



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y
CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO CIVIL**

**TEMA: TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES HOSPITALARIAS,
CON FOTOCATÁLISIS HETEROGÉNEA CON TIO₂ EN UN COLECTOR
CILÍNDRICO PARABÓLICO EN LOS HOSPITALES MUNICIPAL,
DOCENTE REGIONAL AMBATO, REGIONAL DEL IEES, UBICADOS EN
LA PROVINCIA DE TUNGURAHUA, CANTÓN AMBATO**

AUTOR: CHAMORRO CAICEDO, MANUEL MESIAS

**DIRECTOR: ING: MASABANDA CAISAGUANO, MARCO VINICIO
PH.D.**

SANGOLQUÍ

2018



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y CONSTRUCCIÓN
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, **“TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES HOSPITALARIAS, CON FOTOCATÁLISIS HETEROGÉNEA CON TIO₂ EN UN COLECTOR CILÍNDRICO PARABÓLICO EN LOS HOSPITALES MUNICIPAL, DOCENTE REGIONAL AMBATO, REGIONAL DEL IESS, UBICADOS EN LA PROVINCIA DE TUNGURAHUA, CANTÓN AMBATO”** realizado por el señor ***Chamorro Caicedo Manuel Mesias*** ha sido revisado en su totalidad y analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido y/o plagio requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo a autorizar al señor ***Chamorro Caicedo Manuel Mesias*** para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 06 de agosto del 2018

Ing. Marco Masabanda Ph.D.

C. I. 1802179190



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y CONSTRUCCIÓN
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Manuel Mesias Chamorro Caicedo**, con cédula de identidad N° 1724906357, declaro que este trabajo de titulación, **TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES HOSPITALARIAS, CON FOTOCATÁLISIS HETEROGÉNEA CON TIO₂ EN UN COLECTOR CILÍNDRICO PARABÓLICO EN LOS HOSPITALES MUNICIPAL, DOCENTE REGIONAL AMBATO, REGIONAL DEL IESS, UBICADOS EN LA PROVINCIA DE TUNGURAHUA, CANTÓN AMBATO**, ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaro que este trabajo es de mi autoría, en virtud de ello me declaro responsable del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Sangolquí, 06 de agosto del 2018

Manuel Mesias Chamorro Caicedo

C.C.: 1724906357



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y CONSTRUCCIÓN
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

AUTORIZACIÓN

Yo, **Manuel Mesias Chamorro Caicedo**, con C. I. N° 1724906357 autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en su totalidad en el repositorio Institucional el trabajo de titulación **TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES HOSPITALARIAS, CON FOTOCATÁLISIS HETEROGÉNEA CON TIO₂ EN UN COLECTOR CILÍNDRICO PARABÓLICO EN LOS HOSPITALES MUNICIPAL, DOCENTE REGIONAL AMBATO, REGIONAL DEL IESS, UBICADOS EN LA PROVINCIA DE TUNGURAHUA, CANTÓN AMBATO** cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Sangolquí, 06 de agosto del 2018



Manuel Mesias Chamorro Caicedo

C.C.:1724906357

DEDICATORIA

El siguiente trabajo de titulación va dedicado a Dios, que me ha permitido seguir en la lucha hasta cumplir mi meta, siempre dándome las oportunidades necesarias y la fortaleza para seguir adelante en cada obstáculo, a mis padres por dirigirme a lo largo de este camino y confiar en mí.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios todo poderoso, por permitirme culminar mí sueño.

A mis padres por siempre estar ahí cuando los necesité, siempre apoyándome incondicionalmente, tanto moral como económicamente.

A mi familia, hermanos Leonardo y Mónica por siempre preocuparse por mí en los momentos difíciles.

A mi familia de Chone por siempre estar pendientes de mí, a mi prima Angélica, que siempre me brindo su ayuda cuando pudo.

A dos grandes amigos Marco Benavides y Diego Cevallos que siempre brindaron su ayuda en los momentos más difíciles.

A mis tutores Ing. Marco Masabanda y Ing. Vicente Delgado por haber estado ahí presentas en cada inquietud y necesidad que tuve en este proceso.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CARÁTULA

CERTIFICACIÓN.....	i
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD.....	ii
AUTORIZACIÓN.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	vi
ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1. Antecedentes.....	1
1.2. Justificación e Importancia.....	1
1.3. Planteamiento del Problema.....	4
1.4. Objetivos.....	6
1.4.1. Objetivo general.....	6
1.4.2. Objetivos específicos.....	6

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Tratamiento de aguas residuales.....	7
2.2. Técnicas de tratamientos de aguas.....	7
2.3. Radiación solar.....	8

2.4.	Fármacos.....	9
2.4.1.	Analgésicos	9
2.4.2.	Antihipertensivos	9
2.4.3.	Antibióticos.....	9
2.5.	Fármacos encontrados en aguas residuales hospitalarias.	9
2.6.	El TiO_2 como fotocatalizador.....	13
2.7.	Procesos fotocatalíticos basados en la luz solar	14
2.8.	Colector cilíndrico parabólico	14
2.9.	Concentración de catalizador.....	15
2.10.	Factores que afectan a la fotocatalisis con dióxido de titanio (TiO_2).....	16
2.11.	Fotocatalisis en la construcción	16
2.11.1.	Efectos producidos en los materiales de construcción gracias a la fotocatalisis con TiO_2	17
2.11.1.1.	Ataque contra hongos.....	17
2.11.1.2.	Reducción del efecto albedo	18
2.11.2.	Cerámica para fotocatalisis	18
2.11.3.	Pintura para fotocatalisis.....	19
2.11.4.	Pavimentos fotocatalíticos	19
2.11.4.1.	Pavimento de cemento fotocatalítico:	19
2.11.4.2.	Tratamiento fotocatalítico en asfalto.....	21
2.12.	Construcciones con materiales fotocatalíticos	21
2.12.1.	Iglesia dives in misericordia	21
2.12.2.	Estadio AT&T.....	22
2.13.	Técnicas de estudio de sensibilidad a los antimicrobianos.....	23
2.13.1.	Técnica de dilución	24
2.13.2.	Técnicas de difusión	24
2.14.	Marco legal	25
2.14.1.	Texto unificado de legislación secundaria del ministerio del ambiente, libro vi, anexo 1.....	25
2.14.1.1.	Límites permisibles a continuación se muestra en las tablas 8 y 9, sobre los límites permisibles según el TULSMA.	25

2.14.2. Norma internacional Paraguay, ley n° 3361 de residuos generados en los establecimientos de salud y afines.....	27
--	----

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. Descripción del área de estudio	28
3.2. Radiación solar	30
3.3. Muestreo de aguas residuales	33
3.3.1. Procedimiento:	35
3.3.2. Recolección de muestras de agua residual.....	35
3.4. Reactor para fotocátalisis heterogénea	38
3.5. Cálculo de la ecuación de la parábola para la construcción del reactor.	40
3.5.1. Procedimiento experimental primera parte.	48
3.5.1.1. Primera combinación.....	49
3.5.1.2. Segunda combinación	49
3.5.1.3. Procedimiento tercera combinación	50
3.5.1.4. Procedimiento cuarta combinación	55
3.5.2. Procedimiento experimental segunda parte	56
3.5.2.1. Procedimiento primera combinación	57
3.5.2.2. Procedimiento segunda combinación.....	58
3.5.2.3. Procedimiento tercera combinación	59
3.5.2.4. Procedimiento cuarta combinación.....	63
3.5.3. Pruebas en laboratorio.....	64
3.5.4. Análisis en laboratorio	64

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados y comparación con el TULSMA	65
4.2. Procedimiento experimental primera parte.....	68
4.3. Proceso de fotocátalisis heterogénea	70
4.3.1. Agua destilada pura.....	71
4.3.2. Agua destilada más dióxido de titanio	72
4.3.3. Agua destilada más Ciprofloxacina	73

4.3.4. Agua destilada, Ciprofloxacina y dióxido de titanio	75
4.3.5. Resultados de todas las prácticas en prototipo CCP	77
4.3.6. Pruebas finales	77
4.4. PRESUPUESTO.....	80

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES.....	81
5.2. RECOMENDACIONES	81

BIBLIOGRAFÍA

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Residuos de fármacos en varios países</i>	3
Tabla 2 <i>Consumo de agua en hospitales</i>	4
Tabla 3 <i>Número de camas disponibles en los hospitales</i>	5
Tabla 4 <i>Dotaciones para edificaciones de uso específico</i>	5
Tabla 5 <i>Volumen de agua residual de los respectivos hospitales</i>	6
Tabla 6 <i>Residuos farmacéuticos encontrados en un Hospital de México y España</i>	10
Tabla 7 <i>Longitud de onda para la activación del catalizador</i>	11
Tabla 8 <i>Criterios de calidad admisibles para la preservación de la flora y fauna en aguas dulces frías.</i>	26
Tabla 9 <i>Criterios de calidad admisibles para aguas de uso agrícola</i>	26
Tabla 10 <i>Datos de irradiancia solar</i>	31
Tabla 11 <i>Promedios de irradiancia (W/m²)</i>	32
Tabla 12 <i>Tabla de valores de la parábola del reactor</i>	42
Tabla 13 <i>Lista de materiales del reactor</i>	46
Tabla 14 <i>Lista de materiales del sistema de tuberías del reactor</i>	47
Tabla 15 <i>Comparación de resultados en el punto 1</i>	65
Tabla 16 <i>Comparación de resultados en el punto 2</i>	66
Tabla 17 <i>Comparación de resultados en el punto 3</i>	66
Tabla 18 <i>Comparación de resultados para los límites permisibles en cuerpos de agua dulce en el punto 1</i>	67
Tabla 19 <i>Comparación de resultados para los límites permisibles en cuerpos de agua dulce en el punto 2</i>	67
Tabla 20 <i>Comparación de resultados para los límites permisibles en cuerpos de agua dulce en el punto 2</i>	68
Tabla 21 <i>Irradiancia solar primera prueba</i>	68
Tabla 22 <i>Resultados obtenidos en la primera prueba</i>	69
Tabla 23 <i>Resultados principales</i>	69
Tabla 24 <i>Irradiancia del día 9 de marzo del 2018</i>	71
Tabla 25 <i>Irradiancia del día 12 de marzo del 2018</i>	72
Tabla 26 <i>Irradiancia del día 13 de marzo del 2018</i>	73
Tabla 27 <i>Irradiancia del día 14 de marzo del 2018</i>	74
Tabla 28 <i>Irradiancia del día 15 de marzo del 2018</i>	75
Tabla 29 <i>Irradiancia del día 16 de marzo del 2018</i>	76
Tabla 30 <i>Resultados de las muestras en reactor CCP</i>	77
Tabla 31 <i>Irradiancia del día 23 de marzo del 2018</i>	78
Tabla 32 <i>Resultados de pruebas finales</i>	79
Tabla 33 <i>Porcentaje de degradación de la Ciprofloxacina</i>	79
Tabla 34 <i>Presupuesto para la construcción del reactor CCP</i>	80

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Proceso de evacuación de aguas residuales	7
Figura 2 Tipos de tratamiento de aguas residuales	8
Figura 3 Espectro solar sobre la superficie de la Tierra	8
Figura 4 Fotoexcitación en proceso	12
Figura 5 Creación de radicales libres	12
Figura 6 Efecto de la fotocatalisis sobre la E.coli en 0 min, 15min.....	14
Figura 7 Colector cilíndrico parabólico	15
Figura 8 Proceso de autolimpieza usando un producto con TiO_2	17
Figura 9 Cerámica fotocatalítica colocada en pisos y paredes.....	18
Figura 10 Pintura con efecto fotocatalítico colocada en distintas áreas.....	19
Figura 11 Pavimento de cemento con efecto fotocatalítico	20
Figura 12 Pavimento discontinuo con efecto fotocatalítico.....	20
Figura 13 Aplicación de producto fotocatalítico sobre calzada.....	21
Figura 14 Iglesia construida con productos fotocatalíticos.....	22
Figura 15 Parte interior de la Iglesia construida con cemento fotocatalítico.....	22
Figura 16 Estadio con paneles traslucidos con una capa de dióxido de titanio	23
Figura 17 Halos de inhibición en técnica de difusión	25
Figura 18 Hospital Municipal nuestra señora de la Merced	28
Figura 19 Hospital Docente Regional de Ambato	29
Figura 20 Hospital Regional del IESS	29
Figura 21 Canales colectores en la ciudad de Ambato	30
Figura 22 Piránometro mp-200	30
Figura 23 Promedio de irradiancia del día jueves 14 de Diciembre del 2017	32
Figura 24 Horas de Brillo solar en Ecuador.....	33
Figura 25 Ubicación de río Ambato.....	33
Figura 26 Preparación y toma de muestras en el punto 1	36
Figura 27 Medición de Ph en el punto 1	36
Figura 28 Toma de muestra punto 2	37
Figura 29 Toma de muestra y medición de Ph en punto 3.....	37
Figura 30 Lugar donde se construyó el reactor.....	38
Figura 31 Ubicación del lugar donde se construyó el reactor.....	38
Figura 32 Partes del reactor.....	39
Figura 33 Base para reactor.....	39
Figura 34 Base para reactor terminada.....	40
Figura 35 Distancia "x" de la parábola.....	40
Figura 36 Distancia "y" de la parábola	41
Figura 37 Parábola del reactor	43
Figura 38 Vista 3D del reactor	43
Figura 39 Vista frontal del reactor	44

Figura 40 Vista lateral derecha	44
Figura 41 Vista superior del reactor.....	45
Figura 42 Vista 3D del reactor con sus respectivas partes.....	45
Figura 43 Sistema de tuberías del reactor	46
Figura 44 Sentido del flujo.....	47
Figura 45 Muestra de agua destilada en tubo de ensayo de 20ml.....	49
Figura 46 Agua destilada más dióxido de titanio.....	49
Figura 47 Ciprofloxacina triturada.....	50
Figura 48 Peso promedio Ciprofloxacina	51
Figura 49 Agua destilada más peso promedio de Ciprofloxacina.....	51
Figura 50 1L de agua destilada más Ciprofloxacina.....	52
Figura 51 Procedimiento en matraz aforado 1L.....	53
Figura 52 Frasco oscuro ámbar 1L.....	54
Figura 53 Agua destilada mas ciprofloxacina en 1ppm, 10ppm, y 100ppm.....	54
Figura 54 Tubos de ensayo de 20 ml con 1ppm, 10ppm y 100ppm	55
Figura 55 Las 4 combinaciones recibiendo la luz solar	56
Figura 56 Agua destilada pura	57
Figura 57 Muestras de agua destilada pura.....	58
Figura 58 Segunda combinación en recirculación	58
Figura 59 Dióxido de titanio (40 gr)	59
Figura 60 Peso de Ciprofloxacina para 10mg	61
Figura 61 Peso de ciprofloxacina para 50mg.....	62
Figura 62 Tercera combinación en recirculación.....	62
Figura 63 Cuarta combinación en recirculación	63
Figura 64 Ubicación del reactor.....	70
Figura 65 Gráfico irradiancia vs hora del día 9 de marzo del 2018.....	71
Figura 66 Gráfico irradiancia vs hora del día 12 de marzo del 2018.....	72
Figura 67 Gráfico irradiancia vs hora del día 13 de marzo del 2018.....	73
Figura 68 Gráfico irradiancia vs hora del día 14 de marzo del 2018.....	74
Figura 69 Gráfico irradiancia vs hora del día 15 de marzo del 2018.....	75
Figura 70 Gráfico irradiancia vs hora del día 16 de marzo del 2018.....	76
Figura 71 Irradiancia vs hora del día 23 de marzo del 2018.....	78
Figura 72 Halos de inhibición prueba final.....	79
Figura 73 Porcentaje de degradación (%).....	80

RESUMEN

Es conocido en la actualidad que la gran mayoría de centros de salud generan contaminación en el medio ambiente, por ende, es necesario recurrir a métodos que eliminen dicha contaminación. Un ejemplo claro son los desechos de fármacos que en muchas ocasiones no se eliminan de las aguas residuales generadas en los hospitales. A raíz de esta problemática ambiental, en esta investigación se ha optado por utilizar la fotocatalisis heterogénea para determinar el comportamiento de los residuos encontrados en las aguas residuales hospitalarias mediante dicho proceso. El fármaco analizado es el antibiótico Ciprofloxacina, y para el análisis de este fármaco se diseñó un reactor el cual fue empleado en el proceso de fotocatalisis heterogénea. Como complemento a este proceso se realizó la toma de datos de radiación solar ya que es un elemento importante en esta investigación.

PALABRAS CLAVE:

- **FOTOCATÁLISIS**
- **FÁRMACOS**
- **RADIACIÓN**
- **REACTOR**

ABSTRACT

It is now known that the vast majority of health centers generate pollution in the environment, therefore, it is necessary to resort to methods that eliminate such contamination. A clear example is the waste of drugs that in many cases are not eliminated from wastewater generated in hospitals. As a result of this environmental problem, this research has chosen to use heterogeneous photocatalysis to determine the behavior of waste found in hospital wastewater through this process. The drug analyzed is the antibiotic Ciprofloxacin, and for the analysis of this drug a reactor was designed which was used in the process of heterogeneous photocatalysis. As a complement to this process the data collection of solar radiation was made since it is an important element in this investigation.

KEYWORDS:

- **PHOTOCATALYSIS**
- **DRUGS**
- **RADIATION**
- **REACTOR**

1. CAPÍTULO I: GENERALIDADES

1.1. Antecedentes

(Alegría & Echegaray, 2016) en la investigación “Control de la contaminación en aguas residuales de curtiembres, mediante fotocátalisis heterogénea con TiO_2 ” se estudió el comportamiento que tiene la fotocátalisis heterogénea con TiO_2 en las aguas residuales de curtiembres, en estas aguas se encontró el cromo, el cual se le tomo total importancia, ya que en este estudio se concluyó que el cromo se redujo en un 62.5%.

(Narváez & Rodríguez, 2012) en la investigación “Aplicación de la fotocátalisis heterogénea solar para la degradación de residuos farmacéuticos en efluentes líquidos” se estudió el comportamiento que tiene la fotocátalisis heterogénea en residuos farmacéuticos como la Acetaminofén y Albendazol, en este estudio se concluyó que el tratamiento de aguas con la técnica de fotocátalisis heterogénea redujo la acetaminofén en 48,85% y el Albendazol en 30,27%.

(Liu et al, 2012) en esta investigación titulada “Synthesis and Bacter icidal Abilit y of TiO_2 and $Ag - TiO_2$ Prepared by Coprecipitation Method” se estudió el comportamiento que tiene el TiO_2 y el $Ag - TiO_2$ combinado con la luz solar, sobre la bacteria E.coli, en el cual se demostró que el tratamiento de aguas mejoro fuertemente cuando se dopo el TiO_2 con plata.

(García, 2016) en esta investigación titulada “Materiales fotocatalíticos y sus aplicaciones en construcción” habla acerca de materiales de construcción basados en nano partículas de TiO_2 , que combinada con la luz solar generan la reducción de agentes contaminantes como lo son los óxidos de nitrógeno (NO_x) y Óxidos de azufre (SO_x) hasta una reducción del 70%.

1.2. Justificación e Importancia

En la india se conoce que en estos días la población de buitres ha desaparecido en un 95%, y entre los años 2000 y 2007, la población de buitres descendió 40% por año, el culpable de esta catástrofe son los residuos del famoso antiinflamatorio diclofenaco, estos residuos se encontraron en los restos del ganado, cuyos restos fueron devorados por los buitres de la zona. Al comienzo de los años 90, los dueños del ganado empezaron a suministrar diclofenaco a su ganado con la

intención de disminuir los dolores que pueden dañar la habilidad de los animales para producir leche o arar, los buitres al consumir los restos del ganado ingerían una cantidad de 100 microgramos por kilo de diclofenaco, a pesar de que un ser humano que tiene la enfermedad artritis consume 10 veces la dosis que consumieron los buitres, fue suficiente para que exista la pérdida de la población de esta especie (Shah, 2010).

En el ámbito de los anticonceptivos, se conoce que gran parte de los cuerpos de agua dulce en el planeta, se contaminan con un estrógeno, el cual es utilizado en las píldoras anticonceptivas, este estrógeno se le conoce con el nombre de Etinilestradiol. En la vida acuática el Etinilestradiol, ha causado alteraciones en una especie de peces llamado Minnow, el efecto que causó fue la feminización de los peces. Unos científicos de los estados unidos y Canadá, hicieron pruebas contaminando un lago experimental, con una dosis de 5 ng/l del estrógeno, los resultados fueron impresionantes, la especie Phoxinus termina su madurez sexual en aproximadamente dos años, cuando fueron expuestos al estrógeno los testículos no se desarrollaron por completo y empezaron a producir huevos precoces. En aquella época, la reproducción de Minnow fue desastrosa y la cantidad de piscardos disminuyó rápidamente (Shah, 2010).

La eliminación de los fármacos en las plantas de tratamiento de aguas residuales convencionales no eliminan en su totalidad los residuos de los mismos, la eliminación de residuos farmacéuticos se reduce hasta un 20% y no más del 80%, cabe mencionar que en las fábricas de productos farmacéuticos arrojan residuos de estos en cuerpos de agua cercanos (Weber, 2014).

Se hicieron estudios en la trucha arcoíris, esta especie fue expuesta al fármaco diclofenaco, para el estudio se utilizaron una dosis de $1\mu\text{g/l}$ a $500\mu\text{l}$, por un tiempo de 28 días. Los resultados mostraron daños en el riñón y las branquias, y se confirmó que con $1\mu\text{g/l}$ de diclofenaco ya se empiezan a deteriorar dichos órganos (Schwaiger, 2004).

Existen muchos casos en donde se menciona la masculinización y feminización, esto quiere decir que las especies se daban alteraciones en sus capacidades reproductivas, el macho con capacidades reproductivas de la hembra, y las hembras con capacidades reproductivas del macho, los animales afectados eran los peces, reptiles, y mamíferos. Esta situación se presentó en el río Columbia, en el estado de Washington, en los lagos de Canadá (Rainwater, 2008).

Gracias a la campaña de monitoreo en países en vías de desarrollo y emergentes se conoce la influencia del diclofenaco, trazas de este medicamento ha sido encontrado en 50 países en cuerpos de agua. Gran cantidad de fármacos son comercializados a nivel mundial, los cuales han sido encontrados alrededor del mundo, ya sea en países industrializados como en países en vías de desarrollo. Las concentraciones de fármacos en ríos, los cuales reciben las aguas residuales hospitalarias, están entre 0,1 $\mu\text{g/l}$ y 1,0 $\mu\text{g/l}$, pero si se analiza las áreas que son mayormente habitadas o en la desembocadura de las plantas de tratamiento de aguas residuales serían mayores. En la tabla 1 se muestra una serie de fármacos los cuales se encuentran como residuos en muchos países (Weber, 2014).

Tabla 1
Residuos de fármacos en varios países

Fármaco	Grupo terapéutico	Número de países en el mundo donde se han encontrado fármacos en el medio acuático
Diclofenaco	Analgésicos	50
Carbamazepina	Medicamentos antiepilépticos	48
Ibuprofeno	Analgésicos	47
Sulfametoxazol	Antibióticos	47
Naproxeno	Analgésicos	45
Estrona	Estrógenos	35
17 - β -estradiol	Estrógenos	34
17 - α estinilestradiol	Estrógenos	31
Trimetoprima	Antibióticos	29
Paracetamol	Analgésicos	29
Ácido clofírico	Medicamentos para la reducción de lípidos	23
Ciprofloxacino	Antibióticos	20
Ofloxacino	Antibióticos	16
Estriol	Estrógenos	15
Norfloxacino	Antibióticos	15
Ácido acetilsalicílico	Analgésicos	15

Fuente: (Weber, 2014)

1.3. Planteamiento del Problema

El volumen de agua consumido en los hospitales es exorbitante, la cifra se encuentra alrededor de 400 a 1200 litros/cama/día. en países como Francia se sabe que en promedio en un hospital consume una dotación de 750 litros/persona/día, en Colombia, el hospital tunal de Bogotá consume aproximadamente 508 litros/cama/día, y por último se conoce que el hospital militar de Bogotá consume alrededor de 2080 litros/cama/día (Alvariño, 2008).

Para evaluar el impacto ambiental que los hospitales generan, se puede calcular la carga contaminante que se produce en el caudal de aguas residuales. Se puede evaluar que el 80% del volumen de agua total que se produce en un hospital, le pertenece a las aguas residuales. El agua residual hospitalaria es de 5 a 15 veces más tóxica que las aguas residuales domésticas (Alvariño, 2008).

A continuación, se presenta la tabla 2 en la cual se muestra el consumo de agua en los hospitales.

Tabla 2
Consumo de agua en hospitales

Hospital	Volumen generado(L/cama/día)	Ciudad-País
Clinica Jose de San Martín	1400	Argentina
Hospital militar San Luis Potosi	26-32	México
Hospital Abel Santamaría	800	Cuba
Clinicas de Porto Alegre	100	Brasil
Hospital Hanoi	250-750	Norte de vietnam, Irán
Hospital General Viena	50	Viena, Austria

Fuente: (Alvariño, 2008)

Por otra parte, en la provincia de Tungurahua, capital Ambato, se tiene 3 hospitales principales de los cuales se tomarán las muestras para realizar la presente investigación, estos son el hospital municipal nuestra señora de la merced, el hospital regional docente Ambato, y el hospital regional del IESS.

A continuación, se presenta la tabla 3, sobre el número de camas disponibles que se encuentran en cada establecimiento.

Tabla 3*Número de camas disponibles en los hospitales*

Establecimiento	Lugar donde funciona	Número de camas disponibles
Hospital Regional del IEES	Ambato	213
Hospital Provincial Docente Ambato	Ambato	227
Hospital Municipal Nuestra Señora de la Merced	Ambato	60

Fuente: (Instituto nacional de estadística y censos, 2014)

A continuación, se presenta tabla 4 sobre la dotación para el uso de hospitales según la NEC-11.

Tabla 4*Dotaciones para edificaciones de uso específico*

Tipo de edificación	Unidad	Dotación
Bloques de vivienda.	1 / habitante / día	200 a 350
Bares, cafeterías y restaurantes	1 / m ² áreaútil / día	40 a 60
Camales y planta de faenamiento	1 / cabeza	150 a 300
Cementerios y mausoleos	1 / visitante / día	3 a 5
Centro comercial	1 / m ² áreaútil / día	15 a 25
Cines, templos y auditorios	1 / concurrente / día	5 a 10
Consultorios médicos y clínicas con hospitalización	1 / ocupante / día	500 a 1000
Cuarteles	1/persona/día	150 a 350
Escuelas y colegios	1 / estudiante / día	20 a 50
Hospitales	1 / cama / día	800 a 1300

Fuente: (NEC, 2011)

Cada hospital tiene un número de camas disponibles, por lo tanto, de la tabla 4 se toma la dotación correspondiente para hospitales y se calcula a continuación el volumen de agua residual que cada uno de estos genera. Para el cálculo se tomará un valor de la dotación de 800 l/cama/día.

$$V = 213 \text{ camas} \times 800 \text{ L/camas/día} = 170400 \text{ L/día} = 170.4 \text{ m}^3/\text{día}$$

Para el volumen de agua residual se asume que el 80% está destinado para las aguas residuales, en este volumen se determinará la carga contaminante producida por los fármacos.

$$V_r = 170.4 \text{ m}^3/\text{día} \times 80\% = 136.32 \text{ m}^3/\text{día}$$

Se aplica el mismo procedimiento para los demás resultados, a continuación, se presenta la tabla 5 con los resultados de cada uno de los hospitales.

Tabla 5
Volumen de agua residual de los respectivos hospitales

Establecimiento	Caudal de agua residual(m3/día)
Hospital Regional del IEES	136,32
Hospital Provincial Docente Ambato	145,28
Hospital Municipal Nuestra Señora de la Merced	38,4

Como se puede observar el volumen de aguas residuales es considerable, lo que permite entender que estas aguas producen una gran carga contaminante.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Analizar y controlar la carga contaminante producida por los fármacos contenidos en las aguas residuales hospitalarias mediante el proceso de fotocátalisis heterogénea con TiO_2 en un colector cilíndrico parabólico de los hospitales Municipal, Docente Regional Ambato, Regional del IEES, ubicados en la Provincia de Tungurahua, Cantón Ambato.

1.4.2. Objetivos específicos

- Medir la carga contaminante producida por los fármacos contenidos en las aguas residuales hospitalarias.
- Evaluar el proceso de fotocátalisis heterogénea con TiO_2 .
- Estudiar la remoción de los fármacos contenidos en las aguas residuales hospitalarias.

2. CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Tratamiento de aguas residuales

Se entiende por tratamiento de aguas al grupo de procedimientos que trabajan entre sí para la eliminación de los agentes contaminantes de las aguas. El objetivo es tener un agua con las propiedades aptas, por ende, los procedimientos aplicados a dichas aguas son una combinación que va acorde a la utilización que se le desea dar a estas aguas una vez que haya terminado el proceso. A continuación se presenta la figura 1 donde se muestra el proceso de evacuación de las aguas residuales generadas en una ciudad (Rodríguez S. , 2015).



Figura 1. Proceso de evacuación de aguas residuales
Fuente: (Rodríguez S. , 2015)

2.2. Técnicas de tratamientos de aguas

Antes de iniciar un tratamiento de aguas, se tiene que caracterizar al efluente, se debe conocer sus parámetros, su origen, el caudal, una vez identificado esto, se procede a seleccionar los diferentes tipos de tratamiento. A continuación se puede apreciar en la figura 2 los tipos de tratamientos que se aplican a las aguas residuales (Ibañez, 2010).

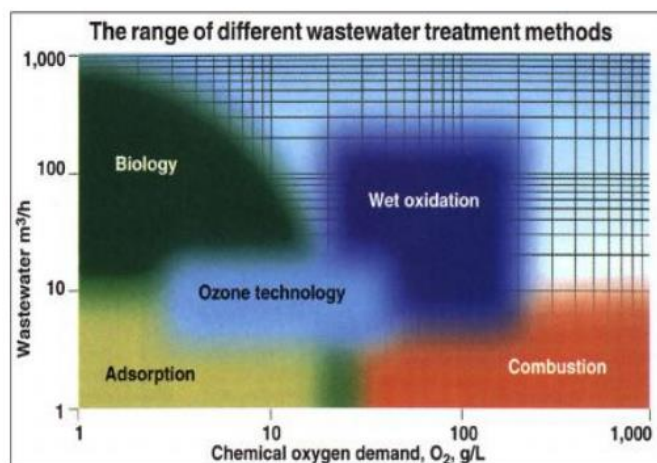


Figura 2. Tipos de tratamiento de aguas residuales
Fuente: (Ibañez, 2010)

2.3. Radiación solar

Como es de imaginarse que la luz solar es un parámetro importante en el proceso de fotocatalisis heterogénea, ya que, debido a la intensidad de la radiación, se tiene los límites en donde el catalizador se activa y degrada los contaminantes de los compuestos analizados. En la radiación solar, el 7.82% corresponde a la luz UV, con una longitud de onda menor o igual a 400 nm, el 47,33% pertenece a luz visible y el 44,85% sobrante pertenece a la luz infrarroja, la cual tiene una longitud de onda mayor o igual a 700nm. A continuación se presenta la figura 3, la cual muestra el espectro de luz solar sobre la superficie de la tierra (Ibañez, 2010).

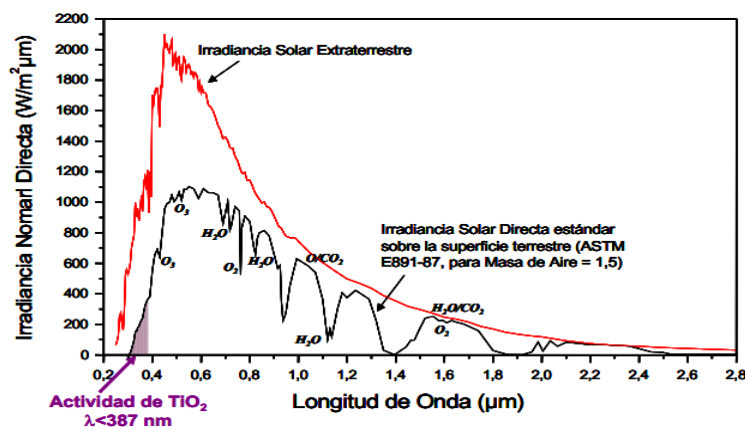


Figura 3. Espectro solar sobre la superficie de la Tierra
Fuente: (Ibañez, 2010)

2.4. Fármacos

2.4.1. Analgésicos

Estos destacan por su gran consumo a nivel mundial y se estima que estos son los fármacos en donde más se aplica la automedicación, en aguas residuales hospitalarias se encontraron el Naproxeno, Diclofenaco, Ibuprofeno, Acetaminofén, Asa (Jiménez, 2011).

2.4.2. Antihipertensivos

Una de las enfermedades cardiovascular más común en el planeta es la hipertensión arterial, en estados unidos se dio a conocer que existieron 43 millones de personas las cuales fueron atendidas con esta enfermedad, este es un número muy significativo de pacientes lo cual indica que se consumió cantidades exorbitantes de los inhibidores (ieca), el bloqueador de los canales del calcio y los betabloqueadores. Entre los betabloqueadores se tiene algunos como el metoprolol, atenolol y el propranolol, de los cuales se han detectado concentraciones mayores a $0.017\mu\text{g/l}$ en aguas residuales (Jiménez, 2011).

2.4.3. Antibióticos

Debido a los efectos que tienen los antibióticos frente a microorganismos patógenos en humanos y animales y al uso que se le da para preservar los alimentos y piensos, estos han incrementado su producción, razón por la cual se encuentra cada vez mayores concentraciones de los mismos en cuerpos de agua. Los antibióticos que más se han encontrado en cuerpos de agua son los aminoglicósidos, los betalactámicos, la vancomicina, las tetraciclinas y los macrólidos (Jiménez, 2011).

2.5. Fármacos encontrados en aguas residuales hospitalarias.

En las aguas provenientes de los centros de salud se encuentran trazas de medicamentos los cuales han sido utilizados en muchos pacientes, esto genera una gran contaminación en el medio ambiente. A continuación se presenta en la tabla 6 sobre los medicamentos que han sido encontrados en las aguas residuales hospitalarias de dos hospitales, uno se encuentra en España, en

Armería, un hospital con una capacidad de 75 camas, aquí se tomaron seis muestras en distintos meses del año, una se realizó en octubre y la otra en diciembre del 2004. El otro hospital está ubicado en México, Albuquerque (Alvariño, 2008).

Tabla 6

Residuos farmacéuticos encontrados en un Hospital de México y España

Principio activo	Grupo farmacéutico	Intervalo de concentración($\mu\text{g/L}$)
Acetominafén	analgésico	0,5 - 29 (16,02)
Atenolol	betabloqueador	0,1 - 122 (3,4)
Carbamazepina	antiepiléptico	0,03 - 0,07 (0,04)
Ciprofloxacina	antibiótico	0,85 - 0,20
Codeína	analgésico	0,01 - 5,7 (0,9)
Diclorofenaco	antiinflamatorio	0,06 - 1,9 (1,4)
Eritromicina	antibiótico	0,01 - 0,03 (0,019)
Ibuprofeno	analgésico	1,5 - 151 (19,77)
Ketorolaco	antiinflamatorio	0,5 - 59,5 (4,2)
Lencomycin	antibiótico	0,30 - 0,20
Metronidazol	antibiótico	1,8 - 9,4 (5,9)
Penicilina	antibiótico	0,85 - 0,52
Propranolol	betabloqueador	0,2 - 6,5 (1,35)
Oflaxacina	antibiótico	25,50 - 35,50
Ranitidina	bloqueador de la histamina - 2	0,4 - 1,7 (0,98)
Sulfametaxazole	antibiótico	0,10 - 0,21
Trimetoprim	antibiótico	0,01 - 0,03 (0,025)

Fuente: (Alvariño, 2008)

Cuando se habla de catálisis, indica un procedimiento en el cual existe una reacción la cual se incrementa o se reduce con la ayuda de un catalizador. El proceso de fotocátalisis solar convierte las sustancias contaminantes en compuestos inofensivos para el medio ambiente, esto se realiza gracias a un fotocatalizador el cual recibe la luz solar, lo que ocasiona una reacción química que puede ser de oxidación o reducción (García, 2016).

La fotocátalisis es similar al proceso de la fotosíntesis debido a que también utiliza la luz solar, sin embargo en esta intervienen otros factores, debido a ese procedimiento es posible eliminar

muchos contaminantes los cuales se encuentran en nuestra atmosfera, entre los cuales se tiene NO_x , SO_x , $COVs$, además de que elimina el CO_2 , el cual se utiliza para crear materia orgánica (Fernández, 2018).

La fotocatalisis heterogénea se puede definir como la utilización de un semiconductor que este caso es el dióxido de titanio, que sirve para formar una mezcla heterogénea que se encuentra estabilizada bajo la luz solar para generar una reacción química que genere la descontaminación de las aguas residuales. Un sin número de semiconductores han sido utilizados en el proceso de la fotocatalisis heterogénea, sin embargo entre estos destaca el dióxido de titanio, ya que este tiene una facilidad de las cuales los demás semiconductores no poseen, y es que se lo puede utilizar con la luz solar, simplemente el dióxido de titanio necesita ser iluminado con fotones de energía que sea mayor o igual a la energía que existe entre la banda de conducción y la banda de valencia, y lo ventajoso de esto , es que los fotones de longitud de onda menores a 387nm activan el fotocatalizador, en la tabla 7 se muestra la longitud de onda con la cual varios catalizadores pueden ser activados (Vasquez, 2002).

Tabla 7
Longitud de onda para la activación del catalizador

Compuesto	Energía de salto de banda (eV)	Longitud de onda correspondiente a la energía del salto de banda (nm)
BaTiO ₃	3.3	375
CdO	2.1	590
CdS	2.5	497
Fe ₂ O ₃	2.2	565
GaAs	1.4	887
GaP	2.3	540
SnO ₂	3.9	318
SrTiO ₃	3.4	365
TiO ₂	3.2	387
WO ₃	2.8	443
ZnO	3.2	390
ZnS	3.7	336

Fuente: (Vasquez, 2002)

Cuando el fotocatalizador es activado por la luz solar, este absorbe los fotones de energía, creando de esta manera un electrón y un hueco (e^- y h^+), si el fotocatalizador recibe la energía necesaria para provocar el salto del electrón(e^-) a la banda de valencia, esto genera un hueco (h^+) en la banda de conducción. luego de este proceso se crea los radicales libres que degradan los contaminantes, gracias a esto los óxidos de nitrógeno al tener contacto con estos radicales se transforman en nitratos. La luz puede ser generada mediante lámparas UV, o simplemente utilizar la luz del sol, esta energía activa el salto de un electrón a partir de la banda de valencia a la banda de conducción, que con la presencia de agua crea radicales hidroxilos (OH^+) (Fernández, 2018).

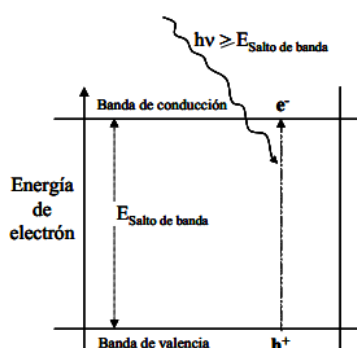


Figura 4. Fotoexcitación en proceso
Fuente: (Vasquez, 2002)

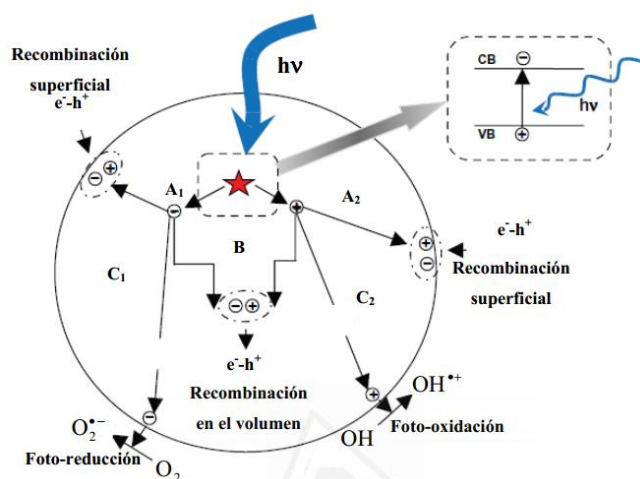
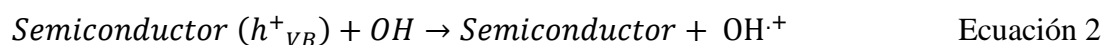
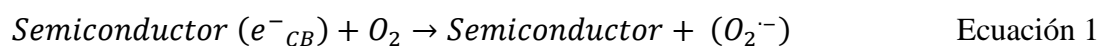


Figura 5. Creación de radicales libres

Fuente: (Ouzzine, 2014)

Como se puede apreciar en la imagen, una vez que la luz solar activa el fotocatalizador TiO_2 , esta provoca la formación de un electrón (e^-) que salta de la banda de valencia (vb) a la banda de conducción (cb), lo que crea un hueco (h^+) en cb. Se puede observar en la figura que se crea una reacción de foto-reducción y una de foto-oxidación. Estas reacciones se crean al mismo tiempo, los huecos (h^+), estos reciben electrones de los iones OH^- adsorbidos, generando el radical hidroxilo (OH^\cdot), además en la superficie se encuentra adsorbido el O_2 , el cual recibe un electrón generando la reacción de foto-reducción, en donde se forma el radical aniónico ($\text{O}_2^{\cdot-}$). A continuación se muestran las ecuaciones de reacción 1 y 2 generadas en el proceso de fotocatalisis (Ouzzine, 2014).



2.6. El TiO_2 como fotocatalizador

Tomando en cuenta que existen algunos semiconductores (WO_3 , ZrO_2 , CdS , SnO_2 , ZnO), los cuales han sido usados en los procesos de descomposición de algún compuesto mediante la fotocatalisis heterogénea, sin embargo ha sido el dióxido de titanio el cual se ha ganado una mayor consideración en el campo de la investigación para su aplicación en futuros proyectos. el dióxido de titanio, entre sus características destacables esta que se lo encuentra a un bajo costo, debido a la gran cantidad que se tiene en la tierra, aproximadamente en un 0,44% de la corteza terrestre se encuentra a este semiconductor, razón por la cual el dióxido de titanio es utilizado en muchos productos como protectores para los rayos UV, materiales como pintura, crema dental, y entre otras cosas el dióxido de titanio muestra una alta actividad fotocatalítica, presenta una estabilidad contra la foto corrosión, su estructura molecular no cambia, y no es toxico para los seres vivos. Sin embargo el dióxido de titanio recibe una parte de la luz solar debido a que su ancho de banda pertenece a la zona de los rayos UV (Olleros, 2013).

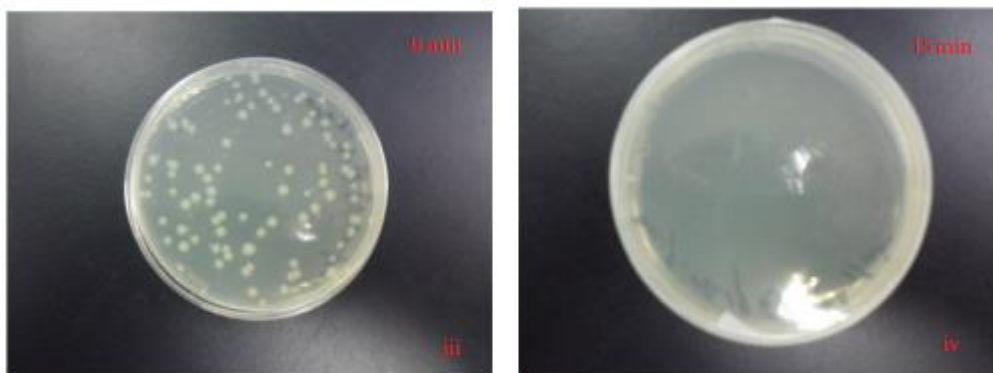


Figura 6. Efecto de la fotocatalisis sobre la E.coli en 0 min, 15min

Fuente : (Liu et al, 2012)

2.7. Procesos fotocatalíticos basados en la luz solar

Actualmente los procesos de oxidación avanzada (AOPS), son motivo de estudio, y aquellos que tienen como ventaja el aprovechamiento de la luz solar son el foco de atención, ya que en estos procesos se usan lámparas y estas serían reemplazables por La luz solar. Los procesos de oxidación avanzada los cuales provocan interés son la fotocatalisis heterogénea con dióxido de titanio y la fotocatalisis homogénea. el tratamiento de aguas mediante la fotocatalisis heterogénea, es una de las técnicas más brillantes en la fotoquímica solar, y no se trata únicamente por que la luz del sol ayuda a conservar el medio ambiente sino que en estos procesos se permite una limpieza de contaminantes más rigurosos (Ibañez, 2010).

El proceso de la fotocatalisis solar es la aceleración de una reacción fotoquímica mediante la utilización de un catalizador. Estos procesos causan una alteración en la estructura química de los contaminantes, ya que debido a la intervención de la luz solar producen los radicales hidroxilos (OH^+), los cuales son muy eficientes a la hora de producirse la oxidación (Ibañez, 2010).

2.8. Colector cilíndrico parabólico

Gracias a la curvatura especial que presentan los colectores cilíndricos parabólicos (CPC), la radiación solar es aprovechada de mejor manera, razón por la cual los CPC son los más empleados en las investigaciones. Los rayos del sol se proyectan en el colector, el cual haciendo uso de sus

espejos en forma de parábola refleja los rayos en un tubo receptor, por donde circula el agua la cual será expuesta a un proceso de degradación, la función principal del colector cilíndrico parabólico es transformar la radiación solar en energía térmica (Garcés, 2004).

Otra función que destaca en el colector cilíndrico parabólico es el seguimiento a la radiación solar, esto significa que el colector puede girar de acuerdo a la dirección de los rayos solares con la finalidad de beneficiarse al máximo las horas de luz solar las cuales ayudan al tratamiento de la fotocatalisis heterogénea, este seguimiento se logra haciendo rotar la parábola alrededor de un eje, cuyos mecanismos de rotación pueden ser eléctricos, hidráulicos o mecánicos (Paredes, 2012).

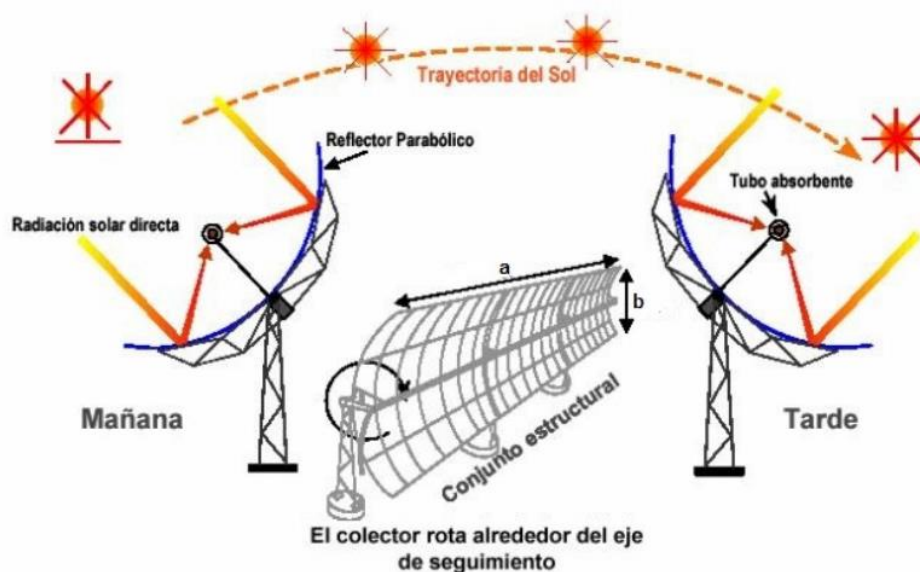


Figura 7. Colector cilíndrico parabólico

Fuente: (Paredes, 2012)

2.9. Concentración de catalizador

Una vez que se ha iniciado el tratamiento de aguas con la fotocatalisis heterogénea, se debe tomar en cuenta la concentración del catalizador, en este caso será el dióxido de titanio, debido a que si no se tiene una concentración adecuada puede resultar contraproducente, si se tiene demasiada cantidad del catalizador TiO_2 , la energía solar no penetrará en todas las partículas, este se debe a que cuando se tiene un límite excedido del catalizador este forma una suspensión muy

túrbida, la cantidad límite para el catalizador funcione de manera correcta son de 100 mg/l, si se mantiene el catalizador por debajo de este límite, la degradación de los compuestos es directamente proporcional a la cantidad de catalizador utilizado, cabe mencionar que esto depende de las condiciones en las que el reactor está trabajando y al diseño del mismo (Ibañez, 2010).

2.10. Factores que afectan a la fotocatalisis con dióxido de titanio (TiO_2)

Cuando se piensa poner en práctica el proceso de fotocatalisis con TiO_2 , es natural que como todo experimento se muestren ciertos errores, errores los cuales pueden ser generados por factores externos que afecten los resultados de dicho proceso, entre lo que se tiene el oxígeno disuelto, el pH, la cantidad de dióxido de titanio, la luz solar y la temperatura. Otra cosa que se debe tomar en cuenta es en realizar análisis de todos los compuestos sometidos al proceso, debido a que por estas circunstancias los resultados sean erróneos y no porque sea un dato real del análisis (Ibañez, 2010).

En el caso de la luz solar esta puede generar un aumento en la temperatura lo cual puede provocar la destrucción del compuesto a degradar, por último se tiene a la adsorción, el cual es un factor que puede presentarse en el proceso, si existe la presencia de adsorción en las moléculas del contaminante con los materiales del reactor, este factor y los demás pueden causar alteraciones, por ende se debe estar pendiente de su existencia para así poder retirarlos y tener el resultado real del proceso de fotocatalisis heterogénea (Ibañez, 2010).

2.11. Fotocatalisis en la construcción

Hace un poco más de una década, el CTG de ITC ha realizado diversos estudios con la ayuda de distintas agencias de investigación para el cuidado del medio ambiente, el objetivo principalmente es introducir al principio de fotocatalisis en los materiales de construcción, con la finalidad de eliminar los distintos contaminantes generados en el medio ambiente. Por esta razón Italcementi ha desarrollado una gama de productos conocidos el cual contienen el principio fotocatalítico Tx active (Padilla, 2012).

Gracias al principio de la fotocatalisis, hoy en día, se pueden eliminar una serie de contaminantes como lo son los compuestos orgánicos volátiles, monóxido de carbono, óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno. Una de los propósitos además de la descontaminación del medio ambiente, es la propiedad de generar auto limpieza de los materiales de construcción. Estos materiales son elaborados a base del fotocatalizador TiO_2 . A continuación se muestra la figura 8 donde se puede apreciar el proceso de auto limpieza de una pared la cual fue roseada sobre su superficie un producto elaborado con TiO_2 . La aplicación del producto elaborado con TiO_2 repercute en la adhesión de partículas provenientes del medio ambiente, como lo son el polvo y las impurezas (García, 2016).



Figura 8.Proceso de autolimpieza usando un producto con TiO_2

Fuente: (García, 2016)

2.11.1. Efectos producidos en los materiales de construcción gracias a la fotocatalisis con TiO_2

Como consecuencia de la fotocatalisis sobre los materiales de construcción se presenta algunos efectos logrados sobre estos, como lo son ataque contra los hongos, la desodorización del ambiente, la adherencia del polvo, y la reducción del efecto albedo (García, 2016).

2.11.1.1. Ataque contra hongos

Al aplicar el tiO_2 sobre las superficies de los materiales de construcción, este detiene el crecimiento de hongos, las algas como las que se crecen en las piscinas, el moho (García, 2016).

2.11.1.2. Reducción del efecto albedo

Cuando se aplica el principio de fotocatalisis sobre los pavimentos bituminosos, este reduce el conocido efecto albedo, ya que este esclarece su tono, y evita el calentamiento de los materiales (García, 2016).

2.11.2. Cerámica para fotocatalisis

En estos días existe una cerámica la cual está fabricada para aplicar el principio de la fotocatalisis, la marca que da vida a este material es active, esta cerámica está elaborada con partículas de tio_2 , las cuales son incrustadas a una temperatura de 700°c . el tio_2 que se agrega a la baldosa, le da una alta resistencia ante el rayado que puede darse por la circulación de personas (García, 2016).

Esta cerámica es capaz de eliminar el 70% de compuestos orgánicos e inorgánicos como el NO_x , SO_x y el CO, destruye las bacterias como la Staphylococcus Aureus, Escherichia Coli, Klebsiella Pneumoniae (García, 2016).

Este material de construcción como lo es la cerámica, sus efectos fueron puestos a prueba, se utilizaron 100m^2 de estas cerámicas. El resultado revelo que estos 100 m^2 cuadrado de cerámica, degradaron no equivalente a lo que lo harían 30 árboles, las pruebas fueron realizadas por la universidad de Milán. Las piezas son hechas de $30\times 30\text{cm}$ y hasta $120\times 60\text{cm}$, y pueden ser instaladas en interiores y exteriores de casas, baños públicos, escuelas (García, 2016). A continuación se muestra la figura 9 donde se coloca el material tanto en pisos como en paredes.



Figura 9. Cerámica fotocatalítica colocada en pisos y paredes

Fuente: (García, 2016)

2.11.3. Pintura para fotocatalisis

No podía faltar un producto como lo es la pintura con efecto fotocatalítico, este material tiene como finalidad eliminar la contaminación dada por bacterias, hongos, los malos olores, y la contaminación en el aire. Este material puede ser usado en muchos ámbitos, como son lugares públicos como hospitales, escuelas, casa de ancianos. Debido a la reducción de los malos olores que ofrece esta pintura, se utiliza en lugares como granjas, cuartos de basura (García, 2016).



Figura 10. Pintura con efecto fotocatalítico colocada en distintas áreas

Fuente: (García, 2016)

2.11.4. Pavimentos fotocatalíticos

2.11.4.1. Pavimento de cemento fotocatalítico:

Es una mezcla de cemento partículas de TiO_2 , y una resina, finalmente se tiene una pasta y se aplica directamente sobre la superficie limpia del pavimento. Esto elimina el 60% de contaminantes y existe en variedad de colores para cada tipo de lugar donde sea colocado el material. Se puede apreciar en la figura 11 el pavimento de cemento fotocatalítico (García, 2016).



Figura 11. Pavimento de cemento con efecto fotocatalítico

Fuente: (García, 2016)

En el caso de los pavimentos discontinuos, estos son construidos con baldosas de hormigón los cuales están recubiertos por una capa de TiO_2 . La descontaminación que se produce al usar este material es el equivalente a la contaminación generada por 4000 vehículos en un año, esto asumiendo si la superficie pavimentada es un estadio. A continuación se presenta la figura 12, donde se puede apreciar pavimentos discontinuos fotocatalíticos fabricados por Ecogranic (García, 2016).



Figura 12. Pavimento discontinuo con efecto fotocatalítico

Fuente: (García, 2016)

2.11.4.2. Tratamiento fotocatalítico en asfalto

La aplicación de este producto se realiza por aspersión, lo bueno de este producto es que no altera las propiedades principales del asfalto, como lo es el agarre de los neumáticos con la calzada, el drenaje de la vía, y al ser un producto transparente no es necesario cuidar las marcas viales al momento de la aspersión. Es un producto hecho con agua, resinas y partículas de TiO_2 , se presenta la figura 13 donde se puede observar la aplicación del producto en una calzada (García, 2016).



Figura 13. Aplicación de producto fotocatalítico sobre calzada

Fuente: (García, 2016)

2.12. Construcciones con materiales fotocatalíticos

2.12.1. Iglesia dives in misericordia

Una de las primeros proyectos que tuvo el privilegio de probar por primera vez el cemento fotocatalítico, es la iglesia "dives in misericordia", la cual fue construida en el año 2000. Como se puede observar en la figura 14 los bloques de la iglesia presentan un color blanco, estos bloques fueron hechos con un hormigón blanco fotocatalítico elaborado por Italcementi, en el que se buscó combinar el efecto fotocatalítico y la pureza de un blanco total (García, 2016).



Figura 14. Iglesia construida con productos fotocatalíticos

Fuente: (García, 2016)



Figura 15. Parte interior de la Iglesia construida con cemento fotocatalítico

Fuente: (García, 2016)

2.12.2. Estadio AT&T

Otro gran proyecto que se aplicó el principio de la fotocatalisis, es el estadio de AT&T, en el techo del estadio se colocaron paneles traslucidos, en los cuales se aplicó una capa de dióxido de titanio, lo que ocasiona que la suciedad en combinación con el agua lluvia se limpie automáticamente (García, 2016).



Figura 16. Estadio con paneles traslucidos con una capa de dióxido de titanio

Fuente: (García, 2016)

2.13. Técnicas de estudio de sensibilidad a los antimicrobianos

Antes de empezar a describir las técnicas empleadas para el estudio de la sensibilidad de las bacterias, se debe tener en cuenta un concepto el cual se mencionara más adelante, el cual es la cmi, que por sus siglas significa concentración mínima inhibitoria, el cmi es el límite más bajo de la concentración de un antimicrobiano, que no permite la proliferación de bacterias (Cercenado, 2009).

Para determinar la sensibilidad de las bacterias, se realiza por distintos métodos, entre estos se tiene los métodos fenotípicos conocido como el antibiograma, los bioquímicos y genéticos. Actualmente el antibiograma es el que ofrece más facilidad al momento de determinar la sensibilidad de las bacterias, por ende es muy utilizado, su objetivo es el atacar a un inculo bacteriano con ciertas cantidades de antibiótico, de acuerdo a los resultados del antibiograma se puede categorizar a las bacterias como sensibles, intermedios o resistentes. Los valores que categorizan a las bacterias como sensibles o resistentes, es el cmi, se dice que un cmi bajo indica una mayor eficacia frente a las bacterias, pero esto no siempre funciona así, ya que el cmi, depende de la especie de bacterias. Entre los métodos fenotípicos se tiene dos técnicas, la una es la técnica de dilución y la otra de difusión (Cercenado, 2009).

2.13.1. Técnica de dilución

La técnica de dilución es conseguir el valor de la CMI, lo cual se lo realiza mediante la utilización de una dilución en agar, para colocar las diferentes concentraciones del antimicrobiano. Esta técnica se realiza bajo ciertos estándares, en la cual se realiza el antibiograma usando el agar de Mueller Hinton (Cercenado, 2009).

2.13.2. Técnicas de difusión

Para realizar una técnica de difusión se necesita unos discos o también conocidos como placa petri, este se inocula por una especie de bacterias, luego de estos se colocan lo que se conoce como sensidiscos, los cuales se impregnan con el antibiótico con el que se quiere probar la sensibilidad de las bacterias. Luego de un periodo de incubación entre 18 y 24 horas, se forma un círculo alrededor del sensidisco, este círculo en microbiología se lo llama halo de inhibición, y el diámetro del halo es directamente proporcional a la sensibilidad de las bacterias, entre mayor es el diámetro del halo, más sensible al antibiótico es dicha especie bacteriana (Cercenado, 2009).

Cabe mencionar que las técnicas de difusión pueden establecer relaciones con el tamaño de los halos y el cmi, entre mayor sea el radio del halo, menor es el valor del cmi y se clasifica a las bacterias como resistentes, y un entre menor sea el radio del halo, los valores de cmi son altos. A continuación se muestra la figura 17 la cual muestra los resultados de pruebas en una técnica de difusión y se puede observar los halos de inhibición (Cercenado, 2009).

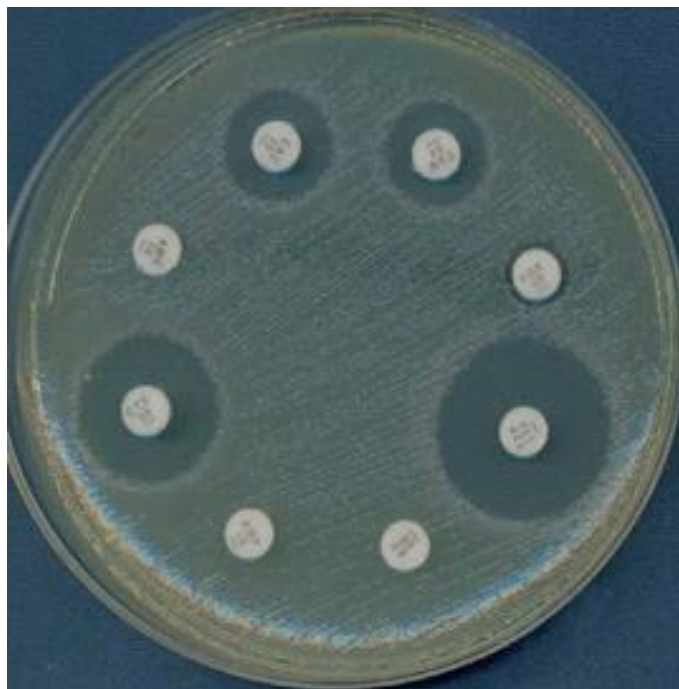


Figura 17. Halos de inhibición en técnica de difusión
Fuente: (Cercenado, 2009)

2.14. Marco legal

A continuación, se muestran las leyes que rigen la contaminación ambiental en Ecuador, la cual se tiene:

- Texto unificado de la legislación secundaria medio ambiente (TULSMA)

2.14.1. Texto unificado de legislación secundaria del ministerio del ambiente, libro vi, anexo 1

2.14.1.1. Límites permisibles a continuación se muestra en las tablas 8 y 9, sobre los límites permisibles según el TULSMA.

Tabla 8

Criterios de calidad admisibles para la preservación de la flora y fauna en aguas dulces frías.

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible Agua fría dulce
Bario	Ba	mg/l	1,0
Cadmio	Cd	mg/l	0,001
Zinc	Zn	mg/l	0,18
Cobalto	Co	mg/l	0,2
Cobre	Cu	mg/l	0,02
Cromo	Cr	mg/l	0,05
Grasas y aceites		mg/l	0,3
Hierro	Fe	mg/l	0,3
Mercurio	Hg	mg/l	0,0002
Plata	Ag	mg/l	0,01
Coliformes Fecales	nmp/100 ml		Máxima 200
Potencial de Hidrógeno	PH		6.5-9

Fuente:(TULSMA, 2003)

Tabla 9

Criterios de calidad admisibles para aguas de uso agrícola

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y Grasas		mg/l	0.3
Coliformes Totales		NMP/100ml	1000
Bario	Ba	mg/l	1.0
Cadmio	Cd	mg/l	0.01
Cobalto	Co	mg/l	0.05
Cobre	Cu	mg/l	2.0
Potencial de hidrogeno	Ph		6-9
Cromo	Cr	mg/l	0.10
Hierro	Fe	mg/l	5
Mercurio	Hg	mg/l	0.001
Plata	Ag	mg/l	0.05
Plomo	Pb	mg/l	0.05
Zinc	Zn	mg/l	2.0

Fuente:(TULSMA, 2003)

2.14.2. Norma internacional Paraguay, ley n° 3361 de residuos generados en los establecimientos de salud y afines.

A continuación se presenta una norma internacional de Paraguay, que indica lo efectivo que tienen que ser los tratamientos para eliminar los residuos causados por hospitales. La Norma internacional de Paraguay, ley N° 3361/de residuos generados en los establecimientos de salud y afines, menciona:

Artículo 31.- Métodos de tratamiento. A los efectos del tratamiento de residuos generados en establecimientos de salud y afines, se deberá utilizar métodos o sistemas que aseguren que los residuos resultantes sean irreconocibles e inoctrinos para la salud y el ambiente. Las emisiones líquidas, gaseosas y los residuos sólidos, producidos como consecuencia del tratamiento de residuos generados en establecimientos de salud y afines, deberá ajustarse a las normas nacionales e internacionales vigentes, que rigen la materia (ley N°3361/de residuos generados en los establecimientos de salud y afines, 2007, p.5).

3. CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

2.1. Descripción del área de estudio

Se identificaron tres hospitales que facultan una investigación pertinente para el tratamiento de las aguas residuales hospitalarias con fotocátalisis heterogénea con TiO_2 en un colector cilíndrico parabólico.

El primer hospital corresponde al municipal nuestra señora de la merced localizado en la circunvalación Rosa Robalino y Gertrudis Esparza, en la ciudad de Ambato en la provincia de Tungurahua, en la figura 18 se muestra el hospital.

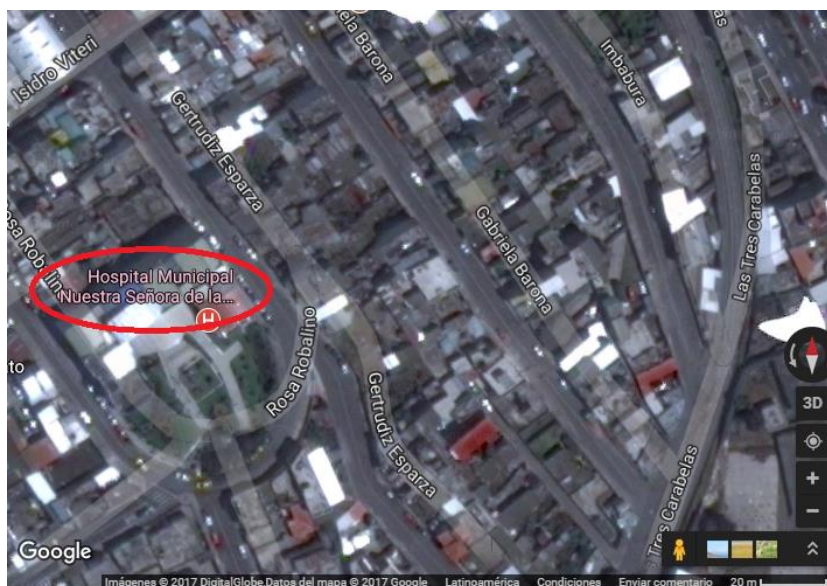


Figura 18. Hospital Municipal nuestra señora de la Merced

Fuente :(Google Maps, 2018)

La segunda localización corresponde al Hospital Docente Regional Ubicado en la intersección de la Av. Pasteur y la Calle Cesar Viteri, en la ciudad de Ambato en la provincia de Tungurahua, en la figura 19 se muestra dicho hospital.

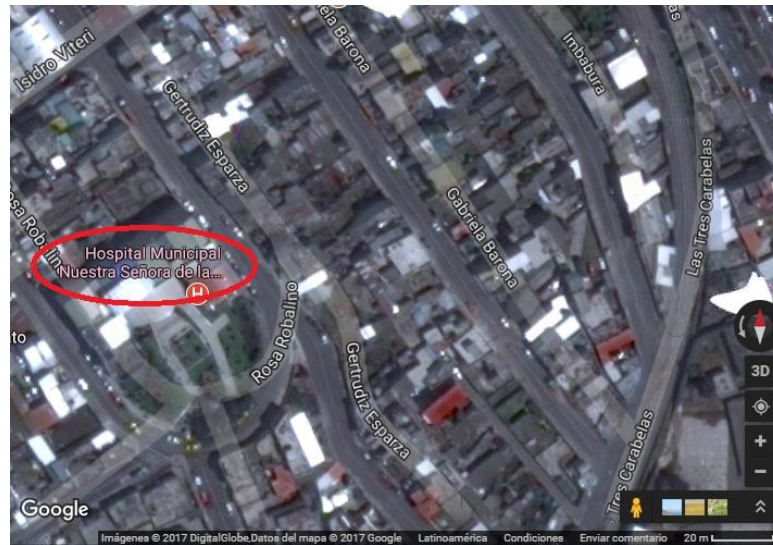


Figura 19. Hospital Docente Regional de Ambato

Fuente : (Google Maps, 2018)

Por último, el Hospital Regional del IESS ubicado en la intersección de la Av. Los Capulíes y la Calle Poesías junto al seguro social del IESS, en la ciudad de Ambato en la provincia de Tungurahua, en la figura 20 se muestra el hospital del IEES.



Figura 20. Hospital Regional del IESS

Fuente: (Google Maps, 2018)

A continuación, se muestra unas imágenes en las cuales se aprecia la construcción de canales colectores para el traslado del agua residuales domésticas en Ambato.



Figura 21. Canales colectores en la ciudad de Ambato

2.2. Radiación solar

Para determinar la potencia solar diaria a la cual estará sometido el reactor para el tratamiento de aguas, se tomó datos con el piránómetro mp-200, la medición se realizó en intervalos de 5 min, de 9 am hasta las 2 pm, estos datos fueron tomados en la ciudad de Ambato. A continuación en la tabla 10 se muestra la toma de datos del día 14 de diciembre del 2017.



Figura 22. Piránómetro mp-200

Tabla 10*Datos de irradiancia solar*

Hora	Irradiancia(W/m2)	Hora	Irradiancia(W/m2)
9:05:00	425	12:05:00	1101
9:10:00	570	12:10:00	1090
9:15:00	604	12:15:00	1065
9:20:00	699	12:20:00	1088
9:25:00	702	12:25:00	1053
9:30:00	725	12:30:00	1101
9:35:00	796	12:35:00	1077
9:40:00	775	12:40:00	1105
9:45:00	597	12:45:00	1110
9:50:00	624	12:50:00	1058
9:55:00	514	12:55:00	1037
10:00:00	709	13:00:00	1038
10:05:00	872	13:05:00	1080
10:10:00	884	13:10:00	1060
10:15:00	925	13:15:00	1088
10:20:00	990	13:20:00	1043
10:25:00	975	13:25:00	1057
10:30:00	1045	13:30:00	1039
10:35:00	1042	13:35:00	1119
10:40:00	1044	13:40:00	1099
10:45:00	1050	13:45:00	1104
10:50:00	1052	13:50:00	1201
10:55:00	1054	13:55:00	1095
11:00:00	1055	14:00:00	1115
11:05:00	1052		
11:10:00	1055		
11:15:00	1053		
11:20:00	1053		
11:25:00	1054		
11:30:00	1048		
11:35:00	1050		
11:40:00	1048		
11:45:00	1039		
11:50:00	1045		
11:55:00	1027		
12:00:00	1100		

De los datos tomados el día 14 de diciembre del 2017 se realizó un promedio por cada hora y un promedio de irradiancia de ese día, los valores se muestran en la tabla 11.

Tabla 11.

Promedios de irradiancia (W/m²)

JUEVES 14/12/2017		
Hora	(watt/m ²)	Prom
9:05:00-10:00	627,750	
10:05-11:00	970,167	
11:05-12:00	1048,250	963,158
12:05-13:00	1082,083	
13:05-14:00	1087,538	

En la figura se muestra un gráfico de la irradiancia y las horas del día, este procedimiento se realizó en todos los demás días los cuales se adjuntarán en el anexo 1. Se puede observar que las horas del día donde más influye la irradiancia es a las 10:00 y la 13:00, es decir se tiene un intervalo de 3 horas, los cuales representan las condiciones adecuadas para realizar el proceso de fotocátalisis heterogénea.



Figura 23. Promedio de irradiancia del día jueves 14 de Diciembre del 2017

A continuación, se presenta las horas de brillo solar en las respectivas provincias, se tomó los registros del proyecto “control de la contaminación en aguas residuales de curtiembres, mediante fotocatalisis heterogénea con dióxido de titanio”, realizado por el Ing. Alegría Bartolomé Andrea Estefanía e Ing. Echegaray Aveiga Richard Caleb.

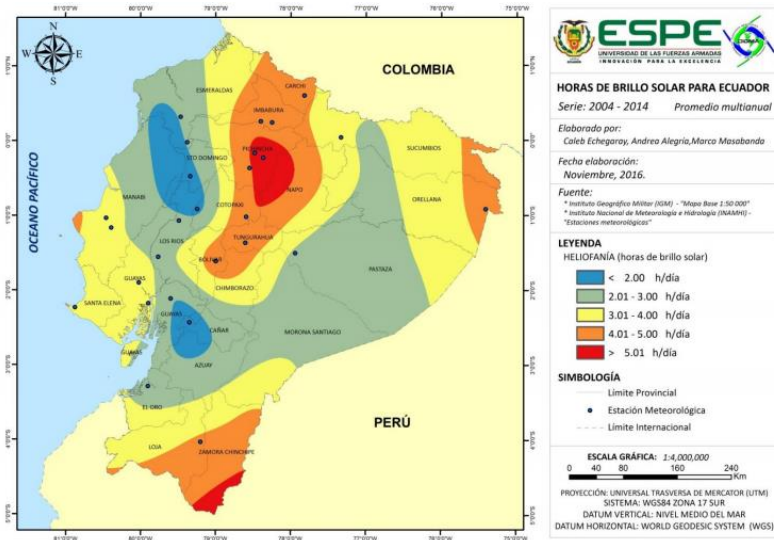


Figura 24. Horas de Brillo solar en Ecuador
Fuente:(Alegría & Caleb, 2016)

2.3. Muestreo de aguas residuales



Figura 25. Ubicación de río Ambato
Fuente : (Google Maps, 2018)

Para la recolección de muestras de agua residual, se eligieron 3 de los hospitales más importantes de Ambato como lo son el hospital del IEISS, docente regional y nuestra señora de la merced, las aguas residuales de dichos hospitales desembocan en el río Ambato, lugar en el cual se hizo la toma de muestras para trasladar al respectivo laboratorio y hacer sus respectivos análisis, ya sean microbiológico, físico y químico.

Para el muestreo realizado en el río Ambato se siguió la norma NTE INEN 2176 (1998) y NTE INEN 2169 (1998), la cual nos da todos los parámetros y recomendaciones a seguir para lograr una correcta toma de muestras de agua residual.

Se explicará de manera resumida los pasos a seguir del muestreo realizado en el río Ambato:

El día sábado 17 de febrero del 2018, se procedió a realizar el muestreo en el río Ambato. Los materiales a utilizar para el muestreo fueron los siguientes:

- Guantes quirúrgicos
- Agua destilada
- Esfero
- Mascarilla
- Envases para recoger agua (envase para orina)
- Medidor de ph(ph-metro)
- Coolers
- Bolsas de hielos para mantener la temperatura a 4°c dentro del cooler
- Cuaderno para tomar notas
- Objetos de aseo personal (alcohol antiséptico)
- Fundas de basura
- Toallas

Nota: los envases deben estar esterilizados para la respectiva toma de muestras

A continuación, se describirá el procedimiento realizado para la obtención de muestras de aguas residuales.

2.3.1. Procedimiento:

- 1) Se calibro el medidor de ph
- 2) Se etiqueto los envases con su respectiva identificación, se escribió el lugar, la hora, el punto de descarga, nombre de la persona que recogió la muestra y al tipo de análisis al que estaba destinado dicho envase.
- 3) Una vez realizado los pasos anteriores se procede ir al punto de descarga, lo primero que se realiza en cada muestra tomada es la medición de ph y temperatura, para esto se lava el medidor de ph con agua destilada y se limpia con papel higiénico, luego se colocó el medidor de ph en el agua y este nos dice el ph y la temperatura
- 4) Una vez medida la medición de ph y temperatura se procede a tomar una muestra de agua residual con el envase de orina, tomamos agua casi hasta el borde del envase y este se cierra y se guarda en una funda bien sellada, y después se lo mantiene en el cooler en el cual deben estar colocadas las fundas de hielo para mantener la temperatura de 4°C.
- 5) Todo el procedimiento descrito anteriormente se realizó para todos los puntos en donde se tome la muestra que en total fueron 3 puntos, las muestras se trasportaron al laboratorio el mismo día, para así respetar el límite de tiempo que establece la normativa que son 24 horas después del muestreo.

2.3.2. Recolección de muestras de agua residual

A continuación, se presenta la toma de muestras en cada uno de los puntos.

Primer punto: El primero punto (p1) se realizó antes de la descarga hospitalaria, la figura 26 muestra la preparación y la toma de muestras en el punto 1.



Figura 26. Preparación y toma de muestras en el punto 1



Figura 27. Medición de Ph en el punto 1

Segundo punto (p2): El segundo punto (p2) se realizó en plena descarga hospitalaria, la figura 27 muestra el lugar de la descarga hospitalaria.



Figura 28. Toma de muestra punto 2

Tercer punto: El tercer punto (p3), se realizó después de la descarga, se pueden ver en la figura 28. La toma de muestras y medición Ph en el punto 3.



Figura 29. Toma de muestra y medición de Ph en punto 3

2.4. Reactor para fotocátalisis heterogénea

Para el diseño del reactor, se escogió que sea parabólico por el efecto que tienen los rayos solares sobre este, el reactor fue construido en el valle de los chillos, en el sector San Pedro, en la figura 29 se puede apreciar el lugar donde se construyó el reactor.



Figura 30. Lugar donde se construyó el reactor

Fuente :(Google Maps, 2018)

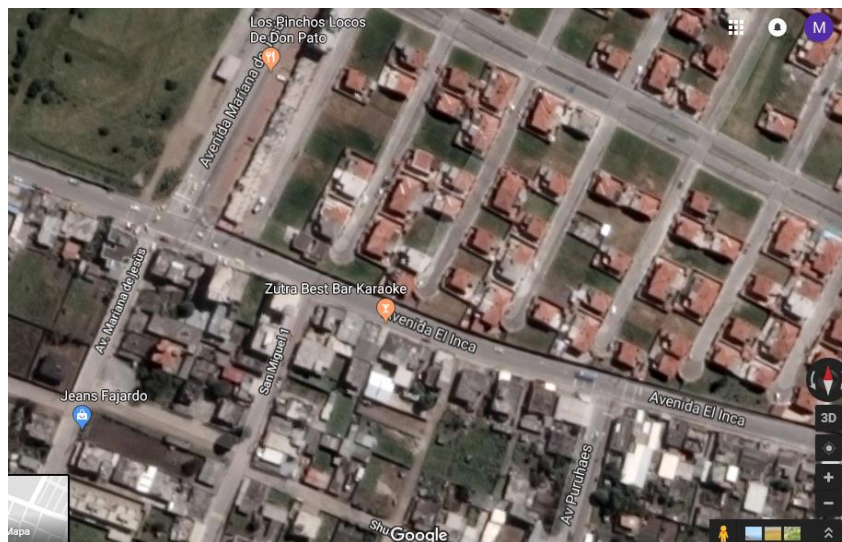


Figura 31. Ubicación del lugar donde se construyó el reactor

Fuente :(Google Maps, 2018)

A continuación, se muestran las figuras donde se aprecia el trabajo realizado en el taller.



Figura 32. Partes del reactor



Figura 33. Base para reactor



Figura 34. Base para reactor terminada

2.5. Cálculo de la ecuación de la parábola para la construcción del reactor.

Para poder calcular los puntos respectivos en la parábola, se muestra a continuación las distancias respectivas en las figuras 35 y 36.

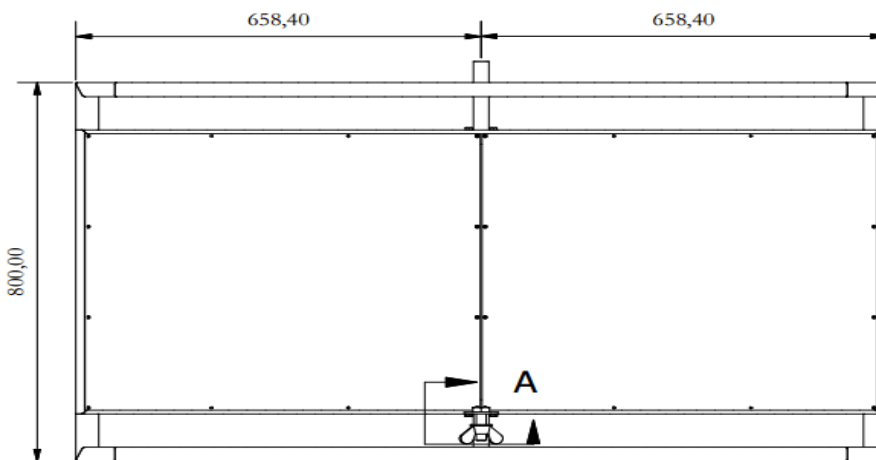


Figura 35. Distancia "x" de la parábola

Donde la distancia de 658,40 es la distancia en la coordenada “x”.

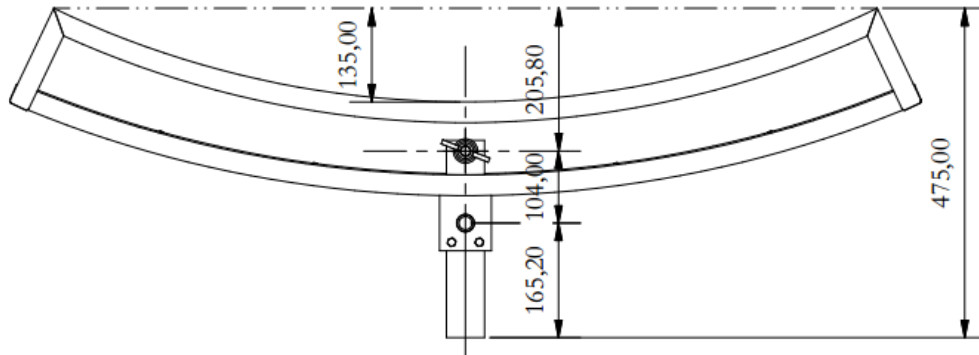


Figura 36. Distancia “y” de la parábola

En donde la distancia de 135, es la distancia en la coordenada “y”.

Para encontrar la ecuación de la parábola se utiliza la ecuación 3

$$x^2 = 4py.$$

Ecuación 3

Se toma como coordenada la distancia total que medirá la parábola, es decir el punto (658.4; 135), este se reemplaza en la formula y se obtiene el valor de p.

$$x^2 = 4py$$

$$(658.4)^2 = 4p(135)$$

$$p = 802.76$$

Una vez hallado el valor de p se obtiene la ecuación de la parábola, a continuación, reemplazando se tiene:

$$y = \frac{x^2}{3211,04}$$

Cabe mencionar que estas medidas están en milímetros, con esta ecuación se obtienen todos los puntos que crean la parábola utilizada para construir el colector cilíndrico parabólico, a continuación se muestra la tabla 12 , donde están los valores tanto en “x” e “y” y la figura 37 donde se aprecia la parábola dibujada.

Tabla 12*Tabla de valores de la parábola del reactor*

X	Y
-658,4	135,000
-600	112,113
-550	94,206
-500	77,856
-450	63,064
-400	49,828
-350	38,150
-300	28,028
-250	19,464
-200	12,457
-150	7,007
-100	3,114
-50	0,779
0	0,000
50	0,779
100	3,114
150	7,007
200	12,457
250	19,464
300	28,028
350	38,150
400	49,828
450	63,064
500	77,856
550	94,206
500	77,856
658,4	135,000

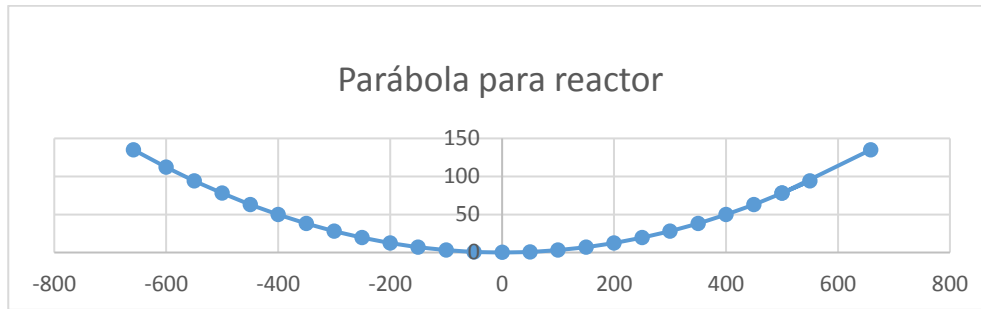


Figura 37. Parábola del reactor

A continuación, se muestra la figura 38 con el reactor en 3d y en las figuras 39, 40,41 sus respectivas vistas.

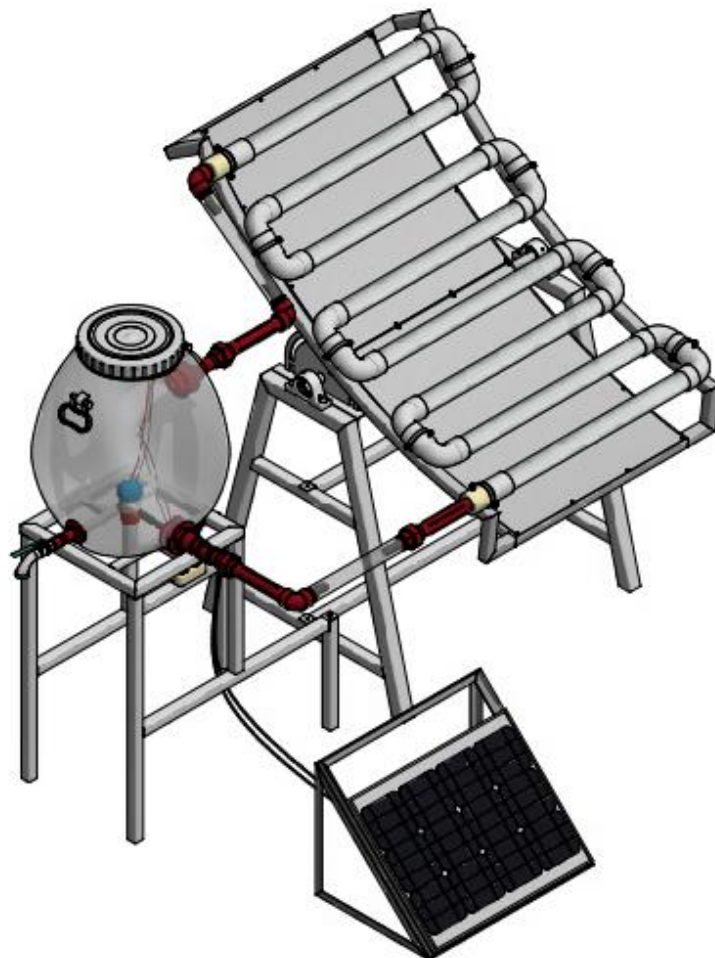


Figura 38. Vista 3D del reactor

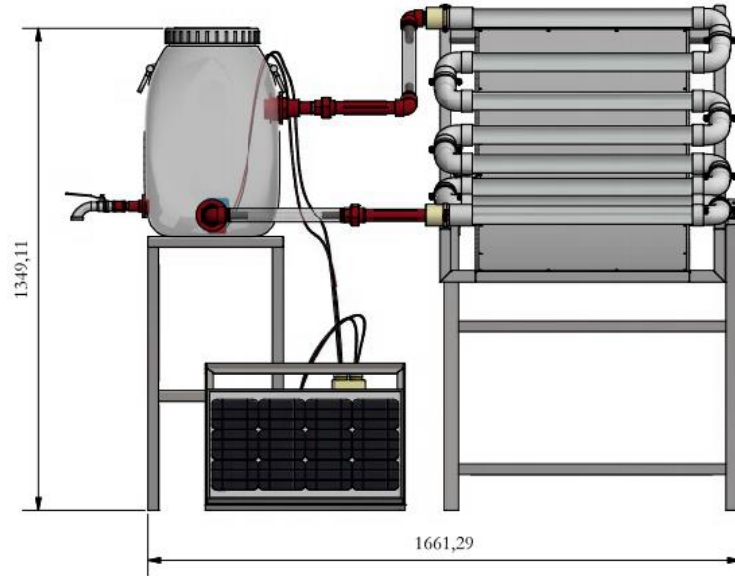


Figura 39. Vista frontal del reactor

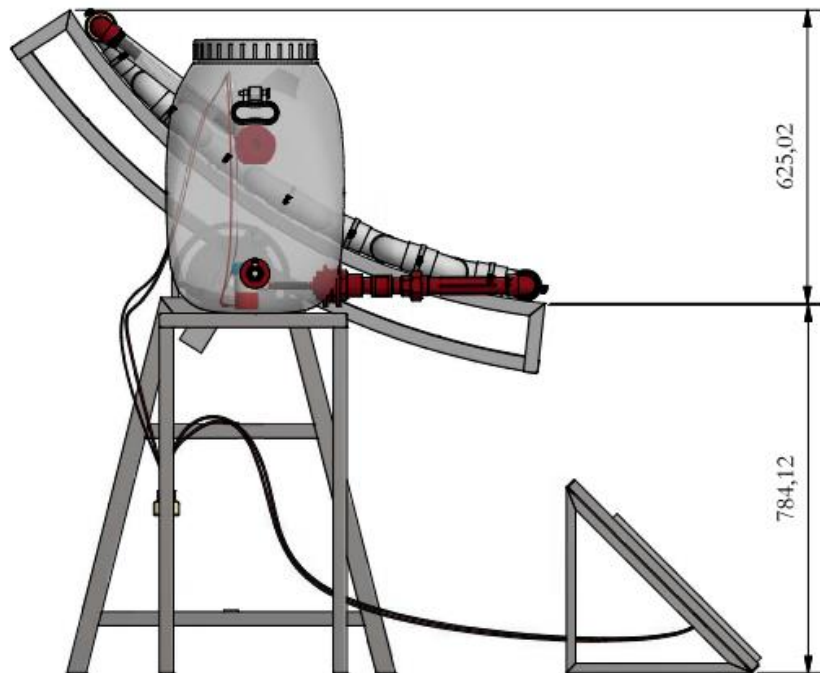


Figura 40. Vista lateral derecha

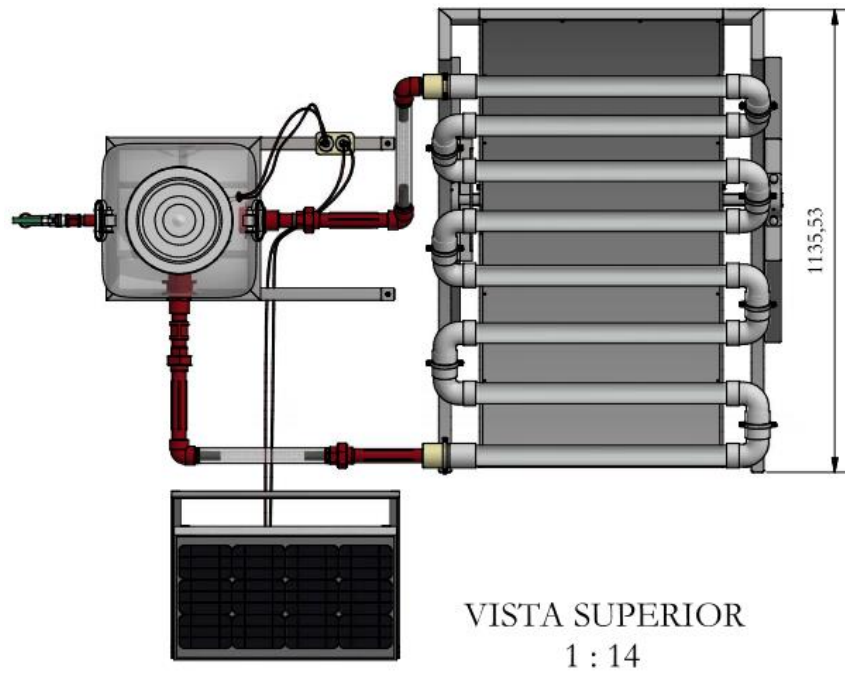


Figura 41. Vista superior del reactor

A continuación, se muestra la figura 42 con sus respectivas partes y la lista de materiales utilizada en la construcción del reactor se muestra en la tabla 13.

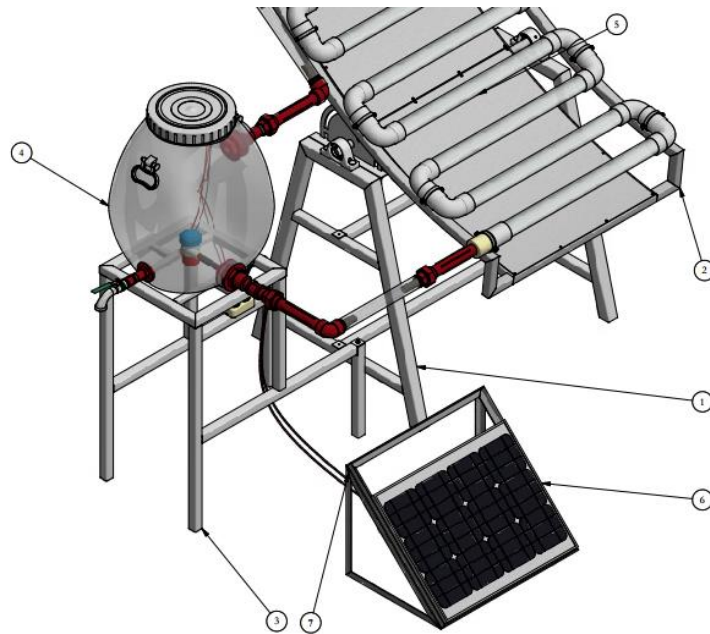


Figura 42. Vista 3D del reactor con sus respectivas partes

Tabla 13*Lista de materiales del reactor*

IDENTIFICACIÓN	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	MATERIAL
1	1,00	Bastidor Parábola	Tubería Cuadrada ASTM A 50 Gr
2	1,00	Parábola	Tubería Cuadrada ASTM A 50 Gr
3	1,00	Bastidor Depósito	Tubería Cuadrada ASTM A 50 Gr
4	1,00	Depósito Almacenamiento	Polietileno
5	1,00	Sistema de Tuberías	Borosilicato
6	1,00	Panel Fotovoltaico	Silicio Monocristalino
7	1,00	Bastidor Panel Fotovoltaico	Tubería Cuadrada ASTM A 50 Gr

Se muestra el sistema de tuberías en la figura 43 y la tabla 14 con la respectiva lista de materiales para la construcción de dicho sistema.

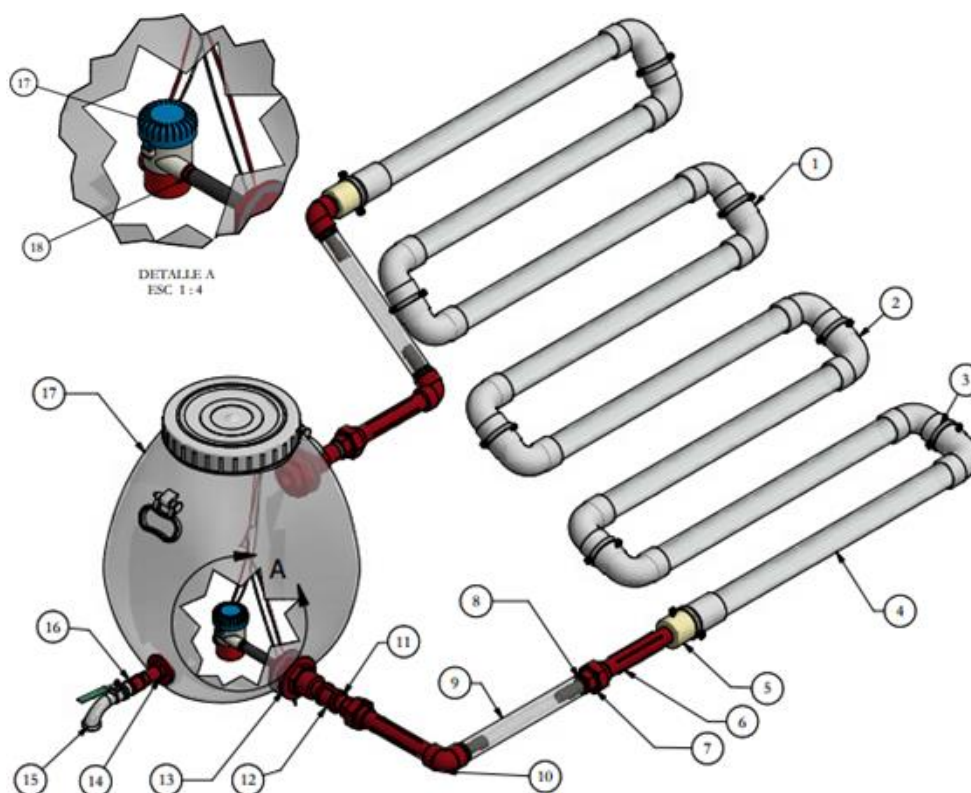
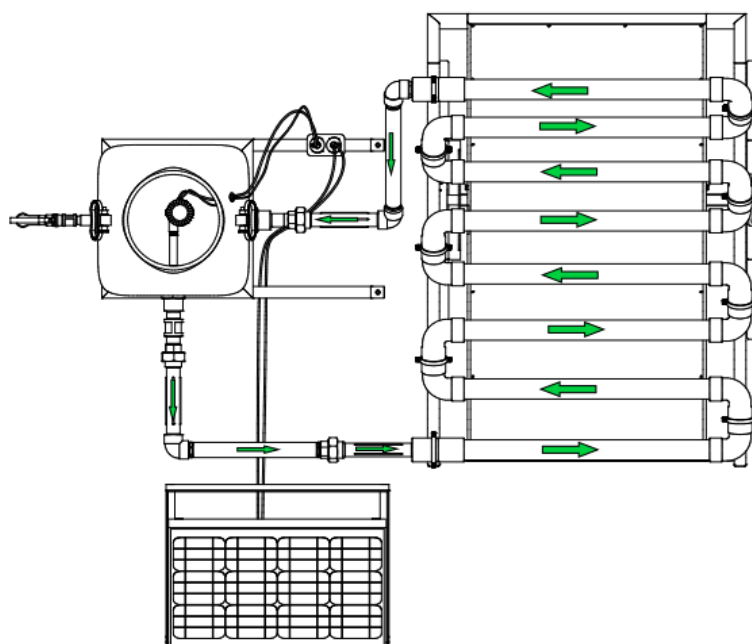
**Figura 43.** Sistema de tuberías del reactor

Tabla 14*Lista de materiales del sistema de tuberías del reactor*

IDENTIFICACIÓN	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN
1	9	Unión Pegable PVC - 2 in
2	14	Codo 90° Pegable PVC Macho - Hembra 2 in
3	9	Abrazadera Tipo Orquilla - 2 in
4	8	Tubería de Borosilicato - 2 in
5	2	Unión Pegable Macho 2 in - Roscada Hembra 1 in
6	3	Unión Pvc Roscado Macho 1 in x 6 in
7	3	Unión Tipo Universal Pvc Roscada Hembra 1 in
8	4	Unión Pvc Roscada 1 in- Manguera 1 in
9	2	Manguera de Poliuretano -1 in x 6 in
10	3	Codo 90 ° Pvc Roscado Hembra 1 in
11	4	Unión Pvc Roscado Macho 1 in x 2 in
12	2	Unión Pvc Roscado Hembra 1 in
13	2	Adaptador Roscado Pvc Hembra 1 in
14	1	Adaptador Roscado Pvc Hembra 1/2 in
15	1	Valve Ball 1/2 in
16	1	Unión Pvc Roscada Hembra 1/2 in
17	1	Bomba Sumergible Roscada 1/2 in
18	2	Unión Pvc Roscada 1/2 in- Hose 1/2 in

**Figura 44.** Sentido del flujo

Los materiales principales usados en este reactor son:

- ✓ Tuberías de cuarzo, 8 tuberías en total con longitud de 60 cm, diámetro de 5cm y 2 mm de espesor.
- ✓ Una bomba sumergible(1/2hp)
- ✓ Una parábola metálica
- ✓ Bases para la parábola y deposito metálicas
- ✓ Deposito con capacidad para 60 litros.
- ✓ Panel fotovoltaico
- ✓ Sistema de recirculación (7.5 l/min)

En el anexo 2 se adjuntan los respectivos planos del reactor.

2.5.1. Procedimiento experimental primera parte.

Para la parte experimental se tomaron en cuenta cuatro combinaciones, en cada combinación se hicieron muestras las cuales unas fueron expuestas al sol y las otras no con el objetivo de observar el comportamiento que ocasiona la luz solar en dichas muestras, este ensayo se realizó el día 29 de enero del 2018.

Primera combinación

Se hizo el análisis únicamente del agua destilada

Segunda combinación

Aquí se mezcló agua destilada más el dióxido de titanio

Tercera combinación

Se mezcló agua destilada y el antibiótico Ciprofloxacina

Cuarta combinación

Se mezcló agua destilada, el antibiótico Ciprofloxacina y el dióxido de titanio

Materiales utilizados en laboratorio:

- ✓ Envase oscuro de 1000ml
- ✓ Envase oscuro de 120ml

- ✓ Agua destilada
- ✓ Ciprofloxacina de 500mg
- ✓ Dióxido de titanio
- ✓ Pipeta de 10 ml
- ✓ Balanza electrónica
- ✓ Matraz aforado de 1000ml y de 100ml
- ✓ Vaso de precipitación y triturador
- ✓ Tubos de ensayo de 20 ml

2.5.1.1. Primera combinación

En esta parte se hizo el análisis del agua destilada utilizada, se colocó agua en un tubo de ensayo de 20ml, esto con la finalidad de observar la calidad de agua que se usó en los demás experimentos.

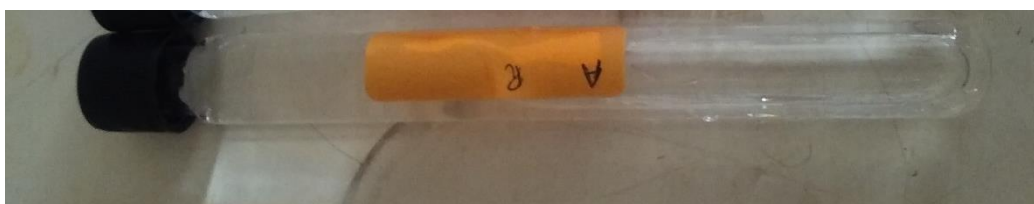


Figura 45. Muestra de agua destilada en tubo de ensayo de 20ml

2.5.1.2. Segunda combinación

En esta sección se realizó en la mezcla de agua destilada más el dióxido de titanio, ahora con la finalidad de observar si el dióxido de titanio estaba o no contaminado. Se expuso una muestra al sol y la otra no, cada muestra en su respectivo tubo de ensayo de 20ml



Figura 46. Agua destilada más dióxido de titanio

2.5.1.3. Procedimiento tercera combinación

Inicialmente se tomó el peso de 3 tabletas de Ciprofloxacina, de aquí se obtuvo un peso promedio en donde dicho peso equivale a 500mg de Ciprofloxacina.

Peso de tabletas:

$$p1 = 0,7902 \text{ gr}$$

$$p2 = 0,7955 \text{ gr}$$

$$p3 = 0,7993 \text{ gr}$$

Peso promedio=0,795 gr, esto equivale a 500mg de Ciprofloxacina

Para tomar el peso promedio se trituraron las 3 tabletas, como resultado se tiene las tabletas en polvo y de aquí se pesó hasta obtener el peso promedio.



Figura 47. Ciprofloxacina triturada



Figura 48. Peso promedio Ciprofloxacina

El siguiente paso fue hacer la respectiva mezcla del peso promedio de las tabletas en un litro de agua destilada en el frasco oscuro de 1 litro, una vez realizado esto, se obtienen las distintas concentraciones de 1ppm, 10ppm y 100ppm.



Figura 49. Agua destilada más peso promedio de Ciprofloxacina

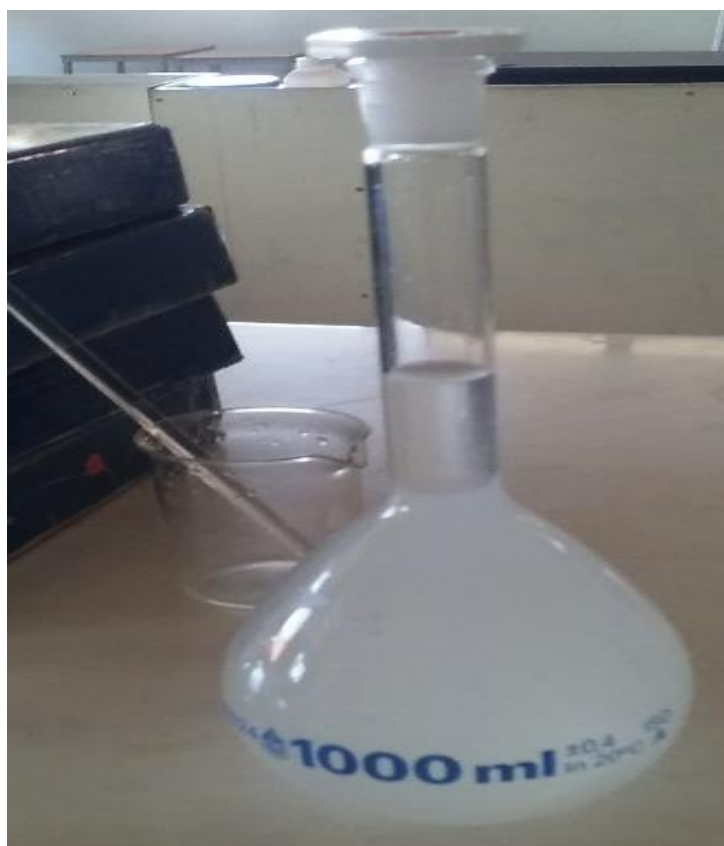


Figura 50. 1L de agua destilada más Ciprofloxacina

Procedimiento para cada una de las concentraciones de Ciprofloxacina de 1ppm, de 10ppm, y 100 ppm:

Para obtener las concentraciones de 1ppm, 10ppm y 100ppm, se realizaron los siguientes cálculos:

Para una concentración de 100ppm

$$V_1 \times C_1 = V_2 \times C_2$$

$$100ml \times 100ppm = V_2 \times 500ppm$$

$$V_2 = \frac{100ml \times 100ppm}{500} = 20ml$$

Los 20ml es la cantidad de agua que se tiene que tomar del matraz aforado de 1000 ml que tiene una cantidad de 1 litro de agua destilada y 500mg de Ciprofloxacina, este 20 ml se tiene que mezclar

con agua destilada hasta completar 100ml, para poder retirar exactamente 20 ml del frasco oscuro se hizo uso de la pipeta de 10 ml, retirando agua dos veces para colocar exactamente 20ml, esta agua se colocó en un matraz aforado de 100ml, y finalmente se completó los 100ml con agua destilada.



Figura 51. Procedimiento en matraz aforado 1L

Para una concentración de 10ppm

$$V_1 \times C_1 = V_2 \times C_2$$

$$100ml \times 10ppm = V_2 \times 100ppm$$

$$V_2 = \frac{100ml \times 10ppm}{100} = 10ml$$

Estos 10ml es la cantidad de agua que se toma del matraz aforado de 100ml, que contiene la dosificación de 100ppm, estos 10ml se tiene que mezclar con agua destilada hasta completar 100ml, esto se hizo con la pipeta, se retira 10ml del frasco de 100ppm, se coloca en un matraz aforador de 100ml y finalmente se completa con agua destilada hasta los 100ml.

Para una concentración de 1ppm

$$V1 \times C1 = V2 \times C2$$

$$100ml \times 1ppm = V2 \times 10ppm$$

$$V2 = \frac{100ml \times 1ppm}{10} = 10ml$$

Estos 10ml es la cantidad de agua que se toma del matraz aforado que contiene la dosificación de 10ppm, estos 10ml se tiene que mezclar con agua destilada hasta completar 100ml, la manera en que se hizo esto fue usando la pipeta, luego se colocó los 10 ml en un matraz aforador de 100ml y se completó hasta 100ml con agua destilada. Una vez terminado las dosificaciones, se coloca el agua en frascos oscuros, esto se hace con la finalidad de impedir los rayos UV entren directamente en la mezcla y se altere.

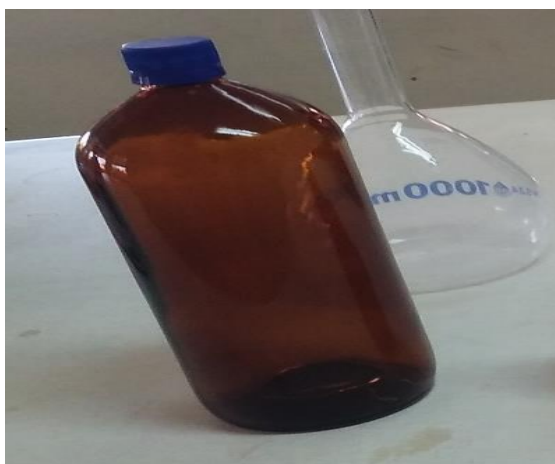


Figura 52. Frasco oscuro ámbar 1L



Figura 53. Agua destilada mas ciprofloxacina en 1ppm, 10ppm, y 100ppm

Finalmente se colocan las muestras en tubos de ensayo de 20ml, cabe mencionar que por cada dosificación se tendrá una muestra para exponer al sol y otra no, en la figura 55 se muestra las dosificaciones en tubos de ensayo, en total se tiene 6 muestras, dos por cada dosificación.



Figura 54. Tubos de ensayo de 20 ml con 1ppm, 10ppm y 100ppm

2.5.1.4. Procedimiento cuarta combinación

Exactamente se realiza el mismo procedimiento descrito en la segunda combinación, pero aquí se aumenta el dióxido de titanio.

En el frasco ámbar de 1 litro se mezcla agua destilada, los 500mg de Ciprofloxacina y 1 gr de dióxido de titanio.

A continuación, se indica el peso de las tabletas usadas en este ensayo.

$$p1 = 0,8005 \text{ gr}$$

$$p2 = 0,7759 \text{ gr}$$

$$p3 = 0,7861 \text{ gr}$$

Peso promedio = 0.7875 gr, esto equivale a 500mg de Ciprofloxacina

Se mezcló esta cantidad de Ciprofloxacina, junto con el dióxido de titanio y el agua destilada en el frasco ámbar de 1 litro, después se obtuvieron las respectivas concentraciones de 1ppm, 10ppm y 100ppm, el cálculo y el procedimiento en laboratorio para realizar esto es el mismo aplicado en la tercera combinación.

Una vez que se concluyó todas las combinaciones, se procedió a colocar los tubos de ensayos con las muestras seleccionadas a ser expuestas a la luz solar como se muestra en la figura 56.



Figura 55. Las 4 combinaciones recibiendo la luz solar

2.5.2. Procedimiento experimental segunda parte

Para esta parte del ensayo se utilizó el prototipo descrito en la sección, los ensayos realizados son los mismos que los que se describió en el procedimiento experimental primera parte, la diferencia es que esta vez, las dosificaciones serán mayores ya que se utilizó 40 litros de agua destilada en cada ensayo.

Primera combinación

Se hizo el análisis únicamente del agua destilada

Segunda combinación

Aquí se mezcló agua destilada más el dióxido de titanio

Tercera combinación

Se mezcló agua destilada y el antibiótico Ciprofloxacina

Cuarta combinación

Se mezcló agua destilada, el antibiótico Ciprofloxacina y el dióxido de titanio

2.5.2.1. Procedimiento primera combinación

Se hizo el análisis únicamente del agua destilada, esto con la finalidad de saber que tan buena es la calidad que ofrece el agua de los laboratorios Acorsa, la muestra se recogió en un tubo de ensayo, una muestra antes de exponer al sol y otra muestra después de ser sometida en el prototipo para tratamiento de aguas. Esta prueba se realizó el 9 de marzo del 2018.



Figura 56. Agua destilada pura



*Figura 57.*Muestras de agua destilada pura

2.5.2.2. Procedimiento segunda combinación

Aquí se mezcló agua destilada más el dióxido de titanio, se mezclaron 40 litros de agua destilada y 40 gramos de dióxido de titanio, se tomó dos muestras en tubos de ensayo, una antes de hacer la prueba y otra después. Esta prueba se realizó el 12 de marzo del 2018.



*Figura 58.*Segunda combinación en recirculación

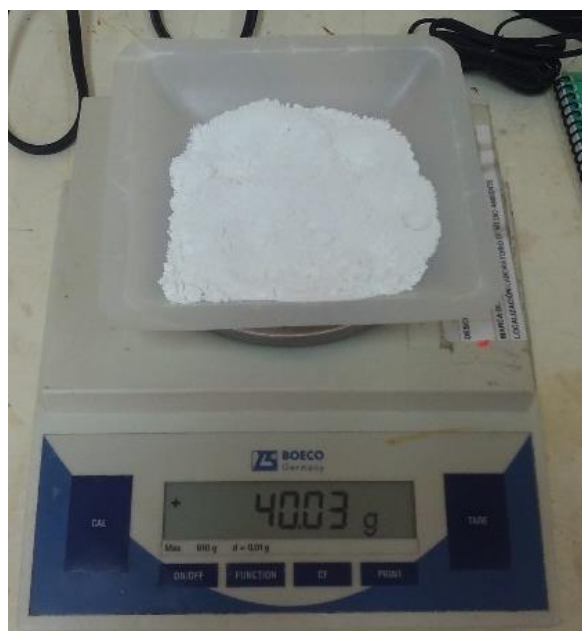


Figura 59. Dióxido de titanio (40 gr)

2.5.2.3. Procedimiento tercera combinación

Para este ensayo se realizó concentraciones de Ciprofloxacina de 10mg y 50 mg. Anteriormente la dosificación de la cual se procedía a realizar las distintas concentraciones es de 1 litro de agua destilada, 500 mg de Ciprofloxacina, ahora para este análisis en el prototipo se parte de que 1 litro de agua tiene 10 mg de Ciprofloxacina para la dosificación de 10mg, y para 50 mg se parte de que en 1 litro de agua se tiene 50mg de Ciprofloxacina, a continuación se presenta el respectivo cálculo en 40 litros de agua para la concentración de 10mg y 50 mg.

$$1L \text{ --- --- --- --- } 10mg$$

$$40L \text{ --- --- --- --- } X$$

$$40L \times 10mg = 1L \times D$$

$$X = \frac{40L \times 10mg}{1L} = 400mg \text{ de ciprofloxacina}$$

$$1L \text{ --- --- --- } 50mg$$

$$40L \text{ --- --- --- } X$$

$$X = \frac{40L \times 50mg}{1L} = 2000mg \text{ de ciprofloxacina}$$

A continuación, se presenta el peso de las tabletas utilizadas para este ensayo

$$p1 = 0.7829 \text{ gr}$$

$$p2 = 0.7882 \text{ gr}$$

$$p3 = 0.7897 \text{ gr}$$

$$p4 = 0.8000 \text{ gr}$$

$$p5 = 0.8080 \text{ gr}$$

$$p6 = 0.7813 \text{ gr}$$

$$p7 = 0.7746 \text{ gr}$$

$$\text{Peso promedio} = 0.789 \text{ gr}$$

Ahora con este peso promedio se obtiene una relación la cual nos ayudara a obtener cuanto peso se debe tener para las concentraciones de 10mg y 50mg utilizadas en los 40 litros de agua destilada.

Para la concentración de 10mg:

$$0.789 \text{ gr --- --- --- } 500mg$$

$$X \text{ --- --- --- } 400mg$$

$$X = \frac{400mg \times 0.789g}{500mg} = 0.632 \text{ g de ciprofloxacina}$$



Figura 60. Peso de Ciprofloxacina para 10mg

Para la concentración

de 50mg:

$$\begin{array}{r}
 0.789g \text{ --- --- ---} 500mg \\
 X \text{ --- --- ---} 2000mg \\
 X = \frac{2000mg \times 0.789g}{500mg} = 3.156 g \text{ de ciprofloxacina}
 \end{array}$$



Figura 61. Peso de ciprofloxacina para 50mg

Una vez obtenido los respectivos cálculos, se procede a mezclar los 40 litros de agua destilada más el peso de las tabletas para las concentraciones de 10mg y 50 mg. estas pruebas se realizaron los días 13 y 14 de marzo del 2018.



Figura 62. Tercera combinación en recirculación

2.5.2.4. Procedimiento cuarta combinación

Para este ensayo se realizó el mismo procedimiento que en la tercera combinación, pero a diferencia que se agregó el dióxido de titanio, se colocó una cantidad de titanio de 1gr/l, es decir 40 gramos de dióxido de titanio en los 40 litros de agua, las pruebas se realizaron los días 15 y 16 de marzo del 2018, con las concentraciones de 10mg y 50 mg del antibiótico Ciprofloxacina respectivamente.



Figura 63. Cuarta combinación en recirculación

Antes de empezar las pruebas en el prototipo, se retiraba 20 ml de agua, se colocaba en tubos de ensayo y esto fue transportado al laboratorio para su respectivo análisis, esto se hizo en todas las pruebas para las muestras no expuestas al sol y una vez haya finalizado el procedimiento de fotocatalisis heterogénea, se llenó tubos de ensayo de 20ml, los mismos que fueron transportados al laboratorio con el fin de ser analizadas y observar como afectaba después de dicho procedimiento.

El agua destilada, se consiguió en canecas de 20 litros, las cuales fueron compradas en los laboratorios Acorsa, ubicados en Conocoto en la Urbanización San José del valle.

2.5.3. Pruebas en laboratorio

Para determinar si la fotocatalisis heterogénea, funciona en la degradación del antibiótico Ciprofloxacina, se realizó un antibiograma, esto se hizo debido a que en nuestro país no hay un laboratorio que haga la cuantificación de antibióticos en aguas residuales, el antibiograma consiste en determinar la sensibilidad de bacterias ante la presencia de un antibiótico específico, para nuestro se usó una bacteria sensible a la Ciprofloxacina.

Según (EUCAST, 2012) los pasos para realizar un antibiograma por el método de difusión

Son los siguientes:

- 1) Selección de la colonia de bacterias sensibles a la Ciprofloxacina
- 2) Preparación del inóculo
- 3) Inoculación en el agar de Muller Hinton, esto se lo realiza con un isopo se lo realiza esparciendo en varias direcciones, y dejar secar alrededor de 20min
- 4) Luego de esto se colocan los Sensidiscos, los cuales contienen el antibiótico Ciprofloxacina, en este sensidisco se colocó, cada una de las muestras que se realizaron en el laboratorio, es decir en cada sensidisco se impregno las muestras que fueron expuestas al sol y las que no.
- 5) Incubación de las placas, esto se realiza en una estufa a una temperatura aproximadamente de 35°C, entre 16 y 20 horas.
- 6) Interpretación de halos de inhibición.

2.5.4. Análisis en laboratorio

Para determinar si el antibiótico Ciprofloxacina fue destruido, se realizó un antibiograma como se explica en la sección 2.13.2.

4. CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Resultados y comparación con el TULSMA

Una vez realizado los análisis de laboratorio, se conoció los resultados, estos deben ser comparados con la ley de legislación ambiental (TULSMA), para así reconocer si se está o no presenta ante un agua contaminada.

A continuación, se presenta los resultados en las tablas 15, 16,17 del punto 1, punto 2 y punto 3 respectivamente con la verificación correspondiente a los límites permisibles máximos para aguas de uso agrícola con la normativa del TULSMA.

Tabla 15

Comparación de resultados en el punto 1

Ensayo	Unidades	Resultado	Límite máximo permisible	Verificación
Aceites y Grasas	mg/l	<30.0	0.3	no cumple
Coliformes Totales	NMP/100ml	2840	1000	no cumple
Bario	mg/l	<0.100	1.0	cumple
Cadmio	mg/l	<0.010	0.01	cumple
Cobaltio	mg/l	<0.030	0.05	cumple
Cobre	mg/l	<0.020	2.0	cumple
Potencial de hidrógeno		6.9	6-9	cumple
Cromo	mg/l	<0.010	0.10	cumple
Hierro	mg/l	0.234	5	cumple
Mercurio	mg/l	<0.005	0.001	no cumple
Plata	mg/l	<0.010	0.05	cumple
Plomo	mg/l	<0.050	0.05	cumple
Zinc	mg/l	<0.010	2.0	cumple

Tabla 16
Comparación de resultados en el punto 2

Ensayo	Unidades	Resultado	Límite máximo permisible	Verificación
Aceites y Grasas	mg/l	<30.0	0.3	no cumple
Coliformes Totales	NMP/100ml	4790	1000	no cumple
Bario	mg/l	<0.100	1.0	cumple
Cadmio	mg/l	<0.010	0.01	cumple
Cobalto	mg/l	<0.030	0.05	cumple
Cobre	mg/l	<0.020	2.0	cumple
Potencial de hidrógeno(Ph)		6.5	6-9	cumple
Cromo	mg/l	<0.010	0.10	cumple
Hierro	mg/l	0.256	5	cumple
Mercurio	mg/l	<0.005	0.001	no cumple
Plata	mg/l	<0.010	0.05	cumple
Plomo	mg/l	<0.050	0.05	cumple
Zinc	mg/l	<0.010	2.0	cumple

Tabla 17
Comparación de resultados en el punto 3

Ensayo	Unidades	Resultado	límite máximo permisible	Verificación
Aceites y Grasas	mg/l	<30.0	0.3	no cumple
Coliformes Totales	NMP/100ml	6590	1000	no cumple
Bario	mg/l	<0.100	1.0	cumple
Cadmio	mg/l	<0.010	0.01	cumple
Cobalto	mg/l	<0.030	0.05	cumple
Cobre	mg/l	<0.020	2.0	cumple
Potencial de hidrógeno(Ph)		6.2	6-9	cumple
Cromo	mg/l	<0.010	0.10	cumple
Hierro	mg/l	3.65	5	cumple
Mercurio	mg/l	<0.005	0.001	no cumple
Plata	mg/l	<0.010	0.05	cumple
Plomo	mg/l	<0.050	0.05	cumple
Zinc	mg/l	<0.010	2.0	cumple

También se comparó con los límites permisibles para los criterios de calidad admisibles para la preservación de la flora y fauna en agua dulce fría de la normativa TULSMA.

Tabla 18

Comparación de resultados para los límites permisibles en cuerpos de agua dulce en el punto 1

Parámetros	Unidad	Resultado	Límite máximo permisible	Verificación
Bario	mg/l	<0.100	1,0	cumple
Cadmio	mg/l	<0.010	0,001	no cumple
Zinc	mg/l	<0.010	0,18	cumple
Cobalto	mg/l	<0.030	0,2	cumple
Cobre	mg/l	<0.020	0,02	cumple
Cromo	mg/l	<0.010	0,05	cumple
Grasas y aceites	mg/l	<30.0	0,3	cumple
Hierro	mg/l	0.234	0,3	cumple
Mercurio	mg/l	<0.005	0,0002	no cumple
Plata	mg/l	<0.010	0,01	cumple
Coliformes Fecales	nmp/100 ml	2840	Máxima 200	no cumple
Potencial de Hidrógeno(Ph)		6.8	6.5-9	cumple

Tabla 19

Comparación de resultados para los límites permisibles en cuerpos de agua dulce en el punto 2

Parámetros	Unidad	Resultado	Límite máximo permisible	Verificación
Bario	mg/l	<0.100	1,0	cumple
Cadmio	mg/l	<0.010	0,001	no cumple
Zinc	mg/l	<0.010	0,18	cumple
Cobalto	mg/l	<0.030	0,2	cumple
Cobre	mg/l	<0.020	0,02	cumple
Cromo	mg/l	<0.010	0,05	cumple
Grasas y aceites	mg/l	<30.0	0,3	cumple
Hierro	mg/l	0.256	0,3	cumple
Mercurio	mg/l	<0.005	0,0002	no cumple
Plata	mg/l	<0.010	0,01	cumple
Coliformes Fecales	nmp/100 ml	4790	Máxima 200	no cumple
Potencial de Hidrógeno(Ph)		6.8	6.5-9	cumple

Tabla 20

Comparación de resultados para los límites permisibles en cuerpos de agua dulce en el punto 2

Parámetros	Unidad	Resultado	Límite máximo permisible	Verificación
Bario	mg/l	<0.100	1,0	cumple
Cadmio	mg/l	<0.010	0,001	no cumple
Zinc	mg/l	<0.010	0,18	cumple
Cobalto	mg/l	<0.030	0,2	cumple
Cobre	mg/l	<0.020	0,02	cumple
Cromo	mg/l	<0.010	0,05	cumple
Grasas y aceites	mg/l	<30.0	0,3	cumple
Hierro	mg/l	3.65	0,3	no cumple
Mercurio	mg/l	<0.005	0,0002	no cumple
Plata	mg/l	<0.010	0,01	cumple
Coliformes Fecales	nmp/100 ml	6590	Máxima 200	no cumple
Potencial de Hidrógeno(PH)		6.8	6.5-9	cumple

3.2. Procedimiento experimental primera parte

Para empezar, se realizaron prácticas únicamente exponiendo las muestras, cada una con su respectiva combinación, a la luz solar, las muestras estuvieron expuestas por 2 horas. A continuación de muestra la tabla 21 sobre los resultados obtenidos en la muestra.

Tabla 21

Irradiancia solar primera prueba

Hora	Irradiancia (W/m ²)
13:00	1221
13:05	1105
13:10	846
13:15	727
13:20	454
13:25	979
13:30	1112
13:35	923
13:40	810
13:45	794
13:50	627
13:55	944
14:00	1179

→ CONTINÚA

14:05	1031
14:10	1204
14:15	1058
14:20	1007
14:25	959
14:30	680
14:35	797
14:40	903
14:45	1015
14:50	1205
14:55	1220
15:00	1104

Tabla 22*Resultados obtenidos en la primera prueba*

CARACTERÍSTICAS	CONDICIÓN	RESULTADO
Agua	Sin radiación	20000 col/ml
Agua	Con radiación	Resistente
Agua más dióxido de titanio	Sin radiación	80000 col/cc
Agua más dióxido de titanio	Con radiación	Resistente
Agua más ciprofloxacina(1ppm)	Sin radiación	Resistente
Agua más ciprofloxacina(1ppm)	Con radiación	Resistente
Agua más ciprofloxacina(10ppm)	Sin radiación	Halo 5mm
Agua más ciprofloxacina(10ppm)	Con radiación	Resistente
Agua más ciprofloxacina(100ppm)	Sin radiación	Halo 7mm
Agua más ciprofloxacina(100ppm)	Con radiación	Halo 7mm
Agua más ciprofloxacina(1ppm)+dióxido de titanio	Sin radiación	Resistente
Agua más ciprofloxacina(1ppm)+dióxido de titanio	Con radiación	Resistente
Agua más ciprofloxacina(10ppm)+dióxido de titanio	Sin radiación	Resistente
Agua más ciprofloxacina(10ppm)+dióxido de titanio	Con radiación	Resistente
Agua más ciprofloxacina(100ppm)+dióxido de titanio	Sin radiación	Halo 7mm
Agua más ciprofloxacina(100ppm)+dióxido de titanio	Con radiación	Halo 4mm

En los resultados mostrados existen unos cuantos que llaman la atención, se los presenta a continuación en la tabla 22.

Tabla 23*Resultados principales*

CARACTERÍSTICAS	CONDICIÓN	RESULTADO
Agua más ciprofloxacina(10ppm)	Sin radiación	Halo 5mm
Agua más ciprofloxacina(10ppm)	Con radiación	Resistente
Agua más ciprofloxacina(100ppm)	Sin radiación	Halo 7mm
Agua más ciprofloxacina(100ppm)	Con radiación	Halo 7mm
Agua más ciprofloxacina(100ppm)+dióxido de titanio	Sin radiación	Halo 7mm
Agua más ciprofloxacina(100ppm)+dióxido de titanio	Con radiación	Halo 4mm

La muestra de agua más Ciprofloxacina (10ppm), presenta un halo de 5mm cuando no se está expuesto a la luz solar y un resultado resistente, cuando fue expuesta al sol.

La muestra de agua más Ciprofloxacina (100ppm), el resultado es el mismo cuando la muestra es expuesta al sol y cuando no.

La muestra de agua más Ciprofloxacina (100ppm) más dióxido de titanio, se tiene un halo de 7 mm sin radiación y con radiación presenta un halo de 4mm.

En las muestras se puede observar algo interesante, el halo de inhibición es en donde existe crecimiento bacteriano alrededor del disco de antibiótico lo cual significa que entre mayor sea el halo se tiene más crecimiento de las bacterias, el término resistente significa que no tiene halo, por lo tanto, las bacterias pueden crecer alrededor del disco de antibiótico. En resumen, en las muestras de agua más Ciprofloxacina (10ppm), se ve una disminución del halo por lo que se puede concluir que el antibiótico ha sido destruido por la influencia de la luz solar y en la muestra de agua más Ciprofloxacina (100ppm) más dióxido de titanio sucede lo mismo, lo que quiere decir que como premisa de este estudio se tiene un resultado a favor, que nos está indicando que la fotocatalisis heterogénea esta funcionando contra los antibióticos.

3.3. Proceso de fotocatalisis heterogénea

Para empezar las prácticas, el prototipo disponible para realizar el proceso de fotocatalisis, se ubicó en el valle de los chillos, en la Urb. San Rafael, las coordenadas UTM de la ubicación son (785014.81, 9966222.98) m.

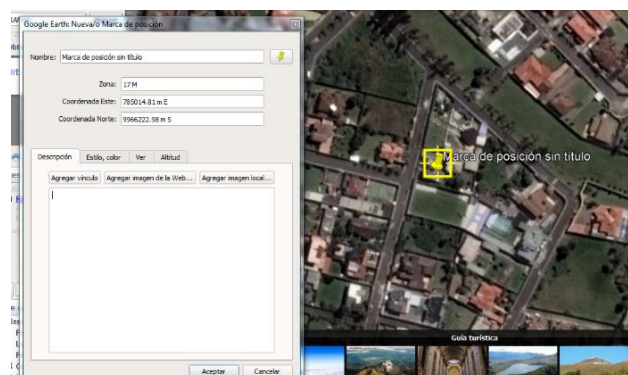


Figura 64. Ubicación del reactor

Fuente: (Google Earth, 2018)

3.3.1. Agua destilada pura

La prueba en agua destilada se realizó el día 9 de marzo del 2018, durante una hora, y estuvo funcionando correctamente, a continuación, se muestra la irradiancia solar a la que estuvo expuesto el tratamiento de aguas.

Tabla 24

Irradiancia del día 9 de marzo del 2018

Hora	Irradiancia (W/m ²)
14:00	837
14:05	578
14:10	1031
14:15	679
14:20	1203
14:25	908
14:30	1159
14:35	1317
14:40	1083
14:45	926
14:50	550
14:55	693
15:00	1178

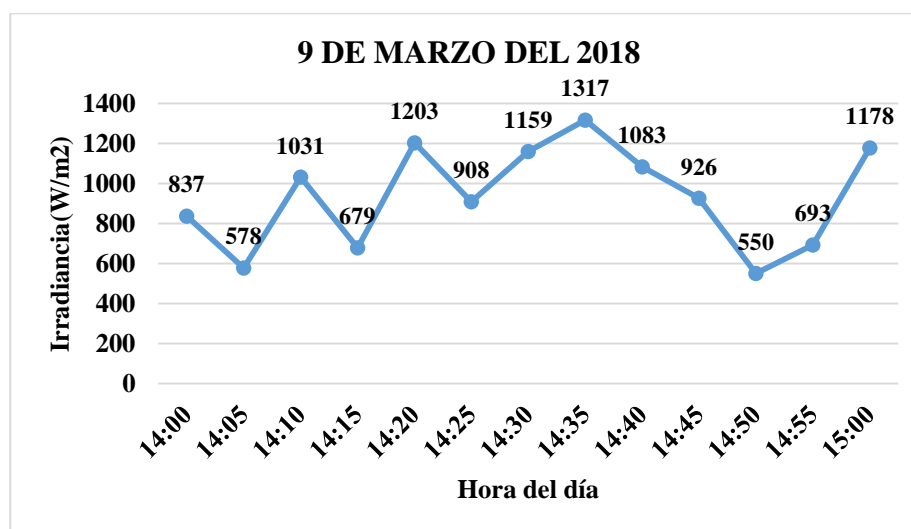


Figura 65. Gráfico irradiancia vs hora del día 9 de marzo del 2018

3.3.2. Agua destilada más dióxido de titanio

Esta prueba se realizó el día 12 de marzo del 2018, a continuación, se muestra la irradiancia solar a la que estuvo expuesto el tratamiento de aguas.

Tabla 25

Irradiancia del día 12 de marzo del 2018

Hora	Irradiancia (W/m ²)
14:00	772
14:05	929
14:10	846
14:15	671
14:20	525
14:25	652
14:30	420
14:35	1127
14:40	1249
14:45	843
14:50	941
14:55	720
15:00	918

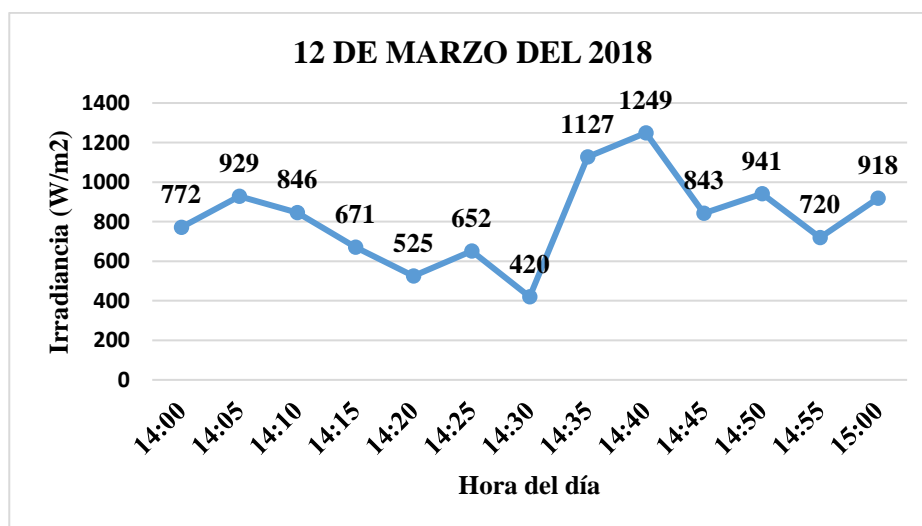


Figura 66. Gráfico irradiancia vs hora del día 12 de marzo del 2018

3.3.3. Agua destilada más Ciprofloxacina

En esta prueba se realizó la mezcla de agua destilada más el antibiótico Ciprofloxacina, en las respectivas concentraciones de 10mg y 50mg, las pruebas se realizaron en días diferentes, la concentración de 10mg se llevó a cabo el día 13 de marzo y la concentración de 50 mg se llevó a cabo el día 14 de marzo del 2018. A continuación se muestra la irradiancia en ambos días en las tablas 26 y 27.

Tabla 26

Irradiancia del día 13 de marzo del 2018

13 DE MARZO DEL 2018	
Hora	Irradiancia (W/m ²)
14:00	238
14:05	387
14:10	124
14:15	520
14:20	463
14:25	394
14:30	562
14:35	716
14:40	117
14:45	181
14:50	532
14:55	679
15:00	511

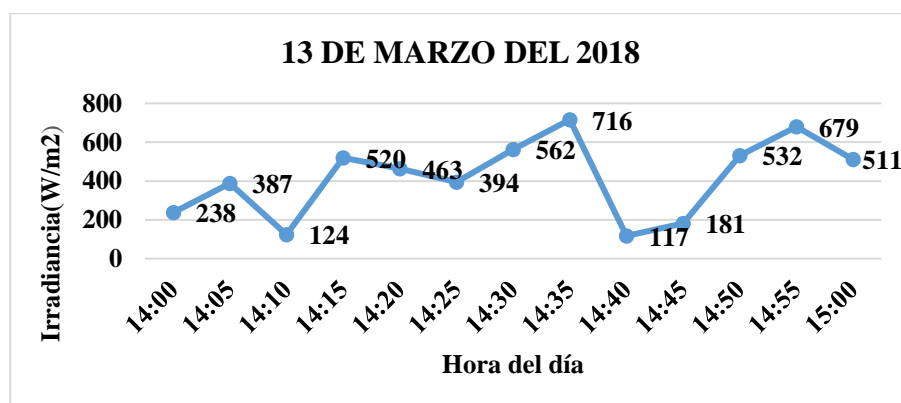
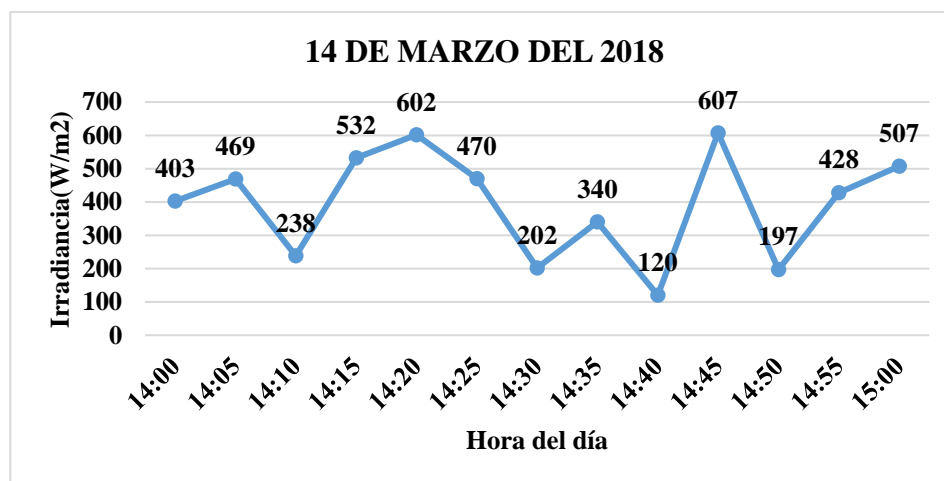


Figura 67. Gráfico irradiancia vs hora del día 13 de marzo del 2018

Tabla 27*Irradiancia del día 14 de marzo del 2018*

14 DE MARZO DEL 2018	
Hora	Irradiancia (W/m ²)
14:00	403
14:05	469
14:10	238
14:15	532
14:20	602
14:25	470
14:30	202
14:35	340
14:40	120
14:45	607
14:50	197
14:55	428
15:00	507

*Figura 68.* Gráfico irradiancia vs hora del día 14 de marzo del 2018

3.3.4. Agua destilada, Ciprofloxacina y dióxido de titanio

Aquí se combinó las concentraciones de Ciprofloxacina de 10mg y 50 mg más el dióxido de titanio, esto se realizó en los días 15 de marzo para la concentración de 10mg y 16 de marzo para la concentración de 50mg.

Tabla 28

Irradiancia del día 15 de marzo del 2018

15 DE MARZO DEL 2018	
Hora	Irradiancia (W/m ²)
14:00	107
14:05	503
14:10	464
14:15	259
14:20	306
14:25	874
14:30	702
14:35	410
14:40	478
14:45	219
14:50	320
14:55	478
15:00	426

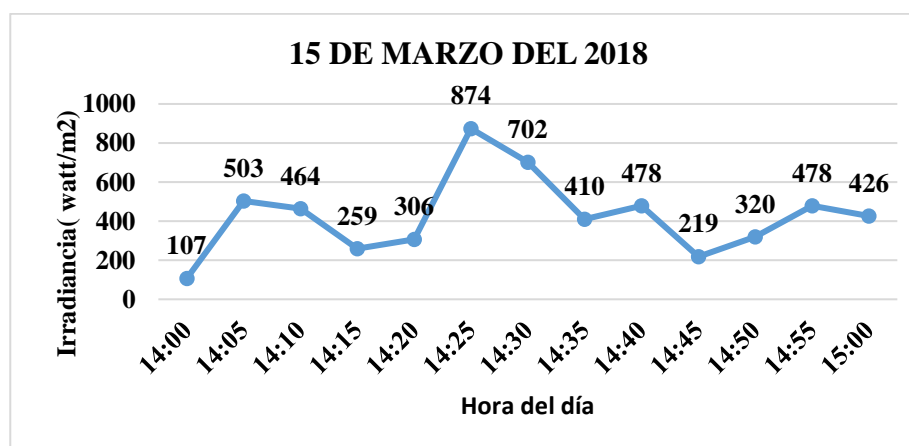
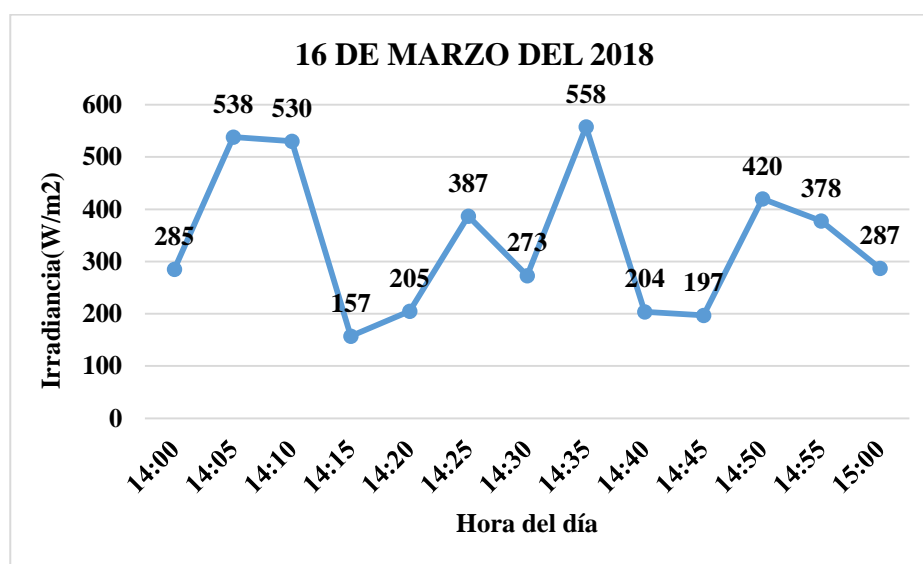


Figura 69. Gráfico irradiancia vs hora del día 15 de marzo del 2018

Tabla 29*Irradiancia del día 16 de marzo del 2018*

16 DE MARZO DEL 2018	
Hora	Irradiancia (W/m ²)
14:00	285
14:05	538
14:10	530
14:15	157
14:20	205
14:25	387
14:30	273
14:35	558
14:40	204
14:45	197
14:50	420
14:55	378
15:00	287

*Figura 70.* Gráfico irradiancia vs hora del día 16 de marzo del 2018

3.3.5. Resultados de todas las prácticas en prototipo CCP

Tabla 30

Resultados de las muestras en reactor CCP

CARACTERÍSTICAS	CONDICIÓN	RESULTADO
Agua	Sin radiación	sin halo
Agua	Con radiación	sin halo
Agua + dióxido de titanio	Sin radiación	sin halo
Agua + dióxido de titanio	Con radiación	sin halo
Agua + ciprofloxacina(10mg)	Sin radiación	halo 13 mm
Agua + ciprofloxacina(10mg)	Con radiación	halo 15 mm
Agua+ ciprofloxacina(50mg)	Sin radiación	halo 20 mm
Agua + ciprofloxacina(50mg)	Con radiación	halo 22 mm
Agua + ciprofloxacina(10mg)+dióxido de titanio	Sin radiación	halo 16 mm
Agua + ciprofloxacina(10mg)+dióxido de titanio	Con radiación	halo 20 mm
Agua + ciprofloxacina(50mg)+dióxido de titanio	Sin radiación	halo 23 mm
Agua + ciprofloxacina(50mg)+dióxido de titanio	Con radiación	halo 26 mm

En las pruebas realizadas con el reactor CCP, se tiene resultados sin halo, lo cual indica que el que no hay contaminación, es decir se puede realizar las siguientes pruebas normalmente.

Al realizar las correspondientes combinaciones, no se tuvo los resultados esperados esto sucedió debido a la radiación solar y a la contaminación del prototipo, cabe mencionar que este aparato no se encontraba respectivamente esterilizado como los tubos de ensayo en el cual la pruebas dieron un resultado positivo.

3.3.6. Pruebas finales

En vista que se tuvo resultados no deseados con el prototipo, lo que se realizó por última vez fue realizar la prueba utilizando los tubos de ensayo de 20ml, igual con las mismas concentraciones de 10mg y 50mg de Ciprofloxacina y el dióxido de titanio.

Las pruebas fueron realizadas el día 23 de marzo del 2018. A continuación se presenta la tabla 31 con los valores de la irradiancia solar de este día.

Tabla 31*Irradiancia del día 23 de marzo del 2018*

23 DE MARZO DEL 2018	
Hora	Irradiancia (W/m ²)
14:00	1104
14:05	1204
14:10	979
14:15	1137
14:20	875
14:25	928
14:30	742
14:35	992
14:40	839
14:45	758
14:50	720
14:55	1238
15:00	1148

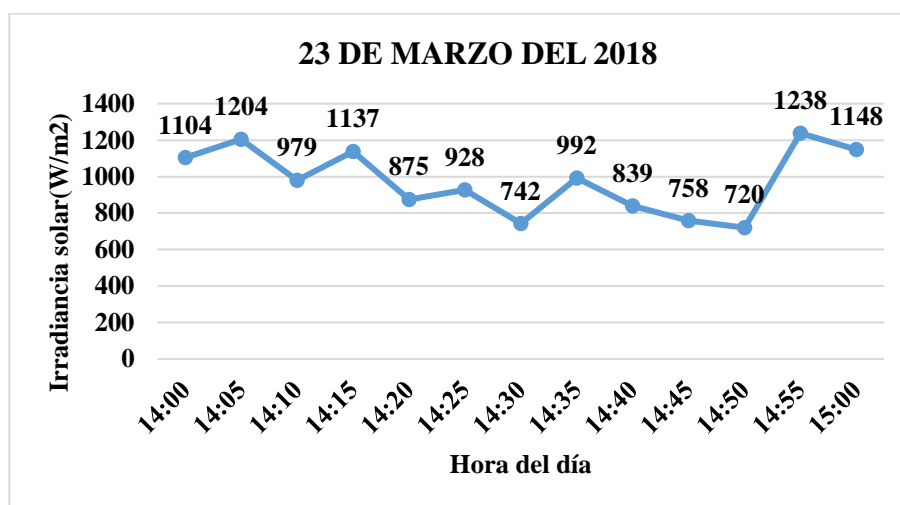
*Figura 71. Irradiancia vs hora del día 23 de marzo del 2018*

Tabla 32*Resultados de pruebas finales*

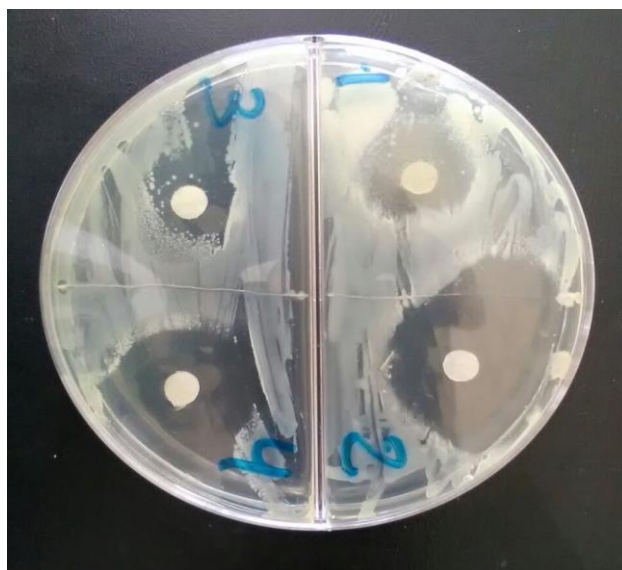
CARACTERÍSTICAS	CONDICIÓN	RESULTADO
Agua + ciprofloxacina(10mg)+dióxido de titanio	Sin radiación	Halo 17mm
Agua + ciprofloxacina(10mg)+dióxido de titanio	Con radiación	Halo 9mm
Agua + ciprofloxacina(50mg)+dióxido de titanio	Sin radiación	Halo 30mm
Agua + ciprofloxacina(50mg)+dióxido de titanio	Con radiación	Halo 17mm

Según los resultados de este análisis, se puede observar que los halos de inhibición disminuyeron, por lo tanto, se puede concluir que el antibiótico fue degradado al ser expuesto al sol y mezclado con el dióxido de titanio.

Tabla 33*Porcentaje de degradación de la Ciprofloxacina*

COMBINACIÓN	Halo de inhibición(mm) (sin radiación)	Halo de inhibición(mm) (con radiación)	Porcentaje de degradación (%)
A+C+T(10mg)	17	9	47,06
A+C+T(50mg)	30	17	43,33

Se puede observar una degradación del antibiótico que oscila alrededor del 50%.

**Figura 72.** Halos de inhibición prueba final

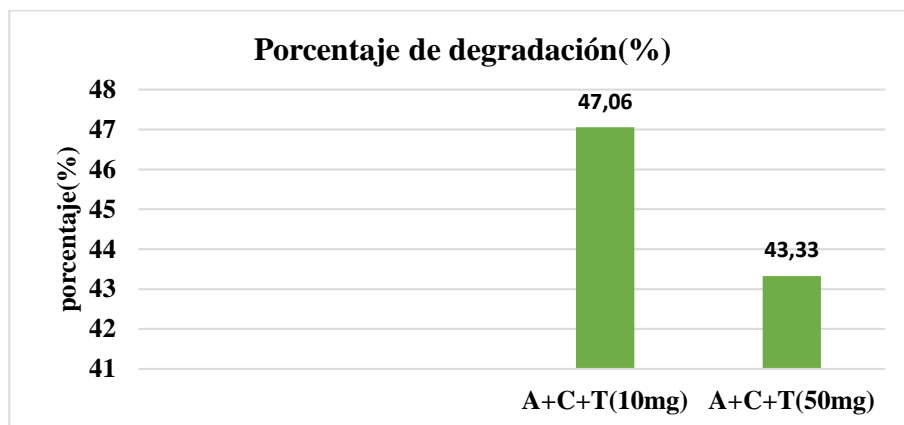


Figura 73. Porcentaje de degradación (%)

3.4. PRESUPUESTO

A continuación, en la tabla 34 se detalla los gastos realizados para lograr la construcción del reactor.

Tabla 34

Presupuesto para la construcción del reactor CCP

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	PRECIO(\$)	TOTAL(\$)
9	Unión Pegable PVC - 2 in	1,19	10,71
14	Codo 90° Pegable PVC Macho - Hembra 2 in	1,29	18,06
8	Tubería de Borosilicato - 2 in	100	800
2	duralon	40	80
3	Unión Pvc Roscado Macho 1 in x 6 in	1,59	4,77
3	Unión Tipo Universal Pvc Roscada Hembra 1 in	3,89	11,67
4	Unión Pvc Roscada 1 in- Manguera 1 in	0,45	1,8
2	Manguera de Poliuretano -1 in x 6 in	5	10
3	Codo 90 ° Pvc Roscado Hembra 1 in	1,56	4,68
1	Tanque(incluye accesorios)	100	100
1	Panel solar	700	700
1	Parábola y bases metálicas (mano de obra y materiales)	300	300
GASTO TOTAL			2041,69

5. CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. CONCLUSIONES

- Finalmente se pudo determinar que la aplicación de la fotocatalisis heterogénea con dióxido de titanio degrada el antibiótico Ciprofloxacina, su porcentaje de degradación para la concentración de 50 mg fue de 47.06% y para la concentración de 10mg fue del 43.33%, es decir casi alrededor del 50% de degradación.
- Debido a los bajos valores de irradiancia solar en los análisis con el reactor (CCP) no hubo una reducción del antibiótico Ciprofloxacina cuando se mezcló con el dióxido de titanio, ya que si bien se obtuvo un valor de irradiancia de 874 W/m² y 558 W/m² en los dos días de prácticas que son suficientes para activar el TiO_2 , estos valores solo aparecieron por un instante el resto de tiempo de la practica fue una irradiancia muy baja, y como se pudo observar en las pruebas finales los valores deben ser constantes y altos durante el tiempo de la prueba.
- En el muestreo de aguas residuales se puede observar que existe contaminación, debido a que no se cumplen con los límites permisibles establecidos por el TULSMA.

4.2. RECOMENDACIONES

- Debido a que el análisis para determinar la degradación de los residuos hospitalarios es el cultivo de bacterias, los tubos de ensayo donde se realizan las pruebas tienen que estar esterilizados, de la misma manera el prototipo (CCP) tiene que estar correctamente limpio, antes de cada prueba realizada, para que al momento de realizar dichos análisis en el laboratorio no exista alteraciones.
- Cuando no exista suficiente luz solar para realizar el tratamiento de aguas con fotocatalisis heterogénea se pueden emplear lámparas UV, las cuales reemplazan a la luz solar y son capaces de activar el fotocatalizador (TiO_2).
- La fotocatalisis heterogénea, puede ser una buena alternativa de tratamiento de aguas residuales hospitalarias, debido a que el costo de una planta de tratamiento es muy elevado, con este sistema el costo se reduciría.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Alvariño, C. R. (2008). *Aguas residuales generadas en hospitales*. Ingeniería hidráulica y ambiental.
- Cercenado, E. (2009). *El antibiograma. Interpretación del antibiograma: conceptos generales (I)*. EUCAST. (2012). *Método de difusión con discos para el estudio de la sensibilidad a los antimicrobianos*.
- Fernández, M. B. (2018). *Fotocatálisis y su capacidad descontaminante. Aplicación en Gran Vía*. 6.
- Garcés, L. (2004). *La fotocatalisis como alternativa para el tratamiento*. Lasallista de Investigación, 83-92.
- García, L. E. (2016). *Materiales Fotocatalíticos y sus aplicaciones en construcción*. 28.
- Ibañez, P. F. (2010). *Procesos de fotocatalisis solar para la detoxificación y descontaminación de aguas*. TECNIA.
- Instituto nacional de estadística y censos. (2014).
- Jiménez, C. (2011). *Contaminantes orgánicos emergentes en el ambiente: productos farmaceuticos*. Revista Lasallista de Investigación, 143-153.
- Liu, R. (2012). *Synthesis and Bactericidal Ability of TiO₂ and Ag-TiO₂ Prepared by Coprecipitation Method*. 7.
- Olleros, J. C. (2013). *Aplicación de la fotocatalisis solar a la degradación de contaminantes orgánicos en fase acuosa con catalizadores nanoestructurados de TiO₂*.
- Ouzzine, M. (2014). *Materiales usados en nanoparticulas de TiO₂ para la oxidación fotocatalítica de propeno en fase gas a baja concentración*. 66-67.
- Padilla, A. M. (2012). *Principio activo fotocatalítico contra la contaminación. Ejemplo de edificios construidos*.
- Paredes, C. (2012). *Diseño de captador solar cilíndrico parabólico para aplicaciones rurales en Paraguay*.
- Rainwater, L. (2008). *Fármacos en el agua: ¿la primavera silenciosa del siglo XXI?*. Waterkeeper Magazine.
- Rodríguez, S. (2015). *Presencia de antibióticos y de genes de resistencia en aguas residuales de hospital y de una depuradora urbana y su impacto en el río*. Water Research, 69.

Schwaiger. (2004). *Toxic effects of the non-steroidal anti-inflammatory drug diclofenac: Part I: histopathological alterations and bioaccumulation in rainbow trout*. *Aquatic Toxicology*, 141-150.

Shah, S. (2010). *As Pharmaceutical Use Soars, Drugs Taint Water and Wildlife*. *YaleEnvironment360*.

Vasquez, J. C. (2002). *Evaluación analítica y optimización de procesos de oxidación avanzada en planta piloto solar*. 45.

Weber, F.-A. (2014). *Fármacos en el medio ambiente-la perspectiva global*.