

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**

**ESCUELA DE POSGRADO**

**MAESTRÍA EN CIENCIAS EN AGROECOLOGÍA**

**MENCIÓN: GESTIÓN AMBIENTAL**



**INFLUENCIA DE LA RADIACIÓN SOLAR EN LA DESCONTAMINACIÓN DE  
AGUAS RESIDUALES URBANAS A TRAVÉS DE LA FOTODEGRADACIÓN**

**TESIS**

**Para optar el grado académico de:**

**MAESTRO EN CIENCIAS EN AGROECOLOGÍA**

**MENCIÓN: GESTIÓN AMBIENTAL**

**FOHNCLARK MACEO NIETO BALDEÓN**

**TINGO MARÍA - PERÚ**

**2020**



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**  
**ESCUELA DE POSGRADO**  
**DIRECCIÓN**



*"Año de la lucha contra la corrupción y la impunidad"*

**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS**  
**Nro. 001 -2020-EPG-UNAS**

En la ciudad universitaria, siendo las 13:00 del día jueves 16 de enero del 2020, reunidos en el Aula de la Escuela de Posgrado, se instaló el Jurado Calificador a fin de proceder a la sustentación de la tesis titulada:

**"INFLUENCIA DE LA RADIACIÓN SOLAR EN LA DESCONTAMINACIÓN DE AGUAS RESIDUALES PARA UNA ALTERNATIVA DE GESTIÓN"**

A cargo del candidato al Grado de Maestro en Ciencias en Agroecología, mención Gestión Ambiental, Fohnclark Maceo, Nieto Baldeón

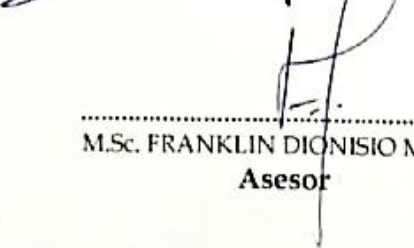
Luego de la exposición y absueltas las preguntas de rigor, el Jurado Calificador procedió a emitir su fallo declarando APROBADO..... con el calificativo de BUENO

Acto seguido, a horas 14:30 hrs presidente dio por culminada la sustentación; procediéndose a la suscripción de la presente acta por parte de los miembros del jurado, quienes dejan constancia de su firma en señal de conformidad.

  
.....  
Dr. LUCIO MANRIQUE DE LARA SUÁREZ  
**Presidente del Jurado**

  
.....  
Dr. JOSÉ W. ZAVALA SOLÓRZANO  
**Miembro del Jurado**

  
.....  
M.Sc. JOSÉ LUIS PAREDES SALAZAR  
**Miembro del Jurado**

  
.....  
M.Sc. FRANKLIN DIONISIO MONTALVO  
**Asesor**

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**

**ESCUELA DE POSGRADO**

**MAESTRÍA EN CIENCIAS EN AGROECOLOGÍA**

**MENCIÓN: GESTIÓN AMBIENTAL**



Influencia de la radiación solar en la descontaminación de aguas residuales urbanas a través de la fotodegradación

Autora : Nieto Baldeón, Fohnclark Maceo

Asesores : M.Sc. Ing. Franklin Dionisio Montalvo

Programa de investigación : Ciencia y tecnología ambiental

Línea (s) de investigación : Tratamiento de aguas

Eje temático de investigación: Métodos naturales en el tratamiento de aguas

Lugar de ejecución : Laboratorio de calidad de agua de la Universidad Nacional Agraria de la Selva.

Duración del trabajo : 10 meses

Inicio : 18 de diciembre del 2018

Termino : 22 de setiembre del 2019

Financiamiento : Propio

2020

## DEDICATORIA

A DIOS, por haberme guiado, cuidado, y por darme fortaleza para seguir adelante y alcanzar todas mis metas trazadas.

A mis queridos padres, Maceo Nieto Rojas y Mónica Milagros Baldeón Pérez, quienes con mucho amor y sacrificio me formaron con valores y principios para ser una persona íntegra y por su apoyo incondicional en mi formación profesional, mi eterno agradecimiento.

A mi hermana, Mónica Tatiana Nieto Baldeón y mi abuela, Rosario Rengifo Pérez porque siempre estuvieron presente para apoyarme en todo momento y sembrar en mi ese estímulo de superación.

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Universidad Nacional Agraria de la Selva, "Alma Mater" de mi formación profesional, en especial a la Escuela de Posgrado.

A mis docentes de la Escuela de Posgrado de la Maestría en Ciencias en Agroecología Mención en Gestión Ambiental, por sus consejos y enseñanzas quienes contribuyeron en mi formación académica.

A mi asesor al M.Sc. Ing. Franklin Dionisio Montalvo por su incondicional y valioso apoyo en el presente trabajo de investigación.

A mis compañeros de trabajo de la Gerencia de Desarrollo Ambiental de la Municipalidad Provincial de Tocache por el apoyo brindado en los buenos y malos momentos.

Al Bach. Papi Webster Pérez Segura por sus colaboraciones en las evaluaciones de campo y ejecución del presente trabajo de investigación.

## ÍNDICE GENERAL

	Página
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1. Calidad del agua .....	4
2.1.1. Indicadores fisicoquímicos de la calidad del agua .....	5
2.1.2. Indicadores microbiológicos de la calidad del agua.....	7
2.2. Contaminación del agua.....	8
2.2.1. Fuentes de contaminación del agua .....	8
2.2.2. Los contaminantes emergentes .....	12
2.3. Eutrofización de las aguas .....	12
2.4. Tratamientos de las aguas residuales.....	13
2.4.1. Fotocatálisis heterogénea .....	15
2.4.2. Fotocatálisis solar .....	19
2.5. Normas nacionales.....	23
2.5.1. Límites Máximos Permisibles (LMP) para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domesticas o Municipales (PTAR), D.S. 003-2010-MINAM .....	23
III. MATERIALES Y MÉTODOS .....	24
3.1. Lugar de ejecución .....	24

3.1.1. Ubicación política .....	24
3.1.2. Ubicación geográfica.....	24
3.1.3. Ecología .....	24
3.2. Materiales y equipos .....	25
3.2.1. Materiales y herramientas .....	25
3.2.2. Equipos .....	25
3.3. Metodología.....	26
3.3.1. Fase de campo .....	26
3.3.2. Fase de laboratorio .....	26
3.3.3. Fase de gabinete .....	28
3.4. Unidades y variables experimentales.....	28
3.4.1. Unidades experimentales.....	28
3.4.2. Variable independiente .....	28
3.4.3. Variables dependientes.....	29
3.5. Diseño experimental.....	29
IV. RESULTADOS .....	31
4.1. Caracterización del agua residual urbana a tratar con los parámetros físicoquímicos básicos DBO <sub>5</sub> , DQO, OD, pH, temperatura y coliformes totales.....	31
4.2. Aplicación de un tratamiento prolongado de fotodegradación, mediante	

la exposición estratégica del agua a la radiación solar. ....	32
4.3. Determinar la variación en los valores de los parámetros fisicoquímicos respecto a los valores iniciales. ....	33
4.4. Evaluación de los resultados obtenidos para su posible propuesta como alternativa de gestión de aguas residuales. ....	39
4.5. Análisis estadístico. ....	43
V. DISCUSIÓN .....	44
VI. CONCLUSIONES.....	49
VII. RECOMENDACIONES .....	51
VIII. ABSTRACT .....	52
IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	53
ANEXO .....	58



## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Página
1. Rangos de concentración de oxígeno disuelto y consecuencias ecosistémicas frecuentes .....	6
2. Límites Máximos Permisibles para los efluentes de PTAR. ....	23
3. Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos medidos en el agua expuesta a fotodegradación, procedente de la quebrada del Águila. ....	31
4. Medición de variación de pH y temperatura durante la exposición a la radiación solar. ....	32
5. Tratamiento por fotodegradación con radiación solar por 24 horas al nivel de agua de 4 cm. ....	33
6. Tratamiento por fotodegradación con radiación solar por 24 horas al nivel de agua de 8 cm .....	34
7. Tratamiento por fotodegradación con radiación solar por 24 horas al nivel de agua de 16 cm. ....	34
8. Variación de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos por efecto de la radiación solar. ....	35
9. ANOVA de la influencia de la radiación en el OD del agua para los diferentes anchos de lámina. ....	59

10. Medidas de resumen de la influencia de la radiación en el OD del agua para los diferentes anchos de lámina.....	59
11. ANOVA de la influencia de la radiación en el pH del agua para las diferentes profundidades de lámina de agua.....	60
12. Medidas de resumen de la influencia de la radiación en el pH del agua para los diferentes anchos de lámina.....	60
13. ANOVA de la influencia de la radiación en el DBO del agua para los diferentes anchos de lámina.....	61
14. Medidas de resumen de la influencia de la radiación en el DBO del agua para los diferentes anchos de lámina.....	61
15. ANOVA de la influencia de la radiación en el DQO del agua para los diferentes anchos de lámina.....	62
16. Medidas de resumen de la influencia de la radiación en el DQO del agua para los diferentes anchos de lámina.....	62
17. ANOVA de la influencia de la radiación en los coliformes del agua para los diferentes anchos de lámina.....	63
18. Medidas de resumen de la influencia de la radiación en los coliformes del agua para los diferentes anchos de lámina. ....	63
19. Control de la exposición del agua contaminada a la radiación solar.....	64

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. "Intervalo efectivo de aplicación de diversas tecnologías para el tratamiento de contaminantes orgánicos en aguas residuales" (HABIBI <i>et al.</i> ,2005).....	14
2. "Evolución del número de publicaciones sobre fotocátalisis heterogénea. Fuente: ISI Web of Knowledge; Campo: Photocatalysis" (PRIETO <i>et al.</i> , 2012). ....	16
3. "Esquema del proceso fotocatalítico durante la oxidación de materia orgánica empleando O <sub>2</sub> como oxidante. Izquierda: Diagrama de energía de la banda de valencia (BV) y conducción (BC) de un semiconductor. Derecha: Partícula de TiO <sub>2</sub> ; adaptada de" (MARTINEZ; KASPRZYK, 2008). ....	18
4. "Evolución de la concentración de un contaminante en función del tiempo experimental de reacción, T <sub>exp</sub> (A) y de la energía UV acumulada en el sistema, QUV (B)" (KLAMERTH, 2010).....	22
5. Diseño de la investigación .....	28
6. Variación de temperatura por fotodegradación a diferentes profundidades de agua. ....	36
7. Variación de pH por fotodegradación a diferentes profundidades de agua. ....	36

8. Variación del OD por fotodegradación a diferentes profundidades de agua. ....	37
9. Variación de la DBO <sub>5</sub> por fotodegradación a diferentes profundidades de agua .....	37
10. Variación de la DQO por fotodegradación a diferentes profundidades de agua. ....	38
11. Variación de coliformes totales por fotodegradación a diferentes profundidades de agua.....	38
12. Propuesta para la instalación de un sistema de tratamiento auxiliar de fotodegradación para depuración de aguas residuales domésticas.....	42
13. Obtención de las muestras de las aguas residuales en la desembocadura de la Quebrada del Águila en el río Huallaga.....	65
14. Caracterización de los parámetros físicos básicos iniciales. ....	65
15. Selección de muestras para su incubación.....	66
16. Caracterización de los parámetros microbiológicos.....	66
17. Exposición de las bandejas de vidrios a la radiación para obtener el resultado de descontaminación por fotodegradación. ....	67

18. Medición de la variación de la temperatura ante la exposición a la radiación.....	67
19. Medición de la variación del pH ante la exposición a la radiación.....	68
20. Selección de muestras para la caracterización de los parámetros físicos básicos finales .....	68
21. Caracterización de los parámetros físicos básicos finales.....	69

## RESUMEN

En la investigación, se evaluó la fotodegradación de una muestra del agua de una quebrada contaminada por vertimiento de efluentes domésticos, mediante la exposición a la radiación solar escala laboratorio, con el objetivo de determinar el nivel de depuración que se puede lograr. Para esto se trabajó con cubas de vidrio de 10L posicionadas sobre una superficie de plástico color blanco para lograr la reflexión de la luz solar, los tratamientos consistieron en colocar 3 volúmenes de aguas residuales a diferentes niveles de profundidad o espesor de la lámina de agua, 4, 8 y 16 cm, por un periodo acumulativo de 24 horas de exposición, durante las horas del día con alto índice de radiación solar, tomando como referencia el aplicativo para pronóstico del tiempo Accuweather, completándose el tratamiento en 7 días. Los resultados mostraron que, a mayor profundidad de la lámina de agua, mayor grado de depuración, efecto evidenciado por una reducción de 2% en el pH, un incremento de 66,7% de oxígeno disuelto, una reducción de la DBO y la DQO de 75.7 y 76.3% respectivamente y una eliminación del 100% de Coliformes Totales. Estos resultados respaldan la propuesta para la instalación de un sistema de fotodegradación con energía solar para la depuración de aguas contaminadas con efluentes domésticos, como una tecnología de gestión ambiental de bajo costo y amigable con el ambiente.

Palabras claves: Fotodegradación, efluentes domésticos, radiación solar, DBO, DQO, Coliformes Totales.

## I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad la gestión de aguas residuales para su tratamiento mediante procesos convencionales, es insuficiente debido a los costos que implican su operación y mantenimiento, en un diagnóstico realizado en el 2015 para la Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS) se menciona que en función a las operaciones y mantenimientos de las PTAR: falta del 50% de remoción de lodos en las PTAR de tipo lagunas de estabilización, tener un 50% de sobrecarga orgánica o sobrecarga hidráulica de las PTAR, el no contar con guías operacionales adecuadas para el manteamiento y monitorio, poca capacitación del personal, implementación de equipamiento y la muy poca asignación de recursos financieros necesarios para un adecuado funcionamiento de las PTAR. Asimismo, respecto a la selección de mejores tecnologías, se suma todo lo mencionado anteriormente.

Esa deficiente operación y mantenimiento de las plantas de tratamiento de aguas residuales sumado a los costos de operación para aplicar tecnologías avanzadas, dejan abierto a la investigación en el aprovechamiento eficiente de fuentes de energía de tipo natural, cuyo costo es significativamente menor comparado con la energía para operación de plantas convencional.

La energía solar, posee un alto potencial para transformación de compuestos iónicos contaminantes en el agua, y en zonas tropicales que

cuentan con alto índice de radiación UV, es necesario realizar estudios para evaluar la influencia de la radiación en la descontaminación de aguas residuales. Los métodos de fotodegradación son sensatamente eficaces cuando los contaminantes alcanzan ciertas concentraciones y son presentadas en cantidades bajas o medias, hasta unos pocos de cientos de ppm de orgánicos (ACOSTA 2009).

La presente investigación, se desarrolló a fin de evaluar las posibilidades del aprovechamiento de la energía solar en la descontaminación de aguas residuales, para la gestión de aguas residuales del tipo urbano con una tecnología sostenible y se plantea el siguiente problema: ¿Es posible descontaminar agua residual del tipo urbano aplicando únicamente un proceso de fotodegradación? Planteando como hipótesis que, si es posible descontaminar el agua residual del tipo urbano, aplicando únicamente la fotodegradación.

Para dar respuesta a este interrogante se planteó como objetivo general: Evaluar el grado de descontaminación de un agua residual del tipo urbano, mediante la fotodegradación con energía solar. Y como objetivos específicos se plantearon los siguientes:

- Caracterizar el agua residual urbana a tratar con los parámetros fisicoquímicos básicos DBO<sub>5</sub>, DQO, OD pH temperatura y coliformes totales.



- Aplicar un tratamiento prolongado de fotodegradación, mediante la exposición estratégica del agua a la radiación solar.
  
- Determinar la variación en los valores de los parámetros fisicoquímicos respecto a los valores iniciales.
  
- Evaluar los resultados obtenidos para su posible propuesta como alternativa de gestión de aguas residuales.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. Calidad del agua

Cuando hablamos de calidad del agua nos referimos a un conocimiento rígido y complicado, dificultoso de acertar puesto que resultan en relación a sus usos establecidos. Es así que, de esta manera, la calidad del agua puede representarse de tal forma: un cuerpo de agua tiene la propiedad natural de tolerar adecuadamente usos favorables, entendiendo a esta entre las maneras de cómo es usada el agua por los humanos y la vida silvestre (CLAIR, 2000).

Existe la manera que el agua pueda cumplir con los estándares de calidad para compensar usos específicos y de la misma forma, no ser idónea para otro. De tal manera que se halla una fuente de agua que cumpla todos los estándares de calidad para satisfacer todos los usos conocidos ni tampoco tenga una razón única de calidad para cual sea su fin, la definición de calidad del agua, es aplicable siempre a la forma y/o momento que se utilizara (CLAIR, 2000).

El método más tradicional conocido para evaluar la calidad del agua radica en la obtención de los parámetros químicos, físicos y biológicos, las cuales se definen como permisibles o anhelados según a la disponibilidad

que se le brinde. Además, conforme a los resultados presentados, se cataloga la calidad del agua y se puntualiza su forma de usar. “Por ello, cada requerimiento de agua presenta sus propias normas de calidad y si el agua se encuentra contaminada es de poca utilidad por abundante que sea” (GONZÁLES y GUTIÉRREZ, 2005).

### **2.1.1. Indicadores fisicoquímicos de la calidad del agua**

#### **2.1.1.1. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>)**

Conocido igualmente como el uso del oxígeno oxido biológicamente la materia orgánica por microorganismos, al ser incubada una muestra de agua en la oscuridad por 5 días a 20 °C. Dicha medición es determinante cuando se quiere obtener resultados de la calidad del agua en diferentes medios acuáticos (ROMERO, 1998).

En cuando a la DBO<sub>5</sub> se manifiesta como de los principales resultados para definir la calidad del agua y, más específicamente, si existe la manifestación de contenidos orgánicos. Cuando se presentan índices menores a 3 mg/L son sinónimos de una excelente calidad, caso contrario los resultados sobre encima de los 10 mg/L determinan que existe una concentración elevada de contaminantes por materia orgánica (ROMERO, 1998).

### 2.1.1.2. Oxígeno Disuelto (OD)

Esta es definida como el uso de oxígeno sufrido por un proceso de disolución en el agua y el cual es el determinante de salud esencial de efluentes acuáticos, la manifestación de oxígeno es una constante positiva, todo lo contrario, nos refleja la ausencia de oxígeno, la cual da como resultado que existe una contaminación. Esto se entiende que, al encontrar niveles de oxígeno disuelto por debajo bajos de lo necesario, resulte no adecuado para el desarrollo y sobrevivencia de otros organismos y peces favorables para el medio (ROMERO, 1998).

La producción de restos orgánicos generados por toda estructura vida, son procesadas por organismos bacterianos aeróbicos, de tal forma que es considerado en procesos con consumo de oxígeno. La presencia en exceso de restos orgánicos se presenta en abundancia, la propagación de agentes bacterianos que extingue el oxígeno y dando como resultado que haya presencia de peces y otros organismos (OMS, 1998).

Los valores de oxígeno disuelto alcanzan a diferir entre 0 a 18 mg/L, sin embargo, mayormente los efluentes hidrográficos demandan resultados mínimos entre 5 a 6 mg/L para sobrellevar una variedad de vida hídrica (ROMERO, 1998).

Cuadro 1. Rangos de concentración de oxígeno disuelto y consecuencias ecosistémicas frecuentes.

[OD] mg/L	Condición	Consecuencias
0	Anoxia	Muerte masiva de organismos aerobios
0-5	Hipoxia	Desaparición de organismos y especies masivas
5-8	Aceptable	Adecuadas para la vida de la gran mayoría de especies de peces y otros organismos acuáticos.
8-12	Buena	
Mayor a 12	Sobresaturada	Sistemas en plena producción fotosintética

Fuente: GOYENOLA (2007)

### 2.1.2. Indicadores microbiológicos de la calidad del agua

La presencia de agentes bacterianos coliformes en los medios acuáticos, es principal parámetro de salud positiva del agua para distintas aplicaciones (APHA, 2005).

#### 2.1.2.1. Coliformes totales (CT)

Al conjunto de coliformes totales es conocida como agentes bacterianos Gram negativas en estado microbiano, donde al degradar o descomponer la lactosa dando como resultado de ácido y gas a  $36 \pm 1$  °C en 24 – 48 horas, los organismos que requieren oxígeno como se las conocen a las bacterias facultativas (OMS, 1998).

Estos organismos bacterianos, provienen de las deposiciones humanas, sin embargo, también estos logran ser generados por los animales; de esta manera, la manifestación de coliformes en aguas superficiales es un indicador negativo (contaminación) el cual es el resultado de los desechos humanos o de los animales (ROMERO, 1998).

## **2.2. Contaminación del agua**

Yace del resultado al introducir en el agua, compuestos, materiales, elementos y formas de energía que modifiquen el estándar de salubridad necesaria para el uso que se requiera, en su función ecológica en relación al uso de los humanos. Al ser contaminado el agua sus parámetros biológicos y fisicoquímicos son alteradas de tal modo de llegar a ocasionar daño inmediatos o transversales a la vida humana y al entorno que lo rodea (GRAY, 1994).

En la actualidad hay dos formas por las cuales se puede contaminar el agua y así modificar su calidad. La primera forma es por medio de contaminantes naturales, es decir que en el transcurso del cumplimiento del período natural del agua esta alcanza a ser alterada al contacto con ciertos componentes que contaminan al vértice en la atmósfera, agua, y corteza terrestre. Como segundo efecto se da producto de la intervención antrópica generada, y son resultados de deposiciones líquidas y sólidas que se dispersan directa o indirectamente en las fuentes hídricas (OMS, 1998).

### **2.2.1. Fuentes de contaminación del agua**

Los contaminantes más relevantes son catalogados y conocidos de la siguiente manera: Aguas residuales urbanas, industriales y agrícolas (GRAY, 1994).

Al referirnos a los problemas de contaminantes urbanos, nos enfocamos que está ligada a los grandes vertimientos de aguas sin valor

inmediato provenientes de las casas y locales comerciales. Por varios años el objetivo prioritario está enfocado a la desaparición de contaminantes urbanos, sin embargo, a la fecha se logró solo disminuir la demanda oxígeno por la presencia de materias orgánicas, compuestos inorgánicos disueltos, sólidos en suspensión y bacterias dañinas. En estos tiempos, contrariamente, se ha dispuesto más empeño a la modernización de procesos que desaparezcán las deposiciones residuales sólidas en los métodos de purificación.

Existen grandes cantidades de contaminantes del agua que se pueden catalogar de distintas procedencias, otras maneras útiles de agruparlos son de la siguiente manera: (OMS, 1998).

- **Microorganismos patógenos:** Se conoce a los diferentes tipos de protozoos, bacterias, virus y otros organismos que transmiten enfermedades como el cólera, gastroenteritis diversas, hepatitis, tifus, etc., habitualmente estos microorganismos se transportan por medio de los efluentes hídricos por medio de las deposiciones humanas y otras materias orgánicas que son producidas. asimismo, el principal parámetro para calcular o evaluar la salud de las aguas en los diferentes entornos, son los número de bacterias coliformes asentadas en el agua.

- **Desechos orgánicos:** Los residuos orgánicos producto de la disposición final de los humanos, animales, etc., como son las deposiciones fecales y diferentes restos la cual puede ser asimiladas con organismos bacterianos aeróbicos, es un proceso donde se consume oxígeno para su eliminación, cuando este tipo de desechos se encuentran en abundancia, la

presencia y proliferación de bacterias agota el oxígeno, y el cual da como resultado el que no puede existir viva en estas aguas como son la vida silvestre acuática y otros organismos vivos la cual requiere la presencia de oxígeno. Contar con un buen indicador preciso en estimar la contaminación por deposiciones orgánicas viene a ser el Oxígeno Disuelto (OD) o la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) presente.

- **Nutrientes inorgánicos vegetales:** Los fosfatos y también los Nitratos son elementos fáciles de diluir en un medio líquido (agua) y la cual son necesarias para que los organismos como las plantas cumplan con su crecimiento y desarrollo, sin embargo si esta son manifestadas en cantidad no controladas provocan el desarrollo y crecimiento incontrolable de organismos y algas produciendo de esta manera la eutrofización de las fuentes hídricas. Al perecer estos organismos y algas, estas son descompuestas por los microorganismos y como resultado se obtiene el agotamiento del oxígeno presente haciendo que sea casi imposible la presencia de otros seres vivos. La consecuencia de este proceso es la putrefacción de al agua.

- **Sedimentos y materiales suspendidos:** Los materiales removidas de la superficie y arrastradas a las fuentes hídricas, en conjunto y combinación con los diferentes materiales en suspensión que existen sobre ellas, son el resultado de la principal causa de contaminación de las fuentes hídricas. La sedimentación de estas fuentes es el resultado provocado en la fuente hídrica y el cual es el principal motivo que, de no existencia de vida de ciertos organismos en ellas, la sedimentación que se va provocan y



almacenando devastan el medio donde realizan su alimentación o desove de los organismos como los peces, estas sedimentan todo tipo de fuente hídrica hasta obstruirlas.

- **Contaminación térmica:** Es el productor de la liberación de agua con altas temperaturas producida por centrales de energía y/o procesos industriales, al elevar por momentos la calentura de las fuentes hídricas utilizadas en este proceso, disminuye así el contenido oxígeno afectando de esta manera la vida hídrica existente.

- **Aguas residuales urbanas:** Son producidas por las actividades antrópicas y donde se transportan los materiales en suspensión, como son nutrientes (N y P) y en general una carga orgánica fácilmente biodegradable, como ejemplo tenemos a los fármacos, lejías, surfactantes y cosméticos la cual puedan estorbar en el proceso de la descontaminación biológica secundaria convencional. En estos últimos años el principal enfoque de atención es dirigido a contaminantes emergentes, generalmente son compuestos no tipificados en los vertimientos, sin embargo, estos pueden ser considerados para futuras regulaciones, ya que existen motivos de los efectos nocivos que producen a la salud y al entorno. Es por eso que ciertos contaminantes empiezan a formar parte fundamental de muchos trabajos de investigación en busca de resultados positivos (AUGUGLIARIO *et al.*, 2012).

### **2.2.2. Los contaminantes emergentes**

En la actualidad no se encuentra que los compuestos no tipificados sean regulados y mucho menos sean incluidos entre los parámetros de identificación de aguas saludables. Sin embargo, existe un motivo del porque aún no se desarrollan nuevos procesos de incentivación y detección, al ser considerados bajos, esto se debe que relativamente son métodos recientes, motivo que en estos últimos años estas técnicas dieron como resultado la identificación de diversos contenidos en efluentes de hídricos residuales en diferentes proporciones al orden de  $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$  a  $\text{ng}\cdot\text{L}^{-1}$ . Cabe destacar que cada día mas existe la presencia de drogas o fármacos, lejías, surfactantes, cosméticos, etc. Estos residuos no favorables cada vez hacen presencia en la mayoría de las fuentes hídricas de las Plantas de Tratamientos de Aguas Residuales (PTAR) (GRABOWSKA *et al.* 2012).

### **2.3. Eutrofización de las aguas**

Al evidenciar en un medio hídrico estático natural o artificial (lago o embalse) muy bajo en nutrientes (oligotrófico) estas tienen como características aguas claras y por ende existe la facilidad que la luz pueda penetra, teniendo como resultado que el crecimiento de las algas sea pequeño. Mientras que todo lo contrario sucede que sedimentándose de nutrientes medio hídrico se convierte en eutrófico. Produciendo el crecimiento de organismos (algas) en gran cantidad se tiene como resultado el enturbiamiento de la fuente hídrica. Al morir ciertos organismos presentes estas son descompuestas por la presencia

bacteriana produciendo un gasto del oxígeno presente. En ciertos resultados se producirá procesos anaeróbicos que petrificaran, manifestando malos olores. El medio hídrico se enturbia y se presentara una baja calidad para el consumo humano y otras actividades que sean requeridas. Otro resultado es la disminución de la profundidad (ROMERO, 1998).

#### **2.4. Tratamientos de las aguas residuales**

En los días actuales, las Plantas de Tratamientos de Aguas Residuales (PTAR) procesan la totalidad de aguas residuales que son productor de la actividad antrópica. En marco a las propiedades de las aguas residuales, las PTAR, puede ser distintas formas: primero los pre-procesos físicos, donde se produce la separación los materiales solidos de gran tamaño; segundo los procesos primarios, la cual esta basada fundamentalmente en procesos de coagulación y floculación del material en suspensión, la cual permitirá posteriormente su decantación; tercero enfocado al proceso biológicos o secundarios, en este proceso se abarcan su totalidad los métodos de digestión aeróbica o anaeróbica del material orgánico presente en el efluente; y, finalmente, en ciertos momentos o como lo demande se realiza el cuarto tratamiento conocido como terciarios, el cual tiene como proceso principal la separación y eliminación del resultado de otros procesos convencionales anteriores que dejan residuos de material orgánico y otros contaminantes (HABIBI *et al.*,2005).

Sin embargo, y pese a demostrar que los métodos biológicos vienen logrando una eminente eficiencia, estos días se ha demostrado que ciertos métodos alternativos y avanzados para la descontaminación de fuentes hídricas contaminadas con cargas orgánicas altamente tóxicas, difícilmente biodegradables (HABIBI *et al.*,2005).

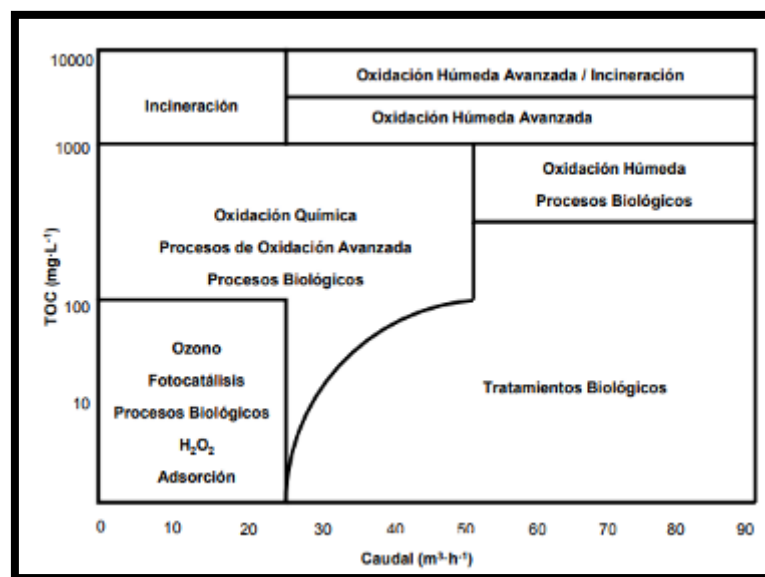


Figura 1. “Intervalo efectivo de aplicación de diversas tecnologías para el tratamiento de contaminantes orgánicos en aguas residuales” (HABIBI *et al.*,2005).

En parte adaptada de (ZHANG *et al.*, 2012), entre los métodos no tradicionales estos se distinguen de procesos no que no destruyen como son: “adsorción, desorción o stripping, extracción en fase líquida con disolventes o la tecnología de membranas”. Entre métodos destructivos debemos destacar la “oxidación húmeda y oxidación húmeda catalítica, incineración, la oxidación en condiciones supercríticas y la oxidación avanzada”. De tal sentido, es idóneo identificar las propiedades del agua a tratar, y los índices de salubridad que son

exigidos al momento de diseñar métodos mucho más convenientes para el proceso de descontaminación cumpliendo así con los requerimientos mínimos legales.

Enmarcado al tema tratado, en la figura 1. Se coteja el intervalo efectivo de aplicación de diversas tecnologías más positivos en la ejecución de los diferentes métodos de oxidación o adsorción, comparando con las clases efectivas de la oxidación biológica. En este sentido, se observa que los tratamientos no convencionales (biológicos) presentan gran intervalo de aplicación, no obstante, su eficiencia y gran resultado se encuentra restringido al existir la presencia de materiales no asimilables y altamente dañinos para los microorganismos. Consecutivamente, los métodos destructivos (incineración o la oxidación húmeda avanzada) son necesarios de accionar al contar con concentraciones muy alta de contaminantes (SELVAM *et al.*, 2007). Finalmente, conviene subrayar que los métodos de oxidación avanzada, (fotocatálisis, UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>) es muy fiable en caudales moderados o bajos y TOC (carbono orgánico total).

#### **2.4.1. Fotocatálisis heterogénea**

Las primeras referencias relacionadas al termino fotocatalisis se dio en el año 1910 (BARCELÓ, PETROVIC, 2008), “el proceso de fotocatalisis heterogénea se conoció tras la publicación del trabajo de Honda y Fujishima en el 1972” (CINCINNATI, 2001), la cual estimuló en la sociedad científica un gran interés. La fotocatalisis en sus referentes cantidad de investigaciones

referentes, no se ha detenido en el transcurso de los años desde los principios de los años 90, tal y como observamos en la figura 2, esta sobre sale y refleja la constante evolución exponencial de la cantidad de investigaciones relacionadas a partir de inicios del año 2000, lo que demuestra una disposición de interés en la sociedad científica en este rubro, conteniendo entre 2000 a más contribuciones en estos últimos tiempos.

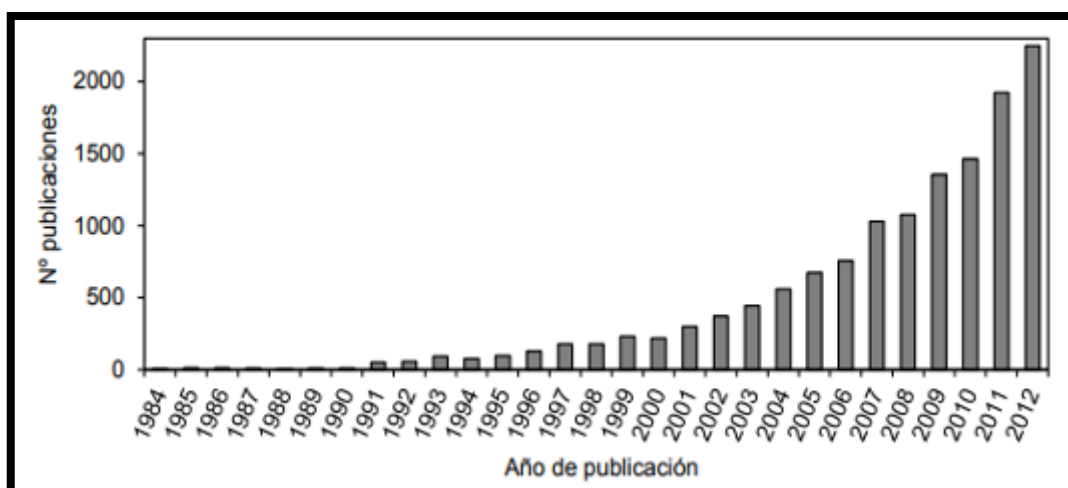


Figura 2. “Evolución del número de publicaciones sobre fotocatalisis heterogénea. Fuente: ISI Web of Knowledge; Campo: Photocatalysis” (PRIETO *et al.*, 2012).

La excitación de un sólido catalítico es el resultado del proceso fotocatalítico heterogéneo al usar como semiconductor de banda ancha como el óxido de titanio ( $\text{TiO}_2$ ) y a través de la absorción de luz de diferentes longitudes de onda. En la Figura 3 observamos el esquema de la energía de la banda de valencia (BV) y conducción (BC) mediante el método de excitación de

un semiconductor bajo los efectos de la irradiación. De la misma forma, se puede visualizar el mecanismo global del método fotocatalítico heterogéneo que tiene parte en una partícula de óxido de titanio ( $\text{TiO}_2$ ) suspendida en un estado acuoso junto a un contaminante orgánico, C, empleando oxígeno como causante de la oxidación.

El método fotocatalítico inicia partir de la irradiación del óxido de titanio  $\text{TiO}_2$  a la luz de una energía suficiente como para equiparar o prevalecer el band-gap del semiconductor, dando como resultado la excitación de un electrón de la banda de valencia (BV) a la banda de conducción (BC). Asimismo, se crean pares electrón-hueco ( $e^- / h^+$ ) (Ec. 1.1), la cual estos pueden migrar a la parte superior del catalizador, quedando aisladas en sitios superficiales (Ec. 1.2 y 1.3) y reaccionan con las especies adsorbidas (Ec. 1.4 y 1.5), (PRIETO *et al.*, 2012).

Los estados vacíos formados en la banda de valencia del sólido, reaccionan con especies libradoras de electrones, tales como son las moléculas de agua o iones hidroxilos enlazados a la superficie del catalizador, formando de esta manera los radicales hidroxilos (OH), siendo estos los principales actores de la descomposición de la materia orgánica. A su vez, los electrones que alcanzan la banda de conducción, logran reaccionar con una especie receptora como el oxígeno ( $\text{O}_2$ ), dando inicio a radicales  $\text{O}_2^-$ , que intervienen adicionalmente en el proceso de oxidación de la materia orgánica. No obstante, el método de traspaso de carga, dan lugar a los procesos de recombinación en donde los pares de electrones-huecos interactúan y

combinan antes de accionar con elementos asimilados en la superficie catalítica (PRIETO *et al.*, 2012).

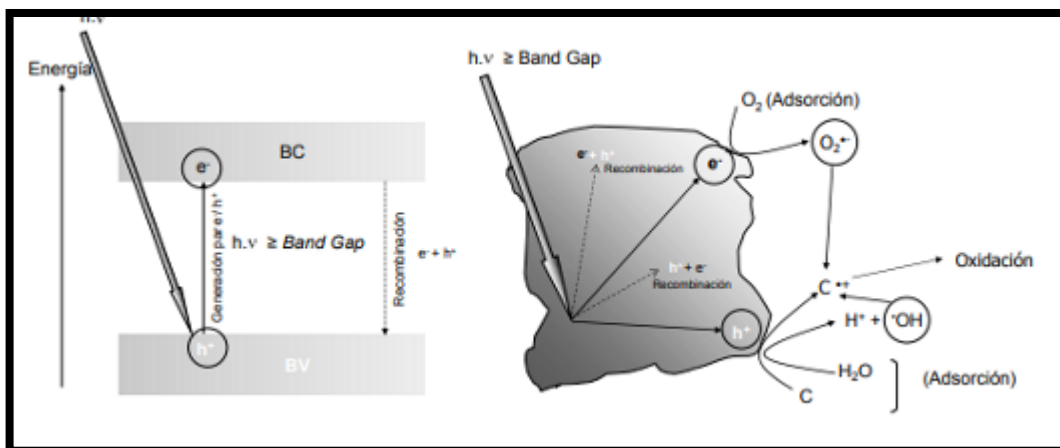
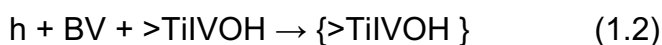
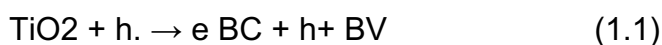
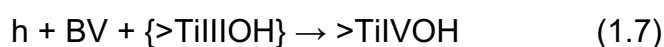
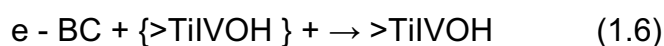
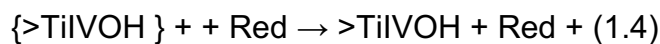
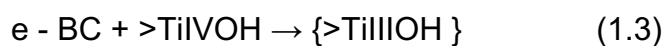


Figura 3. “Esquema del proceso fotocatalítico durante la oxidación de materia orgánica empleando O<sub>2</sub> como oxidante. Izquierda: Diagrama de energía de la banda de valencia (BV) y conducción (BC) de un semiconductor. Derecha: Partícula de TiO<sub>2</sub>; adaptada de” (MARTINEZ; KASPRZYK, 2008).

Evidentemente, la eficacia concluyente del resultado de la interacción fotocatalítica es influenciada por los diferentes elementos que definen en nivel de oxidación que está presente en la materia orgánica. El éxito de infección y combinación resulta ser un método crítico en la superficie del semiconductor, debido a que no existe una dispersión física entre los espacios de las reacciones anódicas (oxidación por huecos) y catódica (reducción por electrones).







Existen otros indicadores importantes afines con el grado total de mineralización, que en definitiva determinan la opción de mejores escenarios de acción. Estas vienen a ser, “la masa de catalizador, la concentración inicial de contaminante, el pH del medio, la longitud de onda de la radiación, el flujo de radiación y el tipo de agente oxidante y su concentración (NAN, 2010)”. En etapa líquida la fotocatalisis heterogénea muestra en la actualidad un amplio rango de acciones en donde la competencia tecnológica puede alcanzar grandes resultados, cuyo nos da como resultado la descontaminación en gran diversidad de elementos no tolerables, en los diferentes escenarios (THEO, 2012). Por lo tanto, la probabilidad de emplear esta variante solar como parte principal de energía, incrementa o brinda un gran valor de equilibrio al proceso.

#### **2.4.2. Fotocatálisis solar**

Entre las principales ventajas del proceso fotocatalítico heterogéneo recae en la probabilidad de utilizar la energía natural (radiación solar). Sin embargo, existe diferencias entre el uso de la luz no natural y la

energía natural, esta al no ser constante ya que sufre y es perjudicada por agentes meteorológicos, la variación diaria, estacional influye sobre la ubicación geográfica.

Asimismo, la simbiosis entre los factores de la radiación solar y las diferentes unidades atmosféricas ( $O_3$ ,  $O_2$ ,  $CO_2$ ,  $H_2O$ , aerosoles) incita que la radiación que toca la superficie de la tierra quede limitada a longitudes de onda comprendidas entre 0.3 y 3.0  $\mu m$  de toda la radiación incidente, el repartimiento de la energía concierne en un 7.8 % a la región ultravioleta, un 47.3 % en el área visible y un 44.9 % en el área del infrarrojo cercano (KLAMERTH, 2010).

Teniendo en cuenta, en el caso del óxido de titanio ( $TiO_2$ ), en donde este al asimilar la radiación solar utilizada refleja un mayor índice de energía a las de su band-gap (3.0-3.2 eV), por lo tanto, se dice que a  $\lambda < \sim 387$ -410 nm, la energía ultra violeta utilizable en fotocatalisis es mínima.

Del mismo modo, esta energía natural (radiación solar) que alcanza la órbita de la tierra, logran diferenciarse tres elementos: radiación reflejada radiación directa y difusa. La que no sufre cambios al atravesar la masa atmosférica es a radiación solar directa, mientras que la radiación difusa al llegar a la órbita de la tierra su dirección es de forma distinta en comparación con la directa, en relación a esta al proceso de asimilación y propagación, que tiene como resultado del trayecto hacia la atmósfera, por último, la radiación reflejada, se le conoce cuando esta alcanza una altura determinada tras ser reflejada previamente en la superficie.

Existen dos unidades que demuestran una alta relevancia para su aplicación en el proceso de fotocatalisis, la radiación directa y difusa son las más conocidas. En este sentido, al ser estas afectadas y sometidas a medios climatológicos cambiantes, la presencia de nubes es el principal motivo y más relativo en la región ultra violeta.

Estas variaciones hacen exacto que podamos realizar la correcta estimación del flujo de la radiación solar (energía natural) de manera continua a al momento de obtener los valores resultantes producto de la actividad fotocatalítica. Es por que la radiación admitida en el rango de interés al ser registrada mediante un radiómetro ultra violeta, consiente en convertir los fundamentos en carácter de energía acumulada. “Asimismo, se puede determinar la acumulación de energía UV que incide en la superficie del sistema a partir de la siguiente expresión (ecuación 1)” (KLAMERTH, 2010).

$$Q_{UV} = Q_{UV-1} + \Delta t UV_G \frac{A_i}{V_T}$$

Teniendo en cuenta que el trayecto medio de la energía ultra violeta incidente del incremento en el transcurso del tiempo, esto es relacionado al efecto del área irradiada y al volumen del reactor. En la figura 4 se observa el avance de la reacción fotocatalítica en relación a la concentración de un contaminante, el cual fue llevado a cabo en dos días consecutivos.

Como resultado, el avance de la aceleración en el desvanecimiento del material contaminante está representada en función a la intensidad de la radiación ultra violeta la cual varía (no constante) en torno al tiempo experimental expuesto (figura 4).

No obstante, el avance de la concentración en marco a la acumulación de energía ultra violeta en el sistema, es derivada en función a la ecuación (figura 4), donde se regula el lapso experimental en representación de energía ultra violeta acumulada lo que reconoce, en concluyente, contrastar ensayos realizados en las diferentes horas, días y estaciones del año.

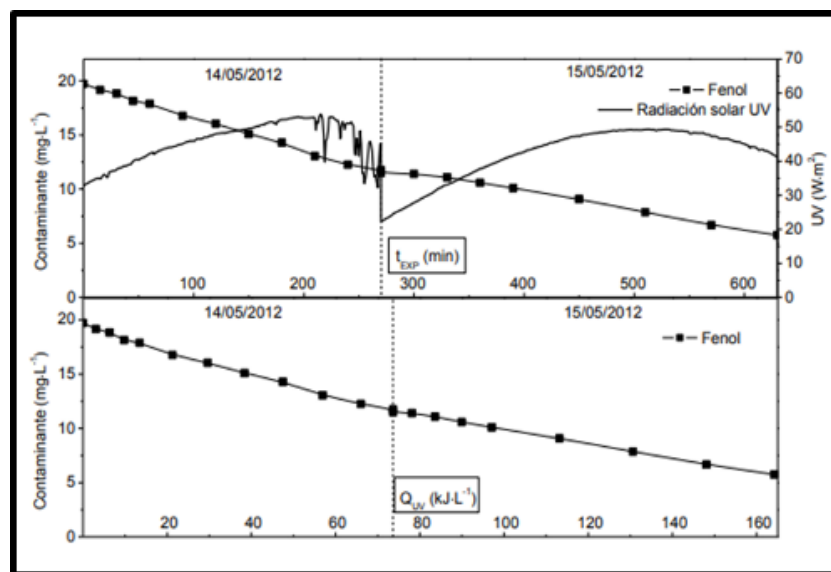


Figura 4. “Evolución de la concentración de un contaminante en función del tiempo experimental de reacción,  $t_{exp}$  (A) y de la energía UV acumulada en el sistema,  $Q_{UV}$  (B)” (KLAMERTH, 2010).

## 2.5. Normas nacionales

### 2.5.1. “Límites Máximos Permisibles (LMP) para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domesticas o Municipales (PTAR)” D.S. 003-2010-MINAM

En el Cuadro 2 se observa los Límites Máximos Permisibles de efluentes para vertidos a cuerpos de agua.

Cuadro 2. Límites Máximos Permisibles para los efluentes de PTAR.

Parámetro	Unidad	LMP de efluentes para vertidos a cuerpos de aguas
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	10000
DBO <sub>5</sub>	mg/L	100
DQO	mg/L	200
Potencial hídrico	Unidad de pH	6.5 – 8.5
Temperatura	°C	< 35

Fuente: DECRETO SUPREMO N° 003-210-MINAM, (2010).

### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1. Lugar de ejecución**

La investigación fue realizada en el laboratorio de Calidad de Agua de la Universidad Nacional Agraria de la Selva (UNAS), ubicada en 1.5 km de la ciudad de Tingo María – Huánuco.

##### **3.1.1. Ubicación política**

Distrito : Rupa Rupa

Provincia : Leoncio prado

Región : Huánuco

##### **3.1.2. Ubicación geográfica**

Latitud : 9° 18' 52" sur

Longitud : 75° 59' 42" oeste

Altitud : 613 msnm

##### **3.1.3. Ecología**

Acorde con la categorización de zonas de vida y el esquema bioclimático de Leslie R. Holdridge, Tingo María está referenciada en la zona

de vida: bosque muy húmedo Premontano Sub Tropical (bmh-PST) y en relación a las regiones naturales del Perú, tal y como lo menciona Javier Pulgar Vidal, se localiza en la Selva Alta o Rupa Rupa.

### **3.2. Materiales y equipos**

#### **3.2.1. Materiales y herramientas**

Se utilizaron materiales para muestreo y transporte tales como baldes de 20L de capacidad, guantes de látex, tapaboca, etiquetas y formato de evaluación (instrumento de recolección de datos para control de obtención de muestras),

Para los análisis de laboratorio se utilizaron materiales de uso común, matraces de 250 mL, buretas de 50 mL, botellas de incubación de muestras de DBO.

#### **3.2.2. Equipos**

Se consideró el uso de un oxímetro marca Lamotte DO 6 plus, pH-metro Marca Hanna y termómetro. Para los análisis microbiológicos se utilizaron tubos de ensayos, y los cultivos según la metodología empleada, cámara triple Samsung de 12 megapíxeles variable de f/1.5 y f/2.4) con estabilización óptica (77 grados) y una Laptop Toshiba.

### **3.3. Metodología**

Para evaluar el grado de descontaminación de un agua residual de tipo urbano, mediante la fotodegradación con energía solar, las actividades consideradas se realizaron en tres fases: de campo, laboratorio y gabinete.

#### **3.3.1. Fase de campo**

##### **3.3.1.1. Muestra de agua**

Se inició con la obtención de las muestras de las aguas residuales domésticas las cuales son transportadas por medio de la Quebrada del Águila hasta su desembocadura en el río Huallaga, punto que tiene como referencia la parte posterior del local de Banco de la Nación.

#### **3.3.2. Fase de laboratorio**

En esta fase se realizó las siguientes actividades:

##### **3.3.2.1. Caracterización de los parámetros fisicoquímicos básicos**

“Para la caracterización se utilizó el método de dilución, 5 días a 20 °C, de acuerdo al Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater parte 5210 B” (APHA, 2005).



La muestra seleccionada se incubó en el lapso de 5 días a temperatura constante de 20 °C, se calculó el oxígeno disuelto a través del proceso electrométrico, anteriormente y posteriormente de la incubación.

### **3.3.2.2. Caracterización de los parámetros microbiológicos coliformes totales**

Con el método de Números Más Probables (NMP) "por fermentación de tubos múltiples, de acuerdo al Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater parte 9221B/9221 E/9221 F" (APHA, 2005).

### **3.3.2.3. Aplicación de un tratamiento de fotodegradación**

La exposición se realizó en bandejas de vidrio con medidas de 20 cm ancho, 38 cm de largo y con una altura de 20 cm.

En las bandejas se colocaron 3 volúmenes diferentes de agua residual, buscando variar el espesor la película de agua, teniendo como referencia tres alturas diferentes de 16 cm, 8 cm y 4cm.

Las bandejas fueron colocadas a 150 cm en una plataforma de color blanco.

Se completó una exposición total de 24 horas de exposición a la radiación con alto índice de UV, teniendo como referencia la información del software Accuwheater.

### 3.3.3. Fase de gabinete

#### 3.3.3.1. Determinación de la variación

(Valores iniciales) – (Valores después de la fotodegradación)

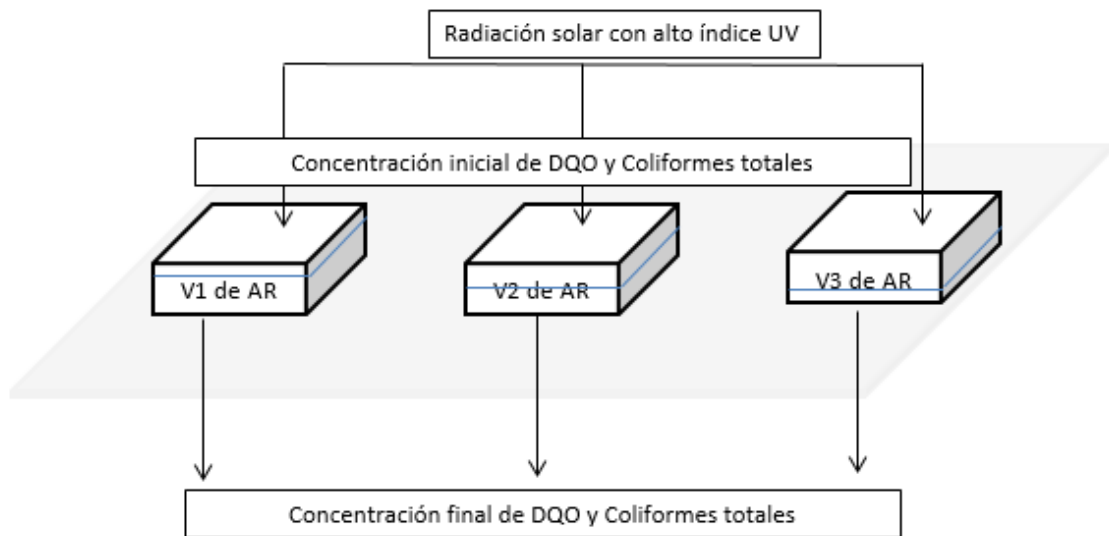


Figura 5. Diseño de la investigación

### 3.4. Unidades y variables experimentales

#### 3.4.1. Unidades experimentales

Muestras de agua recolectadas de las aguas residuales urbanas

#### 3.4.2. Variable independiente

La variable independiente es:

- Profundidad o espesor de la lámina de agua en las bandejas

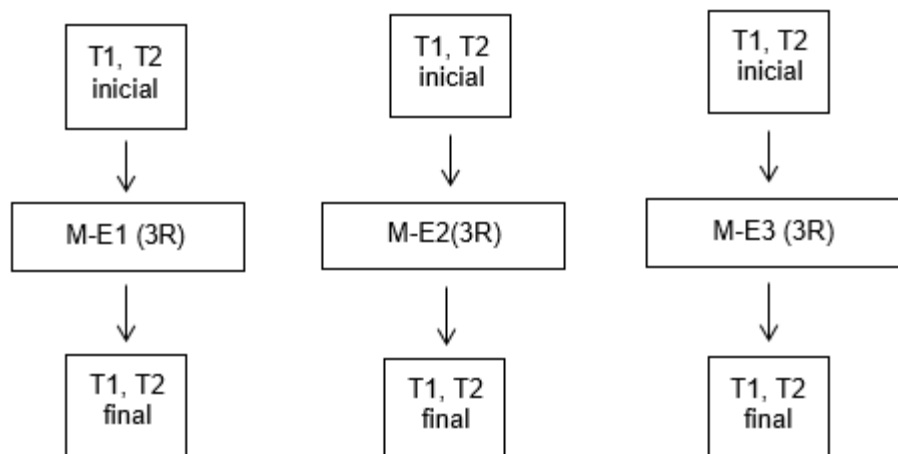
### 3.4.3. Variables dependientes

Entre las variables dependientes tenemos:

- Variación de OD
- Variación de la DBO
- Variación de la DQO
- Variación de los Coliformes Totales

### 3.5. Diseño experimental

Se aplicó una investigación tipo correlacional explicativa de acuerdo al modelo siguiente:



Leyenda:

[T1] : Análisis fisicoquímicos

[T2] : Análisis microbiológico

[M-E] : Muestra de agua con espesor de la lámina de agua

[3R] : Número de repeticiones

## IV. RESULTADOS

### 4.1. Caracterización del agua residual urbana a tratar con los parámetros fisicoquímicos básicos DBO<sub>5</sub>, DQO, OD, pH, temperatura y coliformes totales.

En el caso de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos iniciales medidos en el agua, se obtuvo un valor en la Temperatura (°C) de 26.8, para el pH un valor de 8.5, en relación a el OD (mg/L) se obtuvo un valor de 2.85, asimismo se obtuvieron valores para DBO<sub>5</sub> y DQO (mg/L) valores respectivamente entre 212.67 y 330.7 y finalmente para coliformes totales (NMP) un valor de 290.7 (Cuadro 3).

Cuadro 3. Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos medidos en el agua expuesta a fotodegradación, procedente de la quebrada del Águila.

<b>Parámetro</b>	<b>Valor medido del agua residual</b>
Temperatura (°C)	26.8
Potencial hídrico	8.5
OD (mg/L)	2.82
DBO <sub>5</sub> (mg/L)	212.67
DQO (mg/L)	330.7
Coliformes Totales (NMP)	290.7

Dichas evaluaciones se realizaron entre los días 30 de julio – 07 de agosto 2019.

#### 4.2. Aplicación de un tratamiento prolongado de fotodegradación, mediante la exposición estratégica del agua a la radiación solar.

En el cuadro 4 se muestra los niveles de variaciones de la temperatura y pH en los tres niveles de agua a las que fueron expuestas durante 7 días, teniendo como el valor más alto de temperatura el día 4 con 46.1 °C y en pH en el día 7 con una escala de 10 al nivel de 4 cm; se obtuvo el valor más alto de temperatura el día 4 con 46 °C y el pH en el día 7 con una escala de 9.8 al nivel de 8 cm; así mismo, se obtuvo el valor más alto de temperatura el día 4 con 42.3 °C y el pH en el día 7 con una escala de 9.4 al nivel de 16 cm.

Cuadro 4. Medición de variación de pH y temperatura durante la exposición a la radiación solar.

Parámetros	Nivel de agua (cm)	Nº de días de exposición a la radiación solar						
		1	2	3	4	5	6	7
Temperatura (°C)	4	38.7	45.3	43.8	46.1	38.2	40.2	45.1
	8	39.4	44	45	46	40	43.3	44.2
	16	37.5	41.5	40.6	42.3	39	39.9	38.4
Potencial hídrico	4	8.3	8.9	9.1	9.4	9.4	9.8	10
	8	8	8.7	8.9	8.9	9	9.5	9.8
	16	7.9	8.6	8.6	8.7	8.7	8.8	9.4

Dichas evaluaciones se realizaron entre los días 30 de julio – 07 de agosto 2019.

#### 4.3. Determinar la variación en los valores de los parámetros fisicoquímicos respecto a los valores iniciales.

En el cuadro 5 se muestra los valores iniciales y finales obtenidos de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos medidos al nivel de agua de 4 cm expuesta a una radiación de 24 horas, donde se observa que el valor OD mg/L máximo es 5.3, así mismo, el DBO mg/L y DQO mg/L obtuvieron valores mínimos de 120.6 y 186.7 respectivamente y finalmente se observa la ausencia de Coliformes Totales NMP.

Cuadro 5. Tratamiento por fotodegradación con radiación solar por 24 horas al nivel de agua de 4 cm.

Parámetros	Inicial			Final		
	1R	2R	3R	1R	2R	3R
Temperatura °C	26.5	27	26.8	27.1	26.8	25.1
Potencial hídrico	8.6	8.3	8.6	8.8	9.1	9.3
OD mg/L	2.69	2.91	2.86	5.3	5.2	5.3
DBO mg/L	208	217	213	120.6	128.1	125.6
DQO mg/L	320	334	338	186.7	190.1	188.9
Coliformes Totales NMP	290	287	295	A U S E N T E		

En el cuadro 6 se muestra los valores iniciales y finales obtenidos de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos medidos al nivel de agua de 8 cm expuesta a una radiación de 24 horas, donde se observa que el valor OD mg/L máximo es 6.6, así mismo, el DBO mg/L y DQO mg/L obtuvieron valores

mínimos de 112 y 165 respectivamente y finalmente se observa la ausencia de Coliformes Totales NMP.

Cuadro 6. Tratamiento por fotodegradación con radiación solar por 24 horas al nivel de agua de 8 cm.

Parámetros	Inicial			Final		
	1R	2R	3R	1R	2R	3R
Temperatura °C	26.5	27	26.8	25.8	26.2	25.5
Potencial hídrico	8.6	8.3	8.6	8.1	8.7	8.9
OD mg/L	2.69	2.91	2.86	6.6	6.5	6.2
DBO mg/L	208	217	213	116	112	121
DQO mg/L	320	334	338	180	165	186
Coliformes Totales NMP	290	287	295	AUSENTE		

En el cuadro 7 se muestra los valores iniciales y finales obtenidos de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos medidos al nivel de agua de 16 cm expuesta a una radiación de 24 horas, donde se observa que el valor OD mg/L máximo es 4.8, así mismo, el DBO mg/L y DQO mg/L obtuvieron valores mínimos de 48.9 y 75 respectivamente y finalmente se observa la ausencia de Coliformes Totales NMP.

Cuadro 7. Tratamiento por fotodegradación con radiación solar por 24 horas al nivel de agua de 16 cm.



Parámetros	Inicial			Final		
	1R	2R	3R	1R	2R	3R
Temperatura °C	26.5	27	26.8	26.2	25.9	26.1
Potencial hídrico	8.6	8.3	8.6	8.3	8.5	8.2
OD mg/L	2.69	2.91	2.86	4.5	4.8	4.8
DBO mg/L	208	217	213	52	54.2	48.9
DQO mg/L	320	334	338	80	75	80
Coliformes Totales NMP	290	287	295	A U S E N T E		

En el cuadro 8 se muestra las variaciones entre los valores obtenidos de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos expuestos a una fotodegradación de 24 horas, obteniendo así los valores más deseados a la profundidad de 16 cm.

Cuadro 8. Variación de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos por efecto de la radiación solar.

Parámetro de control	Variación del valor de parámetro a profundidades diferentes del agua			Variación del valor del parámetro a profundidades diferentes del agua en porcentaje (%)		
	4cm	8 cm	16 cm	4cm	8 cm	16 cm
Temperatura °C	-0.4	-0.93	-0.7	-1.6	-3.5	-2.6
Potencial hídrico	0.6	0.07	-0.2	6.7	0.8	-2
OD mg/L	2.4	3.61	1.9	86.8	128.1	66.7
DBO mg/L	-87.9	-96.33	-161	-41.3	-45.3	-75.7
DQO mg/L	-142.1	-153.67	-252.3	-43	-46.5	-76.3
Coliformes Totales NMP	-290.7	-290.7	-290.7	-100	-100	-100

En la figura 6 se muestra las unidades de variación de la temperatura a la exposición de 24 horas de radiación en los niveles de 4 cm, 8 cm y 16 cm de profundidad de agua.

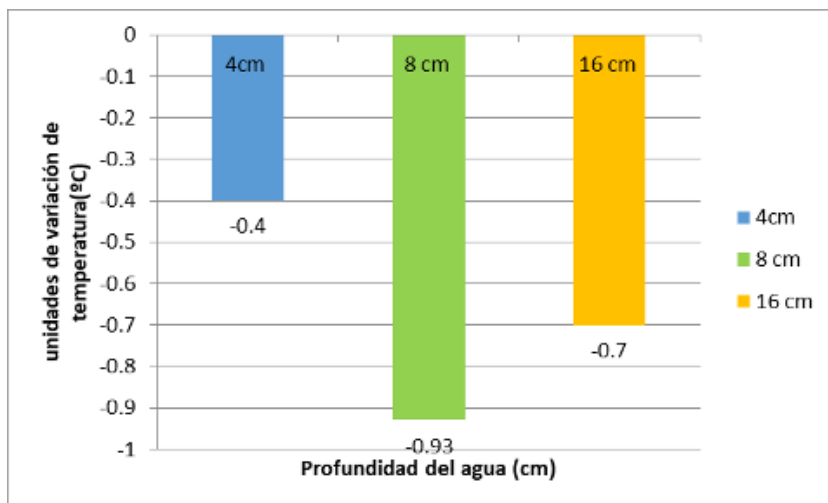


Figura 6. Variación de temperatura por fotodegradación a diferentes profundidades de agua.

En la figura 7 se muestra las unidades de variación de pH a la exposición de 24 horas de radiación en los niveles de 4 cm, 8 cm y 16 cm de profundidad de agua.

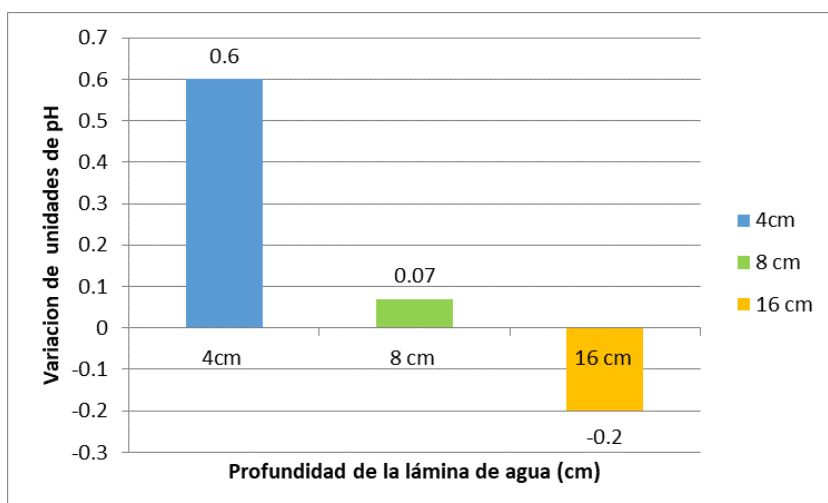


Figura 7. Variación de pH por fotodegradación a diferentes profundidades de agua.

En la figura 8 se muestra las unidades de variación del OD mg/L a la exposición de 24 horas de radiación en los niveles de 4 cm, 8 cm y 16 cm de profundidad de agua.

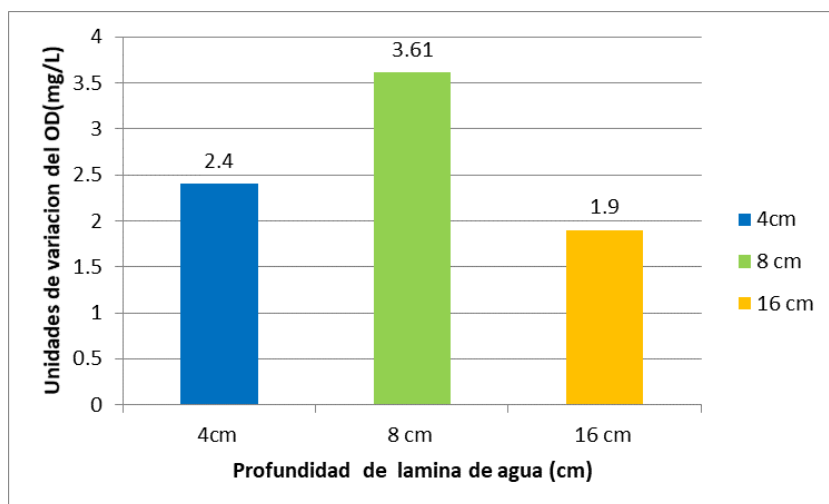


Figura 8. Variación del OD por fotodegradación a diferentes profundidades de agua.

En la figura 9 se muestra las unidades de variación del DBO mg/L a la exposición de 24 horas de radiación en los niveles de 4 cm, 8 cm y 16 cm de profundidad de agua.

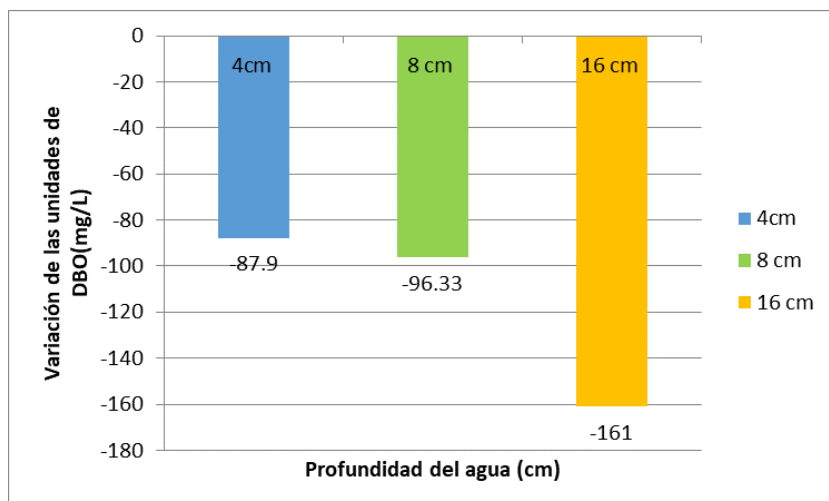


Figura 9. Variación de la DBO<sub>5</sub> por fotodegradación a diferentes profundidades de agua.

En la figura 10 se muestra las unidades de variación del DQO mg/L a la exposición de 24 horas de radiación en los niveles de 4 cm, 8 cm y 16 cm de profundidad de agua.

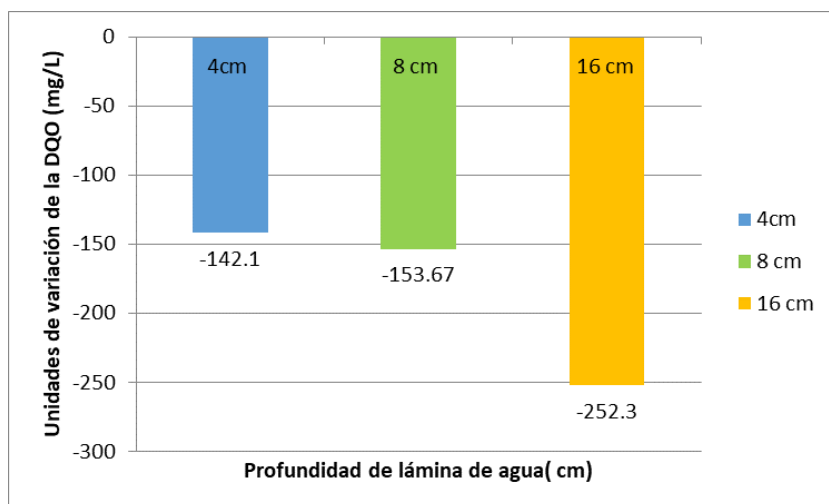


Figura 10. Variación de la DQO por fotodegradación a diferentes profundidades de agua.

En la figura 11 se muestra las unidades de variación de Coliformes Totales NMP a la exposición de 24 horas de radiación en los niveles de 4 cm, 8 cm y 16 cm de profundidad de agua.

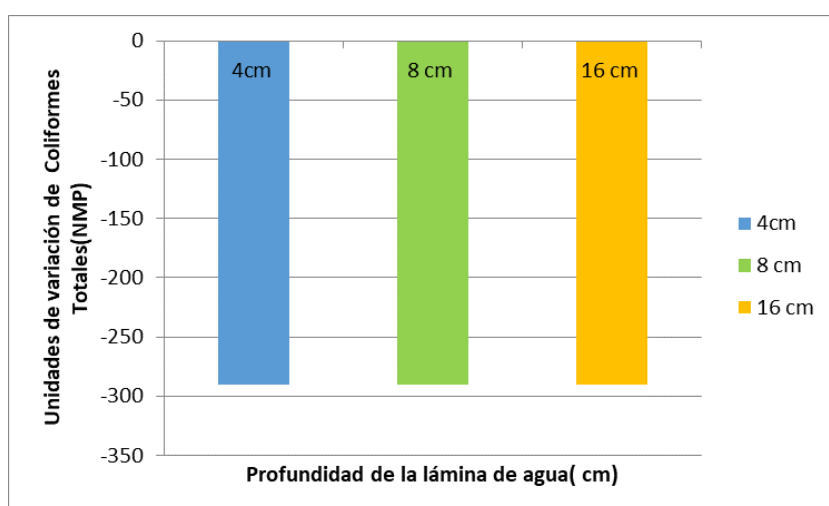


Figura 11. Variación de coliformes totales por fotodegradación a diferentes profundidades de agua.

#### **4.4. Evaluación de los resultados obtenidos para su posible propuesta como alternativa de gestión de aguas residuales.**

Después de la evaluación realizada, los mejores resultados obtenidos fueron los del tratamiento por fotodegradación con una profundidad de agua de 16 cm, cabe resaltar que los parámetros evaluados muestran mejores resultados mientras mayor es la profundidad, sin embargo, tenemos que tener en cuenta que el efecto de degradación mediante la radiación tiene un límite.

Considerando el buen efecto de depuración que se obtuvo con la exposición a la radiación solar, esta investigación se puede utilizar para elaborar una propuesta que consta de la instalación de sistema de depuración de aguas residuales por fotodegradación, de láminas de agua con una profundidad no mayor de 20 cm, en un sistema tipo cascada y en flujo continuo para optimizar la degradación, considerando un tiempo de retención hidráulica de 24 horas. Este sistema es aprovechable en zonas tropicales, con temperatura promedio superior a 27°C, cuyo esquema de diseño que se propone, considera los siguientes parámetros.

“Calculando la constante de degradación referente a la carga orgánica tomando como parámetro la DQO”, (REYNOLDS Y RICHARDS, 1996).

Para determinar la Constante de degradación para la DQO, se utilizó la siguiente fórmula:

$$“C_f / C_i = e^{-k\Theta}”$$

Donde:

$C_f$  : Concentración final del parámetro DQO, (78.4 mg/L).

$C_i$  : Concentración inicial del parámetro DQO, (330.7 mg/L).

$K$  : Constante de degradación para la DQO.

$\Theta$  : Tiempo de residencia del agua para la obtención del valor deseado (24 horas).

Reemplazando los resultados obtenidos:  $K = 0.06 \text{ h}^{-1}$ .

Tomando valores de referencia para una propuesta, según caudal de agua residual urbana.

Para un caudal de agua residual:  $10000 \text{ m}^3/\text{h}$ , con una DQO de 800 mg/L, tomando como referencia la radiación incidente en Tingo María, si se requiere reducir el 75% de la DQO, según los resultados obtenidos, tendremos un fotoreactor con las siguientes características:

- Con la ecuación de Reynolds y Richard, en la cual la constante de degradación calculada para la investigación fue  $K = 0.06 \text{ h}^{-1}$ , el tiempo de residencia necesario para la fotodegradación del agua residual con características similares es  $\Theta = 23.1 \text{ h}$ .

$$“Q = V / \Theta”$$

Donde:

Q : Caudal

V : Volumen

$\Theta$  : Tiempo de residencia del agua para la obtención del valor

Entonces el volumen es  $(10000\text{m}^3/\text{h}) \times 23.1 \text{ h} = 231000 \text{ m}^3$ ; N° de contenedores: 4; Volumen de cada contenedor:  $57750 \text{ m}^3$ .

Dimensión de contenedor:  $250\text{m} \times 250\text{m} \times 1\text{m} = 62500 \text{ m}^3$ ;  
Capacidad estimada para un sistema de 4 contenedores en cascada=  $250000 \text{ m}^3$ ; Tipo de proceso: continuo; Las dimensiones están en función al porcentaje de reducción requerido del valor del contaminante.

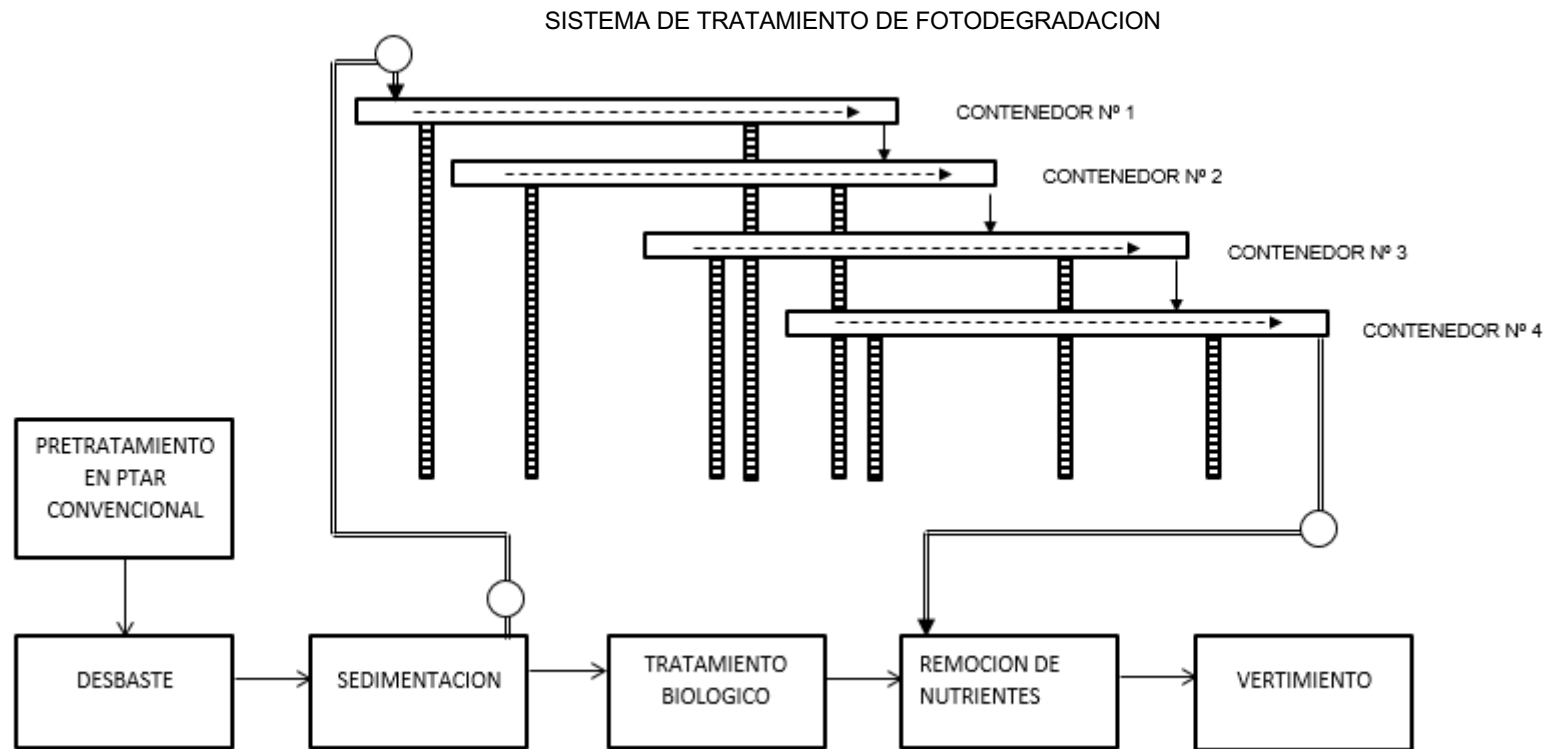


Figura 12. Propuesta para la instalación de un sistema de tratamiento auxiliar de fotodegradación para depuración de aguas residuales domésticas.



#### **4.5. Análisis estadístico.**

Se aplicó un análisis de varianza, en los datos experimentales para determinar la si existía diferencia significativa entre los valores de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, considerados para la fotodegradación, los resultados indicaron que existe diferencia significativa entre los valores de cada profundidad o espesor de la lámina de agua sometida a la radiación solar, a excepción del pH en el espesor de lámina de agua de 8 cm, la significancia es mayor que 0.05, lo que indica que no existe diferencia en la variación de pH (ver cuadros en anexos).

## V. DISCUSIÓN

La fotodegradación aplicada a las aguas residuales en la presente investigación, en la cual se produce una fotólisis de los contaminantes del agua tratada, logró reducir de manera significativa la carga orgánica y la carga microbiana, incrementar el oxígeno disuelto y regular el pH a valores que favorecen la aplicación de un procedimiento biológico. La degradación de contaminantes, en el agua se produce por efecto de la radiación solar, la cual genera una fotólisis en las moléculas de los compuestos contaminantes de naturaleza orgánica e inorgánica. La fotólisis es un proceso en el que las moléculas de micro contaminantes orgánicos sufren descomposición como resultado de la absorción de luz o radiaciones (YAN, 2015).

Con respecto a la degradación de materia orgánica, presente en el agua podemos decir que son considerables, cabe mencionar que, a pesar de no utilizar ningún compuesto como catalizador, del fotolisis y ningún tipo de compuesto regulador de pH, como lo proponen y ejecutan en los procesos de oxidación avanzada. La fotólisis es uno de los métodos disponibles más sencillos para la degradación fotoquímica de contaminantes orgánicos sintéticos en el medio acuático. En los casos en que se utiliza radiación directa no es necesario utilizar sustancias adicionales, debido a la presencia de

compuestos que catalizan el resultado de la radiación solar sobre el agua (VASQUEZ, 2018).

La fotólisis se ve afectada por varios parámetros: el pH de la solución (disociación de compuestos), el contenido de materia orgánica (la absorción competitiva de radiación o la posibilidad de formación de especies de oxígeno) o la concentración de oxígeno (la posibilidad de aparición de especies reactivas del oxígeno). Muchas sustancias orgánicas, absorben radiación principalmente en el rango por debajo de los 250 nm, que es un pequeño porcentaje de radiación solar (VASQUEZ, 2018).

De las variables evaluadas, la profundidad de la lámina de agua, presentó una relación inversamente proporcional al efecto de la fotodegradación, que es mostrada en la diferenciación de las unidades de DBO, DQO y Coliformes Totales. Así tenemos que, en aguas naturales, igualmente del resultado de fotólisis se llevan a cabo reacciones de fotodegradación, sensibilizados debido a la representación de compuestos o iones naturales tales como son los nitratos, nitritos, ácidos húmicos, etc., que activan la degradación del compuesto, es por ello que, la luz del sol como medio natural puede ser usado directamente para cambiar las estructuras de las sustancias fotoquímicamente (ESSER, 1994).

El agua residual colectada, inicialmente, presentaba un pH ligeramente elevado, la aplicación del tratamiento de fotodegradación a mayor profundidad permitió disminuir el pH, mientras los de menor profundidad

provocaron una elevación del pH, alejándose del rango favorable para una depuración microbiana. Esto podría indicar que los compuestos nitrogenados, que son los que imparten un pH elevado, tienden a disminuir su concentración, por efecto de la energía transmitida por la radiación. Teniendo en cuenta que la luz es calificada como un reactivo limpio y natural, la fotoquímica puede favorecer eficazmente a la proliferación en el campo de la química verde. “Las reacciones orgánicas fotoquímicas han implementado la luz del sol como fuente de fotones, que es barata y fácil de escalar para la síntesis” (AVILA, 2009).

En cuanto a la DBO y DQO, se obtuvo una reducción de sus valores a mayor profundidad, lográndose una reducción de 75.7% y 76.3%, respectivamente, valores que por su cercanía pueden interpretarse como la reducción en mayor cantidad de materia orgánica biodegradable y muy baja degradación de material orgánico biodegradable.

CASIERRA *et al.*, (2016) en su estudio de descontaminación de agua residual doméstica por medio de un sistema de tratamiento acoplado con fines de reúso, observaron que el porcentaje de remoción de DQO alcanzado por el sistema acoplado fue de 85%, donde 79% fue removido por acción del humedal artificial del sistema, y 6% fue logrado por el proceso fotocatalítico posterior. Este resultado presenta un similar comportamiento al de la presente investigación, donde el resultado sobre la DQO por efecto de la radiación solar es similar a la reducción de DBO, lo que llevar a deducir que solo 0.6% de reducción es de materia orgánica no biodegradable, valor bajo, considerando

que el tratamiento aplicado solo consistió en exposición a la radiación solar.

Los coliformes totales, disminuyeron a niveles no detectables, en las tres profundidades del agua que fue sometida a un periodo de 24 horas fotodegradación. Esto es evidencia que la radiación solar presenta alta eficiencia en la reducción de carga microbiana. Los resultados obtenidos de los experimentos para la inactivación de *E Coli* y *Salmonella* con radiación solar demostraron que la tasa de inactivación de *E. coli* y *Salmonella* es elevada transcurridas las 10 horas de exposición, en las cuales se observó que se llega a inactivar entre un 94 % y 97% respectivamente (TIBADUIZA Y TIBADUIZA, 2014).

De los ensayos se determinó que los valores de pH entre neutros y levemente alcalinos favorecen la inactivación de bacterias, lo cual se puede explicar con base en que la exposición del agua a la radiación solar estimula la producción de radicales OH, siendo estos una de los agentes oxidantes más fuertes que existen y contribuyendo a la eliminación de microorganismos patógenos presentes en el agua (TIBADUIZA Y TIBADUIZA, 2014).

Los resultados obtenidos concuerdan con los de SILVEIRA *et al.*, (2009), quienes comprobaron que la desinfección solar fue capaz de promover la inactivación completa de cantidades significativas de *E. coli* (105 NMP/100 ml) y Coliformes Totales (103 NMP/100 ml) en recipientes de lámina de agua de 5 cm, con tiempos de exposición al sol de tres horas, incluso cuando el día estaba parcialmente nublado.

La evaluación es el proceso y resultado combinado de la intensidad de la radiación solar, la turbidez del agua y el tiempo de exposición en la inactivación de *C. oocystes parvum* en el agua potable durante los procedimientos simulados de SODIS (desinfección de agua con energía solar) mostró que los tres parámetros radiación, tiempo de exposición y la turbidez son factores estadísticamente significativos que afectan al potencial de viabilidad infectividad de este protozoo (GOMEZ *et al.*, 2009).

En investigaciones de fotocatalisis, la eficiencia en la reducción de carga microbiana es muy alta. En anteriores estudios se ha manifestado que H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y radiación UV-A proceden de modo sinérgico en el debilitamiento de membranas celulares, produciendo que la bacteria sea más sensible a la inactivación oxidativa (Rincón y Pulgarín, 2004, 2006), aunque el tratamiento aplicado en esta investigación, no utiliza ningún catalizador, se puede observar que la reducción de Coliformes es total, resultado que demuestra una diferencia en eficiencia por el factor velocidad de desinfección, pero muy similar en su eficacia.

El impacto de la radiación UV de onda corta(UVC), es letal para la mayoría de organismos, incluyendo bacterias virus, protozoos, hongos y algas. El máximo efecto germicida se produce a 254 nm y este efecto disminuye a cero cuando la longitud de onda es 320 nm (BINTSIS *et al.*, 2000).

## VI. CONCLUSIONES

1. El agua de la Quebrada del Águila, presenta las características de un agua contaminada con alta carga orgánica, presentando valores 212.67 de  $\text{DBO}_5$  y 330.7 DQO (mg/L) típicos de un agua residual doméstica.
2. La fotodegradación de los contaminantes del agua con radiación solar es más eficiente en el tratamiento a un nivel de agua de 16 cm, obteniendo así de esta forma los resultados más positivos en comparación al resto de los niveles de agua de 4 cm y 8cm.
3. El Oxígeno Disuelto es el único parámetro fisicoquímico cuya variación es inversamente proporcional al espesor de la lámina de agua expuesta a fotodegradación.
4. A mayor espesor de la lámina de agua 16 cm, la DBO con un valor promedio de 51.7 (mg/L) y la DQO con un valor promedio de 78.3 (mg/L) disminuyen hasta valores muy cercanos entre sí.
5. Los coliformes totales son altamente sensibles a la fotodegradación con radiación solar, reduciendo por completo su concentración en los 3 niveles de agua 4 cm, 8 cm y 16 cm puestos a investigación.
6. Los resultados obtenidos, permiten elaborar una propuesta de gestión de

aguas residuales con un sistema de fotodegradación continuo como complemento al tratamiento de aguas residuales para reducción de carga orgánica y desinfección.



## **VII. RECOMENDACIONES**

1. Realizar la evaluación para conocer el efecto de la fotodegradación sobre la concentración de metales pesados en el agua.
2. En futuras investigaciones incluir la variable turbidez del agua, para determinar su efecto sobre la fotodegradación.
3. Determinar el efecto de la concentración de nitritos, nitratos y ácidos húmicos como sensibilizadores de la fotodegradación y compararlos con una fotocatalisis homogénea y heterogénea.
4. Desarrollar un estudio de factibilidad económica para la instalación de un sistema de fotodegradación como parte del tratamiento integral de las aguas residuales urbanas.
5. Gestionar la instalación de placas reflectoras a una profundidad máxima de 16 cm en tramos de la Quebrada del Águila para contribuir a la capacidad de autodepuración de este cuerpo de agua, apoyado en la sensibilización para el cuidado del medio ambiente.

# **THE INFLUENCE OF SOLAR RADIATION IN THE DECONTAMINATING URBAN WASTEWATER THROUGH PHOTODEGRADATION**

## **VIII. ABSTRACT**

In the research, the photodegradation of a water sample from a gully contaminated by the dumping of domestic effluents, through exposure to solar radiation on a laboratory scale was evaluated, with the objective of determining the depuration level that can be reached. For this, 10L glass cubes were used, positioned on a white plastic surface in order to attain the sun's reflection, the treatments consisted in placing three volumes of wastewater at different depths or thicknesses of sheets of water: 4, 8 and 16 cm, for an accumulative period of twenty four hours of exposure, during the hours in the day with a high solar radiation index, using the Accuweather application as the reference for the weather forecast, completing the treatment in seven days. The results showed that the greater the depth of the sheet of water, the greater the depuration degree, the effect was evidenced by a 2% reduction in the pH, an increase of 66.7% in dissolved oxygen, a reduction of the BOD (DBO in Spanish) and the COD (DQO in Spanish) by 75.7 and 76.3%, respectively, backing the proposal for the installation of a photodegradation system with solar power for the depuration of water contaminated by domestic effluents, as technology for environmental management at a low cost and that is friendly to the environment.

Keywords: Photodegradation, domestic effluents, solar radiation, BOD, COD, total Coliforms.

## IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACOSTA, L. 2009. Proceso Fotofenton de oxidación química para el tratamiento de aguas industriales. Madrid - España. 157 p.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA). 2005. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21ªed. Washington, USA.

AUGUGLIARO, V., LITTER, M., PALMISANO, L., SORIA, J. 2007. The combination of heterogeneous photocatalysis with chemical and physical operations: A tool for improving the photoprocess performance. Journal of photochemistry and photobiology C: Photochemistry reviews, 127 - 144.

AVILA, G. 2009. Síntesis fotoquímica mediante luz solar, Educación Química, Universidad Nacional Autónoma de México, México.

BARCELÓ, D.; PETROVIC M. 2008. Emerging contaminants from industrial and municipal wastes. Occurrence, analysis and effects. The Handbook of Environmental Chemistry 5-S1, Springer, Berlin, Alemania.

- BINTIS T., LITOPOULOU E. ROBINSON R., 2000. Existing and potential applications of ultraviolet light in the food industry an the critical review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 80, 637-645.
- CASIERRA, H., CASALINS J., VARGAS X., CASELLES A. 2016. Desinfección de agua residual doméstica mediante un sistema de tratamiento acoplado con fines de reúso. *Tecnología y Ciencias del Agua*, vol. VII, núm. 4, julio-agosto de 2016, pp. 97-111.
- CLAIR, N. 2000. *Ingeniería de aguas residuales*. Bogotá, Colombia, McGraw-Hill. 197 p.
- DECRETO SUPREMO N° 003-210-MINAM, 2010. *Normas Legales. Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domesticas o Municipales*. Lima (Perú); Mar. 17.
- ENVIROMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA), 2001. "Removal of endocrine disruptor chemicals using drinking water treatment processes", EPA/625/R-00/015, Cincinnati, Ohio, EEUU.
- ESSER, P.; POHLMAN, B.; SHARF, H.,1994. The Photochemical Synthesis of Fine Chemical with Sunlight, *Angew. Chem. Int. Ed Eng.*, 33, 2009–2023.
- GÓMEZ H., FONTÁN M., MACGUIGAN K., ARES E. 2009. Effect of the radiation intensity, water turbidity and exposure time on the survival of

*Cryptosporidium* during simulated solar disinfection of drinking water, Revista Acta trópica 2009.

GONZÁLES, M.I., GUTIÉRREZ, J. 2005. Método gráfico para la evaluación de la calidad microbiológica de las aguas recreativas, Centro Habana, CIP 10300, Cuba. 132 p.

GOYENOLA 2007. Guía para la utilización de las Valijas Viajeras – Oxígeno Disuelto, Red de Monitoreo Ambiental Participativo de Sistemas Acuáticos, Uruguay.

GRABOWSKA E., RESZCZYŃSKA J., ZALESKA A., 2012. Mechanism of phenol photodegradation in the presence of pure and modified-TiO<sub>2</sub>: A review. Water research 46, 5453-5471p.

GRAY, N.F. 1994. Calidad de las aguas superficiales; Problemas y soluciones. Madrid, España, Acribia. 265 p.

HABIBI, Y., MAHROUZ, M., VIGNON, M., 2005. Isolation and structural characterization of protopectin from the skin of *Opuntia ficus-indica* prickly pear fruits. Carbohydrate Polymers, 60, 205-213.

KLAMERTH N., RIZZO L., MALATO S., MALDONADO M., 2010. Degradation of fifteen emerging contaminants at  $\mu\text{g L}^{-1}$  initial concentrations by mild solar Photo-Fenton in MWTP effluents- Water research, 545-554p.

- NAN M, JIN B., CHOW C., SAINT C. 2010. *Water Research* 44 ,2997-3027 p.
- OMS. 1998. *Guías para la calidad del agua potable*. Washington, EE.UU. 1v.
- RINCÓN, A., PULGARÍN, C. 2004. Effect of pH, Inorganic Ions, Organic Matter and H<sub>2</sub> O<sub>2</sub> on *E. coli* K12 Photocatalytic Inactivation by TiO<sub>2</sub>: Implications in Solar Water Disinfection. *Applied Catalysis B: Environmental*, 51(4), 283- 302.
- RINCÓN, A., PULGARÍN, C. 2006. Comparative Evaluation of Fe<sup>3+</sup> and TiO<sub>2</sub> Photoassisted Processes in Solar Photocatalytic Disinfection of Water. *Applied Catalysis B: Environmental*, 63(3-4), 222-231.
- ROMERO, J.A. 1998. *Calidad de aguas*. Madrid, España, Nomos. 210p.
- SELVAM, *et al*, .2007. M. Muruganandham, I. Muthuvel, M. Swaminathan. *Chemical Engineering Journal* 128,51-57p.
- SILVEIRA C., DE CAMPOS P., MEDEIROS B., ARANTES C. 2009. Avaliação da desinfecção solar na região centro -oeste do Brasil usando diferentes organismos indicadores de contaminação., *Eng. Sanit. Ambient.* vol.14 no.3 Rio de Janeiro July/Sept. 2009.
- THEO W., SCOTT J., AMAL R.,2012. *The Journal of Physical Chemistry Letters* 3 ,629- 639 p.

TIBADUIZA C., TIBADUIZA L. 2014. Depuración de aguas contaminadas por *Escherichia Coli* y *Salmonella* mediante radiación solar. Tesis para optar el título de Ingeniero Ambiental. Departamento de Ingeniería Ambiental Facultad de Ingeniería, Universidad Libre. Bogotá Colombia.

VASQUEZ E., 2018. Eliminación de microcontaminantes orgánicos presentes en aguas residuales urbanas mediante MBR combinado con oxidación avanzada y con filtración por membranas. Tesis para optar el grado de Doctor en Agua y Desarrollo Sostenible. Universidad de Alicante, España.

YAN C., 2015. Effect of colloids on the occurrence, distribution of photolysis of emerging organics contaminants in wastewater. Journal of hazardous material, 2015, vol 299, p. 241-248 p.

ZHANG W., LIY., SU Y., MAO K., WANG Q. 2012. Journal of Hazardous Materials 215-216, 252-258 p.

**ANEXO**



Cuadro 9. ANOVA de la influencia de la radiación en el OD del agua para los diferentes anchos de lámina.

Lamina (cm)	F,V,	SC	gl	CM	F	p-valor
4 cm	Tiempo	8.98	1	8.98	1079.67	<0.0001
	Error	0.03	4	0.01		
	Total	9.01	5			
8 cm	Tiempo	19.58	1	19.58	691.62	<0.0001
	Error	0.11	4	0.03		
	Total	19.7	5			
16 cm	Tiempo	5.3	1	5.3	244.88	0.0001
	Error	0.09	4	0.02		
	Total	5.39	5			

Cuadro 10. Medidas de resumen de la influencia de la radiación en el OD del agua para los diferentes anchos de lámina.

Lamina	Tiempo	Media	D.E.	CV
4 cm	Final	5.27	0.06	1.1
	Inicial	2.82	0.12	4.09
8 cm	Final	6.43	0.21	3.24
	Inicial	2.82	0.12	4.09
16 cm	Final	4.7	0.17	3.69
	Inicial	2.82	0.12	4.09

Cuadro 11. ANOVA de la influencia de la radiación en el pH del agua para las diferentes profundidades de lámina de agua.

Lamina (cm)	F,V,	SC	gl	CM	F	p-valor
4 cm	Tiempo	0,48	1	0,48	10,32	0,0325
	Error	0,19	4	0,05		
	Total	0,67	5			
8 cm	Tiempo	0,01	1	0,01	0,07	0,8105
	Error	0,41	4	0,1		
	Total	0,41	5			
16 cm	Tiempo	0,04	1	0,04	1,56	0,2794
	Error	0,11	4	0,03		
	Total	0,15	5			

Cuadro 12. Medidas de resumen de la influencia de la radiación en el pH del agua para los diferentes anchos de lámina.

Lamina (cm)	Tiempo	Media	D.E.	CV
4 cm	Final	9.07	0.25	2.78
	Inicial	8.5	0.17	2.04
8 cm	Final	8.57	0.42	4.86
	Inicial	8.5	0.17	2.04
16 cm	Final	8.33	0.15	1.83
	Inicial	8.5	0.17	2.04

Cuadro 13. ANOVA de la influencia de la radiación en el DBO del agua para los diferentes anchos de lámina.

Lamina (cm)	F,V,	SC	gl	CM	F	p-valor
4 cm	Tiempo	11589.62	1	11589.62	663.84	<0.0001
	Error	69.83	4	17.46		
	Total	11659.45	5			
8 cm	Tiempo	13920.17	1	13920.17	684.6	<0.0001
	Error	81.33	4	20.33		
	Total	14001.5	5			
16 cm	Tiempo	38865.4	1	38865.4	2834.48	<0.0001
	Error	54.85	4	13.71		
	Total	38920.25	5			

Cuadro 14. Medidas de resumen de la influencia de la radiación en el DBO del agua para los diferentes anchos de lámina.

Lamina	Tiempo	Media	D.E.	CV
4 cm	Final	124.77	3.82	3.06
	Inicial	212.67	4.51	2.12
8 cm	Final	116.33	4.51	3.88
	Inicial	212.67	4.51	2.12
16 cm	Final	51.7	2.66	5.15
	Inicial	212.67	4.51	2.12

Cuadro 15. ANOVA de la influencia de la radiación en el DQO del agua para los diferentes anchos de lámina.

Lamina (cm)	F,V,	SC	gl	CM	F	p-valor
4 cm	Tiempo	11589.62	1	11589.62	663.84	<0.0001
	Error	69.83	4	17.46		
	Total	11659.45	5			
8 cm	Tiempo	13920.17	1	13920.17	684.6	<0.0001
	Error	81.33	4	20.33		
	Total	14001.5	5			
16 cm	Tiempo	38865.4	1	38865.4	2834.48	<0.0001
	Error	54.85	4	13.71		
	Total	38920.25	5			

Cuadro 16. Medidas de resumen de la influencia de la radiación en el DQO del agua para los diferentes anchos de lámina.

Lamina	Tiempo	Media	D.E.	CV
4 cm	Final	124.77	3.82	3.06
	Inicial	212.67	4.51	2.12
8 cm	Final	116.33	4.51	3.88
	Inicial	212.67	4.51	2.12
16 cm	Final	51.7	2.66	5.15
	Inicial	212.67	4.51	2.12

Cuadro 17. ANOVA de la influencia de la radiación en los coliformes del agua para los diferentes anchos de lámina.

Lamina (cm)	F,V,	SC	gl	CM	F	p-valor
4 cm	Tiempo	126730.7	1	126730.7	15518.04	<0.0001
	Error	32.67	4	8.17		
	Total	126763.3	5			
8 cm	Tiempo	126730.7	1	126730.7	15518.04	<0.0001
	Error	32.67	4	8.17		
	Total	126763.3	5			
16 cm	Tiempo	126730.7	1	126730.7	15518.04	<0.0001
	Error	32.67	4	8.17		
	Total	126763.3	5			

Cuadro 18. Medidas de resumen de la influencia de la radiación en los coliformes del agua para los diferentes anchos de lámina.

Lamina	Tiempo	Media	D.E.	CV
4 cm	Final	0	0	sd
	Inicial	290.67	4.04	1.39
8 cm	Final	0	0	sd
	Inicial	290.67	4.04	1.39
16 cm	Final	0	0	sd
	Inicial	290.67	4.04	1.39

Cuadro 19. Control de la exposición del agua contaminada a la radiación solar.

<b>FORMATO DE CONTROL DE EXPOSICION A LA FOTODEGRADACION DE AGUAS RESIDUALES</b>								
FUENTE: Quebrada del Águila								
<b>N° DIA</b>	<b>FECHA</b>	<b>INDICE UV</b>	<b>V INDICE</b>	<b>S TERMICA °C</b>	<b>HORA INICIO</b>	<b>HORA FINAL</b>	<b>TIEMPO EFECTIVO Horas</b>	<b>OBSERVACIONE S</b>
1	30 de julio	MUY ALTA	10	28.3	10:30	02:30	04:00	
2	31 de julio	MUY ALTA	10	27.2	10:20	02:20	04:00	
3	01 de agosto	EXTREMO	10	28.4	10:30	02:30	04:00	
4	02 de agosto	EXTREMO	10	28.8	10:00	02:30	03:30	Información reportada por la App Accuweather
5	03 de agosto	EXTREMO	10	26.7	10:00	02:30	03:30	
6	05 de agosto	EXTREMO	10	26.8	11:00	02:00	03:00	
7	07 de agosto	EXTREMO	10	27.1	11:00	02:00	03:00	
<b>TOTAL</b>							<b>24:00 HORAS</b>	



Figura 13. Obtención de las muestras de las aguas residuales en la desembocadura de la Quebrada del Águila en el río Huallaga.



Figura 14. Caracterización de los parámetros físicos básicos iniciales.



Figura 15. Selección de muestras para su incubación.

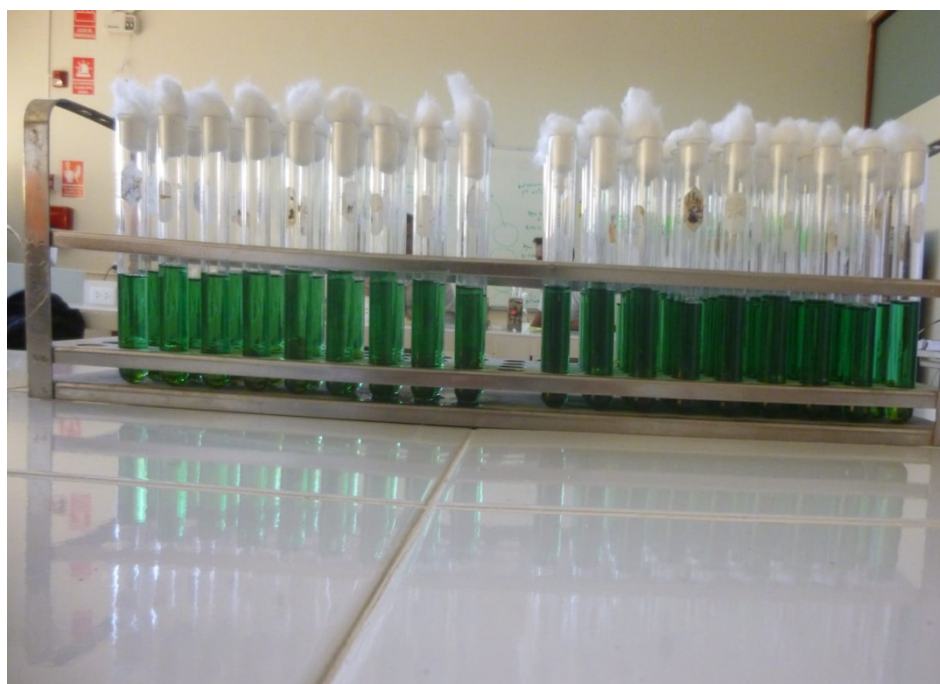


Figura 16. Caracterización de los parámetros microbiológicos.





Figura 17. Exposición de las bandejas de vidrios a la radiación para obtener el resultado de descontaminación por fotodegradación.



Figura 18. Medición de la variación de la temperatura ante la exposición a la radiación.



Figura 19. Medición de la variación del pH ante la exposición a la radiación.



Figura 20. Selección de muestras para la caracterización de los parámetros físicos básicos finales.



Figura 21. Caracterización de los parámetros físicos básicos finales.