



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERIA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA**

**AMBIENTAL**

Sistema de tratamiento fotocatalítico utilizando  $TiO_2$  como catalizador para el control de DBO, DQO y COT presentes en efluentes contaminados por antibióticos en una industria farmacéutica, distrito de Santa Anita 2016

**TESIS PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERIA  
AMBIENTAL**

**AUTOR:**

Silvia Patricia Echavarría Orbegoso

**ASESOR:**

Dr. Jhonny Wilfredo Valverde Flores

**LINEA DE INVESTIGACION:**

Tratamiento y gestión de los residuos

LIMA-PERU

2016-I

## PAGINA DEL JURADO

---

Dr. Jhonny Wilfredo Valverde Flores  
Presidente

---

Mg. Elmer Benites Alfaro  
Vocal

---

Dr. José Cuellar Bautista  
Secretario

## **DEDICATORIA**

Esta tesis va dedicado a mi madre quien con dedicación y sacrificio supo guiarme durante mi estancia en la universidad permitiéndome alcanzar mis objetivos tanto personales como profesionales. A mis amigos y profesores de la escuela de ingeniería ambiental, muchas gracias por estos años de compañía y aprendizaje, no hubiera sido lo mismo sin ustedes; a raíz de ese sacrificio y el de mi persona presento esta tesis de investigación.

## **AGRADECIMIENTOS**

La autora manifiesto un profundo agradecimiento a aquellas personas que siempre contribuyeron con sus valiosas sugerencias, críticas constructivas, apoyo moral e intelectual para cristalizar la presente tesis.

Doy gracias a mi madre, Milagros Orbegoso Pandal, quien con su sacrificio, apoyo, perseverancia y consejos me ayudo a seguir adelante y no darme por vencida hasta lograr mi objetivo de culminar esta tesis de investigación.

Al Ing. Luis Cóndor Evaristo de la empresa EQUAS SA, por brindarme todo su apoyo en el proceso de desarrollo de mi proyecto de investigación, aprovisionándome de insumos, materiales, equipos y transporte para la realización de la parte experimental tanto en laboratorio como en campo.

Al Ing. Gianmarco Mendoza Mogollón y mi compañero Marco Cóndor Espinoza por la ayuda incondicional brindada a lo largo del proceso experimental de mi tesis, ayudándome con sus críticas constructivas a mejorar hasta obtener el producto deseado.

Al Q.F, Javier Espinoza López por la ayuda incondicional en el proceso de desarrollo experimental, dándome la autorización para la realización de tomas de muestras en la industria farmacéutica para estudiar la problemática de contaminación, así también como a mi asesor de tesis el Dr. Jhonny Valverde Flores aportando con críticas constructivas que me ayudaron a mejorar durante estos meses para obtener el resultado deseado y hacer posible la presente investigación.

A todos ellos, gracias.

La autora

## DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD

Yo, Silvia Patricia Echavarría Orbegoso identificada con el DNI: 72746409, a efecto de cumplir con las disposiciones vigentes consideradas en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo, Facultad de Ingeniería, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, me presento con la tesis titulada “Sistema de tratamiento fotocatalítico utilizando  $TiO_2$  como catalizador para el control de DBO, DQO y COT presentes en efluentes contaminados por antibióticos en una industria farmacéutica, distrito de Santa Anita 2016”, declaro bajo juramento que:

La tesis es de mi autoría y que toda la documentación que acompaño es veraz y auténtica.

Así mismo declaro también, bajo juramento, que todos los datos e información que se presenta en la presente tesis son auténticos y veraces.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas de la Universidad César Vallejo.

Lima, 12 de Julio del 2016.

.....

Silvia Patricia Echavarría Orbegoso

DNI: 72746409

## PRESENTACION

Señores Miembros del Jurado:

Dando cumplimiento a los reglamentos de elaboración y sustentación de tesis de la Facultad de Ingeniería, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Universidad Cesar Vallejo sede Lima Norte, para la obtención de título profesional en Ingeniería Ambiental, presento el siguiente trabajo de investigación denominado: “Sistema de tratamiento fotocatalítico utilizando  $TiO_2$  como catalizador para el control de DBO, DQO y COT presentes en efluentes contaminados por antibióticos en una industria farmacéutica, distrito de Santa Anita 2016”.

La investigación que presento tiene como principal propósito implementar una técnica avanzada en desinfección para tratar efluentes contaminados con antibióticos, en donde otros métodos convencionales de desinfección presentan grandes desventajas por el costo y eficiencia en el tratamiento; además de generar sub-productos haciéndose de ese modo mucho más difíciles de tratar, de ahí la importancia en su estudio.

El presente trabajo consta de seis capítulos, los mismos que serán presentados con mayor detalle en la introducción de esta investigación que de una y otra forma contribuirá en el desarrollo de este tipo de tecnologías avanzadas de desinfección para tratar efluentes industriales recalcitrantes en nuestro país.

Los resultados obtenidos de la presente investigación servirán como base para la realización de nuevos trabajos sobre este tipo de tratamientos, permitiendo de ese modo innovar sobre nuevos procedimientos para la desinfección de aguas contaminadas con compuestos difíciles de tratar, con lo cual el trabajo habrá logrado con creces su cometido.

## INDICE

PAGINA DEL JURADO.....	2
DEDICATORIA.....	3
AGRADECIMIENTOS.....	4
DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD.....	5
PRESENTACION.....	6
RESUMEN.....	16
ABSTRAC.....	17
I. INTRODUCCION.....	18
1.1. Realidad problemática.....	19
1.2. Trabajos previos.....	20
1.3. Teorías relacionadas al tema .....	23
1.3.1. Los antibióticos.....	23
1.3.2. La Penicilina.....	25
1.3.3. Degradación de la Penicilina.....	25
1.3.4. Proceso productivo elaboración antibióticos.....	27
1.3.5. Situación ambiental del consumo de antibióticos.....	29
1.3.6. Principales rutas de acceso de los antibióticos al ambiente.....	33
1.3.7. Efectos medioambientales de la presencia de residuos de antibióticos.....	34
1.3.8. Selección del proceso de desinfección indicado para el proyecto.....	35
1.3.9. Proceso fotocatalítico.....	38
1.3.10. Factores que influyen en la fotocatálisis solar heterogénea.....	43
1.3.11. Selección del colector solar apropiado para el proceso fotocatalítico.....	46
1.3.12. Colector Cilindro Parabólico compuesto (CCPC).....	50
1.3.13. Selección de sustrato apropiado para preparación de fotocatalizadores con TiO <sub>2</sub> .....	52
1.3.14. Recubrimiento seleccionado producido por el método sol-gel.....	54
1.3.15. Influencia del fenómeno “El Niño” en el proceso fotocatalítico.....	55
1.4. Formulación del problema.....	59
1.4.1. Problema general.....	59

1.4.2. Problemas específicos.....	59
1.5. Justificación.....	59
1.6. Hipótesis.....	60
1.6.1. Hipótesis general.....	60
1.6.2. Hipótesis específicas.....	61
1.7. Objetivos.....	62
1.7.1. Objetivo general.....	62
1.7.2. Objetivos específicos.....	62
1.8. Marco Legal.....	62
II. METODOLOGIA.....	65
2.1. Diseño de investigación.....	66
2.1.1. Componentes y diseño del reactor fotocatalítico (colector cilíndrico parabólico compuesto).....	67
2.1.2. Materiales y recursos utilizados para la construcción del reactor fotocatalítico.....	68
2.1.3. Cálculos.....	70
2.1.4. Proceso impregnación del TiO <sub>2</sub> a los anillos pyrex.....	72
2.1.5. Materiales y recursos utilizados el proceso de impregnación del TiO <sub>2</sub> a los anillos pyrex.....	76
2.2. Identificación de Variables.....	79
2.2.1. Operacionalización de variables.....	79
2.3. Población, muestra y muestreo.....	81
2.3.1. Población.....	81
2.3.2. Muestra.....	81
2.3.3. Muestreo.....	82
2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad.....	83
2.5. Métodos de análisis de datos.....	86
2.6. Aspectos éticos.....	87
III. RESULTADOS.....	88
3.1. Pruebas iniciales del efluente farmacéutico, medición del pH, temperatura y concentración de la muestra.....	89
3.2. Resultados tras la realización del tratamiento fotocatalítico.....	94

3.2.1. Resultados tras la realización del tratamiento fotocatalítico 1ra repetición.....	117
3.2.2. Resultados tras la realización del tratamiento fotocatalítico 2da repetición.....	131
3.2.3. Resultados tras la realización del tratamiento fotocatalítico 3ra repetición.....	145
3.3. Descripción estadística de las variables de estudio.....	159
IV. DISCUSION.....	167
V. CONCLUSION.....	171
VI. RECOMENDACIONES.....	174
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	176
V. ANEXOS.....	182

## LISTA DE TABLAS

Tabla N° 1: Clasificación de los antibióticos.....	24
Tabla N° 2: Principales líneas de producción que contienen antibióticos.....	28
Tabla N° 3: Detección de varios fármacos comercializados a nivel mundial en el medio acuático de todos los grupos regionales de Naciones Unidas.....	30
Tabla N° 4: Encuesta realizada para estudio sobre uso de antibióticos entre consumidores en la Provincia Constitucional del Callao.....	31
Tabla N° 5: Principales POA's utilizados para el tratamiento de residuos farmacéuticos.....	36
Tabla N° 6: Tipos de Colectores Solares según su concentración.....	47
Tabla N° 7: Ventajas y desventajas de los colectores solares sin concentración y con concentración.....	49
Tabla N° 8: Principios Físicos y geométricos.....	50
Tabla N° 9: Arreglo de análisis de datos factoriales 3 x 2.....	66
Tabla N° 10: Arreglo del diseño.....	66
Tabla N° 11: Factor de reflexión para luz blanca.....	69
Tabla N° 12: Medidas empleadas para la construcción del CCPC.....	71
Tabla N° 13: Impregnación del TiO <sub>2</sub> sobre los anillos pyrex.....	75
Tabla N° 14: Lista de materiales, instrumentos y equipos a utilizar.....	76
Tabla N° 15: Descripción de los equipos a utilizar en el proyecto.....	78
Tabla N° 16: Descripción de requerimientos de la muestra.....	81
Tabla N° 17: Cuadro resumen de técnicas e instrumentos.....	83
Tabla N° 18: Estadísticos Alpha de Cronbach.....	85
Tabla N° 19: Ejemplo de resumen de un análisis de varianza (ANOVA).....	87
Tabla N° 20: Estaciones de evaluación de agua residual industrial.....	89
Tabla N° 21: Resultados de medición in situ.....	89

Tabla N° 22: Resumen de resultados de análisis iniciales.....	90
Tabla N° 23: Criterios de biodegradabilidad según la relación DBO <sub>5</sub> /DQO.....	92
Tabla N° 24: Estaciones de evaluación de agua residual industrial.....	94
Tabla N° 25: Resultado de medición in situ.....	94
Tabla N° 26: Ficha de registro de intensidad de radiación UV.....	96
Tabla N° 27: Cuadro de resumen de resultados a cuatro horas de exposición tras el tratamiento.....	98
Tabla N° 28: Cuadro de resumen de resultados a seis horas de exposición tras el tratamiento.....	101
Tabla N° 29: Cuadro de resumen de resultados a ocho horas de exposición tras el tratamiento .....	104
Tabla N° 30: Cuadro resumen de resultados a 4, 6 y 8 horas de exposición tras el tratamiento.....	108
Tabla N° 31: Resumen de resultados tras la realización del tratamiento .....	116
Tabla N° 32: Estación de evaluación de agua residual industrial.....	117
Tabla N° 33: Resultado de medición in situ.....	118
Tabla N° 34: Ficha de registro de intensidad de radiación UV.....	119
Tabla N° 35: Resultados a 4,6 y 8 horas de exposición tras el tratamiento 1ra repetición.....	121
Tabla N° 36: Resultados de exposiciones de las muestras tras el tratamiento 1er repetición.....	126
Tabla N° 37: Resumen de resultados tras la realización del tratamiento 1er repetición.....	130
Tabla N° 38: Estación de evaluación de agua residual industrial.....	131
Tabla N° 39: Resultado de medición in situ.....	132
Tabla N° 40: Ficha de registro de intensidad de radiación UV.....	133
Tabla N° 41: Resultados a 4,6 y 8 horas de exposición tras el tratamiento 2da repetición.....	136
Tabla N° 42: Resultados de exposiciones de las muestras tras el tratamiento 2da repetición.....	140

Tabla N° 43: Resumen de resultados tras la realización del tratamiento 2da repetición.....	144
Tabla N° 44: Estación de evaluación de agua residual industrial.....	145
Tabla N° 45: Resultado de medición in situ.....	146
Tabla N° 46: Ficha de registro de intensidad de radiación UV.....	147
Tabla N° 47: Resultados a 4,6 y 8 horas de exposición tras el tratamiento 3era repetición.....	150
Tabla N° 48: Resultados de exposiciones de las muestras tras el tratamiento 3era repetición.....	154
Tabla N° 49: Resumen de resultados tras la realización del tratamiento 3era repetición.....	158
Tabla N° 50: Estadísticos de la concentración de los parámetros control M3, M4 y M5 .....	159
Tabla N° 51: Prueba de normalidad de Shapiro-wilk.....	164
Tabla N° 52: Prueba de homogeneidad de varianza.....	165
Tabla N° 53: Prueba de ANOVA.....	165

## LISTA DE FIGURAS

Figura N° 1. Representación de estructura química de la penicilina.....	25
Figura N° 2. Esquema de degradación de la penicilina en medio básico.....	26
Figura N° 3. Esquema de degradación de la penicilina en medio ácido.....	26
Figura N° 4. Flujograma general del proceso de producción de antibióticos.....	27
Figura N° 5. Numero de fármacos detectados en aguas superficiales, aguas freáticas, agua de corriente y/o agua potable.....	30
Figura N° 6. Fármacos más consumidos en centros de salud.....	32
Figura N° 7. Presentación de TiO <sub>2</sub> en anatasa.....	39
Figura N° 8. Mecanismo de desinfección fotocatalítico.....	43
Figura N° 9. Etapas del proceso de inmersión antes de la etapa de consolidación térmica.....	54
Figura N° 10. Representación de un año normal sin la presencia del fenómeno “El Niño”.....	56
Figura N° 11. Representación de un año con presencia del fenómeno “El Niño”.....	57
Figura N° 12. Pronostico de temperatura y lluvias para todo el año.....	58
Figura N° 13. VMA para descargar de aguas residuales no domesticas.....	63
Figura N° 14. Valores límites de vertidos a instalaciones públicas de saneamiento.....	64
Figura N° 15. Planta piloto de fotocátalisis solar y sus componentes.....	68
Figura N° 16. Vidrio sin soporte con TiO <sub>2</sub> .....	72
Figura N° 17. Limpieza de los anillos.....	73
Figura N° 18. Estabilización térmica del sustrato en el desecador.....	73
Figura N° 19. Inmersiones de los anillos en la solución de TiO <sub>2</sub> .....	74
Figura N° 20. Anillo soportado con TiO <sub>2</sub> .....	75

Figura N° 21. Concentración de Demanda Bioquímica de Oxígeno.....	91
Figura N° 22. Concentración de Demanda Química de Oxígeno.....	92
Figura N° 23. Concentración de Carbono Orgánico Total.....	93
Figura N°24. Distribución de radiación solar promedio horaria.....	97
Figura N° 25. Índice de radiación UV promedio horaria.....	97
Figura N° 26. Concentración de Demanda Bioquímica de Oxígeno.....	99
Figura N° 27. Concentración de Demanda Química de Oxígeno.....	100
Figura N° 28. Concentración de Carbono Orgánico Total.....	101
Figura N° 29. Concentración de Demanda Bioquímica de Oxígeno.....	102
Figura N° 30. Concentración de Demanda Química de Oxígeno.....	103
Figura N° 31. Concentración de Carbono Orgánico Total.....	104
Figura N° 32. Concentración de Demanda Bioquímica de Oxígeno.....	105
Figura N° 33. Concentración de Demanda Química de Oxígeno.....	106
Figura N° 34. Concentración de Carbono Orgánico Total.....	107
Figura N° 35. Concentración de DBO sin radiación UV y con TiO <sub>2</sub> .....	109
Figura N° 36. Concentración de DQO sin radiación con UV y con TiO <sub>2</sub> .....	110
Figura N° 37. Concentración de COT sin radiación UV y con TiO <sub>2</sub> .....	111
Figura N° 38. Concentración de DBO con radiación UV y sin TiO <sub>2</sub> .....	112
Figura N° 39. Concentración de DQO con radiación UV y sin TiO <sub>2</sub> .....	113
Figura N° 40. Concentración de COT con radiación UV y sin TiO <sub>2</sub> .....	115
Figura N° 41. Porcentaje de degradación en el tratamiento.....	117
Figura N° 42. Distribución de radiación solar promedio horaria.....	120
Figura N° 43. Índice de radiación UV promedio horaria.....	121
Figura N° 44. Concentración de DBO a diferentes ensayos Experimentales.....	123
Figura N° 45. Concentración de DQO a diferentes ensayos Experimentales.....	124
Figura N° 46. Concentración de COT a diferentes ensayos Experimentales.....	125
Figura N° 47. Concentración de DBO para las distintas muestras.....	127
Figura N° 48. Concentración de DQO para las distintas muestras.....	128
Figura N° 49. Concentración de COT para las distintas muestras.....	129

Figura N° 50. Porcentaje de degradación en el tratamiento 1er repetición.....	131
Figura N° 51. Distribución de radiación solar promedio horaria.....	134
Figura N° 52. Índice de radiación UV promedio horaria.....	135
Figura N° 53. Concentración de DBO a diferentes ensayos experimentales.....	137
Figura N° 54. Concentración de DBO a diferentes ensayos experimentales.....	138
Figura N° 55. Concentración de COT a diferentes Ensayos experimentales.....	139
Figura N° 56. Concentración de DBO para las distintas muestras.....	141
Figura N° 57. Concentración de DQO para las distintas muestras.....	142
Figura N° 58. Concentración de COT para las distintas muestras.....	143
Figura N° 59. Porcentaje de degradación tras el tratamiento 2da Repetición.....	145
Figura N° 60. Distribución de radiación solar promedio horaria.....	148
Figura N° 61. Índice de radiación UV promedio horaria.....	149
Figura N° 62. Concentración de DBO a diferentes ensayos experimentales.....	151
Figura N° 63. Concentración de DQO a diferentes Ensayos experimentales.....	152
Figura N° 64. Concentración de COT a diferentes Ensayos experimentales.....	153
Figura N° 65. Concentración de DBO para las distintas muestras.....	155
Figura N° 66. Concentración de DQO para las distintas muestras.....	156
Figura N° 67. Concentración de COT para las distintas muestras.....	157
Figura N° 68. Porcentaje de degradación tras el tratamiento 3ra repetición.....	159

## LISTA DE ANEXOS

Anexo N° 1: Diagrama general del proceso de tratamiento fotocatalítico de los efluentes farmacéuticos.....	184
Anexo N° 2: Preparación del anillo pyrex.....	185
Anexo N° 3: Adhesión del TiO <sub>2</sub> en el anillo pyrex.....	186
Anexo N° 4: Ficha de registro de muestreo.....	184
Anexo N° 5: Ficha de registro de intensidad de radiación UV.....	184
Anexo N° 6: Ficha de resumen de resultados.....	188
Anexo N° 7: Validación de instrumentos.....	189
Anexo N° 8: Validación de instrumentos.....	190
Anexo N° 9: Validación de instrumentos.....	191
Anexo N° 10: Registro fotográfico.....	192
Anexo N° 11: Resultados de análisis.....	195
Anexo N° 12: Matriz de consistencia.....	206

## RESUMEN

Como se sabe una de las industrias más contaminantes es la farmacéutica ya que, esta vierte gran cantidad de efluentes por distintas vías de acceso al agua ya sea, producto de la elaboración de medicamentos, ensayos en laboratorios, y sus metabolitos por los drenajes domésticos y hospitalarios; además de presentan altos valores de DBO<sub>5</sub>, DQO y COT haciendo de ese modo imposible lograr los niveles de efluentes deseables por presentar una amplia variedad de compuestos químicos orgánicos bastante complejos y resistente a la degradación biológica.

En el presente trabajo de investigación se estudió al sistema de tratamiento fotocatalítico como un método para tratar contaminantes complejos como los antibióticos, empleando TiO<sub>2</sub> como catalizador, además de un Colector Cilíndrico Parabólico Compuesto.

Para llevar a cabo éste proyecto, se desarrollaron procedimientos experimentales en el cual se realizaron ensayos del compuesto estudiado tanto con radiación UV y sin TiO<sub>2</sub> como con TiO<sub>2</sub> y sin radiación.

EL proceso fotocatalítico obtuvo mejores resultados trabajando a pH ácidos (4.45, 3.22, 2.16 y 1.65) y a un periodo de exposición solar a 8 horas alcanzando una disminución considerable en las concentraciones para los parámetros control, en el caso de la DBO los mejores valores obtenidos fueron en la estación de evaluación Post-rep2-M5 donde se llegó a una eficiencia del 35.94% a 8 horas, en la DQO se registraron valores bajos en la estación Post-M4 representada por una eficiencia del 46.67% a 6 horas de exposición y COT alcanzando valores de 236 mg/L que representan el 41.58% de eficiencia del tratamiento en la estación Post-rep2-M5 a 8 horas ya que, la mayoría de compuestos orgánicos se hidroliza hasta formar una composición menos compleja, debida a la ruptura de enlaces aromáticos con lo que se consiguió la eficiencia del sistema.

## ABSTRACT

As one of the most polluting industries is known is the pharmaceutical because, this poured large amount of effluents by various routes of access to water either as a result of the development of medicines, laboratory tests, and its metabolites by domestic drains and hospital; besides they have high values of BOD 5, COD and COT making that impossible way to achieve desirable levels of effluent to present a wide variety of fairly complex and resistant to biological degradation organic chemicals.

In this research we studied the photocatalytic treatment system as a method for treating complex contaminants such as antibiotics, using TiO<sub>2</sub> as a catalyst, plus a Compound Parabolic Cylindrical Collector.

To carry out this project, experimental procedures in which trials of the compound studied both UV radiation and without TiO<sub>2</sub> and TiO<sub>2</sub> were performed without radiation were developed.

The photocatalytic process outperformed working at acid pH (4.45, 3.22, 2.16 and 1.65) and a period of sun exposure to 8 hours reaching a considerable decrease in the concentrations for parameters control in the case of the BOD the best values obtained they were in the evaluation station Post-rep2-M5 which reached an efficiency of 35.94% to 8 pm in the COD lowest values were recorded in the Post-M4 station represented by an efficiency of 46.67% to 6 hours of exposure and COT reaching values of 236 mg / L representing 41.58% of treatment efficiency in the Post-rep2-M5 station to 8 hours since, most organic compounds are hydrolyzed to form a less complex composition, due to the breakdown of aromatic rings thus system efficiency was achieved..