



UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DEL MAR CARRERA DE
BIOLOGÍA

Evaluación de la eficiencia de la radiación UV-C en la eliminación de *Escherichia coli* y bacterias aéreas mesófilas en masas de agua, empleadas en enlatados de pescado.

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR.

Previo a la obtención del título de:

BIÓLOGO

AUTOR:

Quezada Díaz Bryan Adrián.

DOCENTE TUTOR:

Ac. Sonnya Patricia Mendoza Lombana. Ph.D.

LA LIBERTAD, ECUADOR.

2023

DECLARACIÓN EXPRESA

La responsabilidad del contenido de este trabajo de integración curricular me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la Universidad Estatal Península de Santa Elena



Bryan Adrian Quezada Díaz

CI: 0930459136

AGRADECIMIENTOS

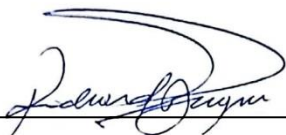
A Dios por brindarme vida y haber logrado culminar esta meta propuesta.

A mi familia por su incondicional apoyo y afecto, e inculcarme los valores que me constituyen como persona, principalmente a mi madre Yicel Diaz y mi abuela Luz Maria Reinoso, quienes dieron todo para poder cumplir con este sueño, a mis grandes amigos tanto en la parte académica como en la vida personal, Amilkar, Axel, Xavier, Kimberly, Korabeth, y Daniela, a mi hermana Heydi, mi tío Diego Pereira y mi compañera de vida Christel Zambrano

A la Universidad Estatal Península de Santa Elena, a administrativos y docentes de la facultad de ciencias del mar, por las enseñanzas que me brindaron tanto académicas como personales.

A mi tutora Ac. Sonnya Mendoza Lombada Ph.D por su paciencia y enseñanzas, al igual que el enfoque en la formación académica y profesional, por sus consejos y tutorías.

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



Blgo. Richard Duque, Mgt
M.Sc

DECANO



Ing. Jimmy Villón,

DIRECTOR



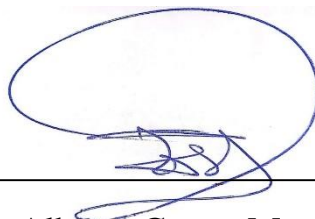
Ac. Sonnya Mendoza, Ph.D

DOCENTE TUTOR



Ac. José Melena, Ph.D.

DOCENTE DE ÁREA



Abg. Luis Alberto Castro Martínez, Mgs.

SECRETARIO GENERAL

INDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
2. JUSTIFICACIÓN	5
3. OBJETIVOS	6
3.1. Objetivo general	6
3.2. Objetivos específicos	6
4. HIPÓTESIS	8
4.1. Hipótesis De Trabajo	8
4.2. Hipótesis Alternativa	8
5. MARCO TEÓRICO	9
5.1. Bacterias.	9
5.2. Indicadores de calidad de agua.	11
5.2.1. <i>Escherichia coli</i>	11
3.1.1. Bacterias aéreas mesófilas.	12
5.3. <i>E. coli</i> y BAMS en la regulación ecuatoriana.	13
5.4. Desinfección bacteriana	14
5.5. El agua en plantas procesadoras de pescado	16
5.5.1. Radiación UV desinfectante.....	18
5.5.2. Radiación UV-C desinfectante	19

5.5.3. Fuentes de radiación UV	20
6. METODOLOGÍA	22
6.1. Área de estudio	22
6.2. Tratamientos con radiación UV-C	22
6.3. Cultivo Microbiológico de <i>Escherichia coli</i> y BAMs	24
6.3.1. Frecuencia de muestreos.	26
6.4. Análisis estadísticos de los resultados	27
7. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN	28
7.1. Tratamientos con radiación UV-C	28
7.2. Cultivo Microbiológico de <i>Escherichia coli</i>	28
7.3. Cultivo Microbiológico de bacterias aéreas mesófilas	31
7.4. Análisis estadísticos de los resultados	33
7.4.1. Análisis ANOVA para E. Coli.	33
7.4.2. Análisis ANOVA para BAMs.	34
8. CONCLUSIONES	36
9. RECOMENDACIONES	37
10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	38
11. ANEXOS	48

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Especificaciones del sistema de generación ultravioleta germicida STERILIGHT S12Q PA.....	26
Tabla 2. Muestreos a realizarse para la determinación de las poblaciones de <i>E. coli</i> y BAMs post exposición a radiación UV-C.....	31
Tabla 3. Promedio (UFC*100mL-1) de los ensayos triplicados de las poblaciones de <i>E. coli</i> en el agua tratada con luz UV-C.....	34
Tabla 4. Promedio (UFC*100mL-1) de los ensayos triplicados de las poblaciones de BAMs en el agua tratada con luz UV-C.....	37
Tabla 5. Análisis ANOVA realizados a los cultivos de <i>E. coli</i>	39
Tabla 6. Prueba de Tukey realizado a los cultivos de <i>E. coli</i>	40
Tabla 7. Análisis ANOVA realizado a los cultivos BAMs.....	40
Tabla 8. Prueba de Tukey realizado a los cultivos de BAMs.....	41
Tabla 9. UFC de muestras de agua muestreada antes del paso 1.....	56
Tabla 10. UFC de muestras de agua muestreada antes del paso 2.....	57

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Sistema de generación ultravioleta germicida STERILIGHT S12Q PA.....	26
Figura 2. Diagrama de flujo de los tratamientos aplicando luz UV-C.	27
Figura 3. Placas de cultivo de E. coli y BAMs.	30
Figura 4. Equipo de recuento de filtración de membrana	58
Figura 5. Placas Apracom con medio de cultivo punto #1 y 2	58
Figura 6. Placas Apracom con medio de cultivo punto #3	59

ABREVIATURAS

ADN	Ácido desoxirribonucleico.
ATP	Adenosina Trifosfato. Fuente de energía para uso y almacenamiento a nivel celular
BAMs	Bacterias Aéreas Mesófilas
HAA	Ácidos Haloacéticos. Subproductos de la desinfección por cloración que se forman cuando el cloro utilizado para desinfectar el agua potable reacciona con la materia orgánica natural
HPC	Recuento heterotrófico en placa. Recuentos de colonias de bacterias detectados mediante una prueba de cultivo simple en un medio de carbono orgánico
NOM	Materia orgánica natural. Mezcla compleja de compuestos orgánicos que se encuentra en todas las aguas subterráneas y superficiales.
THM	Trihalometanos. Subproductos de desinfección que se forman cuando el cloro o el bromo interactúan con la NOM.
UFC	Unidades formadoras de colonias. Medida del número de células viables como para proliferar y formar pequeñas colonias
UV	Luz Ultravioleta.
UV-C	Luz Ultravioleta de onda corta (200 a 280nm), utilizada para eliminar patógenos o para ayudar a cicatrizar heridas
UV-LED	Luz Ultravioleta generada con diodos emisores de luz

RESUMEN

La aparición de microorganismos patógenos en fuentes de agua es una preocupación para la salud pública, por lo cual, han surgido tratamientos para reducir el número de bacterias. Bajo este precepto, la finalidad de esta tesis fue evaluar la eficacia de un sistema de desinfección de agua, con el uso de radiación UV-C para la eliminación de *Escherichia coli* y bacterias aéreas mesófilas (BAMs). Se realizó la esterilización de agua mediante el uso de un sistema STERILIGHT S12Q PA, Se realizaron ensayos por triplicado a 0, 2, 4 y 6 seg de exposición a UV-C. Se inocularon muestras del agua esterilizada en kits de cultivos específicos para *E. coli* y BAMs. Los cultivos de *E. coli* con T=0 oscilaron entre 130 y 330 UFC*mL⁻¹; con T=2, de 35 a 90 UFC*mL⁻¹; con T=4 y T=6, se evidenció una ausencia UFC. Los cultivos de BAMs con T=0 mostraron resultados de 1600 a 22000 UFC*mL⁻¹; con T=2, entre 80 y 120 UFC*mL⁻¹; y con T=4 y T=6, las UFC de BAMs estuvieron ausentes. Los análisis Anova y Tukey indicaron que existe diferencia significativa entre los tratamientos de *E. coli*. Se evidenció diferencias entre T=0 con T=2, T=4 y T=6. T=2 fue estadísticamente inferior a T=4 y T=6; mientras que no existe diferencia significativa entre estos dos últimos. Los resultados estadísticos para BAMs evidenciaron diferencias entre T=0 con relación a los tres tratamientos realizados, mientras que T=2, T=4 y T=6 no difieren significativamente. Los resultados obtenidos en esta investigación indican que la aplicación de luz UV-C con un tiempo de

exposición mayor o igual a 4 segundos es eficaz para la eliminación del 100% de las poblaciones de *E. coli* y BAMs en un cuerpo de agua.

Palabras clave: radiación UV-C, *Escherichia coli*, bacterias aerobias mesófilas.

SUMMARY

Appearance of pathogenic microorganisms in water sources is a concern for public health, therefore, treatments have emerged to reduce the number of bacteria. Under this precept, the purpose of this research was to evaluate the effectiveness of a water disinfection system, with the use of UV-C radiation for the elimination of *Escherichia coli* and mesophilic airborne bacteria (MAB). Water sterilization was performed using a STERILIGHT S12Q PA system. It was carried out in triplicate at 0, 2, 4, and 6 sec of UV-C exposure. Samples of the sterilized water were inoculated in specific culture kits for *E. coli* and MABs. *E. coli* cultures with T=0 ranged between 130 and 330 CFU*mL⁻¹; with T=2, from 35 to 90 CFU*mL⁻¹; with T=4 and T=6, an absence of UFC is evident. BAMs cultures with T=0 showed results from 1600 to 22000 CFU*mL⁻¹; with T=2, between 80 and 120 CFU*mL⁻¹; and with T=4 and T=6, the CFU of BAMs were absent. Anova and Tukey analyzes indicated that there is a significant difference between the *E. coli* treatments. Differences are evident between T=0 with T=2, T=4 and T=6. T=2 was statistically lower than T=4 and T=6; as long as there is no significant difference between the latter two. The statistical results for BAMs showed differences between T=0 in relation to the three treatments carried out, while T=2, T=4 and T=6 did not differ significantly. The results obtained in this investigation indicate that the application of UV-C light with an exposure time greater than or equal to 4 seconds is effective

for the elimination of 100% of the populations of *E. coli* and BAM in a body of water.

Keywords: UV-C radiation, *Escherichia coli*, mesophilic aerobic bacteria.

1. INTRODUCCIÓN

La aparición de microorganismos patógenos en las aguas ambientales es una preocupación constante para la salud pública y la gestión del agua en todo el mundo. Los patógenos entéricos en las aguas superficiales ambientales se originan mayoritariamente de la descarga de efluentes de las plantas de tratamiento de aguas (Ginn et al., 2021; Steyer et al., 2015). Principalmente, se da debido a procesos de desinfección mal operados o inadecuados, que, pueden dar como resultado que varios microorganismos sobrevivan o incluso se multipliquen en los efluentes de aguas tratadas, y así lleguen al medio ambiente (Cui et al., 2019).

Generalmente se acepta que el tratamiento convencional de aguas reduce el número de enterobacterias. Sin embargo, la medida en que esto ocurre puede variar ampliamente según el proceso de tratamiento. Así, por ejemplo, las aguas tratadas por el método de lodos activados u otros procesos biológicos a menudo todavía contienen bacterias fecales o patógenos (Kay et al., 2008; Thwaites et al., 2018).

Actualmente, la calidad microbiana del agua se monitorea enumerando los niveles de bacterias indicadoras fecales (*Escherichia coli*, enterococos y otras coliformes), para determinar los niveles de aporte fecal y la posible presencia de patógenos (Wen et al., 2020). La cuantificación de *E. coli* en

aguas superficiales también sirve para evaluar el desempeño de una STP para la reducción microbiana (Anastasi et al., 2012; Mbanga et al., 2020).

E. coli, es el habitante comensal más frecuente del tracto gastrointestinal de humanos y animales de sangre caliente. La mayoría de las cepas de *E. coli* viven inofensivamente en los intestinos y rara vez causan enfermedades en personas sanas (Gomes et al., 2016). No obstante, es responsable de un amplio espectro de enfermedades gastrointestinales tanto en individuos sanos como inmunocomprometidos (Daga et al., 2019).

E. coli es la principal causa de enteritis, infección del tracto urinario, septicemia, meningitis neonatal; además, también es vinculada de manera prominente con cuadros diarreicos en mascotas y animales de granja (Allocati et al., 2013). Los países de ingresos bajos y medianos de América Latina son las regiones más afectadas, con enfermedades diarreicas que ocurren con mayor frecuencia y tienen resultados letales principalmente debido a las malas condiciones de vida (suministros de agua inadecuados, mala higiene ambiental y sanidad). alimentación y educación insuficiente (Croxen et al., 2013).

Otro grupo bacteriano de importante en la salud, y que está presente en cuerpos de agua, son las bacterias aéreas mesófilas (BAMs) (Egli et al., 2008; Urseler et al., 2019). Las bacterias aéreas mesófilas, son microorganismos que poseen un crecimiento acelerado en temperaturas de 20 a 40°C, siendo la mayor parte de esta clase quienes tienen como

huéspedes a organismos de sangre caliente, por ejemplo, *Staphylococcus aureus* y *Samonella*, debido a esto, el conteo de bacterias aereas mesofilas, es un análisis para la determinación de las condiciones de salubridad en alimentos (Gioffre, 2022).

Cabe recalcar, que, las infecciones bacterianas representan una amenaza para la salud pública, especialmente en los países en vías de desarrollo (Akiba et al., 2015), como es el caso de Ecuador.

Para minimizar el riesgo de liberación ambiental de *E. coli* y otras coliformes, los efluentes se desinfectan mediante procesos oxidativos para destruir o desactivar estos organismos (Garrido-Cardenas et al., 2020; Okoh et al., 2007; Shi et al., 2021). El cloro es el desinfectante más utilizado (Ghernaout & Elboughdiri, 2020); aunque, procesos alternativos como la ozonización y la radiación ultravioleta son alternativas igual de viables para la desinfección de efluentes (Hallmich & Gehr, 2010; Szeto et al., 2020; Zhang et al., 2015).

La luz UV ha sido utilizada para analizar el daño inducido por UV-C en *E. coli* a diferentes tiempos de exposición con resultados muy efectivos de reducción de las poblaciones de bacterias (inactivación de 7,2 ciclos con el tratamiento de 3 min (y 8 ciclos con exposición de 8 minutos) (Beck et al., 2017; Galezzo & Susa, 2021; Schenk et al., 2011; Vilhunen et al., 2009). La esterilización UV-C es un proceso seco y frío que puede ser simple y efectivo a bajo costo en comparación con otros métodos de esterilización (Bachmann, 1975; Martínez-de Alba et al., 2021), sumado a que su

aplicación no libera radiactividad residual como radiación ionizante (radiación gamma) (Galezzo & Susa, 2021).

La luz UV-LED también se ha empleado para la inactivación de *E. coli* en masas de agua, obteniéndose una buena eficiencia de inactivación a 267 nm (Nyangaresi et al., 2018). Por su parte, Xu et al. (2018) estudiaron diferentes niveles de exposición de luz UV para desinfección, encontrando que los daños irreversibles en la membrana celular y el adenosin trifosfato (ATP) celular son insignificantes a dosis bajas de UV ($< 80 \text{ mJ/cm}^2$), mientras que, con dosis altas de UV se puede lograr lesiones a nivel del ADN (400 mJ/cm^2).

Por tanto, la finalidad de esta investigación radica en evaluar la eficacia de un sistema de desinfección de agua, mediante el uso de radiación UV-C para la eliminación de *E. coli*, utilizando diferentes tiempos de exposición.

2. JUSTIFICACIÓN

La presencia de coliformes en fuentes de agua afecta principalmente a los estratos sociales de bajo ingreso, así como a toda empresa que se sirva de un sistema de agua, sea agua cruda o potable, con tratamientos ineficientes y que utilizan el agua como materia prima para la manufactura masiva de productos o servicios sociales. Por tal, la necesidad de un sistema adecuado que elimine la concentración de estas bacterias, en aguas, indiferentemente de su uso, es necesario para salvaguardar la salud pública, el bienestar medioambiental, además de cumplir con los lineamientos de sanidad dada por la legislación ecuatoriana, y por entidades internacionales.

La ejecución de esta investigación, aportará con alternativas aplicables para el tratamiento de agua, permitiendo saber si diferentes tiempos de exposición a luz UV-C es o no eficaz en la reducción y/o eliminación de las poblaciones de coliformes (en particular, *Escherichia coli*).

Los resultados de la aplicación de este estudio permitirán a empresas privadas, entes del sector público, profesionales independientes y sociedad en general, tener un antecedente confiable de la aplicación de la luz UV-C sobre la eliminación de *Escherichia coli*, que pueden ser replicado y contrastado por sus propios medios.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo general

Evaluar la eficacia de un sistema de desinfección de agua, mediante el uso de radiación UVc para la eliminación de *Escherichia coli* y bacterias aéreas mesófilas, utilizando diferentes tiempos de exposición.

3.2. Objetivos específicos

- Efectuar tratamientos con radiación UVc a muestras de agua, de un sistema de recirculación, a tiempo 0, 2, 4 y 6 segundos de exposición, mediante el uso de un esterilizador STERILIGHT S12Q PA.
- Realizar el cultivo microbiológico de *Escherichia coli* y bacterias aéreas mesófilas, mediante sembrado en placas de recuento empleando
Amplouled MI Both 2 ml (E coli/ Coliformes) "Apracom" y Amplouled M TGE Both 2 ml (Aerobios Totales) "Apracom", de la muestra control y las muestras tratadas con radiación UVc para determinar la eficiencia de cada tratamiento.

- Verificar mediante análisis estadísticos de prueba de hipótesis la existencia o ausencia de diferencias entre la muestra control y los tratamientos aplicados.

4. HIPÓTESIS

4.1. Hipótesis De Trabajo

Se consigue eliminar a *Escherichia coli* de las aguas de recirculación, empleadas en enlatados de pescado, con al menos uno de los tratamientos con radiación UV-C aplicados.

4.2. Hipótesis Alternativa

No se consigue eliminar a *Escherichia coli* de las aguas de recirculación, empleadas en enlatados de pescado, con al menos uno de los tratamientos con radiación UV-C aplicados.

5. MARCO TEÓRICO

5.1. Bacterias.

Las bacterias son un grupo amplio de microorganismos caracterizados por ser haploides que se reproducen asexualmente por fisión (Dykhuizen, 2005) y por la falta de un núcleo delimitado por una membrana y carecer de orgánulos membranosos como mitocondrias y cloroplastos (Kayingo, 2019). Poseen una sola molécula, a menudo circular, de ADN de doble cadena como su único cromosoma y estos cromosomas (Dykhuizen, 2005).

Los tamaños de las bacterias van de aproximadamente 1 hasta 5 μm . No obstante, aunque las espiroquetas suelen ser lanceoladas con más de 200 μm de longitud. Una de las bacterias de mayores dimensiones conocida es *Epulopsicum fishelsoni* una bacteria baciliforme cuyo diámetro ronda los 50 μm y su longitud 500 μm . La bacteria *Thiomargarita namibiensis* llega a medir hasta 750 μm de diámetro, es decir que tiene el tamaño de un punto sobre una hoja, por lo cual, tienden a ser visibles a simple vista (Kayingo, 2019).

Las bacterias suelen ser clasificadas en dos grupos según una técnica de tinción (tinción de Gram), que, aunque no tiene un grado taxonómico, esta división está basada en la composición bioquímica de las paredes celulares. Las

bacterias gram positivas poseen paredes celulares constituidas mayoritariamente de peptidoglucano. En contraposición, las bacterias gram negativas poseen paredes celulares formadas de una capa interna de peptidoglucano y una capa externa de fosfolípidos, proteínas y lipopolisacáridos (Gregersen, 1978). La complejidad de pared celular de las bacterias gram negativas interfiere con la absorción de algunos antibióticos y, por lo tanto, suelen ser más resistentes que las bacterias gram positivas (Lehmann et al., 1982).

Las paredes celulares les dan a las diferentes especies de bacterias sus formas características. Las más comunes tienden a ser ovoides o esféricas (cocos), algunas tienen forma de bastón (bacilos), y otros se arquean en patrones helicoidales (espirilos). En este último grupo se encuentran las espiroquetas, caracterizadas por ser muy compactas, poseen movimiento por medio de filamentos axiales (Sutcliffe & Russell, 1995).

En las bacterias gram negativas está incluida la familia Enterobacteriaceae, caracterizadas por formar parte de la microbiota intestinal (coliformes) y del ser humano y de otras especies animales (Carter & Chengappa, 1990).

Las enterobacterias conforman una familia grande y diversa de que pertenecen tanto a las formas de vida libre como a la flora normal de seres humanos y animales. Unas cuantas están adaptadas estrictamente a

humanos. Las enterobacterias crecen con rapidez bajo condiciones aerobias o anaerobias y tienen actividad metabólica. Son, con mucho, la causa más común de infecciones de vías urinarias (UTI) y un número limitado de especies también son agentes causales de diarrea. (Ip et al., 2023)

Las enterobacterias son bacilos gramnegativos, anaerobios facultativos y no esporulados. Son fermentativas, oxidasa negativa y catalasa positiva, y muchas de ellas son móviles con disposición de peritricato en los flagelos (Carter & Chengappa, 1990).

5.2. Indicadores de calidad de agua.

La calidad de un cuerpo de agua depende de múltiples factores relacionados a la calidad y la cantidad de residuos, sea líquidos o sólidos que se generan a partir de las actividades domésticas, agropecuarias y/o industriales, sea esto por las disposición inadecuadas de residuos sólidos urbanos o peligrosos, que a través de los escurrimientos superficiales y lixiviados o por la eliminación directa llegan a un cuerpo de agua (SEMARNAT, 2014).

Los índices pueden generarse utilizando elementos básicos en base a la función de la calidad de agua. El Índice de Calidad del Agua, ICA permite definir las condiciones que debería registrar el cuerpo de agua de acuerdo

a los diferentes usos específicos. Así, En 2017, la OMS emitió el más reciente Estándar de calidad del agua, que incluye 31 indicadores microbiológicos que son patógenos transmitidos por el agua. Estos indicadores incluyen 12 géneros y especies bacterias, 8 tipos de virus 11 6 tipos de protozoos (Organización Mundial de la Salud, 2017), entre los que se incluye las cepas patógenas de *E.*

coli.

5.2.1. *Escherichia coli*

El género *Escherichia* consiste en bacilos gramnegativos anaerobios facultativos que pertenecen a la familia Enterobacteriaceae (Edwards; & Ewing, 1986). *E. coli* recibe su nombre del pediatra alemán Theodor Escherich, quien fue el primero en informar sobre el aislamiento y la caracterización de bastoncillos delgados y cortos de heces infantiles, a los que denominó *Bacterium coli commune*, en su publicación de 1885 (Peñaloza & Aspiazu, 2021).

La especie *E. coli* está ampliamente distribuida, donde es el principal anaerobio facultativo que habita en las intestino de humanos y animales de sangre caliente (Gomes et al., 2016).

La mayoría de las cepas de *E. coli* viven inofensivamente en el colon y rara vez causan enfermedades en individuos sanos; no obstante, varias cepas patógenas pueden causar enfermedades intestinales y extraintestinales

tanto en individuos sanos como inmunocomprometidos (Kaper et al., 2004). Las enfermedades diarreicas son un grave problema de salud y una de las principales causas de morbilidad y mortalidad en lactantes y niños pequeños (Gomes et al., 2016)

La calidad microbiana de fuentes de agua puede cuantificarse midiendo la concentración de *Escherichia coli* y otras bacterias. Para determinar los niveles de aporte fecal y la posible presencia de patógenos (Wen et al., 2020).

5.2.2. Bacterias aéreas mesófilas.

Se denomina bacterias aéreas mesófilas, a aquellas que son capaces de proliferan en temperaturas de 30 a 40°C y con presencia de oxígeno. Esto implica que la descripción de los mesófilos sea netamente genérico, sin valor taxonómico; no obstante, el recuento de sus poblaciones es utilizado como medidor de la eficiencia de depuración de cuerpos de agua (Egli et al., 2008).

Las poblaciones de BAMs se miden como recuento heterotrófico en placa (HPC). Un cuerpo de agua es calificado como contaminado por mesófilos cuando el HPC supera las 500 UFC*mL⁻¹(Gioffre, 2022). Para el suministro de agua corriente se requiere de niveles HPC por debajo de 300 UFC*mL⁻¹ (Egli et al., 2008).

Una de las principales desventajas del método HPC es el tiempo considerable que requiere (3 a 10 días), ya que se debe permitir que las células bacterianas en el agua crezcan en colonias visibles en medios nutritivos sólidos (placas de agar).

5.3. *E. coli* y BAMs en la regulación ecuatoriana.

La legislación ecuatoriana a través del **Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente**, en su anexo 1: Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua, detalla los niveles máximos permisibles de *E. coli* para efluentes dependiendo de la finalidad que se vaya a dar al agua tratada. Para aguas para consumo humano y doméstico que requieren tratamiento convencional, establece un máximo de 2000 UFC/100mL de coliformes fecales. Para aguas de consumo humano y doméstico y que para su potabilización solo requieren desinfección se estipula un máximo de 20 UFC/100ml.

La legislación ecuatoriana no estipula un límite permisible para las poblaciones de bacterias aeróbicas mesófilas en cuerpos de agua aptos para uso humano; no obstante, se aspira obtener poblaciones menores a 300 UFC/MI, con la aplicación de luz UV-C, como lo recomienda Egli et al. (2008)

Respecto a la producción y empaquetamiento de tunidos en conservas, la NTE INEN 184-2013, estipula que "Los productos que emplean atún y bonito deben estar exentos de microorganismos patógenos y sustancias tóxicas producidas por estos, que puedan ocasionar un peligro para la salud" y que " Los productos deben demostrar esterilidad comercial durante toda su vida útil,"

Un estudio realizado a principio de siglo sobre la calidad microbiológica de los lomos de atún congelados para la exportación elaborados por las empresas Yellowfin, Skijack y Bigey indicó que el 62 % de las muestras poseían concentraciones bacterianas de $10(1 \times 10^1)$ y $1000(1 \times 10^3)$ UFC*g⁻¹, el 34% alcanza valores entre $1001(1 \times 10^3)$ y $10000(1 \times 10^4)$ mientras que el 2.8% se encuentra entre $10001(1.0001 \times 10^4)$ y $100000(1 \times 10^5)$ (Zerna-Andrade, 2001). El autor indica que, "Los resultados obtenidos se encontraron dentro del nivel permisible por las Normas Internacionales".

5.4. Desinfección bacteriana

Entre los diversos problemas asociados con el medio ambiente, la contaminación del agua es una preocupación crítica, pues, varios contaminantes biológicos y químicos están contaminando los ecosistemas debido a actividades antropológicas poco responsables (Raizada & Singh, 2017). Entre estos contaminantes, los microorganismos patógenos

presentes en el agua contaminada son los principales causales de diversas enfermedades peligrosas como fiebre tifoidea, hepatitis, cólera, tuberculosis, neumonía, etc y, en última instancia, provocan millones de muertes en todo el mundo (Kumar et al., 2021).

Así, la implementación de la desinfección, como un proceso necesario para el tratamiento de cuerpos de agua, ha reducido en gran medida el riesgo asociado con las enfermedades bacterianas transmitidas por el agua (Lalley et al., 2014). Los tratamientos de desinfección deben aplicarse asegurando dosis mínimas efectivas, que sean eficientes para inhibir la contaminación microbiana evitando la formación y acumulación de residuos químicos (Liu et al., 2016).

Técnicas como la cloración, la ozonización, entre otros han sido utilizadas para su eliminación (Kumar et al., 2021). No obstante, los riesgos asociados con las técnicas de desinfección actuales, incluida la formación de subproductos de la desinfección y especies bacterianas resistentes a múltiples fármacos, han impulsado la exploración de métodos de desinfección avanzados (Kumar et al., 2021). Así, convencionalmente, el cloro se ha utilizado como desinfectante para el tratamiento del agua porque tiene alta eficiencia, bajo costo y efecto residual. Sin embargo, los subproductos orgánicos cloro formados durante este proceso pueden ser cancerígenos (Freuze et al., 2005). El cloro al entrar en contacto con la materia orgánica natural (NOM), puede formar compuestos cancerígenos

como los trihalometanos (THM) y los ácidos haloacéticos (HAA) (Lalley et al., 2014).

Otros métodos de desinfección de agua contaminada con microorganismos patógenos implica el uso de autoclave, irradiación, solventes o detergentes, lo que puede llevar a la eliminación incompleta de patógenos y, en ocasiones, a la formación de intermediarios tóxicos (Regmi et al., 2017).

También se suelen utilizar otros desinfectantes como el dióxido de cloro, la ozonización, el alcohol, el formaldehído, el peróxido de hidrógeno, etc., sin embargo, la producción de subproductos tóxicos, la falta de efecto residual, el equipo complicado y costoso, el alto costo operativo, etc. son los principales inconvenientes de estas técnicas (Kumar et al., 2021).

Se ha implementado, asimismo, lámparas UV dentro de las técnicas de desinfección de agua (Zhang et al., 2015), no obstante, los primeros prototipos al ser lámparas de vapor de mercurio, consumían mucha energía y se consideran desechos problemáticos después de su uso (Whitby & Scheible, 2004). Con el advenimiento de los diodos emisores de luces (LED), las LED-UV surgieron como una alternativa energéticamente más eficiente y carente de sustancias tóxicas (Vilhunen et al., 2009).

5.5. El agua en plantas procesadoras de pescado

El procesamiento del atún se divide en varios procesos unitarios, en concreto: recepción, descongelación, despiece, precocinado, limpieza, enlatado, autoclave y, por último, etiquetado y enfundado. (Artiga et al., 2008) El procesamiento requiere importantes aportes de agua y genera grandes cantidades de aguas residuales. El uso total de agua oscila entre 10 m³ y 20 m³ por tonelada de atún procesado, según las medidas que se tomen para frenar el uso excesivo y conservar el agua (Nair, 1990). Dependiendo de la operación en particular, el grado de contaminación puede ser pequeño (operaciones de lavado), leve (fileteado de pescado) o pesado (agua de sangre drenada de tanques de almacenamiento de pescado) (Chowdhury et al., 2010)

La mayor parte del agua (hasta un 30-40%) se utiliza en la descongelación, dependiendo de si los procedimientos de control de calidad permiten la reutilización y el grado de conservación del agua adoptado. El pescado procesado para operaciones de enlatado, en particular el atún y las sardinas, produce muchos más desechos debido a la operación de cocción que precede al enlatado, generalmente en un recipiente a presión o en una retorta de cocción. La carga de desechos, debido a la eliminación de aceites y grasas que representan casi el 25 por ciento del peso total del pescado, se descarga tradicionalmente con las aguas residuales de las retortas de cocción (Nair, 1990).

Las industrias de procesamiento de pescado y mariscos enfrentan problemas de manejo y eliminación de desechos, saneamiento de plantas, disponibilidad y costo de materia prima, eficiencia de producción, mayor competencia y costos crecientes de mano de obra y energía (Chowdhury et al., 2010). Además, las normas de prevención de la contaminación aplicables a estas industrias podrían volverse más estrictas en los próximos años. Dados estos desafíos, se deben encontrar soluciones rentables para el manejo y las operaciones de desechos para que las plantas permanezcan en el negocio.

Así, se han informado varios métodos para el tratamiento y desinfección de estos efluentes procedente de plantas de procesamiento de pescado. La desinfección de aguas empleadas en enlatados de pescado y mariscos es un proceso mediante el cual los organismos patógenos se destruyen o se vuelven inactivo ultravioleta (Kuan-Yeow, 2008)s. La desinfección a menudo se logra usando agentes bactericidas. Estos involucran principalmente procesos como la separación sólido-líquido, tratamientos fisicoquímicos y aeróbico-biológicos.

Ente estos métodos biológicos están el uso de lodos activados (Cristóvão et al., 2015) y en los métodos fisicoquímicos están la clorinación, la ozonización y la radiación ultravioleta (Kuan-Yeow, 2008). La radiación ultravioleta desinfecta al penetrar la pared celular de los patógenos con luz ultravioleta que destruye completamente la célula y/o la incapacita para reproducirse (Guerrero-Beltrán & Barbosa-Cánovas, 2004).

5.5.1. Radiación UV desinfectante.

Se denomina luz ultravioleta (UV) a la radiación que ocupa una banda de longitudes de onda en la región no ionizante del espectro electromagnético entre los rayos X (200 nm) y la luz visible (400 nm) (Sastry et al., 2000). A efectos prácticos, el espectro UV se puede subdividir en tres regiones: UV de onda corta (UV-C) con longitudes de onda desde 200 a 280nm; UV de onda media (UV-B) con longitudes de onda de 280 a 320nm; y UV de onda larga (UV-A) con longitudes de onda de 320 a 400 nm. (Bintsis et al., 2000)

La radiación UV como desinfectante, surgió de la necesidad de una tecnología alternativa que funcionaría tan bien como la cloración a inicio de la década de 1970 (Whitby & Scheible, 2004). Su uso se extendió debía a que el proceso libre de químicos, la producción de subproductos de desinfección poco o nada dañinos y la ausencia de riesgo de sobredosis hacen que la radiación UV hacen de este un método viable para la desinfección del agua (Bowker et al., 2011).

La luz ultravioleta se ha utilizado para el tratamiento y desinfección de superficies (Sizer & Balasubramaniam, 1999), además de agua, mostrando eficacia contra una amplia variedad de microorganismos (Bachmann, 1975). La longitud de onda entre 220 y 300 nm se considera germicida contra microorganismos como bacterias, virus, protozoos, mohos y levaduras y algas

(Bintsis et al., 2000; Sizer & Balasubramaniam, 1999), sin embargo, el mayor efecto germicida se obtiene entre 250 y 270 nm, cuyo efecto disminuye a medida que aumenta la longitud de onda (Guerrero-Beltrán & Barbosa-Cánovas, 2004).

El efecto de la radiación UV sobre los microorganismos puede variar de una especie a otra y, en la misma especie, puede depender de la cepa, el medio de crecimiento, la etapa de cultivo (Wright et al., 2000), la densidad de microorganismos y otras características, como tipo y composición del alimento. Los hongos y levaduras (microorganismos grandes) son más resistentes durante la desinfección; sin embargo, se deben tener en cuenta los altos niveles microbianos al usar UV-C para la desinfección (Bachmann, 1975)

Por este motivo, se utilizan longitudes de onda de 250-260 nm (UV-C) para la desinfección de superficies, agua y algunos productos alimenticios.

5.5.2. Radiación UV-C desinfectante

El proceso de fotoinactivación de microorganismos por UV-C es un método físico en el que la energía es el medio germicida; no produce subproductos indeseables (Chang et al., 1985) que puedan cambiar las características sensoriales (sabor, olor y color) en el producto final (Guerrero-Beltrán & BarbosaCánovas, 2004).

La tasa de reducción microbiana con luz UV-C se puede obtener aplicando baja intensidad durante largos periodos o alta intensidad durante cortos periodos de tiempo (Bachmann, 1975). La luz UV-C absorbida por el ADN provoca un desplazamiento físico de los electrones para provocar la división de los enlaces del ADN, el retraso de la reproducción o la muerte celular (Guerrero-Beltrán & Barbosa-Cánovas, 2004). Esto significa que el efecto bactericida de la UV-C se produce principalmente a nivel de ácido nucleico (Wright et al., 2000). Se produce un entrecruzamiento entre timina y citosina vecinas (bases pirimidina) en la misma hebra de ADN debido a la radiación UV-C (Sastry et al., 2000). El efecto resultante es que la transcripción y la replicación del ADN se bloquean, comprometiendo las funciones celulares y, finalmente, provocando la muerte celular (Guerrero-Beltrán & Barbosa-Cánovas, 2004; Sastry et al., 2000).

El tratamiento con UV-C es una de las formas más rentables y respetuosas con el medio ambiente, que permite destruir una amplia gama de microorganismos en el agua; siendo utilizado para desinfectar efluentes cloacales, agua potable y agua para piscinas (Bintsis et al., 2000).

5.5.3. Fuentes de radiación UV

5.5.3.1. Radiación solar (Bintsis et al., 2000).

El sol emite radiación en una amplia gama de longitudes de onda, pero las intensidades relativas de la radiación ultravioleta que llega a la superficie terrestre dependen, en gran medida, de la atenuación de la atmósfera a través de la absorción y la dispersión. Los rayos UVC se absorben completamente en las atmósferas superior y media por el ozono y el oxígeno molecular, pero, mientras que los rayos UVB se atenúan de manera similar, algunos rayos UVB llegan a la superficie.

Los rayos UVA apenas se ven afectados y, por lo tanto, el medio ambiente terrestre está expuesto principalmente a la radiación ultravioleta entre 290 y 400 nm.

5.5.3.2. Fuentes artificiales (Bintsis et al., 2000).

Lámparas UV de onda larga

La luz de las lámparas de vapor de mercurio se puede filtrar para eliminar el espectro visible y dar una emisión que es principalmente UVA.

Lámparas UV de onda media

Las lámparas de vapor de mercurio a veces se diseñan con presiones que producen la máxima radiación en la región UVB y usan bombillas de vidrio que transmiten libremente esta energía.

Lámparas UV de onda corta

Las lámparas de mercurio diseñadas para producir energía en la región germicida (254nm) son eléctricamente idénticas a las lámparas fluorescentes, pero carecen del recubrimiento de fósforo y el uso de vidrio permite la transmisión de UVC. Cabe señalar que la radiación por debajo de 260 nm producirá ozono, que debe controlarse para evitar riesgos para la salud; una atmósfera de trabajo no debe contener más de 0,2 mgL⁻¹ de aire.

6. METODOLOGÍA

6.1. Área de estudio

Los ensayos de exposición de masas de agua a radiación UV-C se realizaron en el laboratorio de la exportadora Galapesca, mediante el uso de un sistema de generación ultravioleta germicida STERILIGHT S12Q PA, adquirido de WATER QUALITY ASSOCIATION con capacidad de hasta 240 nm. La empresa Galapesca recicla el 60% del agua que utilizan, como parte de sus estrategias económicas y ecológicas.

6.2. Tratamientos con radiación UV-C

El agua tratada procedió de procesos de empaquetado de tñidos. La empresa Galapesca empleó un total de 450 m³/día de los cuales 380 se enviaron al sistema de esterilización con UV-C. El sistema de esterilización posee un caudal de 150 m³/día. Se utilizó un esterilizador STERILIGHT S12Q PA (Fig. 1., Fig. 2., Tabla 1) para exponer, el agua a tratar, a 0, 2, 4 y 6 segundos de esterilización. Posterior al tratamiento se tomaron muestras de cada ensayo para llevarse a medios de cultivos para *E. coli* y BAMS, es decir que semanalmente se tomaron 48 muestras por cada 750 m³ desinfectados a 3 diferentes tiempos.

Previo al inicio del proceso de desinfección con UV, se tomó muestras de agua tanto en el paso 1 como el paso 2 (Fig. 2). Se inocularon y cultivaron bajo el mismo protocolo de los cultivos microbiológicos.

Figura 1. Sistema de generación ultravioleta germicida STERILIGHT S12Q PA.

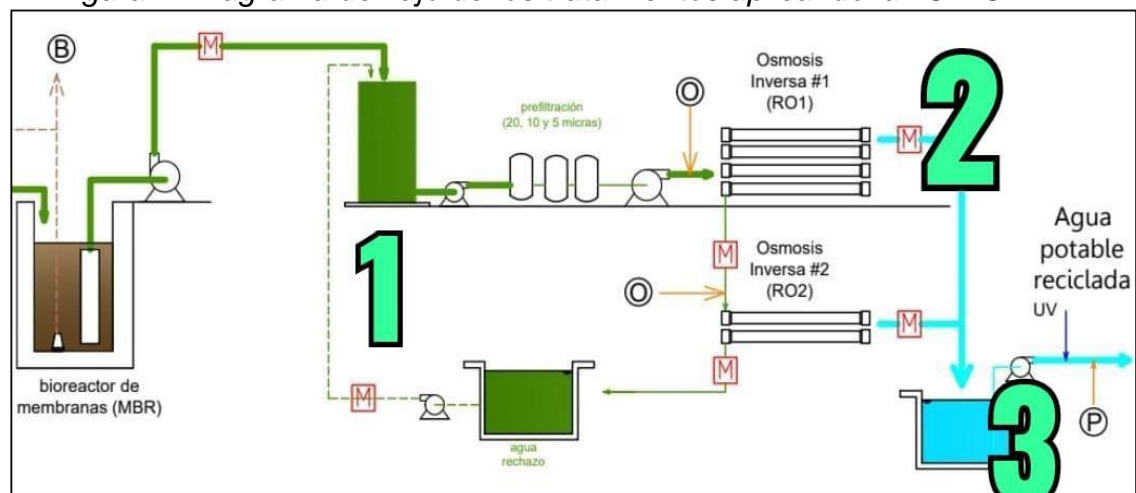


Tabla 1. Especificaciones del sistema de generación ultravioleta germicida STERILIGHT S12Q PA

FLUJO MÁXIMO SALUD PÚBLICA	29 GPM solo giarda & cripst.
FLUJO MÁXIMO VIQUA	15 GPM incluye ciertas bacterias
FLUJO MÁXIMO NSF/EPA	11 GPM incluye cirus y patogenos
PRESIÓN MÁXIMA OPERACIÓN	125 PSI
CALIDAD DE REACTOR	acero inoxidable electropulido 304
TAMAÑO DE REACTOR	95 cm largo x 8.9 cm diámetro
PUERTOS IN/OUT	1.5" NPT
CALIDAD LÁMPARA	sterilume tm - ho

DURACIÓN	hasta 9000 horas al 95% de dosis
ONDA GERMICIDA	254 nm en dosis indicadas
ENERGÍA	39 W
CANTIDAD DE LÁMPARAS	1 s - 36 rl
BALLASTRO	electrónico ice - s
CONEXIÓN	100 - 240 V ac con tierra
DISPLAY	4 dígitos con alarma
CAMISA DE CUARZO	cuarzos/sílica 214
FORMA DE INSTALACIÓN	vertical/ horizontal
TRANSMITANCIA RECOMENDADA	95% mínimo

Figura 2. Diagrama de flujo de los tratamientos aplicando luz UV-C.



6.3. Cultivo Microbiológico de *Escherichia coli* y BAMs

Los cultivos microbiológicos se realizaron mediante análisis microbiológico de agua por método de filtro de membrana utilizando kits de **Neogen Filter Water "Apracom"**. Para el conteo de *E. coli* se utilizó el kit **Amplouled MI Both**

2 ml (*E coli*/ Coliformes) "Apracom" y para BAMs, el kit **Amplouled M TGE Both 2 ml (Aerobios Totales) "Apracom"**

Se inició tomando las muestras de agua y se las colocó en fundas whirlpack estériles y adecuadamente rotuladas.

Mientras las muestras reposaban, se preparaba un Büchner flask (Kitasato), equipado con una bomba de vacío, colocando sobre una rampa de filtración sobre la cual se apoyaba un adaptador embudo dentro de un tapón de caucho pre-perforado.

Una vez listo, se colocaba el filtro a través del cual se hacía pasar cuidadosamente el agua con ayuda de la bomba de vacío. Se inocularon 100 mL de muestra por cada filtro. Posteriormente se enjuagaba las paredes interiores del embudo del monitor con 20 o 30 ml de solución tamponada estéril. Se aplicaba el vacío hasta que el enjuague se extraía por la membrana.

Asépticamente se agregaba una ampolla del medio selecto apretando la punta de la misma sobre la superficie superior de la membrana, cuidando de no tocar la superficie superior de la membrana. Se encendía el vacío por un instante para desplazar la muestra restante y el medio se adhiriera a la almohadilla.

Se quitaba y desechaba el embudo de plástico del filtro, colocando la cubierta del filtro sobre el ensamblaje del filtro/base convirtiendo la unidad en una placa de Petri.

Las placas eran llevadas a una incubadora incubándose a 32-35°C por 24-48 h para BAMs y a 35-37°C por 18-24 h para *E. coli*.

Los resultados se interpretaron como:

I) Medio M-TGE Broth: Todas las colonias que crecieron en la superficie de la membrana (Fig. 3).

I) Medio MI Broth: Colonias azules/verdes que emitían fluorescencia o tenían bordes fluorescentes (Fig. 3).

Los recuentos de las colonias se realizaron en un contador de Colonias Digital - Alfa Mare.

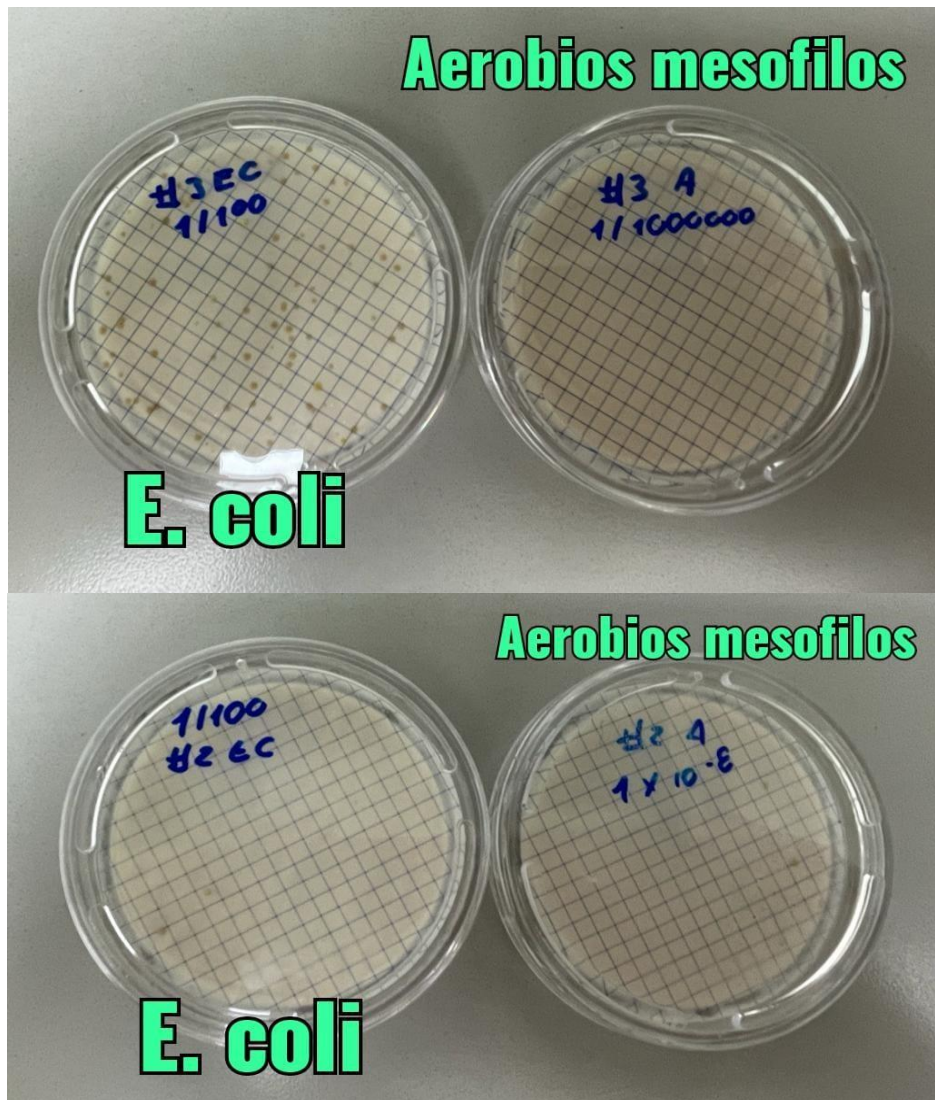


Figura 3. Placas de cultivo de *E. coli* y BAMs.

6.3.1. Frecuencia de muestreos.

Los muestreos tendrán una frecuencia de dos muestreos triplicados por semana, por ensayo realizado. Los detalles del flujo de muestreo se muestran en la tabla 2.

Tabla 2. Muestreos a realizarse para la determinación de las poblaciones de *E. coli* y BAMS post exposición a radiación UV-C.

Toma de muestras	<i>Escherichia coli</i>				Bacterias aéreas mesófitas				Total
	T = 0	T = 2	T = 4	T = 6	T = 0	T = 2	T = 4	T = 6	
Día 1	3	3	3	3	3	3	3	3	24
Día 2	3	3	3	3	3	3	3	3	24
Total por semana									48
Semanas de muestreos									8
Total muestras analizadas									384

6.4. Análisis estadísticos de los resultados

Los valores de UFC de *E. coli* para cada uno de los tratamientos, más el grupo control, fueron comparados y contrastados mediante prueba de hipótesis de varianza ANOVA de un factor, para evaluar la existencia de diferencias entre los promedios de los 3 experimentos. Se utilizará un intervalo de confianza de

95% y un valor de $p < 0,05$. El análisis será realizado en el software Minitab 19.2.0.

Para los casos donde se encontró diferencias en la aplicación de la prueba ANOVA, se procedió a realizar una prueba de Tukey para determinar cuál prueba tiene una mayor eficacia.

7. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN

7.1. Tratamientos con radiación UV-C

Se aplicó el tratamiento a muestras procedentes de cultivos puros de *E. coli* y cultivo de BAMs, realizándose don muestreos por semana de cada cultivo. Se tomó cuatro muestras por muestreo por cultivo. Es decir 4 muestras de cultivo de *E. coli* y 4 muestras del cultivo BAM para los tratamientos a 0,2,4 y 6 segundos de exposición a luz UV-C. Los cultivos fueron muestreados durante 8 semanas (16 muestreos) (Tabla 2). El diagrama de tratamiento de las muestras se detalla en la fig. 2.

Los resultados de las muestras de agua de los pasos 1 y 2. Se detallan en los anexos 1 y 2 respectivamente.

7.2. Cultivo Microbiológico de *Escherichia coli*

Los cultivos de *E. coli* oscilaron entre 130 UFC*100mL⁻¹ (semana 8, día 2) y 330 UFC*100mL⁻¹ (semana 6, día 2) con las muestras control (T = 0), mientras que con T=2 se observó una disminución significativa con un mínimo de 35 UFC*100mL⁻¹ (semana 7, día 1) y picos máximos de 90 UFC*100mL⁻¹ (semana 4, día 1). Por otro lado, con T=4 y T=6, se evidenció una ausencia del 100% de UFC de *E. coli* (Tabla 3). Lo cual está dentro de la legislación. Se evidencia entonces, que, la aplicación de luz UV-C con un tiempo de exposición mayor o igual a 4 segundos es eficaz para la eliminación del 100% de las poblaciones de *E. coli* en un cuerpo de agua.

Tabla 3. Promedio ($UFC \cdot 100mL^{-1}$) de los ensayos triplicados de las poblaciones de *E. coli* en el agua tratada con luz UV-C.

<i>E. coli</i>		-1			
		T = 0	T = 2	T = 4	T = 6
Semana 1	Dia 1	250	80	0	0
	Dia 2	260	70	0	0
Semana 2	Dia 1	180	53	0	0
	Dia 2	310	80	0	0
Semana 3	Dia 1	170	44	0	0
	Dia 2	260	70	0	0
Semana 4	Dia 1	320	90	0	0
	Dia 2	240	60	0	0
Semana 5	Dia 1	220	50	0	0
	Dia 2	210	60	0	0
Semana 6	Dia 1	180	40	0	0
	Dia 2	330	80	0	0
Semana 7	Dia 1	140	35	0	0
	Dia 2	230	60	0	0
Semana 8	Dia 1	200	48	0	0
	Dia 2	130	38	0	0

UFC*100mL por tiempo de exposición a UV-C

Los resultados logrados muestran una alta eficacia en la eliminación de *E. coli* con tiempo de exposición a luz UV-C mayores o iguales a 4 segundos, lográndose un 100% de eliminación de sus colonias, niveles óptimos para el uso y consumo humano, acorde al Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente.

Los resultados más cercanos a los obtenidos en esta investigación, son los de (Chatzisyneon et al., 2011), quienes investigaron sobre la desinfección de agua y aguas residuales por irradiación UV-A y UV-C: La inactivación de *E. coli* se observó con la irradiación UV-C logrando una inactivación total

del 100 % dentro de los 3 minutos del tratamiento. Por otro lado, UV-A requirió 60 min para lograr la desinfección total de las aguas residuales.

(Galezzo & Susa, 2021) en su investigación irradió durante 20, 30, 45, 60 y 90 s con LED individuales y combinados de 265 (UV-C) y 365 nm (UV-A). Como resultado, obtuvieron que los LED de UV-C tuvieron un gran poder germicida sobre *E. coli*, alcanzando una tasa de inactivación logarítmica superior a 7 y 4 logs.

Para una mayor eficiencia en la desinfección de cuerpos de agua (Nyangaresi, 2023) indica que *E. coli* es altamente susceptible a la radiación ultravioleta, por lo que la luz UV-C individual en un sistema de desinfección de agua que reduce los costos adicionales relacionados con otros métodos de desinfección o como el uso de longitudes de onda combinadas y al mismo tiempo alcanzar altos niveles de inactivación de microorganismo

La luz UV-C, ha demostrado ser efectiva incluso en la purificación instantánea de agua eliminando colonias de *E. Coli*. Así, (Matsumoto et al., 2019) evaluaron la eficacia de la desinfección con luz UV-C a 0 mJ/cm² , 1,0 mJ/cm² y 6,0 mJ/cm². Como resultado, los autores encontraron una disminución del número de colonias de 365 ± 51 CFU (Grupo control) a 55 ± 19 CFU para la placa de dosis de 1,0 mJ/cm² y 2,0 ± 0,9 CFU para la placa de dosis DUV de 6,0 mJ/cm². (Adhikari et al., 2020) Evaluaron el tratamiento con luz ultravioleta (UVC) para la inactivación de *E. coli* en

aguas agrícolas con diferentes niveles de turbidez. Las dosis de UV-C de 20–30 mJ/cm² resultaron en una reducción de la población de *E. coli* en más de 7 log MPN/100 ml para agua de pozo y para el agua del estanque, la reducción fue de 3,75 log MPN/100 ml debido a la dosis de UV-C de 20–30 mJ/cm²

7.3. Cultivo Microbiológico de bacterias aéreas mesófilas

Los cultivos de BAMS mostraron una tendencia similar a los de *E. coli*. Pues en el grupo control (T = 0), se observó resultados de 1600 UFC*100mL⁻¹ mL⁻¹ (semana 2, día 2) a 22000 UFC*100mL⁻¹ mL⁻¹ (semana 5 día 1). Con T=2 se evidencia una disminución en las poblaciones de BAMS ya que no superaron las 120 UFC*100mL⁻¹ mL⁻¹ (semana 6, día 1) y por sobre las 80 UFC*100mL⁻¹ mL⁻¹. (semana 6, día 2). Con T=4 y T=6, al igual que con *E. coli*, las UFC de BAMS estuvieron ausentes durante todos los muestreos (Tabla 4).

El tratamiento con luz UV-C. por tanto, también denota una eficacia del 100% para la eliminación de las poblaciones de BAMS en aguas residuales, por lo que el tratamiento asegura la inocuidad del agua para uso y consumo humano.

Tabla 4. Promedio ($UFC \cdot 100mL^{-1}$) de los ensayos triplicados de las poblaciones de BAMs en el agua tratada con luz UV-C.

BAMs		UFC*100mL ⁻¹ por tiempo de exposición a UV-C			
		T = 0	T = 2	T = 4	T = 6
Semana 1	Dia 1	2200	100	0	0
	Dia 2	1800	90	0	0
Semana 2	Dia 1	2500	110	0	0
	Dia 2	1600	90	0	0
Semana 3	Dia 1	2100	110	0	0
	Dia 2	1900	0	0	0
Semana 4	Dia 1	2700	0	0	0
	Dia 2	2000	0	0	0
Semana 5	Dia 1	22000	100	0	0
	Dia 2	2000	90	0	0
Semana 6	Dia 1	2600	120	0	0
	Dia 2	1700	80	0	0
Semana 7	Dia 1	1900	100	0	0
	Dia 2	2300	110	0	0
Semana 8	Dia 1	1900	90	0	0
	Dia 2	2100	110	0	0

La desinfección UV-C para reducir la carga microbiológica de cuerpos de agua ha sido una tecnología implementada con el fin de reducir el consumo de agua, tanto por su escasez como por aportar al cuidado de la misma. En este estudio se evidencio que se requiere al menos 4 segundos de exposición para poder esterilizar completamente un cuerpo de agua. Estos resultados concuerdan con los obtenidos por (Rossel et al., 2014), quienes expusieron muestras de agua a radiación UV-C (longitud de onda

dominante de 254 nm) ppr 1, 2, 3, y 4 segundos. El autor utilizo también filtros de membrana para inocular las muestras. Como resultado indica que, para la inactivación total de bacterias presentes en las muestras de agua, se requirió un tiempo mínimo de 4 s de exposición, ya que con los otros tres tratamientos obtuvo conteos de 200, 165, 59 UFC/100 ml.

En contraste, (Chevremont et al., 2012) indican que para muestras de agua, son necesarios 60 segundos de exposición a UV-C para eliminar cualquier tipo de cepas bacterianas presentes, con un impacto limitado sobre la formación de subproductos químicos.

(Wulfkuehler et al., 2015) investigaron la eficacia de la desinfección UVC para reducir la carga microbiológica de las aguas de lavado de lechuga. Sus resultados indicaran que UV-C es altamente eficiente en la reducción de la carga microbiana, pues, a $174,2 \text{ JL}^{-1}$, los recuentos viables iniciales se redujeron en 3,2 y 2,1 $\log_{10} \text{ UFC mL}^{-1}$. E incluso, con dosis más alta de UV-C, los miembros de la familia Enterobacteriaceae se redujeron en 3,5 $\log_{10} \text{ UFC mL}^{-1}$ o no se detectaron.

La utilización de la radiación UV-C ha sido eficaz incluso en medios líquidos turbios, como lo detallan (Franz et al., 2009), en su estudio sobre la esterilización de jugo de manzana. Como resultados obtuvieron que, la concentración de bacterias descendió de 10^6 y 10^8 UFC/100ml a niveles por debajo de los límites detectables con tiempos de irradiación superiores a 5 s.

7.4. Análisis estadísticos de los resultados

7.4.1. Análisis ANOVA para *E. Coli*.

La evaluación mediante análisis ANOVA indicó que existe diferencia significativa en al menos uno de los tratamientos (Valor F mayor que valor crítico de F y $P\alpha > P_1$) (Tabla 5) por lo que los promedios de los tratamientos fueron evaluados con una prueba de Tukey.

La prueba indicó que existen diferencias significativas entre el grupo control (T=0) respecto a los tres tratamientos aplicados (T=2, T=4 y T=6). Los tratamientos con T=2 denotaron ser estadísticamente inferiores a los tratamientos T=4 y T=6; mientras que no existe diferencia significativa entre estos dos últimos (Tabla 5).

Tabla 5 Análisis ANOVA realizado a los cultivos de E. coli.

Grupo experimental	Promedio (UFC*mL ⁻¹)	
T = 0	226.875	
T = 2	59.875	
T = 4	0	
T = 6	0	
Análisis ANOVA	P α	0.05
	P ₁	2.18*10 ⁻³⁰
	Valor F	186.802

**Valor Crítico
de F**

2.758

Tabla 6. Prueba de Tukey realizado a los cultivos de *E. coli*.

HSD = 29.35	Diferencias entre Promedios			
	T = 0	T = 2	T = 4	T = 6
0 s		167.00	226.88	226.88
2 s			59.88	59.875
4 s				0

7.4.2. Análisis ANOVA para BAMs.

El análisis ANOVA develó que existen diferencia significativa en al menos uno de los tratamientos (Valor F mayor que valor crítico de F y $P\alpha > P1$) (Tabla 7); por lo que se procedió a realizar una prueba de Tukey para identificar la o las poblaciones que difieren de las demás.

Los resultados de esta prueba evidenciaron que existen diferencias significativas entre T=0 con relación a los tres tratamientos realizados. T=2, a pesar de presentar poblaciones, no presenta diferencias estadísticamente significativas con relación a T=4 y T=6, mientras que no existe diferencia significativa entre estos últimos dos experimentos (Tabla 8).

Tabla 7 Análisis ANOVA realizado a los cultivos de BAMs.

Grupo experimental	Promedio (UFC*mL ⁻¹)
--------------------	----------------------------------

	T = 0	3331.25
	T = 2	81.25
	T = 4	0
	T = 6	0
Análisis ANOVA	Pα	0.05
	P₁	3.99 *10 ⁻⁴
	Valor F	7.023
	Valor Crítico de F	2.758

Tabla 8. Prueba de Tukey realizado a los cultivos de BAMs.

	HSD = 2332.01			
	Diferencias entre Promedios			
	0 s	2 s	4 s	6 s
0 s		3250.00	3331.25	3331.25
2 s			81.25	81.25
4 s				0

8. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en esta investigación indican que, el tratamiento con luz UV-C, y en particular, el sistema de esterilización STERILIGHT S12Q PA, para la desinfección de cuerpos de agua es altamente efectivo para eliminar tanto a *E. coli* como a las bacterias aerobias mesófilas, utilizando contos periodos de exposición. La desinfección con luz UV-C implica una alternativa viable para la desinfección e inocuidad del agua utilizada en la empresa Galapesca, y, que, a su vez, carece de riesgos para la salud al no generar residuos tóxicos.

Se logró obtener colonias de *E. coli* y BAM con la utilización de los medios de cultivo **Amplouled MI Both 2 ml (E coli/ Coliformes) "Apracom"** y **Amplouled M TGE Both 2 ml (Aerobios Totales) "Apracom"**, generando resultados fiables y específicos acorde al tipo de bacteria que se esperaba cultivar

El análisis estadístico ANOVA evidenció que los tratamientos T=4 y T=6 difirieron significativamente de T=2 y las muestras control, a la vez que no existió diferencias entre T=4 y T=6.

9. RECOMENDACIONES

Al momento de manipular el sistema STERILIGHT S12Q PA evitar exponerse a la luz UV-C directa o indirectamente, ya que, la exposición prolongada puede conllevar a problemas de salud.

Los tratamientos T=4 y T=6 muestran similitud estadística por lo que se recomienda utilizar el primero, ya que requiere de una menor utilización del sistema de esterilización UV.C a la vez que acorta los intervalos de tiempo entre tratamientos, que se traduce como reducción de gastos para la empresa

Galapesca.

La eficiencia de la luz UV-C puede ser adaptado y probado en otras empresas o entes gubernamentales que requieren el tratamiento de sus efluentes.

10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Adhikari, A., Parraga Estrada, K. J., Chhetri, V. S., Janes, M., Fontenot, K., & Beaulieu, J. C. (2020). Evaluation of ultraviolet (UV-C) light treatment for microbial inactivation in agricultural waters with different levels of turbidity.

Food Science and Nutrition, 8(2), 1237–1243.

<https://doi.org/10.1002/fsn3.1412>

Akiba, M., Senba, H., Otagiri, H., Prabhasankar, V. P., Taniyasu, S., Yamashita, N., Lee, K. ichi, Yamamoto, T., Tsutsui, T., Ian Joshua, D., Balakrishna, K., Bairy, I., Iwata, T., Kusumoto, M., Kannan, K., & Guruge, K. S. (2015). Impact of wastewater from different sources on the prevalence of antimicrobialresistant Escherichia coli in sewage treatment plants in South India. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 115, 203–208.

<https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2015.02.018>

Allocati, N., Masulli, M., Alexeyev, M. F., & Di Ilio, C. (2013). Escherichia coli in

Europe: An overview. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 10(12), 6235–6254.

<https://doi.org/10.3390/ijerph10126235>

Anastasi, E. M., Matthews, B., Stratton, H. M., & Katouli, M. (2012). Pathogenic

Escherichia coli found in sewage treatment plants and environmental waters. *Applied and Environmental Microbiology*, 78(16), 5536–5541.

<https://doi.org/10.1128/AEM.00657-12>

Artiga, P., García-Toriello, G., Méndez, R., & Garrido, J. M. (2008). Use of a hybrid membrane bioreactor for the treatment of saline wastewater from a fish canning factory. *Desalination*, 221(1–3), 518–525.

<https://doi.org/10.1016/j.desal.2007.01.112>

Bachmann, R. (1975). Sterilization by intense ultraviolet radiation. *The Brown Boveri Review*, 62(5), 206–209.

Beck, S. E., Ryu, H., Boczek, L. A., Cashdollar, J. L., Jeanis, K. M., Rosenblum, J. S., Lawal, O. R., & Linden, K. G. (2017). Evaluating UV-C LED disinfection performance and investigating potential dual-wavelength synergy. In *Water Research* (Vol. 109). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2016.11.024>

Bintsis, T., Litopoulou-Tzanetaki, E., & Richard, R. (2000). Existing and potential applications of ultraviolet light in the food industry – a critical review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 80(10), 637–645. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2011.05.016>

Bowker, C., Sain, A., Shatalov, M., & Ducoste, J. (2011). Microbial UV fluenceresponse assessment using a novel UV-LED collimated beam system. *Water Research*, 45(5), 2011–2019. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2010.12.005>

Carter, M. E., & Chengappa, M. M. (1990). Enterobacteria. *Diagnostic Procedure in Veterinary Bacteriology and Mycology*, 4, 107–128. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-161775-2.50014-1>

Chang, J. C. H., Ossoff, S. F., Lobe, D. C., Dorfman, M. H., Dumais, C. M., Qualls, R. G., & Johnson, J. D. (1985). UV inactivation of pathogenic and indicator microorganisms. *Applied and Environmental Microbiology*, 49(6), 1361–1365. <https://doi.org/10.1128/aem.49.6.1361-1365.1985>

Chatzisytheon, E., Droumpali, A., Mantzavinos, D., & Venieri, D. (2011). Disinfection of water and wastewater by UV-A and UV-C irradiation:

application of real-time PCR method. *Photochemical and Photobiological Sciences*, 10(3), 332–337.
<https://doi.org/10.1039/c0pp00158a>

Chevremont, A. C., Farnet, A. M., Sergent, M., Coulomb, B., & Boudenne, J. L.

(2012). Multivariate optimization of fecal bioindicator inactivation by coupling

UV-A and UV-C LEDs. *Desalination*, 285, 219–225.

<https://doi.org/10.1016/j.desal.2011.10.006>

Chowdhury, P., Viraraghavan, T., & Srinivasan, A. (2010). Biological treatment processes for fish processing wastewater - A review. *Bioresource*

Technology, 101(2), 439–449.

<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.08.065>

Cristóvão, R. O., Gonçalves, C., Botelho, C. M., Martins, R. J. E., Loureiro, J. M., & Boaventura, R. A. R. (2015). Fish canning wastewater treatment by activated sludge: Application of factorial design optimization. Biological treatment by activated sludge of fish canning wastewater. *Water Resources and Industry*, 10, 29–38.

<https://doi.org/10.1016/j.wri.2015.03.001>

Croxen, M. A., Law, R. J., Scholz, R., Keeney, K. M., Wlodarska, M., & Finlay, B. B. (2013). Recent advances in understanding enteric pathogenic *Escherichia coli*. *Clinical Microbiology Reviews*, 26(4), 822–880.

<https://doi.org/10.1128/CMR.00022-13>

Cui, Q., Huang, Y., Wang, H., & Fang, T. (2019). Diversity and abundance of bacterial pathogens in urban rivers impacted by domestic sewage.

Environmental Pollution, 249, 24–35.

<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.02.094>

Daga, A. P., Koga, V. L., Soncini, J. G. M., De Matos, C. M., Perugini, M. R. E., Pelisson, M., Kobayashi, R. K. T., & Vespero, E. C. (2019). Escherichia coli Bloodstream Infections in Patients at a University Hospital: Virulence factors and clinical characteristics. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*, 9(JUN). <https://doi.org/10.3389/fcimb.2019.00191>

Dykhuizen, D. (2005). Species Numbers in Bacteria. *Proceedings. California Academy of Sciences*, 56(6 Suppl 1), 62–71. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21874075><http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=PMC3160642>

Edwards, P. R., & Ewing, W. H. (1986). *Edwards and Ewing's Identification of Enterobacteriaceae* (4th Ed.). Elsevier. <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/19872036986>

Egli, T., Hammes, F., & Fuchslin, H. P. (2008). New methods for assessing the safety of drinking water. *Eawag News, December*, 0–3. https://www.researchgate.net/publication/237240938_New_methods_for_assessing_the_safety_of_drinking_water

Franz, C. M. A. P., Specht, I., Cho, G., Graef, V., & Stahl, M. R. (2009). UV-C inactivation of microorganisms in naturally cloudy apple juice using novel inactivation equipment based on Dean vortex technology. *Food Control*, 20(12), 1103–1107. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2009.02.010>

Freuze, I., Brosillon, S., Laplanche, A., Tozza, D., & Cavard, J. (2005). Effect of chlorination on the formation of odorous disinfection by-products. *Water Research*, 39(12), 2636–2642. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2005.04.026>

- Galezso, M. A., & Susa, M. R. (2021). Effect of single and combined exposures to uv-c and uv-a leds on the inactivation of klebsiella pneumoniae and escherichia coli in water disinfection. *Journal of Water Sanitation and Hygiene for Development*, 11(6), 1071–1082. <https://doi.org/10.2166/washdev.2021.105>
- Garrido-Cardenas, J. A., Esteban-García, B., Agüera, A., Sánchez-Pérez, J. A., & Manzano-Agugliaro, F. (2020). Wastewater treatment by advanced oxidation process and their worldwide research trends. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(1). <https://doi.org/10.3390/ijerph17010170>
- Ghernaout, D., & Elboughdiri, N. (2020). Is Not It Time to Stop Using Chlorine for Treating Water? *OALib*, 07(01), 1–11. <https://doi.org/10.4236/oalib.1106007>
- Ginn, O., Rocha-Melogno, L., Bivins, A., Lowry, S., Cardelino, M., Nichols, D., Tripathi, S. N., Soria, F., Andrade, M., Bergin, M., Deshusses, M. A., & Brown, J. (2021). Detection and Quantification of Enteric Pathogens in Aerosols near Open Wastewater Canals in Cities with Poor Sanitation. *Environmental Science and Technology*, 55(21), 14758–14771. <https://doi.org/10.1021/acs.est.1c05060>
- Gioffre, P. (2022). ¿Qué son los aeróbios mesófilos? Lácteos Latam.Com. <https://www.lacteoslatam.com/que-son-los-aerobios-mesofilos/>
- Gomes, T. A. T., Elias, W. P., Scaletsky, I. C. A., Guth, B. E. C., Rodrigues, J. F., Piazza, R. M. F., Ferreira, L. C. S., & Martinez, M. B. (2016). Diarrheagenic Escherichia coli. *Brazilian Journal of Microbiology*, 47, 3–30. <https://doi.org/10.1016/j.bjm.2016.10.015>

- Gregersen, T. (1978). Rapid method for distinction of gram-negative from gram-positive bacteria. *European Journal of Applied Microbiology and Biotechnology*, 5(2), 123–127. <https://doi.org/10.1007/BF00498806>
- Guerrero-Beltrán, J. A., & Barbosa-Cánovas, G. V. (2004). Review: Advantages and limitations on processing foods by UV light. *Food Science and Technology International*, 10(3), 137–147. <https://doi.org/10.1177/1082013204044359>
- Hallmich, C., & Gehr, R. (2010). Effect of pre- and post-UV disinfection conditions on photoreactivation of fecal coliforms in wastewater effluents. *Water Research*, 44(9), 2885–2893. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2010.02.003>
- Ip, Y., Hill, M., Reserved, A. R., Policy, P., & Page, A. (2023). Enterobacterias. In *Microbiología médica* (pp. 1–33).
- Kaper, J. B., Nataro, J. P., & Mobley, H. L. T. (2004). Pathogenic *Escherichia coli*. *Nature Reviews Microbiology*, 2(2), 123–140. <https://doi.org/10.1038/nrmicro818>
- Kay, D., Crowther, J., Stapleton, C. M., Wyer, M. D., Fewtrell, L., Edwards, A., Francis, C. A., McDonald, A. T., Watkins, J., & Wilkinson, J. (2008). Faecal indicator organism concentrations in sewage and treated effluents. *Water Research*, 42(1–2), 442–454. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2007.07.036>
- Kayingo, G. (2019). Bacteria and Viruses. In *Physician Assistant Clinics* (Vol. 4, Issue 2). <https://doi.org/10.1016/j.cpha.2018.11.003>
- Kuan-Yeow, S. (2008). Seafood wastewater treatment. In *Handbook of Water and Energy Management in Food Processing* (pp. 776–801). Woodhead Publishing Limited. <https://doi.org/10.1201/9781439832974.ch28>

- Kumar, R., Raizada, P., Verma, N., Hosseini-Bandegharai, A., Thakur, V. K., Le, Q. Van, Nguyen, V. H., Selvasembian, R., & Singh, P. (2021). Recent advances on water disinfection using bismuth based modified photocatalysts: Strategies and challenges. *Journal of Cleaner Production*, 297, 126617. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126617>
- Lalley, J., Dionysiou, D. D., Varma, R. S., Shankara, S., Yang, D. J., & Nadagouda, M. N. (2014). Silver-based antibacterial surfaces for drinking water disinfection - An overview. *Current Opinion in Chemical Engineering*, 3, 25–29. <https://doi.org/10.1016/j.coche.2013.09.004>
- Lehmann, V., Rietschel, E. T. H., & Shaw, A. N. D. D. H. (1982). *Li polysacc harides of G ram-Neg ative Bacteria* (Vol. 17). <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0070216108603093>
- Liu, C., Kong, D., Hsu, P. C., Yuan, H., Lee, H. W., Liu, Y., Wang, H., Wang, S., Yan, K., Lin, D., Maraccini, P. A., Parker, K. M., Boehm, A. B., & Cui, Y. (2016). Rapid water disinfection using vertically aligned MoS₂ nanofilms and visible light. *Nature Nanotechnology*, 11(12), 1098–1104. <https://doi.org/10.1038/nnano.2016.138>
- Martínez-de Alba, A. E., Rubio, M. B., Morán-Diez, M. E., Bernabéu, C., Hermosa, R., & Monte, E. (2021). Microbiological evaluation of the disinfecting potential of UV-C and UV-C plus ozone generating robots. *Microorganisms*, 9(1), 1–12. <https://doi.org/10.3390/microorganisms9010172>
- Matsumoto, T., Tatsuno, I., & Hasegawa, T. (2019). Instantaneous water purification by deep ultraviolet light in water waveguide: Escherichia coli bacteria disinfection. *Water (Switzerland)*, 11(5). <https://doi.org/10.3390/w11050968>

- Mbanga, J., Abia, A. L. K., Amoako, D. G., & Essack, S. Y. (2020). Quantitative microbial risk assessment for waterborne pathogens in a wastewater treatment plant and its receiving surface water body. *BMC Microbiology*, 20(1), 1–12. <https://doi.org/10.1186/s12866-020-02036-7>
- Nair, C. (1990). Pollution control through water conservation and wastewater reuse in the fish processing industry. *Water Science and Technology*, 22(9), 113–121. <https://doi.org/10.2166/wst.1990.0073>
- Nyangaresi, P. O. (2023). Evaluation of disinfection efficacy of single UV-C , and UV-A followed by UV-C LED irradiation on Escherichia coli , B . spizizenii and MS2 bacteriophage , in water. *Science of the Total Environment*, 859(1), 1–3. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969722073569>
- Nyangaresi, P. O., Qin, Y., Chen, G., Zhang, B., Lu, Y., & Shen, L. (2018). Effects of single and combined UV-LEDs on inactivation and subsequent reactivation of E. coli in water disinfection. *Water Research*, 147, 331–341. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.10.014>
- Okoh, A. I., Odjadjare, E. E., Igbinosa, E. O., & Osode, A. N. (2007). Wastewater treatment plants as a source of microbial pathogens in receiving watersheds. *African Journal of Biotechnology*, 6(25), 2932–2944. <https://doi.org/10.5897/ajb2007.000-2462>
- Organización Mundial de la Salud. (2017). *Guidelines for Drinking-water Quality FOURTH EDITION*. https://doi.org/10.5005/jp/books/11431_8
- Peñaloza, L., & Aspiazu, K. (2021). Mecanismos de resistencia de Escherichia Coli en América Latina. Scielo.org. Recuperado 5 de

febrero de 2023, de
http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2664-32432021000200090

Raizada, P., & Singh, S. (2017). Semiconductores híbridos de óxido metálico para el tratamiento de aguas residuales. *Environ Sci Eng*, 4, 187–206.

https://www.researchgate.net/publication/313404646_Hybrid_Metal_Oxide_Semiconductors_for_Waste_Water_Treatment

Regmi, C., Kshetri, Y. K., Kim, T. H., Pandey, R. P., Ray, S. K., & Lee, S. W. (2017). Fabrication of Ni-doped BiVO₄ semiconductors with enhanced visible-light photocatalytic performances for wastewater treatment. *Applied*

Surface Science, 413, 253–265.
<https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2017.04.056>

Rossel, L. J., Rossel, L. A., Ferro, F., Ferro, A., & Zapana, R. (2014). Radiación ultravioleta-c para desinfección bacteriana (coliformes totales y termotolerantes) en el tratamiento de agua potable. *Revista de*

Investigaciones Altoandinas, 22(1), 68–77.
<http://www.scielo.org.pe/pdf/ria/v22n1/2313-2957-ria-22-01-68.pdf>

Sastry, S. K., Datta, A. K., & Worobo, R. W. (2000). Ultraviolet light. *Journal of*

Food Science, 65(58), 90–92.
<https://doi.org/10.1111/j.17503841.2000.tb00623.x>

Schenk, M., Raffellini, S., Guerrero, S., Blanco, G. A., & Alzamora, S. M. (2011). Inactivation of *Escherichia coli*, *Listeria innocua* and *Saccharomyces cerevisiae* by UV-C light: Study of cell injury by flow cytometry. *LWT - Food*

Science and Technology, 44(1), 191–198.
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2010.05.012>

Shi, Q., Chen, Z., Liu, H., Lu, Y., Li, K., Shi, Y., Mao, Y., & Hu, H. Y. (2021). Efficient synergistic disinfection by ozone, ultraviolet irradiation and chlorine in secondary effluents. *Science of the Total Environment*, 758(xxxx). <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143641>

Sizer, C. E., & Balasubramaniam, V. M. (1999). New Intervention Processes for Minimally Processed Juices. *Food Technology Magazine*, 53(10). <https://www.ift.org/news-and-publications/food-technologymagazine/issues/1999/october/features/new-intervention-processes-forminimally-processed-juices>

Steyer, A., Gutiérrez-Aguirre, I., Rački, N., Beigot Glaser, S., Brajer Humar, B.,

Stražar, M., Škrjanc, I., Poljšak-Prijatelj, M., Ravnikar, M., & Rupnik, M. (2015). The Detection Rate of Enteric Viruses and *Clostridium difficile* in a Waste Water Treatment Plant Effluent. *Food and Environmental Virology*, 7(2), 164–172. <https://doi.org/10.1007/s12560-015-9183-7>

Sutcliffe, I. C., & Russell, R. O. Y. R. B. (1995). *MINIREVIEW Lipoproteins of*

Gram-Positive Bacteria. 177(5), 1123–1128.
<https://journals.asm.org/doi/pdf/10.1128/jb.177.5.1123-1128.1995>

Szeto, W., Yam, W. C., Huang, H., & Leung, D. Y. C. (2020). The efficacy of vacuum-ultraviolet light disinfection of some common environmental pathogens. *BMC Infectious Diseases*, 20(1), 1–9.
<https://doi.org/10.1186/s12879-020-4847-9>

Thwaites, B. J., Short, M. D., Stuetz, R. M., Reeve, P. J., Alvarez Gaitan, J. P., Dinesh, N., & van den Akker, B. (2018). Comparing the performance of aerobic granular sludge versus conventional activated

sludge for microbial log removal and effluent quality: Implications for water reuse. *Water Research*, 145, 442–452. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.08.038>

Urseler, N. L., Bachetti, R. A., Damilano, G., Morgante, V., Ingaramo, R. N., Saino, V., & Morgante, C. A. (2019). Microbiological quality and uses of groundwater in the agricultural farms in the central-south area of Córdoba, Argentina. *Revista Internacional de Contaminacion Ambiental*, 35(4), 839–848. <https://doi.org/10.20937/RICA.2019.35.04.06>

Vilhunen, S., Särkkä, H., & Sillanpää, M. (2009). Ultraviolet light-emitting diodes in water disinfection. *Environmental Science and Pollution Research*, 16(4), 439–442. <https://doi.org/10.1007/s11356-009-0103-y>

Wen, X., Chen, F., Lin, Y., Zhu, H., Yuan, F., Kuang, D., Jia, Z., & Yuan, Z. (2020). Microbial indicators and their use for monitoring drinkingwater quality-A review. *Sustainability (Switzerland)*, 12(6), 1–14. <https://doi.org/10.3390/su12062249>

Whitby, E. G., & Scheible, O. K. (2004). The History of UV and Wastewater. *IUVA News*, 6(3), 15–26. https://uvsolutionsmag.com/stories/pdf/archives/060302WhitbyAndScheible_2004.pdf

Wright, J. R., Sumner, S. S., Hackney, C. R., Pierson, M. D., & Zoecklein, B. W. (2000). Efficacy of ultraviolet light for reducing *Escherichia coli* O157:H7 in unpasteurized apple cider. *Journal of Food Protection*, 63(5), 563–567. <https://doi.org/10.4315/0362-028X-63.5.563>

Wulfkuehler, S., Müller, A., Weiss, A., Mix, K., Rebmann, M., Schmidt, H., Stahl, M., & Carle, R. (2015). Sanitation of process water from fresh-

cut lettuce production by means of UV-C. *Acta Horticulturae*, 1091, 327–334. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2015.1091.41>

Xu, L., Zhang, C., Xu, P., & Wang, X. C. (2018). Mechanisms of ultraviolet disinfection and chlorination of *Escherichia coli*: Culturability, membrane permeability, metabolism, and genetic damage. *Journal of Environmental Sciences (China)*, 65, 356–366. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2017.07.006>

Zerna-Andrade, F. (2001). *ESTUDIO DE LA CALIDAD MICROBIOLÓGICA DE LOMOS DE ATUN PRECOCIDOS Y CONGELADOS PARA LA EXPORTACIÓN* [Universidad de Guayaquil]. http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/748/6/CAPITULOS_1-9%28pag_14_-_111%29.pdf

Zhang, S., Ye, C., Lin, H., Lv, L., & Yu, X. (2015). UV disinfection induces a vbnc state in *Escherichia coli* and *Pseudomonas aeruginosa*. *Environmental Science and Technology*, 49(3), 1721–1728. <https://doi.org/10.1021/es505211e>

11. ANEXOS

Tabla 9. UFC de muestras de agua muestreada antes del paso 1.

<i>Tiempo de muestreo</i>	UFC*100mL ⁻¹ en punto 1		
	<i>E. coli</i>	BAM	
Semana 1	Dia 1	800	1700
	Dia 2	1000	1400
Semana 2	Dia 1	600	1000
	Dia 2	1400	2000
Semana 3	Dia 1	700	1500
	Dia 2	1200	1800
Semana 4	Dia 1	1500	2400
	Dia 2	1100	2200
Semana 5	Dia 1	900	1600
	Dia 2	700	1200
Semana 6	Dia 1	500	800
	Dia 2	1800	2500
Semana 7	Dia 1	600	1100
	Dia 2	1300	2500
Semana 8	Dia 1	1000	1700
	Dia 2	500	900

Tabla 10. UFC de muestras de agua muestreada antes del paso 2.

<i>Tiempo de muestreo</i>		UFC*100mL ⁻¹ en punto 1	
		<i>E. coli</i>	BAM
Semana 1	Dia 1	200	2200
	Dia 2	200	1800
Semana 2	Dia 1	100	2500
	Dia 2	300	1600
Semana 3	Dia 1	100	2100
	Dia 2	200	1900
Semana 4	Dia 1	300	2700
	Dia 2	200	2000
Semana 5	Dia 1	200	2200
	Dia 2	200	2000
Semana 6	Dia 1	100	2600
	Dia 2	300	1700
Semana 7	Dia 1	100	1900
	Dia 2	200	2300
Semana 8	Dia 1	200	1900
	Dia 2	100	2100

Figura 4. Equipo de recuento de filtración de membrana



Figura 5. Placas Apracom con medio de cultivo punto #1 y 2

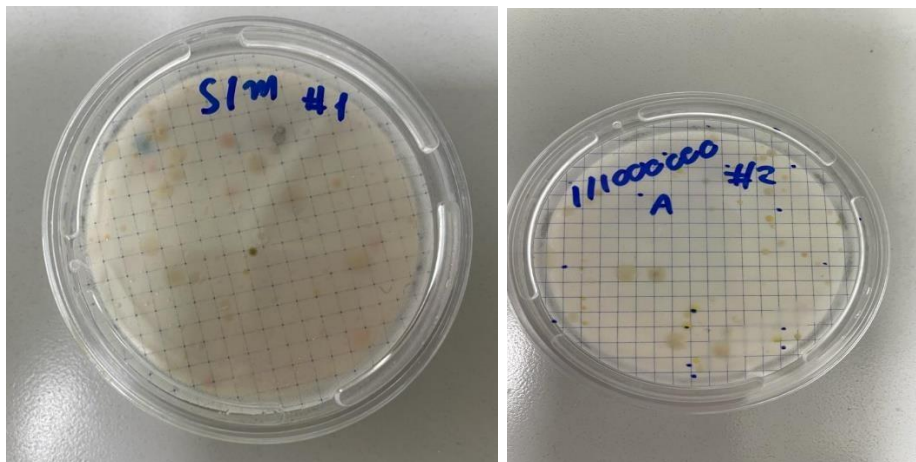
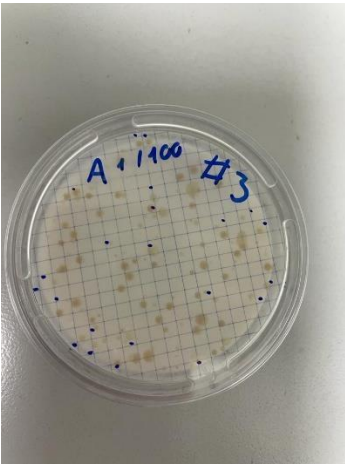


Figura 6. Placa Apracom con medio de cultivo punto #3





Facultad de
Ciencias del Mar
Biología

La Libertad, 30 de enero del 2023

Ing.
Jimmy Villón Moreno, M.Sc.
DIRECTOR DE LA CARRERA DE BIOLOGÍA-UPSE.
En su despacho.

De mi consideración:

Me permito enviar a usted en calidad de director de carrera, en el cual después de la revisión y viendo las modificaciones realizadas, **AVALÓ**, al proyecto de Titulación modalidad Tesis: *"EVUALACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LA RADIACIÓN UV -C EN LA ELIMINACIÓN DE Escherichia coli Y BACTERIAS AÉREAS MESÓFILAS EN MASAS DE AGUA, EMPLEADAS EN ENLATADOS DE PESCADO "* como autor el Sr. BRYAN ADRIÁN QUEZADA DÍAZ, con el fin en la continuidad de los tramites que el estudiante y la Comisión de Titulación considere pertinentes.

Sin otro particular.

Sonny Mendoza L. Ph.D.

Docente FCM.

Somos lo que el mundo necesita



Tesis Adrian Quezada

3%
Similitudes

< 1%
Texto entre comillas

< 1% similitudes entre comillas

3% Idioma no reconocido

Número de palabras: 7972

Número de caracteres: 50.182

Nombre del documento: Tesis Adrian Quezada.docx
ID del documento: c8f35998d827ba6e47cc648364893ce865c98ed3
Tamaño del documento original: 218,32 ko

Depositante: SONNYA PATRICIA MENDOZA LOMBARA
Fecha de depósito: 2/3/2023
Tipo de carga: interface
fecha de fin de análisis: 2/3/2023

Ubicación de las similitudes en el documento:



Fuentes principales detectadas

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	accesmedicina.mhmedical.com Enterobacterias Shems. Microbiología médica... 1 fuente similar	< 1%		Palabras idénticas : < 1% (65 palabras)
2	www.produccion.gob.ec	< 1%		Palabras idénticas : < 1% (33 palabras)
3	1library.co Radiación UV-C en frutas y hortalizas - TECNOLOGÍAS POSCOSECHA	< 1%		Palabras idénticas : < 1% (37 palabras)

Fuentes con similitudes fortuitas

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	dspace.esPOCH.edu.ec Evaluación de la calidad físico química y microbiológica del ...	< 1%		Palabras idénticas : < 1% (12 palabras)
2	repositorio.ug.edu.ec Repositorio Universidad de Guayaquil: Estudio de la calidad ...	< 1%		Palabras idénticas : < 1% (11 palabras)
3	caterina.udlap.mx	< 1%		Palabras idénticas : < 1% (11 palabras)
4	Documento de otro usuario <small>El documento proviene de otro grupo</small>	< 1%		Palabras idénticas : < 1% (11 palabras)
5	dx.doi.org Radiación ultravioleta-c para desinfección bacteriana (coliformes totales...	< 1%		Palabras idénticas : < 1% (15 palabras)