

**UNIVERSIDAD DE PANAMÁ**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS**

**ESCUELA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**

**“REMEDIACIÓN DE AGUAS RESIDUALES DEL CULTIVO DE TILAPIA USANDO  
LUZ ULTRAVIOLETA”**

**ESTUDIANTE: YERALDINE A. RIOS R.**

**8-913-977**

**DAVID, CHIRIQUÍ**

**REPÚBLICA DE PANAMÁ**

**2024**

**UNIVERSIDAD DE PANAMÁ**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**

**“REMEDIACIÓN DE AGUAS RESIDUALES DEL CULTIVO DE TILAPIA USANDO  
LUZ ULTRAVIOLETA”**

**TRABAJO DE GRADUACIÓN SOMETIDO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE  
INGENIERÍA EN MANEJO DE CUENCAS Y AMBIENTE FACULTAD DE CIENCIAS  
AGROPECUARIAS, ESCUELA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**

**PERMISO PARA SU PUBLICACIÓN, REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL DEBE  
SER OBTENIDO POR LA FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS**

**APROBADO:**

**MIEMBROS**

**APROBACIÓN**

**DIRECTOR: Dr. Alex Ríos Moreno**

\_\_\_\_\_

**COMITÉ: Prof. José Pineda**

\_\_\_\_\_

**COMITÉ: Prof. Félix Guerra**

\_\_\_\_\_

**DAVID, CHIRIQUÍ**  
**REPÚBLICA DE PANAMÁ**

**2024**

## DEDICATORIA

Dedico esta tesis primeramente a Dios, por darme bendiciones, valor y también por haberme permitido llegar hasta este momento, por ser confidente, fiel y por escucharme en todo momento cuando he querido rendirme.

A mi familia, por ser testigo de todos mis esfuerzos, por siempre levantarme los ánimos para culminar este objetivo.

Gracias.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a Dios por darme fuerza y valor, por seguir luchando por mis metas, por darme sabiduría y paciencia, por siempre guiarme por el camino correcto.

A mi familia por siempre brindarme su apoyo en este recorrido, también agradezco a todas esas personas que brindaron su ayuda para realizar el desarrollo de dicha investigación.

Agradezco al Dr. Alex Ríos Moreno por su asesoramiento, consejos y paciencia a través de todo este proceso de tesis, también en ayudarme económicamente para ser posible esta investigación.

Al Dr. Reynaldo Vargas, le agradezco por sus consejos y por ser una pieza importante a la hora de realizar este proceso de tesis y también por sus conocimientos estadísticos.

También agradezco al Ing. Luis Castro por brindarme su apoyo y conocimientos.

A todos ustedes mi gratitud y mis respetos. Gracias

## ÍNDICE

INTRODUCCIÓN .....	¡Error! Marcador no definido.
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	2
1.1.1. PROBLEMA DE ESTUDIO .....	2
1.1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	3
1.2 OBJETIVOS.....	3
1.2.1. OBJETIVO GENERAL.....	3
1.2.2.OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	3
1.3 HIPÓTESIS .....	4
1.3.1. HIPÓTESIS (A).....	4
1.3.2. HIPÓTESIS (0) .....	4
1.4. ALCANCES Y LIMITACIONES.....	4
1.4.1. ALCANCES DE TRABAJO.....	4
1.4.2. LIMITACIONES .....	5
2. MARCO TEÓRICO.....	6
2.1. ¿ QUÉ SON LAS BACTERIAS .....	6
2.2. ¿ QUÉ SON LOS VIRUS.....	6
2.3. REMEDIACIÓN EN EFLUENTE RESIDUAL.....	7
2.4. TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL .....	7
2.4.1 TIPOS DE EFLUENTE RESIDUAL.....	8
2.4.2. RAZONES PARA UN TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL.....	9

2.4.3. CLASIFICACIÓN DEL TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL .....	9
2.5. PARÁMETROS DE CALIDAD DE AGUA .....	10
2.5.1. PARÁMETROS FÍSICOS .....	10
2.5.2. PARÁMETROS QUÍMICOS .....	11
2.5.3. PARÁMETROS BIOLÓGICOS.....	12
2.6. CONCEPTO DE LUZ ULTRAVIOLETA.....	12
2.6.1. VENTAJAS DE LA LUZ ULTRAVIOLETA .....	13
2.6.2. DESVENTAJAS DE LA LUZ ULTRAVIOLETA .....	14
2.7.¿QUÉ ES LA ACUICULTURA? .....	14
2.8. PRODUCCIÓN DE TILAPIA EN PANAMÁ.....	16
MATERIALES Y MÉTODOS.....	17
3.1. MATERIALES .....	17
3.2. METODOLOGÍA.....	18
3.2.1. ÁREA DE ESTUDIO.....	18
3.2.2. DISEÑO EXPERIMENTAL.....	20
3.2.3 FASE EXPERIMENTAL .....	20
3.3. ANÁLISIS ESTADÍSTICOS.....	23
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	24
4.1 AMONÍACO.....	25
4.1.1. NITRITOS.....	26
4.1.2. NITRATO.....	27
4.1.4. FOSFATO.....	28
4.1.5. TOTAL DE SÓLIDOS DISUELTOS.....	29

4.1.6. TEMPERATURA.....	29
4.1.7. CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA.....	30
4.1.8. pH.....	31
4.1.9. COLIFORMES FECALES.....	32
4.2.DISCUSIÓN.....	33
5. CONCLUSIONES.....	37
6. RECOMENDACIONES.....	38
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	39
8.ANEXOS.....	45

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1.	Ubicación de Finca la Panelita en la comunidad de..... Caimito, Los Anastacios, Distrito de Dolega.	18
2.	Agua residual de cultivo de tilapia, comunidad de caimito.... Distrito de Dolega.	19
3.	Área geográfica de la comunidad Pueblo Nuevo, San..... Carlos, David.	19
4.	Amoníaco.....	25
5.	Nitrito.....	26
6.	Nitrato.....	27
7.	Fosfato.....	28
8.	Total de sólidos disueltos.....	29
9.	Conductividad eléctrica.....	30
10.	pH.....	31
11.	Coliformes fecales.....	32

## RESUMEN

### REMEDIACIÓN DE AGUAS RESIDUALES DEL CULTIVO DE TILAPIA USANDO LUZ ULTRAVIOLETA”

Rios Rios, A. Y. 2024. Remedación De Aguas Residuales Del Cultivo De Tilapia Usando Luz Ultravioleta”. Tesis de Ingeniería en Manejo de Cuencas y Ambiente. Chiriquí. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de Panamá.

La aplicación de la luz ultravioleta como método de desinfección es uno de los métodos más efectivos a la hora de tratar el agua residual, ya que es una metodología para tratar de inactivar los tipos de bacterias, como los coliformes fecales, *Escherichia coli*, Salmonella. Por lo tanto, se llevó a cabo un estudio con el propósito de evaluar la eficiencia de la luz ultravioleta como método de remediación en agua residual. Se implementó un diseño completamente al azar que consistió de nueve tinajas rectangulares de vidrio con dimensiones de 0.76 x 0.34 x 0.43 metros respectivamente (largo, ancho, alto), y una capacidad individual de 113.56 Litros. En cada experimento se utilizó un volumen de 55 L. Los tratamientos se realizaron por triplicado. El efluente utilizado en dicho estudio fue de la Finca Panelita situado en la comunidad de Caimito, Distrito de Dolega. Se realizaron muestreos de parámetros fisicoquímicos, biológicos los cuales se hicieron en horario Matutino y Vespertino. En cuanto a los coliformes fecales las muestras fueron tomadas en horario de 8:00 – 8:15 a.m. Los resultados mostraron que la luz ultravioleta tuvo un impacto en la reducción de los parámetros fisicoquímicos (Amoníaco, Fosfato, Nitrato, Nitrito) y la remoción de coliformes fecales.

Por lo tanto, se concluyó que la luz ultravioleta tiene una eficiencia positiva para la remediación en agua residual en Panamá. Como se mencionó anteriormente la luz ultravioleta demostró valores significativos, logrando una disminución en amoníaco, coliformes fecales, nitrito, nitrato, conductividad eléctrica mientras que los demás parámetros como fosfato, total de sólidos disueltos (TDS), temperatura y pH no se evidenció cambios significativos.

Palabras Clave: Agua residual, Coliformes fecales, Luz Ultravioleta, Remediación.

## ABSTRACT

Remediation of wastewater from tilapia farming using ultraviolet light.

Rios, Rios. A.Y. (2024). Remediation of wastewater from tilapia farming using ultraviolet light. Thesis Engineering in Watershed Management and Environment. Chiriqui, Panama. Faculty of Agricultural Sciences, University of Panama

The application of ultraviolet light as a method of disinfection is one of the most effective methods when treating wastewater since it is a methodology to try to inactivate types of bacteria, such as fecal coliforms, *Escherichia coli*, Salmonella. Therefore, a study was carried out with the purpose of evaluating the efficiency of ultraviolet light as a remediation method in wastewater, a completely randomized design was implemented consisting of nine rectangular glass tubs with dimensions of 0.76 x 0.34 x 0.43 meters respectively (length, width, height), and individual capacity of 113.56 liters. A volume of 55 liters was used in each experiment. The treatments were carried out in triplicate. The effluent used in this study was from the Panelita Farm located in the community of Caimito, District of Dolega. Sampling of physicochemical and biological parameters was carried out in the morning and evening hours. Regarding fecal coliforms, the samples were taken between 8:00 and 8:15 am. The results showed that ultraviolet light had an impact on the reduction of physicochemical parameters (Ammonium, Phosphate, Nitrate, Nitrites) and the removal of fecal coliforms. Therefore, it was concluded that ultraviolet light has a positive efficiency for wastewater remediation in Panama. As mentioned above, ultraviolet light showed significant values since it demonstrated a decrease in ammonia, fecal coliforms, nitrite, nitrate, and fecal coliforms.

Key words: Fecal Coliforms, Remediation, Ultraviolet Light, Wastewater,

## INTRODUCCIÓN

Aunque la acuicultura generalmente se elige en sitios que no se utilizan directamente para otros fines de producción, puede haber otros usos indirectos en competencia dentro de estas áreas y, a veces, incluso usos alternativos directos. Además, las actividades de la acuicultura pueden entrar en conflicto con la agricultura, los deportes y otras ocupaciones pesqueras, la expansión industrial, el transporte marítimo, el desarrollo de los recursos pesqueros, el desarrollo residencial y la recreación. En algunos casos, también se puede decir que la estética del área puede verse severamente dañada debido a los caminos de acceso, las líneas eléctricas y otros requisitos de infraestructura para las piscifactorías (Silva, 2001). La contaminación del agua y otras modificaciones ambientales importantes (por ejemplo, desvío de agua, dragado, recuperación) pueden tener impactos muy serios en la acuicultura, por lo tanto, cuando sea necesario, se deben implementar medidas de control apropiadas en su planificación de desarrollo. Debido a que los ambientes de la acuicultura generalmente se mantienen en altos niveles de productividad, utilizando insumos de energía externos, tienden a ser menos estables y más susceptibles a las perturbaciones que los ecosistemas naturales. La contaminación puede ser causada por desechos agrícolas, domésticos e industriales (Finlayson *et al.*, 2005). En las granjas piscícolas liberan grandes cantidades de aguas utilizadas que contienen para el proceso de cría, desarrollo y ceba de peces, restos de excretas de los peces, restos de alimentos fermentados, lodos en estado de fermentación a la vez un gran contenido de bacterias provocadas por la descomposición y muchas veces estas aguas van a dar a fuentes hídricas o en algunas ocasiones son utilizadas en la agricultura y ganadería provocando contaminaciones ambientales (Guerra, 2016).

## 1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 1.1.1. PROBLEMA DE ESTUDIO

En la actualidad, los residuos líquidos industriales vertidos a la naturaleza sin ningún tratamiento sobrepasan la capacidad de autorealización de los efluentes, alterando sus características y provocando una inminente contaminación ambiental. Entre los residuos que mayor impacto ambiental generan son los llamados no biodegradables o persistentes, debido a que pueden destruir ecosistemas y afectar la salud de poblaciones. Se ha avanzado en el tratamiento de contaminantes en agua para reducirlos a concentraciones permitidas y dar cumplimiento con especificaciones de vertido determinadas por los organismos competentes, sin embargo; uno de los problemas más serios está relacionado con las sustancias denominadas contaminantes orgánicos persistentes, cuya procedencia es generalmente aguas residuales industriales (Gil-Pavas *et al.*, 2005).

### 1.1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿El uso de la luz ultravioleta (UV), es un método efectivo para los efluentes piscícolas de Panamá?

## 1.2. OBJETIVOS

### 1.2.1. OBJETIVO GENERAL

- Evaluar la eficiencia en la desinfección de aguas residuales del cultivo de tilapia utilizando luz ultravioleta.

### 1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Someter aguas residuales de estanques de tilapia a diferentes tiempos de exposición de luz ultravioleta.
- Verificar si la luz ultravioleta incide en algunos factores fisicoquímico en agua residuales de estanques de tilapia.
- Determinar la efectividad de la luz ultravioleta en la disminución de unidades formadoras de colonias en los estanques de tilapia.

### 1.3. HIPÓTESIS

#### 1.3.1. HIPÓTESIS (A)

Existe diferencia significativa en la utilización de la luz ultravioleta para la desinfección de aguas residuales del cultivo de tilapia.

#### 1.3.2. HIPÓTESIS (0)

No existe diferencia significativa en la utilización de la luz ultravioleta para la desinfección de aguas residuales del cultivo de tilapia

### 1.4. ALCANCES Y LIMITACIONES

#### 1.4.1. ALCANCES DE TRABAJO

Este ensayo permitió evaluar y determinar el nivel de contaminación ejercida por los efluentes de tinajas piscícolas a fuentes hídricas, y animales. Se estudiaron los niveles de patógenos presentes en dichas aguas, con el fin de establecer un rango de uso de la luz ultravioleta como método de remediación de dichos efluentes. Se buscó poder darles una utilización ecológicamente sustentable a estas aguas, ya sea en sistemas de riego para cultivos, acuaponía, agua para consumo animal y en algunos procesos industriales.

#### 1.4.2. LIMITACIONES

-La falta de datos previos generados en investigaciones es limitada en nuestro país, según nuestra revisión bibliográfica, lo que impedirá comparar con estudios en nuestra región.

-Siempre existen limitaciones asociadas a los recursos y presupuesto que inciden en el tiempo de investigación, cantidad de muestras, sitios y diversos efluentes.

- Hubo interferencia sociopolítica en el desarrollo del estudio.

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1. ¿QUÉ SON LAS BACTERIAS?

Las bacterias son organismos unicelulares, procariotas, debido a que no hay una membrana interna. Los procariotas se caracterizan por una sola célula que carece de orgánulos (estructuras celulares que realizan ciertas funciones, como un núcleo único). En las células eucariotas, el material genético está cubierto por una membrana llamada membrana nuclear (Sánchez-Contreras *et al.*, 2017). Las bacterias son microorganismos que se reproducen por fisión binaria y que tienen tres formas básicas: bacterias cocos o esféricos, bacterias o bacilos alargados, y, espiroquetas o vibrias. Algunos cocos tienen otro nombre: por ser planos, se denominan cocobacilos. Las bacterias pueden exhibir ciertas variaciones morfológicas, incluyendo bacterias con forma de estrellas, rectangulares, aplanadas, alargadas con forma de pera y finalmente, bacterias que forman pedúnculos no celulares. Estas bacterias pueden ser observadas a través de microscopio, ya que tienen un tamaño colonial alrededor de 0.5 a 4.0 milímetros (Vargas-Flores y Kuno-Vargas, 2014).

### 2.2. ¿QUÉ SON LOS VIRUS?

Los virus están formados por moléculas de ácido desoxirribonucleico o ácido ribonucleico encapsuladas en vesículas proteicas. El virus no puede replicarse por sí solo. Necesitan infectar células y utilizar componentes de la célula huésped para replicarse. En muchos casos, el virus destruye o mata a la célula huésped durante el proceso de propagación. Se han encontrado virus en todos los ecosistemas del planeta (López, 2020).

### 2.3. REMEDIACIÓN EN EFLUENTE RESIDUAL

La remediación, también conocida como tratamiento, es una serie de actividades e investigaciones destinadas a restaurar o reparar propiedades con el fin de reducir la contaminación ambiental (Asunción-Alvarado y Rosas-Alegre, 2020).

En el consumo del agua para diferentes fines y el aumento de la población a nivel mundial han provocado un impacto de contaminación en los sistemas acuíferos. La contaminación de estos ecosistemas es un problema que se vive en el día de hoy, debido al vertido continuo de los residuos domésticos e industriales, provocando la degradación ambiental (Larrea-Murrel *et al.*, 2013).

### 2.4. TRATAMIENTO EN AGUA RESIDUAL

El tratamiento del agua residual genera un efluente de suficiente calidad, por lo cual debería ser usado de manera benéfica y no desperdiciado. Adicionalmente, el reúso del agua residual tratada ha sido exitoso para la agricultura y piscicultura y se han reportado incrementos de la producción (Madera, 2013).

Las aguas residuales o alcantarillado se pueden definir como una mezcla de residuos líquidos (aguas residuales, hogares), fábricas e industrias (aguas residuales industriales) y aguas pluviales (lluvia) e infiltración, recogida a través del sistema de alcantarillado.

#### 2.4.1. TIPOS DE AGUA RESIDUAL

Fuentes de agua residuales: existen cuatro fuentes fundamentales en las aguas residuales son: agua residual doméstica, aguas residuales industriales, aguas residuales de uso agrícola y aguas residuales pluviales (Ramahlo, 2021).

Además, hacen posible el control de las variables ambientales que afectan la fisiología de los organismos cultivados.

Estas variables pueden ser la temperatura, la turbiedad del agua, la salinidad, la concentración de nitrógeno amoniacal total (NAT), los nitritos ( $\text{NO}_2$ ), los nitratos ( $\text{NO}_3$ ), la luz, el oxígeno ( $\text{O}_2$ ), la alcalinidad, los fosfatos, los sólidos (disueltos, suspendidos y sedimentables), y los metales pesados (Timmons *et al.*, 2002).

Aguas residuales Doméstica: Son aquellas que tienen como origen de los desechos de las viviendas, animales.

Aguas residuales Industriales: Son aguas provenientes que son vertidas por actividades industriales o comerciantes

Aguas residuales de uso Agrícola: Son aguas provenientes por desechos animales y materia orgánica biodegradables.

Aguas residuales Pluviales: Es aquella agua que son provenientes de lluvias.

#### 2.4.2. RAZONES PARA UN TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL

El tratamiento de aguas residuales previene la polución de los ríos por toxinas de diversas naturalezas. En general, el tratamiento tiene como objetivo evitar:

- Daños a los abastecimiento públicos, privados e industriales de suministro de agua.
- Daños a las aguas residuales destinadas a la recolección y el esparcimiento.
- Daños a las actividades piscícolas

#### 2.4.3. CLASIFICACIÓN DEL TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL

Tratamiento Preliminar: Está destinado a la preparación, acondicionamiento de las aguas residuales con el objetivo de proteger las instalaciones y el funcionamiento de los tratamientos.

Tratamiento Primario: Tiene como objetivo la remoción por medios físicos o mecánicos de una parte sustancial del material sedimentado o flotante.

Tratamiento Secundario: la reducción de los compuestos orgánicos presentes en el agua residual, acondicionada previamente mediante tratamiento primario, se realiza exclusivamente por procesos biológicos.

Tratamiento Terciario o Avanzado: Tiene como objetivo complementar los procesos anteriormente indicados para lograr efluentes más puros, con menor carga contaminante y que pueda ser utilizado para diferentes usos como recarga acuífera (Rojas, 2002).

La reutilización de aguas residuales trae múltiples beneficios, especialmente el suministro de riego agrícola. A nivel asequible, la reutilización del agua tratada puede resultar en ahorros significativos, encontrar y regular nuevas fuentes de agua para abastecer la necesidad. Las aguas residuales tratadas se vierten en la aplicación de fertilizantes; de forma controlada, pueden tener un efecto fertilizante en el suelo por su contenido nutricional (FAO, 2015).

## 2.5. PARÁMETROS DE CALIDAD DE AGUA.

### 2.5.1. PARÁMETROS FÍSICOS

pH: Interviene si el agua es dura o blanda, la tilapia crece mejor en agua de pH neutro, levemente alcalino. Su crecimiento se reduce en aguas ácidas y toleran hasta el pH de cinco; un alto valor de pH (de 10 durante las tardes) no las afecta y el límite, aparentemente, es de 11. Con valores de 6.5 a 9, tienen condiciones para el cultivo (Martínez-Saavedra, 2006).

Temperatura: Es un factor fundamental en la acuicultura, pero la mayor parte es difícil de controlar por la radiación solar que existe en el ambiente, y esto se ve involucrado ya que va afectando el crecimiento y la supervivencia de los animales acuáticos (Boyd, 2018).

Turbiedad: La turbiedad es causada por partículas de suspensión o coloide (arcilla, tierra fina, etc.). La turbidez es causada por partículas que forman sistemas coloidales, es decir, aquellos que debido a su gran tamaño quedan suspendidos y reducen la claridad del agua (Bautista y Ruiz, 2001).

## 2.5.2. PARÁMETROS QUÍMICOS

Amoniaco: Es el producto final de las sustancias presentes en el agua, que se da por la eliminación de compuestos que tienen nitrógeno orgánico y la hidrólisis de la urea, cuando el resultado da mayor a 0.1 miligramos por litro, quiere decir que hay contaminación en el agua (Bautista y Ruiz, 2011).

Nitrato y Nitrito: Son iones que existen de manera natural y es parte del ciclo del nitrógeno. El contenido natural de nitrato en las aguas superficiales y subterráneas es generalmente de unos pocos miligramos por miligramos (González-Legarda, 2017).

Los niveles nitratos entre cero y 40 miligramos por litro es generalmente seguros para los peces; cualquier valor que sobrepasen a los 80 miligramos por litro puede ser tóxicos. Los niveles de nitritos superiores a 0.75 pueden provocar estrés en peces y mayores a cinco miligramos por litro suelen ser tóxicos en peces (Bautista y Ruiz, 2001).

Fosfato: Son nutrientes de las plantas y conducen al crecimiento de algas en las aguas superficiales. Los compuestos que se encuentran en las aguas residuales o que se vierten directamente a las superficiales provienen de: Fertilizantes eliminados del suelo por el agua o viento, excreciones de animales (Pütz, 2008).

Conductividad Eléctrica (EC): Es un indicador que se expresa en siemens en metros, s/m por simplicidad, se usa us/cm, se usa a una temperatura de 25 °C. La concentración de sales en el agua está relacionada con la conductividad eléctrica (Solís-Castro *et al.*, 2017).

Oxígeno disuelto (OD): Es un indicador de cuánto oxígeno hay en el agua que son esenciales para la vida de los peces. Se debe a las altas temperaturas que existen. Entre más el agua está fría se encuentra más oxígeno, pero si el agua está caliente, el oxígeno va disminuyendo (Pulla-Peña, 2007).

Total de sólidos disueltos (TDS): Es una medida de la cantidad de sólidos existentes en el agua en la que nos puede indicar la cantidad de contaminación que está en el agua. Esta medición se da con la conductividad eléctrica y se expresa en us/cm (Maza-Lema, 2017).

### 2.5.3. PARÁMETROS BIOLÓGICOS

Coliformes fecales: Son organismos que viven en los intestinos de los animales y desechos o heces de animales. Los coliformes son más bien presencias de organismos portadores de enfermedades que viven en el ambiente, estos microorganismos son fáciles de identificar en comparación con los microorganismos patógenos habituales (Maza-Lema, 2017).

### 2.6. CONCEPTO DE LUZ ULTRAVIOLETA

La luz ultravioleta es una alternativa establecida y cada vez más popular frente al uso de productos químicos para la desinfección de agua potable, aguas residuales y aguas industriales de varias calidades. Los sistemas de desinfección UV pueden ser diseñados para una amplia gama de aplicaciones, siempre que se preste la debida atención a la calidad del agua que se está desinfectando y a los objetivos de desinfección buscados (Wright y Cairns, 1990).

La luz ultravioleta penetra las paredes celulares de los organismos y es absorbida por el ácido desoxirribonucleico y el ácido ribonucleico, dimerizando las dos bases (uniéndolas mediante dobles enlaces), impidiendo la reproducción o provocando la muerte celular. La desinfección ultravioleta es más que todo un proceso físico en que los microorganismos se neutralizan inmediatamente al pasar por las lámparas de luz ultravioleta sumergidas en el agua residual. La eficacia del sistema de desinfección de luz de ultravioleta depende de las propiedades de agua residual, intensidad de radiación, tiempo de exposición microbiana, radiación y configuración del reactor.

La radiación ultravioleta tiene longitudes de ondas más cortas a las de la luz visibles, dentro de la radiación ultravioleta. Existe diferentes categorías de longitudes de ondas que se dividen en UV-A, UV-B y UV-C. Las longitudes de ondas de la radiación ultravioleta son: Ondas larga: UV-A 400 nm - 315 nm, onda corta: UV-C 280 nm - 100 nm (Rossel-Bernedo *et al.*, 2019).

#### 2.6.1. VENTAJAS DE LA LUZ ULTRAVIOLETA

- Es un tratamiento físico libre de utilización de productos químicos peligrosos.
- No altera ni cambia las propiedades del agua tratada.
- No hay efectos negativos ni peligro de sobre dosificación.
- El mantenimiento y limpieza del sistema es simple, ya que no requiere de un conocimiento tecnificado.
- Es apta para distintos usos: consumo humano, industria alimentaria, procesos industriales, laboratorios, agricultura, etc.

- Su función es compatible con distintos procesos, comúnmente con el tratamiento con ozono.
- El tratamiento no produce residuos químicos ni radiación.
- Es efectivo para desinfección de diversas superficies.
- Es eficaz para la inactivación de muchos microorganismos.

#### 2.6.2. DESVENTAJAS DE LA LUZ ULTRAVIOLETA

- Las dosis pequeñas pueden no ser efectivas contra virus, bacterias, esporas y quistes.
- En algunos casos, los organismos pueden reparar o revertir los efectos nocivos de la radiación ultravioleta.
- La radiación ultravioleta es ineficaz en aguas secundarias con sólidos disueltos por encima de 30 mg/L (López-Torres, 2017).

#### 2.7. ¿QUÉ ES LA ACUICULTURA?

La acuicultura, como una actividad multidisciplinaria, constituye una empresa productiva que utiliza los conocimientos sobre biología, para ayudar a resolver el problema nutricional y según la clase de organismos que se cultivan, se ha desarrollado la piscicultura o cultivo de peces. Dentro de esta actividad la tilapia es el pez utilizado. Esta especie tiene un rápido crecimiento y alcanza el tamaño de comercialización de tilapia puede alcanzar pesos de uno a 1.5 libras en un periodo de seis a nueve meses según el cultivo empleado.

## INFRAESTRUCTURA DE PRODUCCIÓN:

- Estanques

La producción de peces en estanques de cultivo puede proveer proteína y ganancias para los granjeros. La tilapia es fácil de cultivar y da buenos rendimientos.

- Corrales

Se puede construir un corral en la parte menos profunda de un arroyo, un río, un lago o un embalse. La profundidad del agua en un corral no deberá exceder de 1.5 metros en la parte más honda, también deberá asegurarse de que la misma nunca sea inferior a un metro, incluso durante la estación seca.

- Jaulas

Las jaulas se pueden construir en una gran variedad de formas, utilizando materiales como el bambú o tablas y alambre, nylon u otras mallas sintéticas. Las estructuras de soporte pueden sostener las jaulas sobre la superficie del agua o sobre el fondo de un cuerpo de agua (Martínez-Saavedra, 2006).

## 2.8. PRODUCCIÓN DE TILAPIA EN PANAMÁ

La comercialización de la tilapia panameña comenzó a desarrollarse en la década de 1980 y en 1994 la especie comenzó a exportarse a los Estados Unidos. Sin embargo, a nivel de exportación, la producción de tilapia de cultivo ha sido sustituida por la producción de ejemplares de tilapia en embalses, donde la tilapia es extraída por más de 1,200 pescadores. Actualmente, el cultivo comercial de tilapia en la provincia de Panamá se realiza en jaulas flotantes de unos 800 m<sup>3</sup>, mientras que la producción en estanques se concreta en la provincia de Chiriquí. El cultivo de truchas comenzó en 1992 y la producción alcanzó las 168 toneladas en 2004, principalmente para la exportación.

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

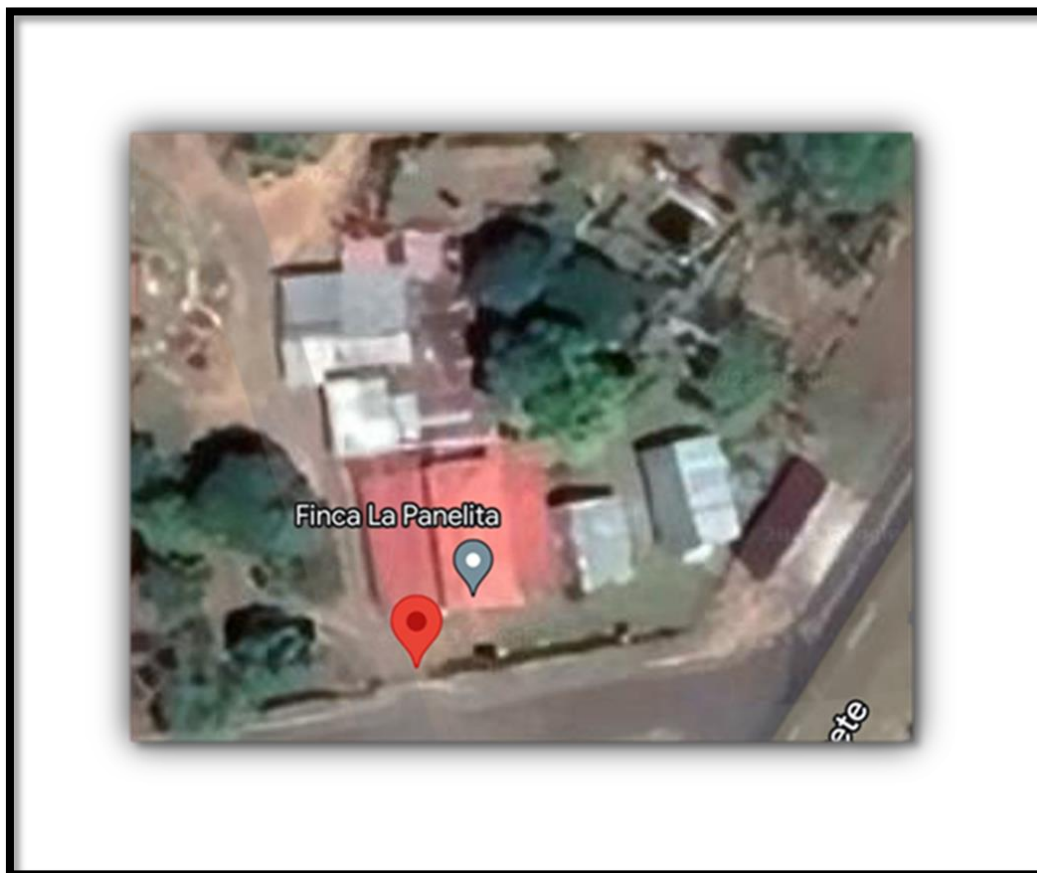
#### 3.1. MATERIALES

- Tinajas peceras.
- Tanque de 750 litros de agua
- Cinta adhesiva.
- Cartón.
- Cuaderno.
- Lápiz.
- Lámpara de luz ultravioleta.
- Medidor de intensidad de luz ultravioleta.
- pH-metro.
- (EC) Conductividad eléctrica.
- Guantes.
- Máscara protección.
- (TDS) Total de sólidos disueltos.
- Cronómetro.
- Reactivo de Fosfato.
- Reactivo de Amonio.
- Fotómetro.
- Pipeta.
- Reactivo de Nitrato.
- Reactivo de Nitritos.
- Coliformes fecales.

## 3.2. METODOLOGÍA

### 3.2.1 Área de estudio

Para este estudio se recolectó efluentes de cultivo de tilapia, de la finca La Panelita (Figura 1 y 2), ella se encarga de la producción agroecológica con diferentes rubros cómo, el cultivo de tilapia, ganado, panela (Dulce o Raspadura), saril, entre otros. Se encuentra localizada en la comunidad de Caimito, Distrito de Dolega con coordenadas  $8^{\circ} 32'52.6''$  N  $82^{\circ}25'16.5''$  W. Se utilizó una bomba de presión y un tubo para depositar el agua residual del cultivo de tilapia en un tanque de 750 litros previamente desinfectado.

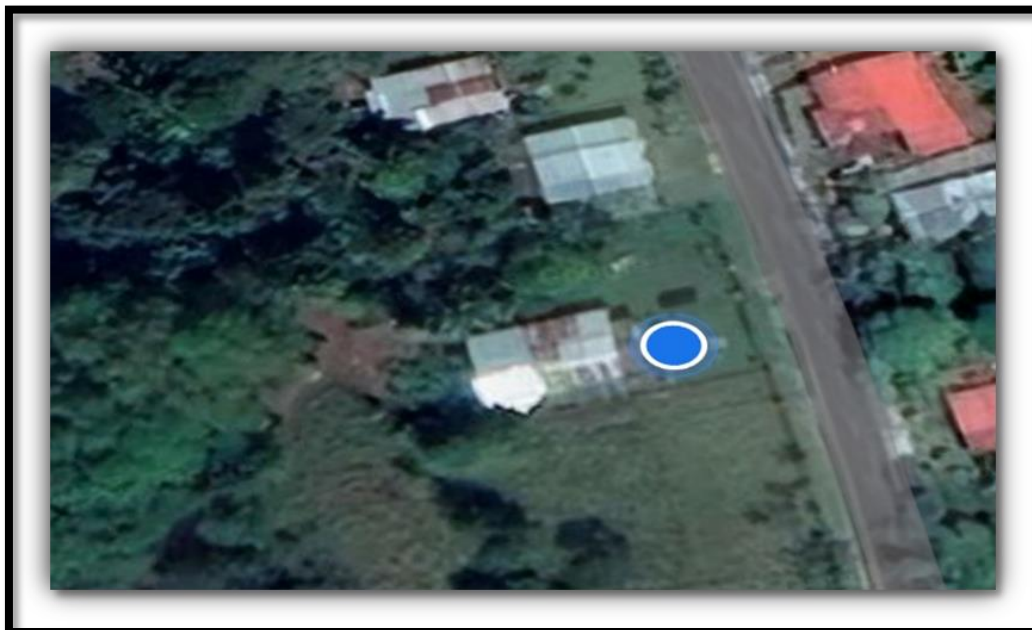


*Figura 1. Ubicación de Finca la Panelita en la comunidad de Caimito, Distrito de Dolega. Fuente: Google Maps 2024*



*Figura 2. Agua residual de cultivo de tilapia, comunidad de caimito, Distrito de Dolega.*

El estudio se desarrolló en la comunidad de Pueblo Nuevo, corregimiento de San Carlos, en el Distrito de David con coordenadas 8°31'00" N 82°30'00" O (Figura 3).



*Figura 3. Área geográfica de la comunidad Pueblo Nuevo, San Carlos, David. Fuente: Google Maps 2024*

### 3.2.2. DISEÑO EXPERIMENTAL

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \epsilon_{ij}$$

En donde:

$Y_{ij}$ = Variable respuesta de la ij-esima unidad experimental.

$\mu$ = Efecto de la media general.

$\tau_i$ = Efecto de la i-esimo tratamiento uno (Control), Tratamiento dos (10 segundos), tratamiento tres (20 segundos) y tratamiento cuatro (30 segundos).

$\epsilon_{ij}$ = Efecto del error experimental asociado a la i-esima unidad experimental.

Se utilizó un diseño completo al azar con cuatro tratamientos y tres repeticiones; los tratamientos fueron desarrollados por unidades rectangulares de vidrio (peceras), con dimensiones de 0.76 x 0.34 x 0.43 metros respectivamente (largo, ancho, alto), y una capacidad individual de 113.56 Litros.

### 3.2.3. FASE EXPERIMENTAL

Se depositó 55 litros de efluente de cultivo de tilapia en las tinas peceras. Se realizaron cuatro tratamientos, con tres repeticiones para cada uno. El primer tratamiento fue el testigo, es decir; no se aplicó luz ultravioleta, al segundo tratamiento se le dio una exposición a luz ultravioleta durante diez segundos, el tercer tratamiento se sometió a la exposición durante veinte segundos y al tratamiento cuatro se expuso a treinta segundos con luz ultravioleta (Los tiempos de exposición se basaron en pruebas previas realizadas en el laboratorio GIPROVEG de la Facultad de Ciencias

Agropecuarias-sede Chiriquí). Las tinas estuvieron cubiertas con cartón para que la luz ultravioleta no interfiera con las demás tinas.

Antes y después de someter el agua a luz ultravioleta, por medios de equipos de análisis, se realizaron pruebas de concentraciones de amoníaco, fosfatos y nitratos, disponiendo de un fotómetro HI 83306 (HANNA®), con el siguiente procedimiento:

Amoníaco( $\text{NH}_3\text{-N}$ ): En vasos viales y por medio de una pipeta se añadieron 10 mililitros de agua residual proveniente de tilapia, colocando la muestra sin reactivo en el fotómetro, para tarar la muestra en cero. Posteriormente, se añadieron cuatro gotas del reactivo HI93700A-0A y agitándose manualmente. Añadimos cuatro gotas del reactivo HI93700B-0 B cubriendo el envase y agitándose manualmente. Por último, la muestra se colocó en el fotómetro. Pasados tres minutos tomamos la lectura, cuyo resultado se expresa en miligramos por litros de nitrógeno amoniacal ( $\text{NH}_3\text{-N}$ ).

Fosfato LR ( $\text{PO}_4^{3-}$ ): En vasos viales y por medio de una pipeta, se depositaron 10 mililitros de agua residual proveniente de cultivo de tilapia, colocando la muestra sin reactivo en el fotómetro, para tarar la muestra en cero. Se agregó el reactivo del fosfato, cubriendo el envase y agitando suavemente, por dos minutos, hasta que se disuelva el polvo. Luego se introdujo la muestra en el fotómetro y a los tres minutos se tomó la lectura, cuya lectura se da en miligramos por litros de fosfato ( $\text{PO}_4^{3-}$ ).

Nitrato LR ( $\text{NO}_3$ ): En vasos viales, y por medio de una pipeta, se llenaron 10 mililitros de agua residual proveniente de cultivo de tilapia, colocando la muestra en el fotómetro, para tarar en cero. Se agregó el reactivo de nitrato, agitando fuertemente por diez segundos, nuevamente se agitó por cincuenta segundos teniendo cuidadosamente de no introducir burbujas de aire, ya que puede afectar la muestra y presentar resultados erróneos, después de los cuatro minutos y treinta segundos se tomó la lectura, que se da en miligramos por litros de nitrato ( $\text{NO}_3\text{-N}$ ).

En el caso de nitrito ( $\text{NO}_2$ ), fue evaluado a través de métodos colorimétricos (API®). Se llenó la muestra hasta 5 mililitros de agua para analizar, se colocó tres gotas de concentración de nitrito y se agitó por cinco minutos sin que se introduzca aire de burbujas. Después de transcurrir el tiempo, se tomó la lectura que se expresa en parte por millón.

Adicional se realizó muestreos de 100 mililitros de agua por unidad experimental debidamente etiquetada en la cual fueron trasladadas al Laboratorio de Aguas y Servicios Físicoquímicos (LASEF) de la Universidad Autónoma de Chiriquí, para la evaluación de concentración de nitrato y nitritos del efluente de cultivo de tilapia.

Para determinar la presencia de coliformes fecales, se llenó con una pipeta hasta cinco mililitros de efluente procedente de cultivo de tilapia, luego se esperó por un tiempo de 48 horas. Después de que transcurrió el tiempo de espera, se verificó con la tabla de rango. Para determinar dicho parámetro, se utilizó equipos de la marca AQUAVIAL y VARIFY. También se utilizó equipos de marcas Health Metric para analizar la cantidad de total de sólidos disueltos en el agua, a la vez se midió la conductividad eléctrica y posteriormente tomamos la temperatura y pH.

### 3.3. ANÁLISIS ESTADÍSTICOS

Los datos se ingresaron en una hoja de Microsoft Excel®2021 para su procesamiento y análisis estadísticos. Se realizó con R 2.12 (R-Development-Core-Team 2021), Estadísticas versión 10(StatSofv10) y los gráficos mediante Graph Pad Prism V.8.02 (San Diego, CA, USA). Los datos fueron sometidos a prueba de Shapiro-Wilk's, para valorar normalidad, y la prueba de Levene's para analizar la homogeneidad de varianzas. Las variables evaluadas no cumplieron uno o ambos supuestos que no fueron evaluados con la prueba no paramétrica. Todas las variables evaluadas no cumplieron los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas. Al ser más de tres tratamientos, fueron evaluadas con la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis y corregidas con la prueba post-hoc de Dunn's. Los resultados se consideran significativos a un valor de  $p < 0.05$ .

## **4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### **4.1. RESULTADOS**

Se sometieron aguas provenientes del cultivo de tilapia a diferentes tiempos de exposición de luz ultravioleta, específicamente el UV-C, en el cual las ondas cortas de la radiación ultravioleta inciden sobre el material genético de los microorganismos y los virus, y los inactivados. Los parámetros evaluados fueron: amoníaco, fosfato, nitrato, nitrito, conductividad eléctrica, total de sólidos disueltos, pH, temperatura y coliformes fecales.

#### 4. 1.1 AMONÍACO:

Los tratamientos mostraron diferencias significativas en la concentración de amoníaco (K-W=14.32,  $p=0.002$ ). La prueba de comparación múltiple de Dunn's mostró que el control es estadísticamente diferente de T3 ( $p=0.01$ ) y T4 ( $p=0.02$ ). No se observó diferencia entre el control y T2 ( $p>0.05$ ). No existen diferencias significativas entre T2, T3 y T4 ( $p>0.05$ ), ni entre T3 y T4 ( $p>0.05$ ), durante la etapa de estudio (Figura 4).

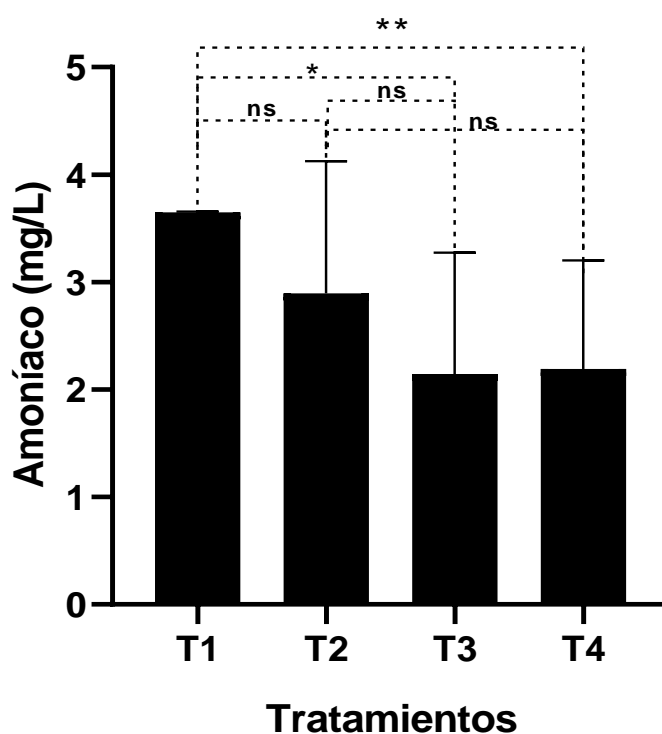


Figura 4. Media  $\pm$  D.E., de la concentración de amoníaco  $NH_3$  en mg/L.

#### 4.1.2. NITRITO:

Existen diferencias significativas en las concentraciones de nitrito entre los tratamientos (K-W=38.78,  $p < 0.001$ ). La prueba post-Hoc (Figura 5) muestra que T1 es similar con T2, pero diferente de T3 y T4 ( $p < 0.001$ ). T2 es similar con T3 ( $p > 0.05$ ) y diferente de T4 ( $p < 0.001$ ), T3 y T4 son similares ( $p > 0.05$ ).

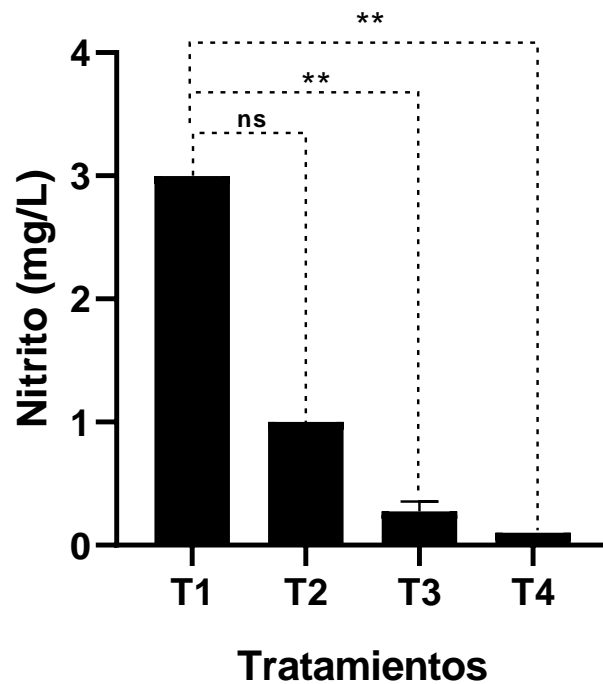


Figura 5. Media  $\pm$  D.E., de la concentración de Nitritos  $\text{NO}_2$  en mg/L.

#### 4.1.3. NITRATO:

Existen diferencias significativas en las concentraciones de nitrato entre los tratamientos (K-W=27.63;  $p < 0.001$ ). La prueba post-Hoc (Figura 6) muestra que T1 es similar con T2 ( $p > 0.05$ ) pero diferente de T3 y T4 ( $p < 0.001$ ). T2 es similar con T3 y T4 ( $p > 0.05$ ). T3 y T4 son similares ( $p > 0.05$ ).

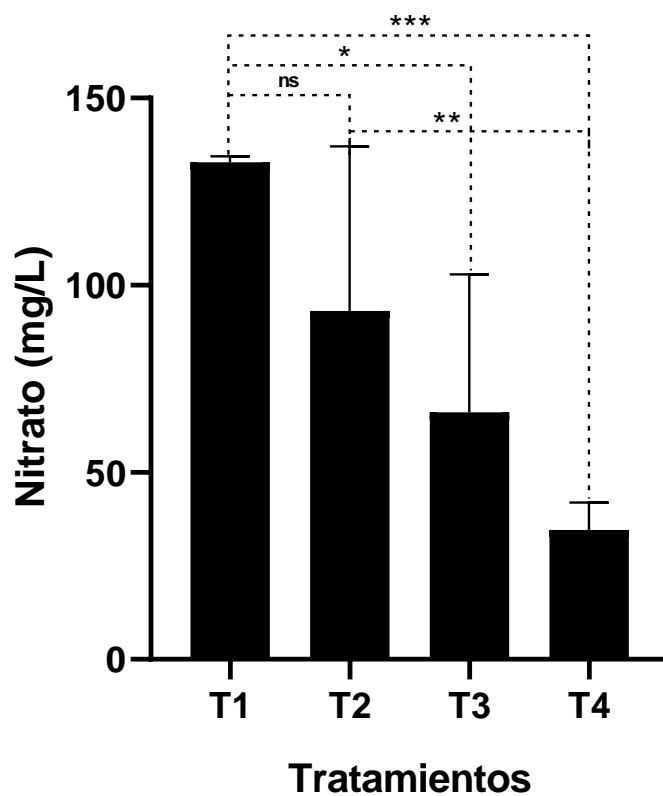


Figura 6. Media  $\pm$  D.E., de la concentración de Nitrato  $NH_3$  en mg/L.

#### 4.1.4. FOSFATO:

La prueba Kruskal-Wallis no mostró diferencias significativas en el fosfato (K-W=6.4338,  $p=0.0923$ ) durante la etapa de estudio (Figura 7).

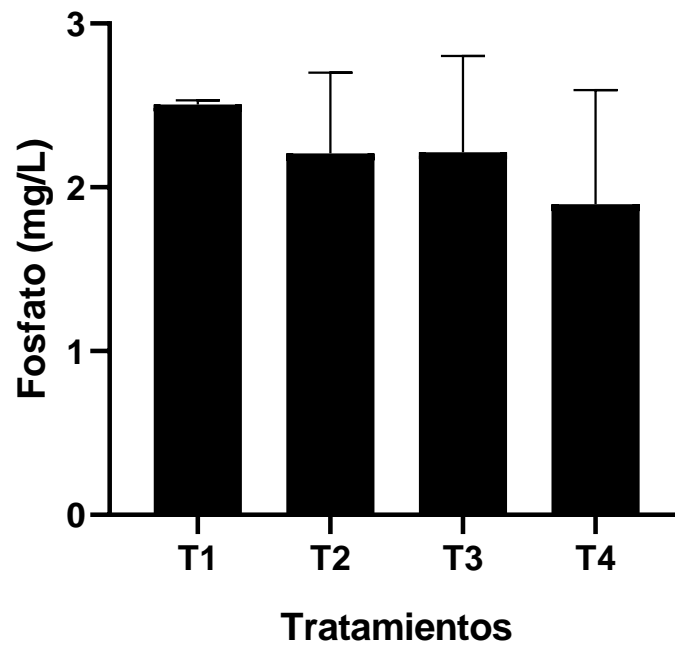


Figura 7. Media  $\pm$  D.E., de la concentración de Fosfato ( $PO_4^{3-}$ ) en mg/L.

#### 4.1.5. TOTAL DE SÓLIDOS DISUELTOS:

Las concentraciones de sólidos totales mostraron que no existen diferencias significativas entre tratamientos del total de sólidos disueltos, ( $K-W= 2.16$ ,  $p= 0.53$ ) durante la etapa de estudio (Figura 8).

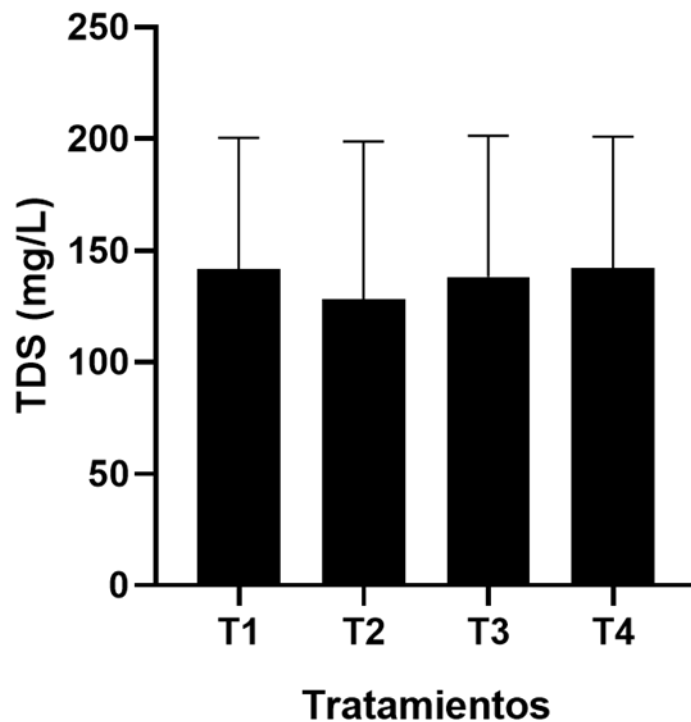


Figura 8. Media  $\pm$  D.E., de la concentración de Total de sólidos disueltos en mg/L.

#### 4.1.6. TEMPERATURA:

Durante la etapa de estudio no se mostró diferencia significativa en la temperatura entre los tratamientos.

#### 4.1.7. CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA:

La conductividad eléctrica fue similar entre tratamientos (K-W= 0.7552, p =0.8601) durante la etapa de estudio (Figura 9).

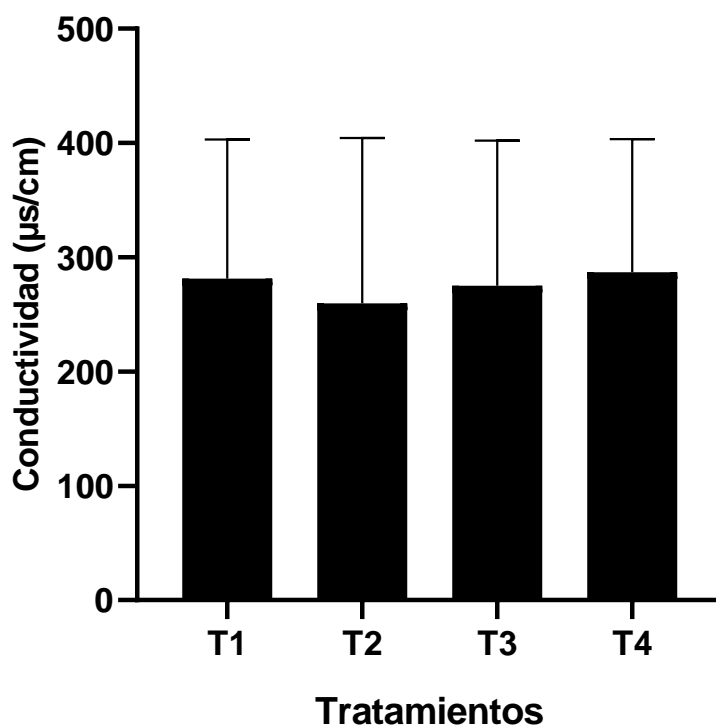


Figura 9. Media  $\pm$  D.E., de conductividad eléctrica en  $\mu\text{mg/L}$ .

#### 4.1.8. pH:

La prueba de Kruskal-Wallis no mostró diferencias significativas en el pH (K-W= 2.2503,  $p= 0.5221$ ) durante la etapa de estudio (Figura 10).

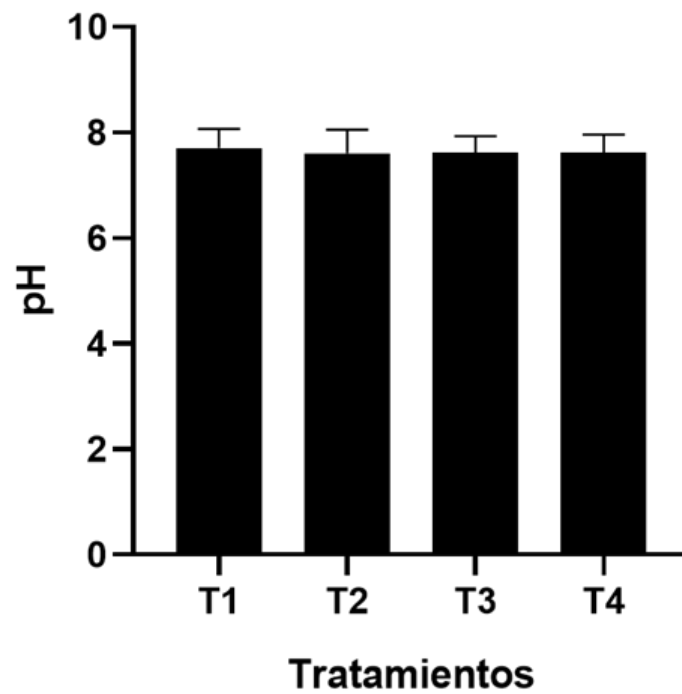


Figura 10. Media  $\pm$  D.E., de pH.

#### 4.1.9. Coliformes Fecales:

Los resultados muestran que existe un efecto altamente significativo entre los tratamientos con luz ultravioleta sobre el control de coliformes fecales ( $p < 0.001$ ). El T3 vs T4 muestran diferencias significativas del T1 ( $p < 0.001$ ). El T1 vs T2 son estadísticamente similares ( $p > 0.05$ ). El T2 es estadísticamente diferente al T4 ( $p < 0.001$ ), pero similar al T3 ( $p > 0.05$ ). El T3 vs T4 no muestran diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) durante la etapa de estudio (Figura 11).

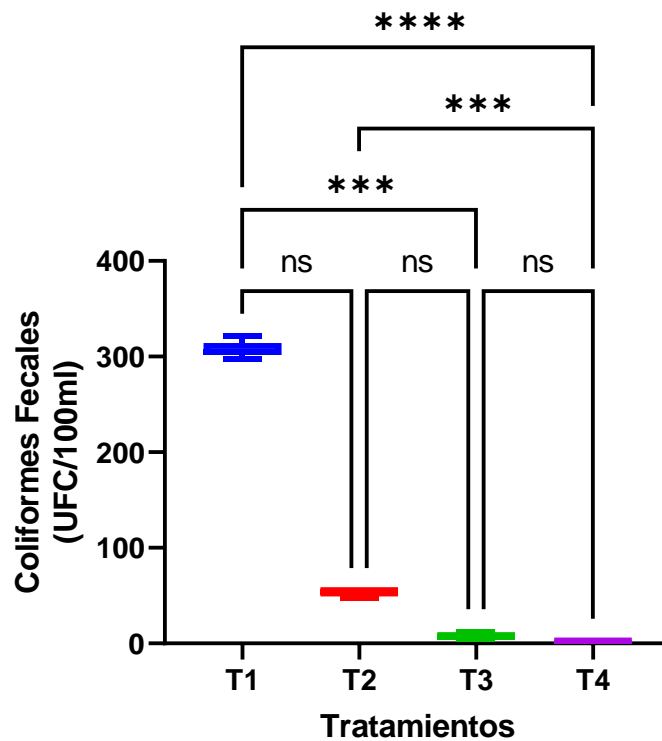


Figura 11. Media  $\pm$  D.E., de los valores de unidades formadoras de colonia de coliformes fecales.

## 4.2. DISCUSIÓN

Este estudio evaluó la remediación de aguas residuales provenientes de cultivo de tilapia utilizando luz ultravioleta, para animales y en cultivos agrícolas.

Durante la etapa del experimento, se logró una disminución de amoníaco en agua residual del 96 por ciento al utilizar un sistema de remediación con aplicación de luz ultravioleta UV. Esto ocurre, porque la intensidad de luz ultravioleta ocasiona la desinfección a los residuos de alimento, heces y excretas presentes. Como se pudo observar de acuerdo con los resultados, los niveles de amoníaco se mantuvieron dentro de los rangos permisibles de la calidad del agua. También se puede mencionar que dichos resultados favorables se deben por las características del agua y la eficiencia de la luz ultravioleta. La desinfección con luz ultravioleta destruye todos los lazos de proteínas que haya en el agua, logrando destruir todos los microorganismos presentes en ella. La concentración de amoníaco en agua residual proviene principalmente de la metabolización de alimento o proteína y de las excretas de los organismos (Ortega-Mendoza, 2020). Según Bautista-Covarrubias y Ruiz-Velazco-Arce (2011), sostienen que el amoníaco o ion amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) se encuentra en cantidades notables cuando el medio es fuertemente reductor. En un medio oxidante, el ion amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) al convertirse en nitrito ( $\text{NO}_2$ ), esto se considera un factor normal y estrechamente relacionado con el agua superficial que es recién descargado de los desagües cuando su concentración es mayor de 0.1 miligramos por litro, podría constituirse como un indicador de contaminación por aguas residuales domésticas

industriales. El amoníaco en aguas residuales es producido principalmente por la eliminación de los componentes de nitrógeno orgánico y la hidrólisis de la urea.

Al inicio del estudio las concentraciones de nitrato y nitrito fueron elevadas. Durante el proceso se realizó una desinfección con aplicación de luz ultravioleta, logrando disminuir los niveles de nitrato y nitrito obteniendo resultados positivos. Según Wright y Cairns (1990), la radiación de luz ultravioleta de 240 nanómetros disminuye las concentraciones de nitrato y nitrito, ya que este puede reducir mínimo hasta 1 por ciento durante la desinfección de agua residual.

En este estudio, no hubo diferencias significativas entre los tratamientos de fosfato con luz ultravioleta obteniendo el valor máximo de 2.50 mg/L, en donde se demostró que la luz ultravioleta no influyó en dicho parámetro. También se puede decir que esto ocurre por la cantidad de proteína que no es consumida. Cabe señalar que este estudio se realizó bajo condiciones particulares, por ejemplo: aire en la muestra que puede dar resultados erróneos, el agua puede estar turbia, por lo tanto, estas condiciones pueden alterar los resultados. Aún no se considera que el fosfato sea dañino para seres humanos y animales. Los fosfatos pueden tener impactos negativos por la eutrofización por crecimiento de algas (Bonilla de Torres, 2015).

De acuerdo con la conductividad eléctrica, obtuvimos un mínimo de 112 us/cm y máximo 406 us/cm en el agua residual, lo cual nos indica que, a mayor presencia de calcio, magnesio, sales y sólidos solubles incrementan significativamente estos parámetros. Los resultados obtenidos en este estudio, demostraron que la luz ultravioleta no influyó en este parámetro. Zuñiga-Zuñiga y Mora-Alvarado (2017), mencionan que la conductividad eléctrica está relacionada con la concentración de las

sales cuya disociación genera iones que son capaces de transportar corriente eléctrica.

No se encontraron diferencias en el Total de sólidos disueltos (TDS), con la aplicación de luz ultravioleta, no hubo interferencia en este parámetro por la presencia de calcio, magnesio en el agua que son cantidades considerables generando así agua dura, ya que a simple vista no se puede presenciar la cantidad de sólidos que existen en el agua. TDS está relacionado con la conductividad eléctrica, esto nos menciona que la conductividad es proporcional a la concentración total de sólidos disueltos, por lo tanto, mientras mayor sea la concentración total de sólidos disueltos, mayor será la conductividad eléctrica (Perugachi-Vásquez, 2015). TDS es un parámetro para determinar si el agua es de alta calidad, estas mediciones se toman mediante un medidor de agua electrónico. TDS que permite medirlo en tiempo real y ver si realmente está bajando o aumentando (Calderón-Calderón, 2023).

La temperatura es una característica particular en las aguas residuales debido a que presentan temperaturas mayores en las aguas no contaminadas, esto nos indica que si existe mayor tipo de bioquímica por parte de los microorganismos mostrará un factor correspondiente al aumento de la temperatura (Osorio-Rivera *et al.*, 2021). En relación con los resultados obtenidos en el tratamiento de control y en los tratamientos con luz ultravioleta, durante la etapa del estudio la temperatura se mantuvo en 28 °C. Es posible que no hubo efecto en la temperatura, ya que los tiempos de exposición fueron cortos.

En cuanto al pH, se mantuvo entre los rangos 6.0 y 8.0, es decir, no se vio influenciado por la luz ultravioleta. Estos resultados coinciden con otras investigaciones donde en un proceso de regeneración de agua no hay alteraciones en el pH (Aguirre *et al.*, 2004).

Los coliformes fecales son un tipo de microorganismo cuya estructura es similar a la bacteria común *Escherichia coli*, y se transmite comúnmente por agua contaminada (Mora y Calvo, 2010). En la etapa del estudio los niveles de coliformes fecales en el tratamiento control fueron de una unidad de formadores coloniales por mililitros en el agua residual. Esto quiere decir que en este tratamiento no se le aplicó la luz ultravioleta, a diferencia de los otros tratamientos con luz ultravioleta en donde los niveles de coliformes fecales fueron disminuidos a un 95 por ciento de coloniales por mililitros con diez segundos. Con tiempos de veinte y treinta segundos hubo una eficacia de remoción de 100 por ciento de los microorganismos presentes en el agua residual causando un efecto de inactivación. También la desinfección se llevó a cabo porque la luz ultravioleta rompe todos los esquemas de ADN y ARN de las bacterias en el agua residual. Estos resultados se consiguieron gracias a la capacidad germinicida de la luz ultravioleta.

## 5. CONCLUSIONES

1. Las lámparas de luz UV utilizadas en el estudio tuvieron funcionalidad como herramientas para el tratamiento de aguas residuales provenientes del cultivo de tilapia.
2. La aplicación de luz ultravioleta en el agua residual pudo incidir en los parámetros químicos evaluados al disminuir las concentraciones de amoníaco, nitrato y nitrito. Sin embargo, los parámetros físicos no fueron afectados.
3. La luz ultravioleta disminuyó las unidades formadoras de colonia en el agua residual de tilapia. Los mejores tiempos de exposición de luz ultravioleta fueron veinte y treinta segundos.

## 6. RECOMENDACIONES

1. Realizar más estudios en efluentes provenientes de otras actividades agropecuarias.
2. Realizar pruebas a gran escala para la remediación de agua residual, y así mitigar el déficit hídrico que aumenta cada año.
3. Promover leyes de incentivo a buenas prácticas y concienciar a los agricultores para darle un manejo adecuado a los efluentes hídricos que son utilizados en sus actividades.
4. Medidas de prevención al utilizar la luz ultravioleta:
  - Gafas de seguridad.
  - Protectores faciales.
  - Ropa de manga larga.
  - Guantes.

## 7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Acosta-Castellano. M. P. Caro-Camargo. A. C. Perico-Granados. R. N. (2015). Análisis de interferencia de parámetros físicos del agua, en desinfección por radiación UV (Interference analysis of physical parameters of water in radiation UV disinfection). Universidad Santo Tomás Seccional Tunja, Grupo ACBI. Pág. 1-8.

Aguirre. P. García. J. Mujeriego. R. (2004). Desinfección con Cloro y Luz Ultravioleta en un Proceso Convencional de Regeneración de Agua. Ingeniería del Agua. Vol. 11. Pág. 75-88

Asunción-Alvarado. D. M. Rosas-Alegre. A. (2020). Remediación De Aguas Residuales Producto De La Minería Subterránea. Una Revisión Sistemática Entre Los Años 2010 – 2020. Facultad De Ingeniería Carrera de Ingeniería de Minas. Pág. 1-32.

Bautista. J. Ruiz. J. (2001). Calidad de agua para el cultivo de Tilapia en tanques de geo membrana. Revista Fuente vol. 3 (8). Pág. 1-5.

Bautista-Covarrubias. J. C. Ruiz-Velazco-Arce. J. M. de. J. (2011). Calidad de Agua para el Cultivo de Tilapia en tanques de Geomembrana. Dirección de Fortalecimiento a la Investigación Autónoma de Nayarit, México. Revista No 3. Pág. 10-14.

Buschamnn. A. (2001). Impacto Ambiental De La Acuicultura: El Estado De La Investigación En Chile Y El Mundo. Terram Publicaciones Pág. 67.

Bonilla de Torres. B. L. (2015). Diagnóstico de la Calidad de los Recursos Hídricos y Diseño de una Propuesta para su Manejo y Sostenibilidad de las Cuencas. Universidad

de El Salvador. Facultad de Ciencias Agronómicas. Escuela de Posgrado y Educación Continua. Pág. 15-105.

Boyd. E. C. (2018). Temperatura del agua en acuicultura (Global Aquaculture Advocate) 1-5 pág.

Calderón-Calderón. J. O. (2023). Desarrollo De Purificadora Con Ósmosis Inversa Para Implementación En Zonas Aisladas. Universidad Tecnológica Centroamericana Facultad De Ingeniería Mecatrónica. Pág. 1-62

Calderón. L. Romeo. G. (2014). Diseño Y Construcción Del Prototipo En Línea De Un Sistema De Tratamiento De Aguas Residuales A Base De Luz Ultravioleta. Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca Carrera De Ingeniería Ambiental. Pág. 1-79

FAO. (2015). El uso seguro de las aguas residuales en la agricultura ofrece múltiples beneficios.

Finlayson. M. D. Cruz. R. Davidosn. N. Alder. J. Cork. S. De Groot. R. Lévêque. C. Milton. R. G. Peterson. G. Pritchard. D. Ranter. D. B. Reid. D. W. Revenga. C. Rivera. M. Schutyser. F. Siebentritt. M. Stup. M. Tharme. R. Butchart. S. Amting-Dieme. E. Raaymakers. S. Taylor. D. (2005). Los Ecosistemas y el Bienestar Humano: Humedales y Agua. Informe de síntesis Evaluación de los ecosistemas del milenio. Pág. 1-80.

Gil-Pava. E. Giraldo. C. Camargo-Montoya. P. A. Ossa-Abad. C. (2005). Proceso “acoplado” fisicoquímico y biotecnológico para el tratamiento de aguas residuales contaminadas con cianuro. Universidad EAFIT Pág. 1-58.

Guerra. V. (2016). Evaluación de la generación de biogás a partir de excretas porcinas en la granja agroinporc y diseño de un biodigestor. Escuela Politécnica Nacional pág.105.

González-Legarda. A. E. (2017). Impacto ambiental de la acuicultura intensiva en los componentes agua y sedimentos en el lago Guamez Nariño. Universidad Nacional de Colombia. Pág.1-151.

Larios-Ortiz. L. (2009). Contaminación del Agua por nitratos: Significación Sanitaria. Revista Médico de Camagüey. Pág. 1-9.

Larrea-Murrell. A. J. Rojas-Badía. M. Romeu-Álvarez. B. Rojas-Hernández. N. M. Heydrich-Pérez. M. (2013). Bacterias indicadoras de contaminación fecal en la evaluación de la calidad de las aguas: revisión de la literatura. Revista CENIC Centro Nacional de Investigaciones Científicas Cuba 44(3). Pág. 24-34.

López. J. (2020). Reflexiones Epistemológicas y Ontológicas Sobre Los Virus: Hacia Una Nueva Definición De Los Procesos Virales (Epistemological And Ontological Reflections On Viruses: Towards A New Definition Of Viral Processes). Revista de Filosofía (19). Pág. 108- 208.

García-López. B. C. López-Bastida. E. J. Castro-Perdomo. N. A. (2020). Procedimiento para el Análisis Químico de la contaminación por Nitrito y Nitrato en Aguas de Consumo. Revista Universidad y Sociedad 12(5). Pág. 190-195

López-Torres. S. D. (2017). Tratamiento De Agua Para El Consumo Humano Con Radiación UV, Para La Inactivación De Coliformes. Universidad Técnica De Ambato Facultad De Ingeniería Civil Y Mecánica Carrera De Ingeniería Civil. Pág. 1-96.

Madera. C. (2013). Las aguas residuales su uso en la piscicultura: normas de Calidad y tecnologías de tratamiento. Universidad del Valle, Escuela EIDENAR. Pág. 1-14.

Martínez-Saavedra. A. M. (2006). Manejo Del Cultivo De Tilapia. Pág. 1-24.

Maza-Lema. A. J. (2017). Cuantificación de la Variabilidad Espacial y Temporal de Iones de Fosfato en dos Cuencas Andinas Altas del sur Ecuador. Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca. Pág. 1-115.

Mora. J. Calvo. G. (2010). Estado Actual de Contaminación con Coliformes Fecales de los Cuerpos de Agua de la Península de Osa. Vol. 23. N° 5. Pág. 34-40.

Ortega-Mendoza. L. J. (2020). Evaluación de Compuestos Nitrogenados Totales en Agua Residual Mediante Enzimas y Bacterias Nitrificantes Comerciales en la Camaronera Grancomar SA. Universidad Agraria del Ecuador. Facultad de Ciencias Agrarias. Pág. 16-64.

Osorio-Rivera. M. A. Carrillo-Barahona. W. E. Negrete-Costales. J. H. Loo-Lalvay. X. A. Riera-Guachichullca. E. J. (2021). La Calidad de las Aguas Residuales Domésticas (The Quality of Domestic Waste Water). Vol. 6. Pág. 229-245.

Quintero-Yepes. L. Rodríguez-Valencia. N. (2020). Evaluación de tres tipos de cal para el tratamiento primario de las aguas residuales del café. Revista Cenicafé 71

Perugachi-Vásquez. E. R. (2015). Evaluación y Propuesta de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) y Sólidos Disueltos (TDS) en las Aguas Residuales del Baño de Tintura en la Empresa Textiles Tornasol. Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas. Pág. 1-102.

Pulla-Peña. E. (2007). Calidad de agua. 1-10 pág. Escuela Superior Politécnica del Litoral 1-6 Pág.

Pütz. P. (2008). Eliminación y Determinación de Fosfato. Informe Práctico. Analítica de laboratorio y sistema de control de proceso. Productos de Aplicación de laboratorio, HACH LANGE. Estados Unidos. Pp 4.

Ramalho. R. S. (2021). Tratamiento de aguas residuales. Editorial Reverté. Pág. 1-555

Rossel-Bernedo. L. J. Ferro-Mayhua. F. P. Ferro-González. A. L. (2019). Radiación ultravioleta-c para desinfección bacteriana (coliformes totales y termotolerantes) en el tratamiento de agua potable. Radiation ultraviolet-c for bacterial disinfection (total and thermotolerant coliforms) in the water treatment. Enero - Marzo ISSN: 2306-8582 (V. impresa) - ISSN: 2313-2957 (V. digital). Pág. 1-10.

Rojas. R. (2002). Sistemas de Tratamientos de A aguas Residuales. Curso Internacional "Gestión Integral de Tratamiento de Aguas Residuales. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. División de Salud y Ambiente. Pág. 3-19.

Sánchez-Contreras. M. González-Flores. T. Ayora-Talavera. T. Martínez. Z. E. Pacheco-López. N. A. (2017). Qué son los microbios. Ciencia 68 (2): 10-17.

Sánchez-Ortiz. A. I. Teixeira-Correria. G.D. Sobrinho-DallÁglio. M. Matsumoto. T. (2013). Phosphorus removal in different wastewater by fluidized bed airlift reactors with internal circulation. Revista Facultad de Ingeniera Universidad de Antioquia, 172-182.

SICA (2012). Acuicultura en Panamá.

Silva. S. (2001). A Global Perspective of Aquaculture in the New Millennium. School of Ecology and Environment, Deakin University, Victoria, Australia 3280. Pág. 2-42.

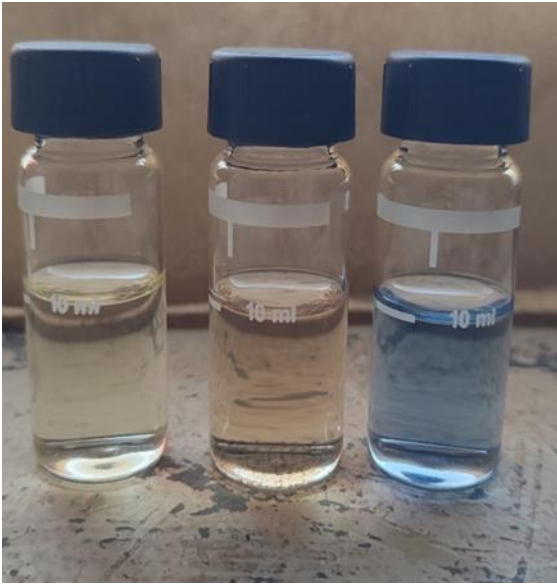
Solís-Castro. Y. Zúñiga-Zúñiga. A. L. Mora-Alvarado. D. (2017). La conductividad como parámetro predictivo de la dureza del agua en pozos y nacientes de Costa Rica (Conductivity as a predictive parameter of hardness in groundwater and spring water of Costa Rica) Tecnología en Marcha. Vol. 31-1. Enero-marzo 2018. Pág. 35-46.

Timmons. M. B. Ebaling. J. M. Wheaton. F. W. Summerfelt. S. T. Vici. B. J. (2002). Recirculating aquaculture systems.

Vargas-Flores. T. Kuno-Vargas. A. (2014). Morfología Bacteriana. Revista de Actualización Clínica Vol. 49. Pág. 1-5.

Wright. H. Cairns, W. (1990). Luz Ultravioleta. Trojan Technologies Inc. 3020 Gore Road, London, Ontario, Canadá N5V 4T7. Pág. 1-28.

## 8. ANEXOS



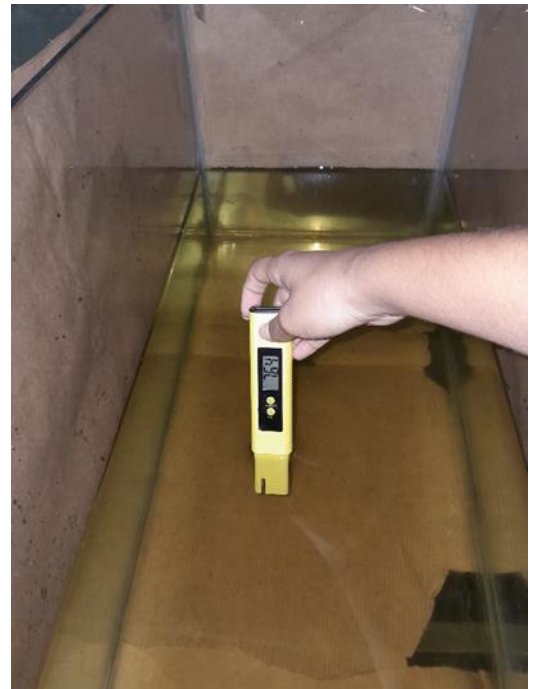
Anexo 1. Reactivos utilizados en las pruebas de parámetros fisicoquímicos del agua. De izquierda a derecha: Amarillo: Amonio, amarillo: Nitrato, Azul: Fosfato.  
Fuente: Rios, 2024.



Anexo 2. Tanque de 750 Litros.  
Fuente: Rios, 2024



Anexo 3. Equipos para medir pH, Total de Sólidos Disueltos y Medidor de Intensidad de Luz Ultravioleta.  
Fuente: Rios, 2024



Anexo 4. pH-Metro  
Fuente: Rios, 2024



Anexo 5. Reactivo de Coliformes Fecales Control.  
Fuente Rios, 2024



Anexo 6. Reactivo de Coliformes Fecales T.2.  
Fuente Rios, 2024



Anexo 7. Reactivo de Coliformes Fecales T.3.  
Fuente Rios, 2024



Anexo 8. Reactivo de Coliformes Fecales T.4.  
Fuente Rios, 2024