoción de 76,26% y 81,64% respectivamente.



**Gráfico 14-3:** Incremento de la Turbiedad en la muestra de agua residual.

Realizado por: Lozano E, 2017.

En el caso de la turbiedad se observa en el gráfico 14 que este parámetro aumento de 137 a 156 UNT esto se debe a que en el proceso del tratamiento se generaron lodos de la degradación de la materia orgánica la cual aumento la turbiedad de la muestra en un 13,86%.

### **3.8.2 Interpretación de caracterización del agua considerando la norma ambiental AM 097.**

Los resultados obtenidos del análisis químico de la muestra de agua residual después de someter al tratamiento con el fotocatalizador al 20% de plata por 24 horas y al comparar con las tablas del AM097 dichos resultados, se puede decir que la calidad del agua final posee características propias para realizar las descargas de forma segura a un cuerpo de agua dulce, ya que los resultados finales se encuentran por debajo de los límites permisibles dispuestos por el ministerio del ambiente en la tabla 9 del AM 097 como se muestra en la tabla 17-3.

**Tabla 17-3:** Comparación de los resultados de los parámetros de la muestra de agua residual analizada con los límites permisibles establecidos en la tabla 9 del acuerdo ministerial 097.

<b>Parámetro</b>	<b>Unidades</b>	<b>Límites</b>	<b>Resultado</b>
Turbiedad	UNT	-----	156
Conductividad	μSiems/cm	-----	600
Sólidos totales disueltos	mg/L	1600	320
Aceites y grasa	mg/L	30	1.0
Oxígeno disuelto	% saturación	-----	1.5
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	200	89
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	100	37
Fosfato	mg/L	10	0,38
Nitratos	mg/L	10	5,30
pH	Unid	6-9	6,76
Coliformes Totales	UFC/100mL	2000	Ausencia

Realizado por: Lozano E, 2017

Los parámetros de turbiedad, conductividad, oxígeno disuelto no se toman en cuenta en la tabla 9 del acuerdo ministerial 097, pero los límites permisibles para el oxígeno disuelto se encuentran en la tabla 7 del AM 097 que es para fines recreativos o contacto con el hombre y este debe tener una concentración bajo 80% de saturación, en nuestros resultados se obtuvo el 59,46%.

### 3.9 Análisis estadístico de correlación

#### 3.9.1 Absorbancia vs Concentración de plata

**H<sub>1</sub>:** La presencia de plata en una concentración adecuada en el fotocatalizador aumenta la reducción de la ABS de las muestras de azul de metileno.

**H<sub>0</sub>:** La presencia de plata no aumenta la reducción de la ABS de las muestras de azul de metileno.

**Tabla 18-3:** Estadísticos descriptivos de Absorbancia vs Concentración de Plata.

	Media	Desviación típica	N
ABS	,776251	,1995050	39
CONCENTRACIÓN PLATA	26,6667	17,21892	39

Realizado por: Lozano E, 2017

**Tabla 19-3:** Correlaciones entre Absorbancia vs Concentración de plata

		ABS	CONCENTRACIÓN PLATA
ABS	Correlación de Pearson	1	,468**
	Sig. (bilateral)		,003
	N	39	39
CONCENTRACIÓN PLATA	Correlación de Pearson	,468**	1
	Sig. (bilateral)	,003	
	N	39	39

Realizado por: Lozano E, 2017.

El P valor es de 0,003 por lo cual es menor que 0,05 por lo tanto se rechaza la hipótesis nula y aceptamos la hipótesis general.

La correlación de Pearson es 0,468 lo que quiere decir que la correlación entre estas variables es directa y moderada. Es decir que entre estas dos variables se relacionan.

### 3.9.2 Absorbancia vs Tiempo de exposición

**Tabla 20-3:** Estadísticos descriptivos Absorbancia vs Tiempo de exposición

	Media	Desviación típica	N
ABS	,791447	,1985584	126
TIEMPO	8,0000	9,88817	126

Realizado por: Lozano E, 2017

**Tabla 21-3:** Correlaciones entre Absorbancia vs Tiempo de exposición

		ABS	TIEMPO
ABS	Correlación de Pearson	1	-,696**
	Sig. (bilateral)		,000
	N	39	39
TIEMPO	Correlación de Pearson	-,696**	1
	Sig. (bilateral)	,000	
	N	39	39

Realizado por: Lozano E, 2017

La correlación de Pearson es -0,696 lo que quiere decir que la correlación entre estas variables es inversa y moderada. Es decir que entre estas dos variables se relacionan.

## CONCLUSIONES

- Se determinó que existe actividad fotocatalítica del fotocatalizador en un blanco de azul de metileno que fue de  $k = 0,0175 \text{ min}^{-1}$  por la disminución de la ABS y concentración de las soluciones de azul de metileno.
- Se identificó que la intensidad lumínica óptima para disminuir la concentración de compuestos orgánicos es 344 lux proporcionada por una lámpara UVc de 40W.
- Se identificó que el tiempo de residencia óptimo de la solución de azul de metileno en el fotorreactor en la lámpara de 40W para degradar compuestos orgánicos fue 24 horas como mínimo.
- Se determinó que la concentración óptima de plata en la matriz de  $\text{TiO}_2$  en el fotocatalizador es de 20% del peso de plata en una solución de  $\text{AgNO}_3$ . Por ende, el fotocatalizador que mejor degradación tuvo en el blanco de azul de metileno fue el fotocatalizador al 20%.
- Se determinó la actividad fotocatalítica del fotocatalizador dopado para compuestos orgánicos presentes en la muestra de agua residual dando resultados satisfactorios en cuanto a la reducción de los parámetros analizados, como fue el caso de las grasas y aceites que tuvo un porcentaje de remoción del 98,72%, la DBO un 71,97% de remoción, en el caso de la turbiedad se observa que aumento de 137 a 156 UNT que corresponde al 13,86% de incremento ya que en el proceso del tratamiento se generó lodos de la degradación de la materia orgánica la cual aumento la turbiedad de la muestra. En el caso de la DQO obtuvo un 72,90% de remoción lo cual indica que el tratamiento también es eficiente para compuestos inorgánicos como químicos, metales pesados, sulfuros yoduros presentes en el agua residual, ya que la DQO indica la cantidad de oxígeno requerida para oxidar por medios químicos, por consiguiente hubo una disminución en la concentración de Nitratos y Fosfatos con un porcentaje de remoción de 76,26% y 81,64% respectivamente, el pH hubo una reducción de 12,66%, Oxígeno disuelto de 59,46% de reducción, sólidos totales disueltos de 8,57% de reducción y la conductividad 5,51% de reducción.
- La actividad fotocatalítica del fotocatalizador disminuyó la cantidad de Coliformes presentes en la muestra de agua residual a 0 ya que la presencia de plata en el fotocatalizador da propiedades antimicrobianas y conjugada con la acción bactericida que tiene la radiación ultravioleta produjo la eliminación de los Coliformes totales en la muestra de agua, lo que corresponde a un porcentaje de remoción del 100%.
- Mediante el análisis estadístico de correlación de Pearson entre las variables de ABS vs Tiempo y ABS vs Concentración de Plata de los resultados obtenidos del fotocatalizador se obtuvo que existe una correlación moderada directa entre las variables absorbancia y

concentración de plata mientras que en la absorbancia y el tiempo existe correlación inversa y moderada, es decir estas variables están relacionadas entre sí.

- Se comprobó que la presencia de plata en una concentración adecuada en el fotocatalizador produce un incremento en la reducción de la ABS de las muestras de azul de metileno es decir que la presencia de plata en una concentración del 20% aumenta la degradación de compuestos orgánicos. Ya que el grado de significancia obtenido en el análisis estadístico fue de 0,003 lo que ayudo a aceptar la hipótesis general.
- Se analizó los picos obtenidos por la caracterización química en el espectrofotómetro infrarrojo con esto se pudo constatar la presencia de los mismos grupos funcionales característicos en los tres fotocatalizadores (10, 20,50%) pero en diferentes concentraciones, no hubo variación entre ellos.
- Se encontraron los picos característicos propios del fotocatalizador sintetizado a partir de  $\text{Ti-O}_2$  como alcoholes, enlaces  $\text{C=N}$ ,  $\text{N=H}$ ,  $\text{Ti-C-N}$ ,  $\text{Ti-OH}$ ,  $\text{O-Ti}$  que son propios de las reacciones para elaborar el fotocatalizador que concuerdan con los encontrados por Yasser Ochoa y otros, en su ensayo de Síntesis de  $\text{TiO}_2$ , fase anastasa, por el método sol-gel: estudio de la presencia de  $\text{AcacH}$  en el sistema
- Mediante el análisis del fotocatalizador en la longitud de 400 a 4000 en el espectrofotómetro Infrarrojo se identificó un pico con un valor de  $407,871 \text{ cm}^{-1}$  que corresponde a la presencia de las nanopartículas de plata en el fotocatalizador.
- Se constató la presencia de nano partículas de plata impregnadas en la matriz de  $\text{Ti-O}_2$  mediante el análisis(mapping) en el microscopio electrónico SEM.
- Se analizó los resultados finales después de haber sometido a la muestra de agua residual a un análisis químico de 9 parámetros básicos, dando como resultado que el agua tiene una calidad aceptable para realizar descargas en un cuerpo de agua dulce, ya que los parámetros analizados están por debajo de los límites permisibles establecidos por el ministerio del ambiente en el acuerdo ministerial 097 para las descargas de agua en un cuerpo de agua dulce.

## **RECOMENDACIONES**

- Se recomienda realizar este ensayo en una muestra de agua residual contaminada con HAP's, pesticidas y metales pesados para complementar la información respecto a la degradación de contaminantes.
- Realizar un análisis de espectroscopia de absorción atómica para identificar los elementos que se formaron en durante la reacción de fotocátalisis en el blanco de azul de metileno con la finalidad de poder explicar los fenómenos observados donde se ve un incremento en sus lecturas de ABS.
- Investigar como impregnar el fotocatalizador en una superficie.
- Implementar esta tecnología de una manera tecnificada para conseguir un producto final que garantice la descontaminación de agua previo a las descargas al alcantarillado, esto como tratamiento primario del agua residual.



## BIBLIOGRAFÍA

1. **ALDANA, DIANA MARCELA GÓMEZ Y ALMEIDA, LILIANA MARITHZA MORENA.** Influencia de la plata como dopante del TiO<sub>2</sub> en procesos fotocatalíticos. (*TESIS DE GRADO*). Bucaramangara, Colombia, 2010.
2. **BAICUE, JUAN SEBASTIAN.** Degradación del azul de metileno y verde de malaquita por fotocatalisis heterogénea utilizando dióxido de titanio dopado con nitrógeno (N-TiO<sub>2</sub>) bajo luz visible. Pereira, Colombia, 2015, Disponible en:<http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/6008/541395B152.pdf?sequence=1>.
3. **CABALLER, GREGORIO.** Unidad de Microscopía Electrónica de Barrido, Scai. 2017. Disponible en:[http://www.scai.uma.es/servicios/area\\_microscopia/sem/sem.html](http://www.scai.uma.es/servicios/area_microscopia/sem/sem.html).
4. **CANDAL ROBERTO, BILMES SARA Y BLESIA MIGUEL.** Semiconductores con actividad fotocatalítica CENA-Argentina. 2003. Disponible en: <http://www.cnea.gov.ar/sites/default/files/10cap04.pdf>.
5. **CIMAV.** Microscopia Electronica de Barrido. *Microscopia Electronica de Barrido*. 2015. Disponible en:<http://mty.cimav.edu.mx/sem/>.
6. **DARJA MAUČECA, ET.AL.** Titania versus nanopartículas de óxido de zinc sobre soportes de sílice mesoporosa como fotocatalizadores para la eliminación de colorantes de aguas residuales a pH neutro. mayo de 2017. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0920586117303826?via%3Dihub>.
7. **ECUADOR. INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y CENSOS.** *Senso poblacional Riobamba*. 2010. Disponible en: <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/censo-de-poblacion-y-vivienda/>.
8. **ECUADOR. MINISTERIO DEL AMBIENTE** 097A. Noviembre de 2015. Disponible en:[http://gis.uazuay.edu.ec/ide2015/links\\_doc\\_contaminantes/REGISTRO%20OFICIAL%20387%20-%20AM%20140.pdf](http://gis.uazuay.edu.ec/ide2015/links_doc_contaminantes/REGISTRO%20OFICIAL%20387%20-%20AM%20140.pdf).

9. **FAMAF.** Interacción de la radiación con la materia. 2006. Disponible en: <http://www.famaf.unc.edu.ar/~trincavelli/papers/Apunte.pdf>.
10. **FUJIWARA, HIROYUKI.** *Spectroscopic Ellipsometry*. Japón : John Wiley & Sons Ltd., 2007. pág. 23. ISBN 4 621 07253 6.
11. **GARCÉS GIRALDO, et.al.** La fotocátalisis como alternativa para el tratamiento de aguas residuales. 2007. págs. 83-92, Disponible en: <http://www.redalyc.org/html/695/69511013/>.
12. **GEOCITES.** Semiconductores. 2006. Disponible en: <http://www.geocities.ws/pnavar2/semicon/tipos.html>.
13. **GIL PAVAS, EDISON .** Fotocatálisis una alternativa viable para la eliminación de compuestos orgánicos. 2002. págs. 59-64, Disponible en: <http://publicaciones.eafit.edu.co/index.php/revista-universidad-eafit/article/viewFile/931/836>.
14. **GONZÁLEZ, DR. E. GÓMEZ.** *Fuentes de Luz y Emisión Láser*. Sevilla, España , Disponible en: <http://laplace.us.es/campos/optica/tema3/opt-tema3-0809.pdf> 2010, pág. 10.
15. **GUBIN ANASTASIA.** Guia tu mente. 2012. Disponible en: <http://www.guiatumente.com/la-luz-ultravioleta-y-el-ojo-humano/>.
16. **GUTIERRES WING, CLAUDIA.** Las Nanopartículas pequeñas estructuras con gran potencial. *CEG Wing - academia.edu*. 2006. Disponible en: <http://docplayer.es/14743940-Las-nanoparticulas-pequenas-estructuras-con-gran-potencial.html>.
17. **GUTIÉRREZ, M.P. Y CASTELLANOS, M.A.** Síntesis por el método sol-gel aplicado al estudio del polimorfismo en nanopartículas de TiO<sub>2</sub>. *Mundo nano*. 2011. Disponible en: <http://www.revistas.unam.mx/index.php/nano/article/view/50990/45836>.
18. **JOSEPE T.** Luz Ultravioleta: rayos que matan. *aquaflash*. 2012. Disponible en: <http://aquaflash.blogspot.com/2009/04/34-luz-ultravioleta-tratamiento.html>.

19. **JUÁREZ BEATRIZ.** Nanopartículas semiconductoras coloidales y aplicaciones-Dialnet-Real Sociedad Española de Química , 2011. Disponible en: <http://www.Dialnet-Nanoparticulas Semiconductoras Coloidales YA plicacion-3754112.pdf>.
20. **LEAL , MARÍA TERESA, et.al.** Tratamiento de aguas residuales proveniente de la industria textil mediante fotocátalisis solar. 19 de abril de 2016. Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/mexico26/ii-009.pdf>
21. **MARTÍNEZ ALMA.** Degradación de azul de metileno y 4-clorofenol por fotocátalisis con luz ultravioleta, utilizando TiO<sub>2</sub> como catalizador. Instituto Tecnológico de Toluca-Mexico,2010. Disponible en: [.http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/\\_Public/42/065/42065224.pdf](http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/_Public/42/065/42065224.pdf).
22. **MOSQUERA E., et.al.** Síntesis y Caracterización de Nanopartículas de Dióxido de Titanio obtenidas por el método sol-gel-Revista Politecnica.epn. Septiembre de 2015. Disponible en: <http://www.revistapolitecnica.epn.edu.ec/images/revista/volumen36/tomo3/SintesisyCaracterizaciondeNanoparticulasdeDioxidodeTitanio.pdf>.
23. **MUR RUBÉN.** Estadística Aplicada. *Curso Epistemología-Metodología de la Investigación Epoch.* 2017.
24. **NARUEMON SETTHAYA, et.al.** Fotocatálisis de TiO<sub>2</sub>-zeolita hecha de metacaolín y ceniza de cáscara de arroz para la eliminación de colorante azul de metileno. enero de 2017. Disponible en: [http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:wiihI\\_rbEcJ:ijehse.tums.ac.ir/index.php/jehse/article/download/309/308+&cd=1&hl=es-419&ct=clnk&gl=ec](http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:wiihI_rbEcJ:ijehse.tums.ac.ir/index.php/jehse/article/download/309/308+&cd=1&hl=es-419&ct=clnk&gl=ec).
25. **OLLER ALBEROLA, ISABEL .** Depuración de aguas contaminadas con tóxicos persistentes mediante combinación de fotocátalisis solar y oxidación biológica. Febrero de 2008, Disponible en: <https://www.psa.es/es/areas/tsa/docs/Tesis%20Isabel%20Oller.pdf>.
26. **PACHECO, DIEGO.** Estudio DFT de propiedades estructurales y electrónicas del óxido de titanio en sus fases: rutilo, anatasa y brookita. 2013. págs. 179-185.

27. **PEY, JAIME.** Aplicación de procesos de oxidación avanzada (fotocatálisis solar) para tratamiento y reutilización de efluentes textiles. 2008, Disponible en: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/2241/tesisUPV2816.pdf>.
28. **PORTERO, F SENDRA.** Radiación Ultravioleta. Disponible en: <http://www.sld.cu/galerias/pdf/sitios/rehabilitacion-fis/ultravioleta-morrillo.pdf>. Universidad central de Venezuela., 2004.
29. **ROBLES, FRANCISCO OSORIO.** *Tratamiento de aguas para la eliminación de microorganismos y agentes contaminantes.* España : Diaz de Santos, 2010, Disponible en: <http://www.editdiazdesantos.com/wwwdat/pdf/9788479789039.pdf>.
30. **RODRIGUEZ LUIS, et.al.** Método de lente térmica resuelta para medir coeficientes de difusión térmica en muestras líquidas. Revista Mexicana de Física, 2015. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/280054530\\_Metodo\\_de\\_lente\\_termica\\_resuelta\\_e\\_n\\_frecuencia\\_para\\_medir\\_coeficientes\\_de\\_difusion\\_termica\\_en\\_muestras\\_liquidas](https://www.researchgate.net/publication/280054530_Metodo_de_lente_termica_resuelta_e_n_frecuencia_para_medir_coeficientes_de_difusion_termica_en_muestras_liquidas).
31. **ROSALES GARCÍA , JOSÉ ALAIN.** *Materiales para fotocatalisis y electrocatalisis.* Veracruz ,México, 2010, Disponible en: <http://cdigital.uv.mx/bitstream/123456789/29542/1/RosalesGarcia.pdf>.
32. **SANCHEZ VÁZQUEZ, MARIO.** Cimav. SEM. 2016. Disponible en: <http://mty.cimav.edu.mx/sem/>.
33. **SANJUÁN CARLOS.** La microscopía electrónica de barrido SEM. 2015. Disponible en: <https://www.patologiasconstruccion.net/2012/12/la-microscopia-electronica-de-barrido-sem-i-concepto-y-usos/>.
34. **SHURVELL, H.F.** Spectra–Structure Correlations in the Mid- and Far-infrared. Universidad de Queen’s 2002. Disponible en: [http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/0470027320.s4101/abstract;jsessionid=54B02D639B094D31CEDF6DA18E4036E4.f01t02?userIsAuthenticated=false&deniedAccessCustomisedMessage=.](http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/0470027320.s4101/abstract;jsessionid=54B02D639B094D31CEDF6DA18E4036E4.f01t02?userIsAuthenticated=false&deniedAccessCustomisedMessage=)
35. **SIERRA, JUAN CARLOS MEDINA.** Efecto del dopaje con elementos lantánidos sobre las propiedades ópticas ,estructurales y fotocatalíticas de TiO<sub>2</sub> -Universidad Nacional de



## ANEXOS

### Anexo A: Construcción fotocatalizador



**Anexo B:** Instalación lámparas UVc en el fotorreactor.



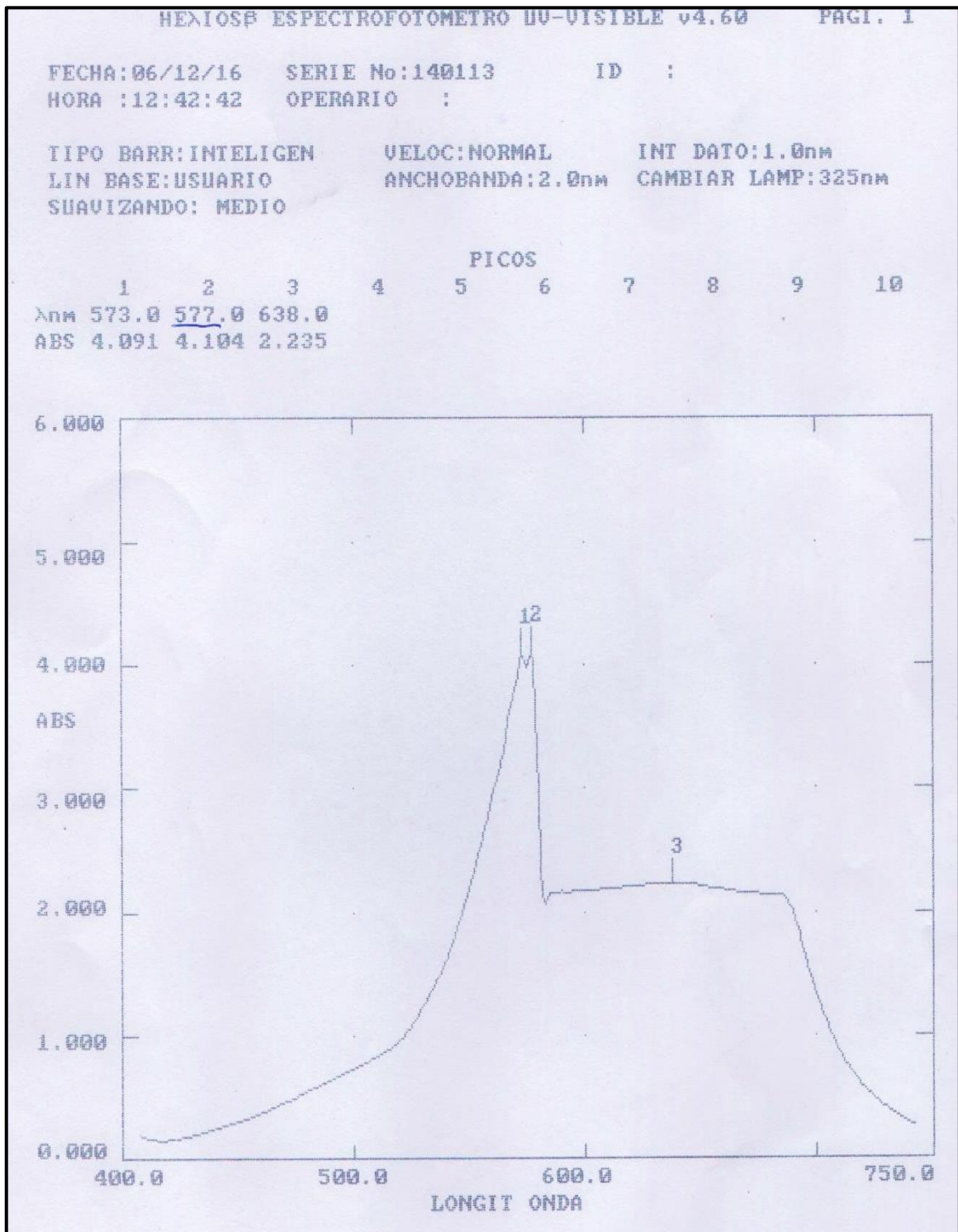


**Anexo C: Instalación de sistema de aireación**





**Anexo D:**Espectro obtenido de la solución de azul de metileno sin fotocatalizador por medio de un barrido inteligente en el espectrofotómetro UVvis.



**Anexo E:** Peso de azul de metileno para preparación de soluciones.





**Anexo F:** Soluciones de azul de metileno en diferente concentración para curva de calibración.



**Anexo G:** Preparación de soluciones de azul de metileno para validación del fotocatalizador



**Anexo H:** Medición de intensidad lumínica de lámparas UVc





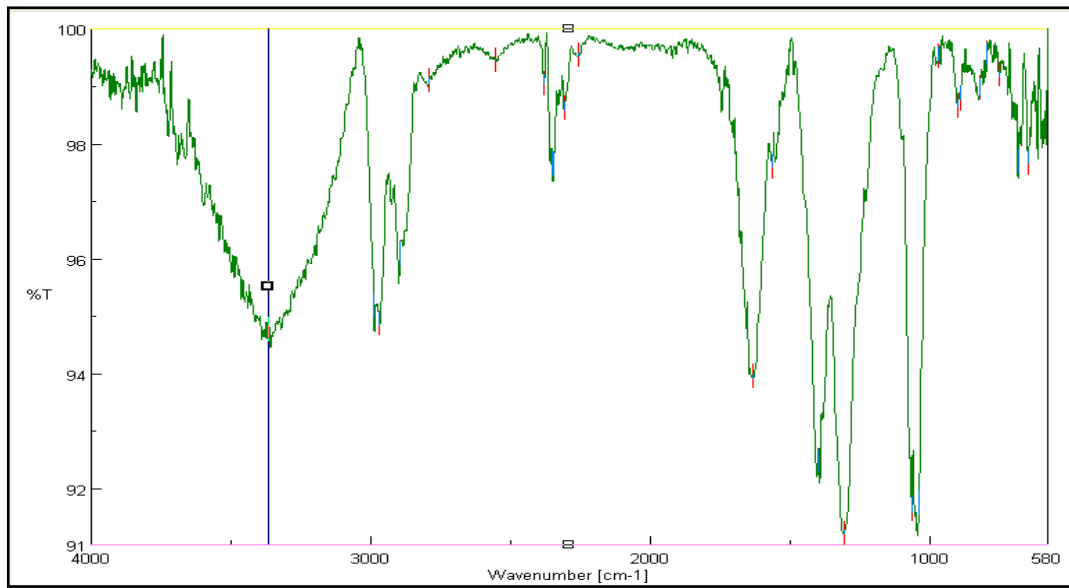
**Anexo I:** Medición de intensidad lumínica de lámparas UVc con software COBRA 4



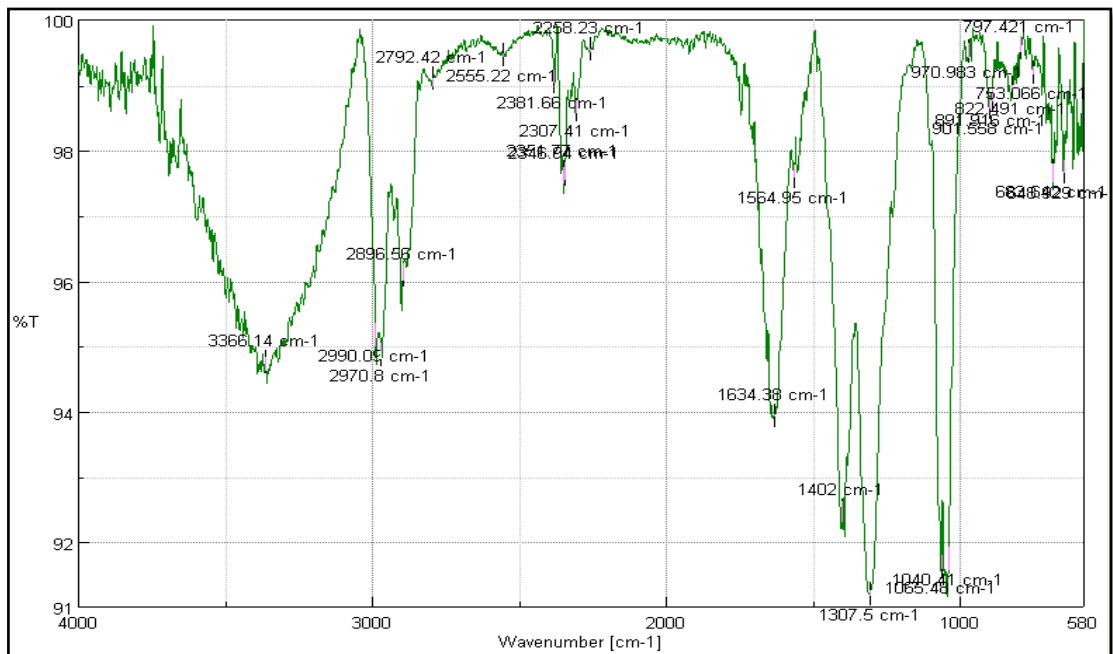
**Anexo J:** Análisis de fotocatalizadores en espectrofotómetro IR, Jasco FT/IR-4100.



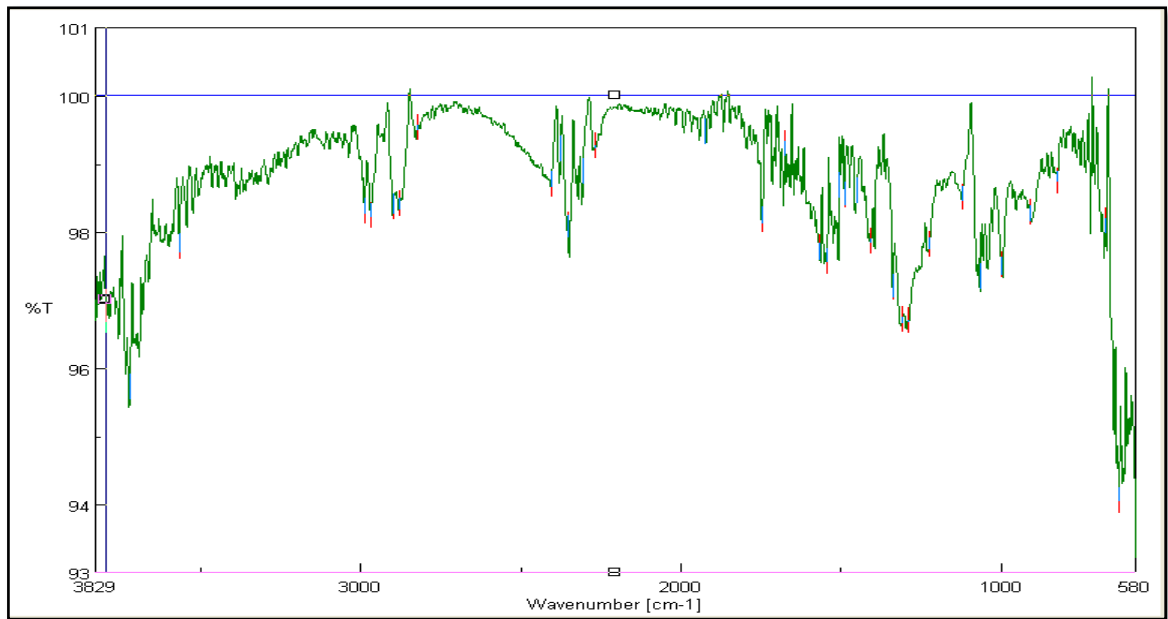
**Anexo K:** Espectro Infrarrojo del fotocatalizador al 10%.



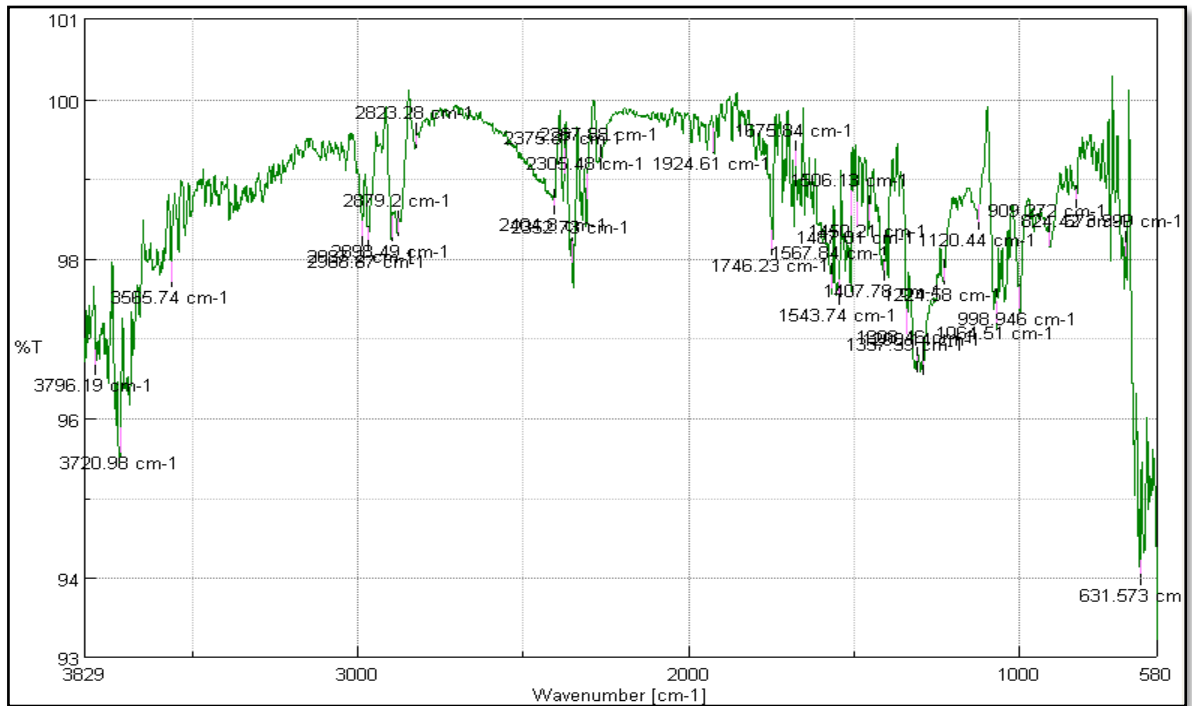
**Anexo L:** Espectro Infrarrojo del fotocatalizador al 10% con datos de picos representativos.



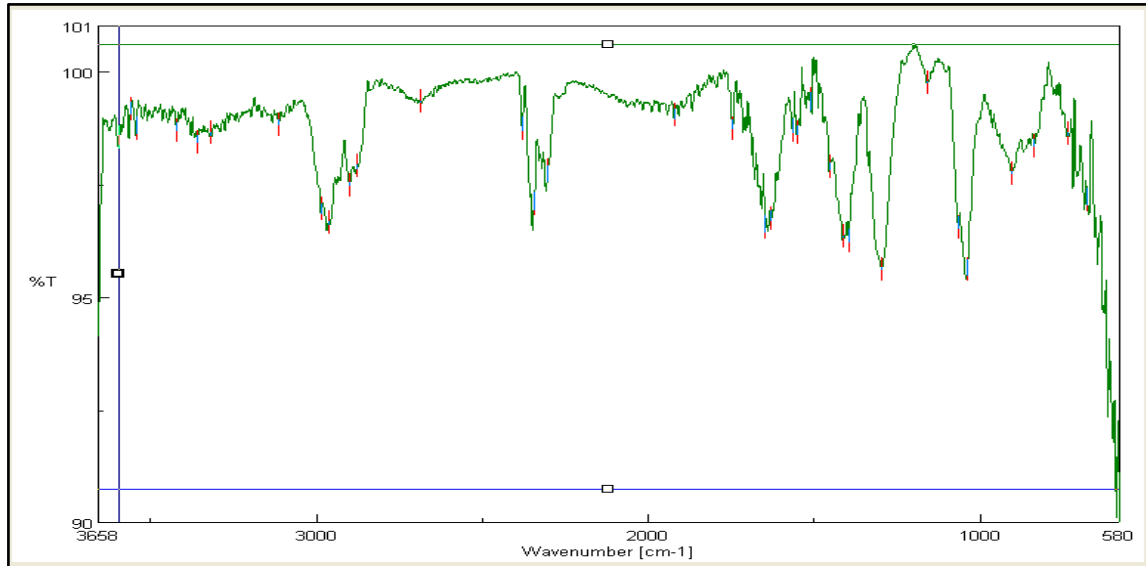
Anexo M: Espectro Infrarrojo del fotocatalizador al 20%.



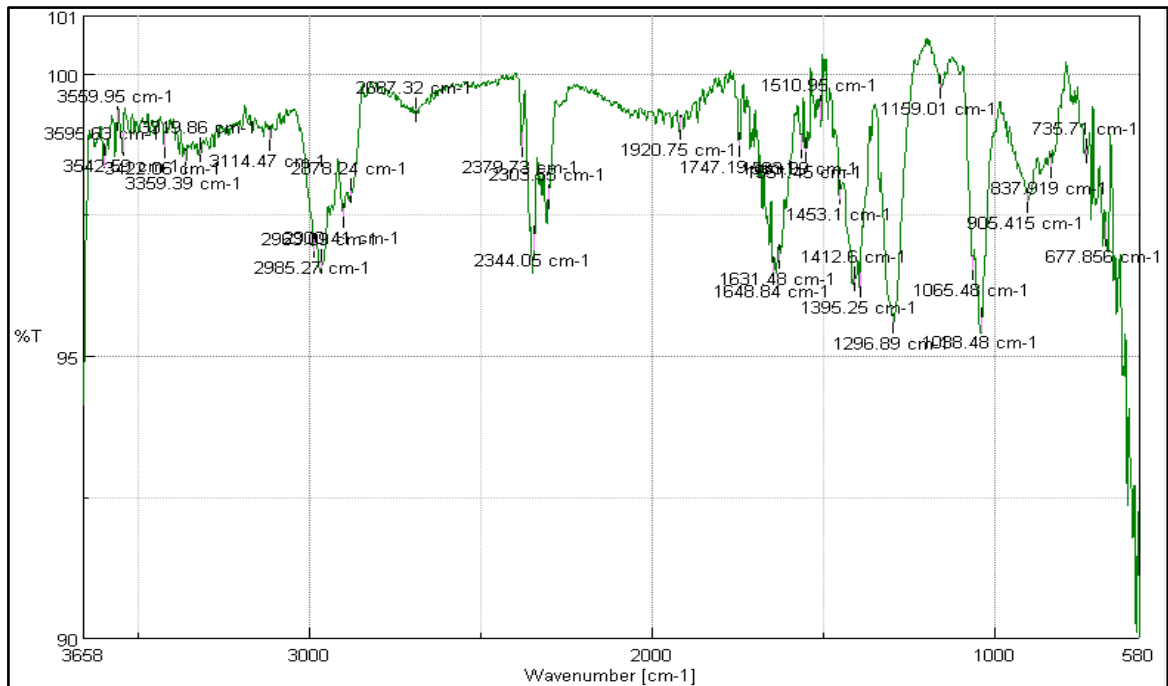
Anexo N: Espectro Infrarrojo del fotocatalizador al 20% con datos de picos representativos.



**Anexo O:** Espectro Infrarrojo del fotocatalizador al 50% en IR



**Anexo P:** Espectro Infrarrojo del fotocatalizador al 10% con datos de picos representativos.





**Anexo Q:** Soluciones de fotocatalizadores para medición de pH.



**Anexo R:** Soluciones de azul de metileno más fotocatalizadores para mediación de pH.



**Anexo S:** Peso fotocatalizador



**Anexo T:** Mezcla del fotocatalizador con la solución de azul de metileno.

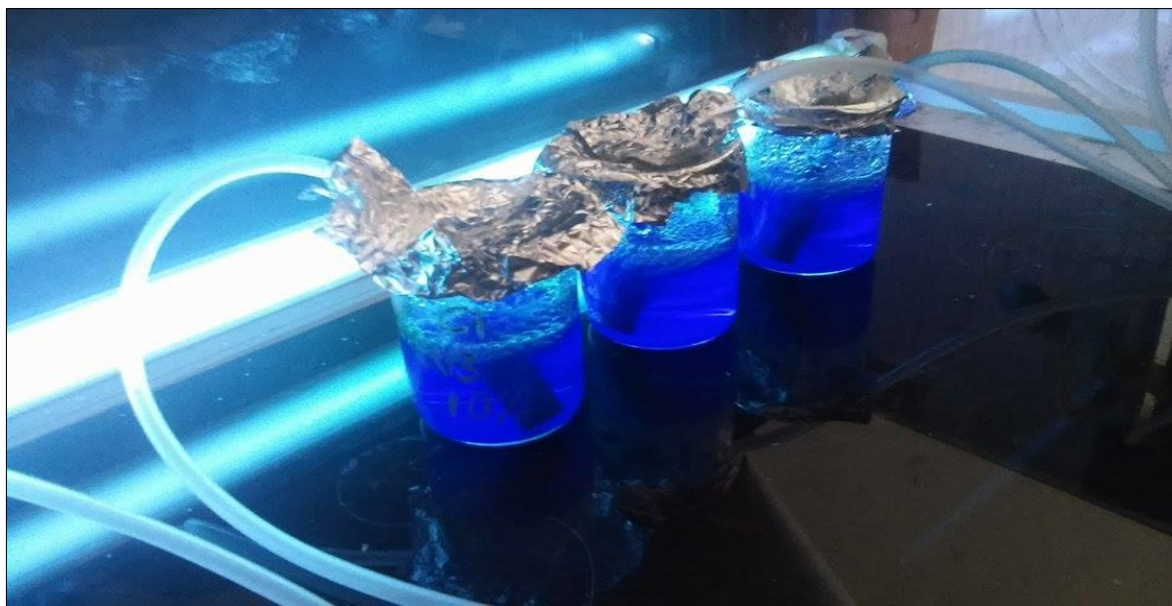




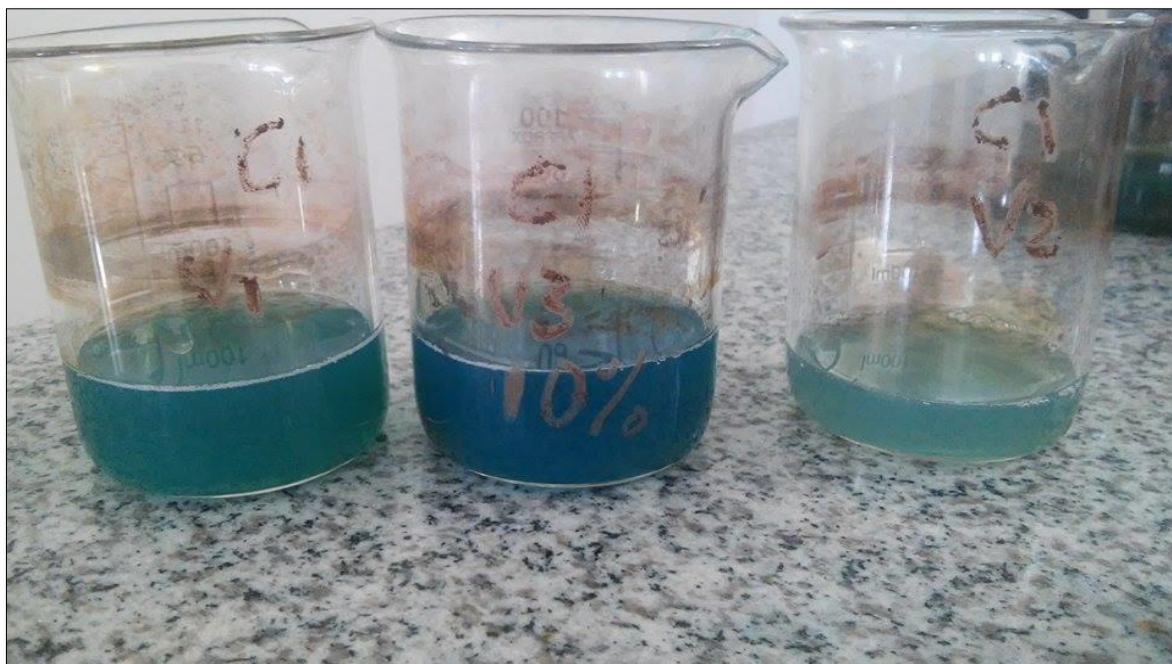
**Anexo U:** Soluciones de azul de metileno con fotocatalizador



**Anexo V:** Soluciones con fotocatalizador sometido a intensidad lumínica



**Anexo W:** Soluciones después de someter a 206 luxómetros





**Anexo X:** Soluciones después de someter a 344 lux



**Anexo Y:** Soluciones después de someter a 220 lux



**Anexo Z:** Muestra a ser analiza después de someter a 24 horas a una intensidad de 344 lux





**Anexo AA:** Muestra a ser analizada después de someter a 24 horas a una intensidad lumínica de 206 lux



**Anexo BB:** Muestra a ser analizada después de someter a 24 horas a una intensidad lumínica de 220 lux





**Anexo CC:** Construcción fotorreactor para agua residual

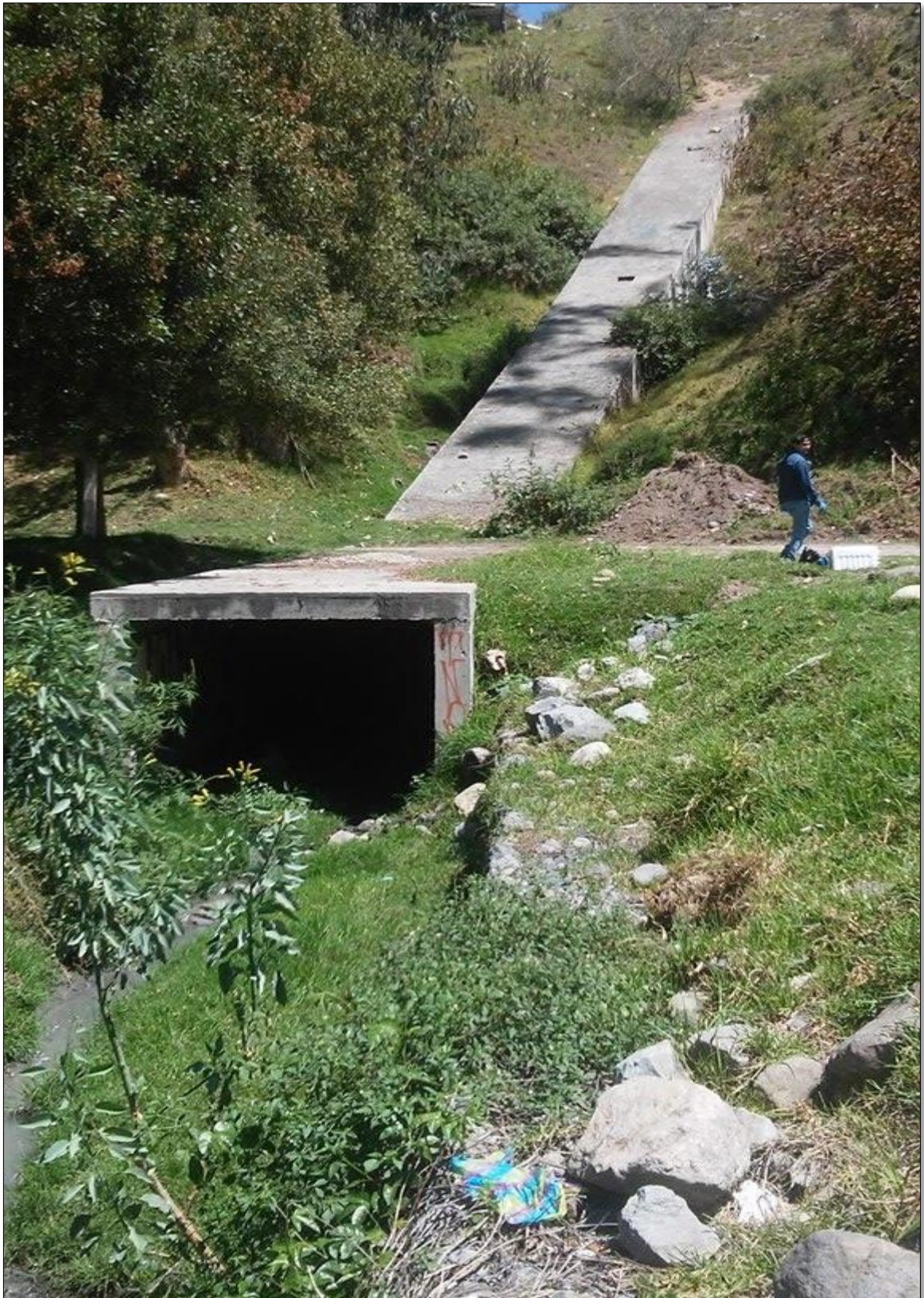


**Anexo DD:** Muestreo de agua residual, puente de río Chibunga, punto uno.





**Anexo EE:** Muestreo de agua residual, parque ecológico, punto dos.





**Anexo FF:** Descargas de aguas negras al rio Chibunga.





**Anexo GG: Muestreo de agua residual punto dos, Parque Ecológico.**





**Anexo HH:** Muestreo de agua residual punto tres, San Juan



**Anexo II: Análisis inicial de agua residual**

CÓDIGO: 036-17

CLIENTE: Sr. Eduardo Lozano  
TIPO DE MUESTRA: Agua residual del Rio Chibunga  
FECHA DE RECEPCIÓN: 24 de enero del 2017  
LOCALIDAD: Yaruquíes


**Análisis Químico**

Determinaciones	Unidades	*Método	**Limites	Resultados
Turbiedad	UNT	2130-B	--	137
Conductividad	µSiems/cm	2510-B	--	635
Sólidos totales disueltos	mg/L		--	350
Aceites y grasas	mg/L	5-52-D	30	78.0
Oxígeno disuelto				3.7
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	5220-C	250	326
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	5210-B	100	132
Fosfato	mg/L	4500-P	10	2.07
Nitratos	mg/L	4500-E	10.0	22.33
pH	Unid	4500-A	5-9	7.74
Coliformes totales	UCF/100mL	Filtración por membrana	Remoción > al 99.9%	$4.8 \times 10^6$

\*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

Servicios Analíticos Químicos y Microbiológicos  
en Aguas y Alimentos

Atentamente,



Dra. Gina Álvarez R.



RESP. LAB. SAQMIC

El resultado de análisis afecta solo la muestra  
analizada



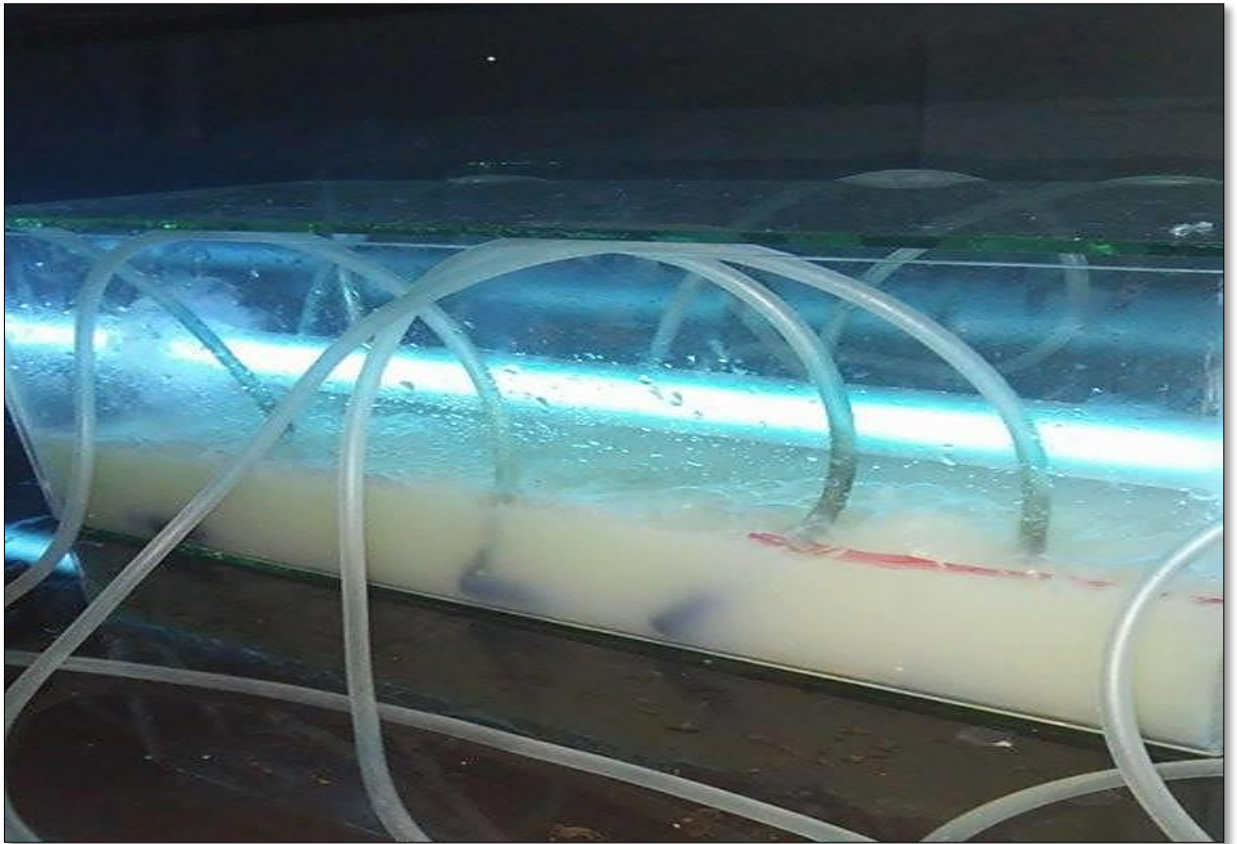
**Anexo JJ:** Agua residual en fotorreactor.



**Anexo KK:** Mezcla de fotocatalizador al 20% con agua residual



**Anexo LL:** Agua residual en tratamiento

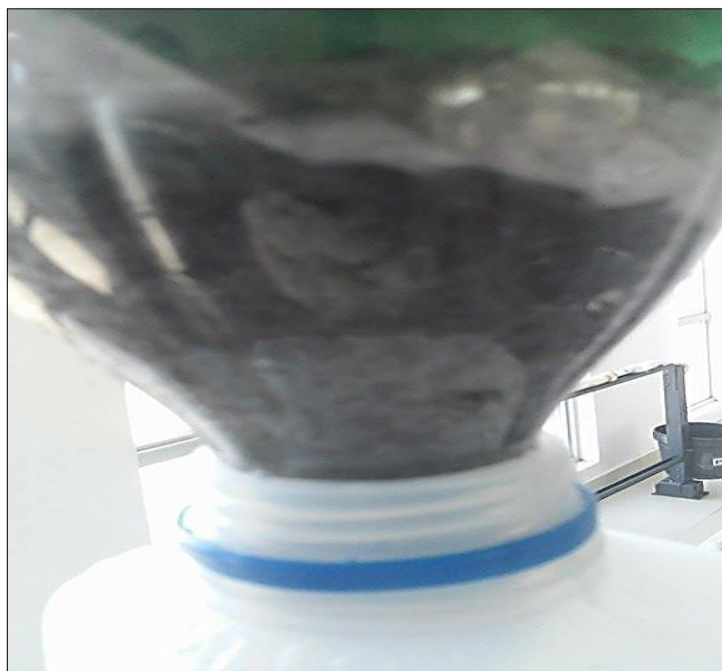


**Anexo MM:** Agua residual después de 24 horas de tratamiento





**Anexo NN:** Filtro de carbón activado



**Anexo OO:** Sedimentos en papel filtro.



**Anexo PP:** Agua residual después del filtrado con papel filtro común.



**Anexo QQ:** Análisis después de 24 horas de tratamiento con fotocatalizador al 20% de plata y 344 lux

CÓDIGO: 042-17

CLIENTE: Sr. Eduardo Lozano

TIPO DE MUESTRA: Agua tratada del Rio Chibunga

FECHA DE RECEPCIÓN: 25 de enero del 2017

LOCALIDAD: Yaruquíes

### Análisis Químico

Determinaciones	Unidades	*Método	**Limites	Resultados
Turbiedad	UNT	2130-B	--	156
Conductividad	µSiems/cm	2510-B		600
Sólidos totales disueltos	mg/L			320
Aceites y grasas	mg/L	5-52-D	30	1.0
Oxígeno disuelto				1.5
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	5220-C	250	89
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	5210-B	100	37
Fosfato	mg/L	4500-P	10	0.38
Nitratos	mg/L	4500-E	10.0	5.30
pH	Unid	4500-A	5-9	6.76
Coliformes totales	UCF/100mL	Filtración por membrana	Remoción > al 99.9%	Ausencia

\*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

Servicios Analíticos Químicos y Microbiológicos  
en Aguas y Alimentos

Atentamente,



Dra. Gina Álvarez R.



RESP. LAB. SAQMIC

El resultado de análisis afecta solo la muestra analizada