



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**ANÁLISIS DE LA INTERFERENCIA DE LA TURBIDEZ EN LA EFECTIVIDAD
DEL TRATAMIENTO TERCIARIO DE AGUAS UTILIZANDO RADIACIÓN
ULTRAVIOLETA EN LA ELIMINACIÓN DE MICROORGANISMOS
INDICADORES**

Trabajo de titulación previo a la obtención
del título de Ingeniera Ambiental

AUTORA: KATHY ARIANNA PROAÑO MEJÍA

TUTORA: ING. PAOLA JACKELINE DUQUE SARANGO, MGS.

Cuenca - Ecuador

2022

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Kathy Arianna Proaño Mejía con documento de identificación N° 0604976019, manifiesto que:

Soy la autora y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Cuenca, 3 de marzo del 2022

Atentamente,



Kathy Arianna Proaño Mejía

0604976019

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Yo, Kathy Arianna Proaño Mejía con documento de identificación N° 0604976019, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autora del Trabajo Experimental: “Análisis de interferencia de la turbidez en la efectividad del tratamiento terciario de aguas utilizando radiación ultravioleta en la eliminación de microorganismos indicadores”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniera Ambiental, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 3 de marzo del 2022

Atentamente,



Kathy Arianna Proaño Mejía

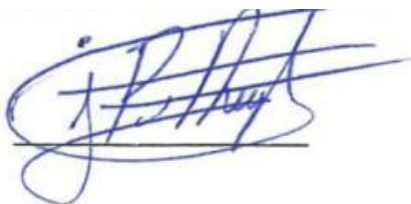
0604976019

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Paola Jackeline Duque Sarango con documento de identificación N° 1104257835, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: ANÁLISIS DE INTERFERENCIA DE LA TURBIDEZ EN LA EFECTIVIDAD DEL TRATAMIENTO TERCIARIO DE AGUAS UTILIZANDO RADIACIÓN ULTRAVIOLETA EN LA ELIMINACIÓN DE MICROORGANISMOS INDICADORES, realizado por Kathy Arianna Proaño Mejía con documento de identificación N° 0604976019, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Trabajo Experimental que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 3 de agosto del 2022

Atentamente,



Ing. Paola Jackeline Duque Sarango, Mgs.

1104257835

DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación lo dedico a Dios y al universo por brindarme la paciencia, sabiduría y sobre todo la fuerza necesaria para poder levantarme de todas las caídas y obstáculos de la vida.

A mi familia por apoyarme y siempre motivarme a seguir, nunca me quitaron la confianza y me apoyaron en cada una de mis etapas, de esta manera fui más fuerte.

Gracias a mis padres y hermanos por creer siempre en mí, mil gracias por brindarme todo su amor y apoyo.

A mis tías Francia y Claudia por estar en los buenos y malos momentos, por haberme brindado tanto amor y cariño, han sido un apoyo fundamental en mi vida. Gracias por haberme enseñado que con dedicación y sacrificio se puede lograr todo lo que nos propongamos.

A mis amigos que siempre estuvieron para sacarme una sonrisa cuando más lo necesitaba y me dieron ánimos en cada una de mis etapas.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a la vida y a Dios por permitirme llegar a ser una profesional, espero me dé la sabiduría para poder obrar bien y por los demás, agradezco a mis padres, hermanos, tíos y amigos que han sido fuerza en los momentos más difíciles.

Gracias a cada maestro que fue parte de este proceso integral de formación, gracias por brindarme sus conocimientos y tiempo. De manera especial le agradezco a mi tutora de tesis Mgs. Paola Duque.

A la Dra. Mónica Espadero, al Ing. Marlon Loayza y a la Ing. Sandy responsables de los laboratorios de "Ciencias de la Vida", les agradezco por estar siempre dispuestos a brindarme sus conocimientos y ayuda durante el desarrollo de la parte práctica de mi trabajo de titulación.

RESUMEN

El crecimiento poblacional ha incrementado a nivel mundial y consigo ha traído múltiples problemáticas respecto a contaminación del medio ambiente. Una de las afecciones está estrechamente ligada al vertido de aguas residuales generadas en las actividades antrópicas, sin previo tratamiento o sin un tratamiento eficaz, hacia los cuerpos de agua. Estas aguas vertidas contienen una alta carga de contaminantes físicos, químicos y biológicos. Por tanto, el presente trabajo de investigación se enfocó en el estudio de los procesos de desinfección ultravioleta y como se puede ser afectada la eficacia por la presencia de sólidos suspendidos en el agua, para esto se construyó un reactor ultravioleta de lámpara de baja presión, con el propósito de identificar el comportamiento de organismo indicadores de contaminación fecal, bajo los efectos de la radiación , se llevó a cabo ensayos de inactivación y reactivación en oscuridad y luz, demostrando así que bajo períodos de oscuridad los microorganismos no tienen la capacidad de reparar el daño causa por el tratamiento UV, mientras que ante períodos de luz, tienen la capacidad de repararse, adicional para estudiar la interferencia de la turbidez se añadieron sólidos al agua y se pudo constatar que la presencia de sólidos suspendidos en el agua interfiere en el tratamiento con radiación ultravioleta, ya que estos no permiten un contacto directo entre la radiación ultravioleta y el microorganismo estudiado.

Palabras claves: aguas residuales, microorganismos, desinfección ultravioleta, turbidez, eficiencia.

ABSTRACT

Population growth has increased worldwide and with it has brought multiple problems regarding environmental pollution. One of the conditions is closely linked to the discharge of wastewater generated by anthropogenic activities, without prior treatment or without effective treatment, into bodies of water. These discharged waters contain a high load of physical, chemical and biological contaminants. Therefore, this research work focused on the study of ultraviolet disinfection processes and how efficacy can be affected by the presence of suspended solids in the water. For this, a low-pressure ultraviolet lamp reactor was built. In order to identify the behavior of indicator organisms of fecal contamination under the effects of radiation, inactivation and reactivation tests were carried out in darkness and light, thus demonstrating that under periods of darkness, microorganisms do not have the ability to repair the damage caused by the UV treatment, while in periods of light, they have the ability to repair themselves, in addition to studying the interference of turbidity, solids were added to the water and it was found that the presence of suspended solids in the water interferes in the treatment with ultraviolet radiation, since these do not allow direct contact between ultraviolet radiation and the micr organism studied.

Keywords: wastewater, microorganisms, ultraviolet disinfection, turbidity, efficiency.

Contenido

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	2
CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA	3
CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	4
DEDICATORIA.....	5
AGRADECIMIENTO	6
RESUMEN	7
ABSTRACT	8
CAPITULO I.....	16
1.1 Introducción	16
1.2 Antecedentes	18
1.3 Justificación	21
1.4 Delimitación.....	25
CAPÍTULO II.....	25
OBJETIVOS.....	25
2.3 Objetivo General.....	25
2.1 Objetivos Específicos	26
Hipótesis	26
CAPITULO III	26
3.1 Fundamentación Teórica.....	26
3.2 Aguas residuales	27
3.3 Tipos de Aguas Residuales	27
Aguas negras	27
Aguas Grises.....	27
Aguas Blancas	28
Aguas Industriales	28
Aguas Residuales Agrícolas	28
3.4 Características físicas y químicas del agua.....	29
Turbiedad.....	29
Color	29
Olor.....	30
Temperatura.....	30
Oxígeno Disuelto.....	30
Sólidos Suspendidos Totales	30

Ph.....	31
Conductividad.....	31
Transmitancia	31
3.5 Características Biológicas	32
3.6 Indicadores microbiológicos de calidad del agua	33
3.7 Bacterias.....	34
<i>E. Coli</i>	34
<i>Enterococcus</i>	35
3.8 Tratamiento de aguas residuales	35
Tratamientos físicos.....	36
Tratamientos Biológicos.....	37
3.9 Etapas del tratamiento de aguas residuales	37
Pretratamiento.....	38
Tratamiento primario.....	38
Tratamiento secundario	39
Tratamiento terciario	39
3.10 Desinfección Química	39
Cloro	40
Ozono	41
3.11 Tecnologías de desinfección ultravioleta	41
Luz Ultravioleta.....	41
.....	43
Tipos de lámparas ultravioleta.....	43
Lámparas de baja presión	44
Lámparas de media presión	44
3.12 Tipos de reactores ultravioletas.....	45
Reactor Discontinuo	45
Reactor Colimado.....	45
3.13 Ventajas y desventajas de la Radiación Ultravioleta	46
Ventajas	47
Desventajas.....	47
3.14 Crecimiento bacteriano	48
CAPITULO IV	49
MATERIALES Y MÉTODOS.....	49
4.1 Construcción del reactor ultravioleta.....	49

Descripción de la lámpara Ultravioleta	49
Componentes de la lámpara Ultravioleta	50
Cálculo de la longitud de la lámpara descubierta	51
Cálculo del radio externo de la funda de cuarzo	51
Calculo de la dosis aplicada en cada ensayo	52
4.2 Preparación de medios de cultivo para la siembra y crecimiento de los microorganismos en estudio.	53
.....	55
4.3 ENSAYOS DE INACTIVACIÓN DE MICROORGANISMOS CON RADIACIÓN ULTRA VIOLETA	55
Crecimiento bacteriano previo ensayo de inactivación	55
Inactivación de las cepas	57
Consideraciones sobre la Turbidez del agua a tratar	58
Toma de muestras a diferentes caudales.....	59
Medición de caudales en los ensayos	59
Fórmula del Caudal	60
Dilución de las muestras.....	60
Esquema para las diluciones.....	62
.....	62
Técnica de filtración por membrana – siembra de la bacteria.....	62
Recuento de Colonias	65
4.4 Ensayos de reactivación de las cepas en estudio	65
Evaluación cuantitativa de fotoreactivación y reparación en oscuridad.....	67
CAPÍTULO V	68
Resultados y Discusión.....	68
Resultados de los ensayos de inactivación de la cepa nativa <i>Enterococcus</i>	68
Resultados de los ensayos de inactivación de la cepa nativa <i>E. coli</i>	70
Aplicación de modelos de Inactivación.....	73
Ajuste de los datos a los modelos teóricos de inactivación bacteriana	73
Resultados de la cinética de reactivación de la cepa <i>E. coli</i> nativa	74
Resultado del conteo de colonias de la cepa <i>Enterococcus</i> nativa	77
.....	79
Aplicación de modelos de Inactivación.....	79
Ajuste de los datos a los modelos teóricos de inactivación bacteriana	80
Resultados de la cinética de reactivación de la cepa <i>Enterococcus</i> nativa.....	81

Resultados de los ensayos de inactivación de la cepa <i>Enterococcus</i> nativa con variaciones de turbidez	85
Inactivación de la cepa <i>Enterococcus</i> nativa con una Turbidez de 12 NTU	86
Inactivación de la cepa <i>Enterococcus</i> nativa con una Turbidez de 22, 5 NTU	87
Ensayos de reactivación para los ensayos considerando la variación de Turbidez	89
.....	92
.....	98
Grafica para el análisis de la interferencia de la Turbidez	98
CAPÍTULO VI	100
CONCLUSIONES	100
RECOMENDACIONES	101
CAPÍTULO VII	102
BIBLIOGRAFÍA	102

ILUSTRACIONES

<i>Ilustración 1: Escala de Ph</i>	31
<i>Ilustración 2: Esquema de medición de la transmitancia</i>	32
<i>Ilustración 3: Ejemplo esquemático del proceso de tratamiento de aguas residuales domésticas</i>	38
<i>Ilustración 4: Información toxicológica de los subproductos del uso del Cloro</i>	40
<i>Ilustración 5: Longitudes de onda del espectro electromagnético</i>	42
<i>Ilustración 6: Alteración del ADN de las bacterias después de recibir radiación ultravioleta.</i>	43
<i>Ilustración 7: Lámpara de baja presión para desactivar microorganismos</i>	44

<i>Ilustración 8: Comparación entre Lámparas UV de Baja Presión vs. Lámparas UV de Mediana Presión respecto al efecto germicida.</i>	45
<i>Ilustración 9: Diagrama de un reactor de colimado</i>	46
<i>Ilustración 10: Curva de crecimiento bacteriano</i>	48
<i>Ilustración 11: Tubos dispuestos con 9 ml de agua destilada para realizar diluciones</i> 61	
<i>Ilustración 12: Ejemplificación de las diluciones</i>	62
<i>Ilustración 14: Frecuencia de inactivación de la cepa E. coli nativa, modelo lineal</i> ...	73
<i>Ilustración 15: Perfil de inactivación de la cepa E. coli nativa</i>	74
<i>Ilustración 16: Dosis de radiación ultravioleta en relación al crecimiento bacteriano en los días 0, 1 en luz y 1 en oscuridad</i>	77

FOTOGRAFÍAS

<i>Fotografía 1: Reactor experimental tubular UV de lámpara de baja presión</i>	50
<i>Fotografía 2: Modificación de la radiación que será utilizada en el sistema y sus partes</i>	53
<i>Fotografía 3: Medios de cultivo utilizados durante la fase de investigación</i>	54
<i>Fotografía 4: Cámara de flujo lista para dispensar medio de cultivo</i>	55
<i>Fotografía 5: Medio de cultivos dispensados</i>	55
<i>Fotografía 6: Muestra Sub 1 y muestra Sub 2</i>	56
<i>Fotografía 7: Mezcla del material sedimentado y la solución Buffer.</i>	57
<i>Fotografía 8: Centrifugación de las muestras por 10 min a 3000 revoluciones</i>	57
<i>Fotografía 9: Bacteria sedimentada</i>	57
<i>Fotografía 10: Gramos de tierra Diatomea utilizados para proporcionar turbidez a las muestras</i>	58
<i>Fotografía 11: Medición de la Turbidez</i>	58
<i>Fotografía 12: Toma de muestras en recipientes estériles</i>	59

<i>Fotografía 13: Medición de caudales</i>	60
<i>Fotografía 14: Equipo de filtración por membrana</i>	63
<i>Fotografía 15: Sistema listo para realizar filtración, siguiendo normas de desinfección</i>	63
<i>Fotografía 16: Filtros de membrana utilizados en los ensayos.....</i>	63
<i>Fotografía 17: Cajas petri dispuestas de manera invertida en la estufa de secado.....</i>	64
<i>Fotografía 18: Conteo de colonias</i>	65
<i>Fotografía 19: Cámara de Incubación con muestras para ensayos de reactivación....</i>	66
<i>Fotografía 20: Muestras dentro de la cámara de incubación</i>	66
<i>Fotografía 21: Conteo de colonias después de periodos de luz y oscuridad</i>	76

TABLAS

<i>Tabla 1: Ensayos experimentales realizados con la bacteria Enterococcus a diferentes turbideces</i>	69
<i>Tabla 2: Inactivación de la bacteria E. coli nativa, tomando en cuenta diferente caudales de recolección.....</i>	70
<i>Tabla 3: Crecimiento bacteriano según la disolución utilizada.....</i>	71
<i>Tabla 4: Resultados del conteo de colonias de la cepa E. coli nativa día 0.....</i>	72
<i>Tabla 5: Datos de fotoreactivación de la cepa E. coli después de 1 día de incubación</i>	75
<i>Tabla 6: Recuento de colonias después 1 día de incubación en oscuridad.....</i>	75

CAPITULO I

1.1 Introducción

Los recursos hídricos son de gran importancia en varios ámbitos de nuestra vida cotidiana, intervienen en aspectos económicos, culturales y sociales. Actualmente este recurso natural está experimentando desequilibrio en sus características físicas, químicas y biológicas, afectando de esta manera su calidad para las diversas actividades humanas.

Como especie no sabemos la cantidad de desechos que vertimos, ni el verdadero impacto que causamos a estos ecosistemas, las aguas residuales generadas por las actividades antrópicas tienen una gran cantidad de contaminación microbiana. La presencia y aumento de microorganismos en los ecosistemas acuáticos afecta de manera directa a la población, dado que este recurso es utilizado para el cultivo de alimentos lo cual representa un problema de salud pública al incidir en la transmisión, morbilidad y mortalidad de enfermedades asociadas con el agua de consumo contaminada. (Ríos Tobón Sandra et al., 2017)

El 80% de aguas residuales generadas del mundo se vierten al medioambiente sin haber recibido un tratamiento adecuado, no se ha tomado en cuenta que el agua residual podría ser considerada más que un residuo un recurso valioso, ya que puede recuperarse como agua limpia, energía y nutrientes, ayudando a alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible. (Grupo Banco Mundial, 2020)

El agua es fundamental para la producción de alimentos y la seguridad alimentaria, siendo así uno de los elementos vitales para la estabilidad de poblaciones presentes y futuras. Sin embargo, el agua dulce está reduciéndose de manera alarmante. La creciente disminución de agua es ahora uno de los mayores retos que afrontan los gobiernos y este

desafío se vuelve más apremiante debido al crecimiento poblacional y a los efectos del cambio climático.(FAO, 2019)

Si bien se ha considerado el agua como un recurso natural inagotable, día a día este es más escaso, el uso del agua en los últimos años ha aumentado un 1% anual en todo el mundo y se espera que la demanda mundial siga en aumento hasta el 2050, lo que representa un incremento del 20 al 30% por encima del nivel actual. Hoy en día más de 2.000 millones de personas desarrollan sus actividades bajo la influencia de una fuerte escasez de agua, y aproximadamente 4.000 millones de personas sufren una grave escasez de agua en el transcurso de al menos un mes al año. (UNESCO, 2019)

El agua dulce es abundante en Ecuador, pero el nulo o mal manejo de este recurso hace que se contamine o se desperdicie, por tanto, el acceso al agua potable no está al alcance de toda la población y esta problemática se intensifica en las zonas rurales. Según datos oficiales, solo el 39% de la población en Ecuador tiene acceso a este recurso.(Ramos Pereira Xavier, 2020)

Según la Organización Mundial para la Salud el agua para consumo humano debe estar libre de heces fecales, contaminación química, debe ser incolora, inodora y de sabor agradable, en Ecuador el 79,3% a nivel nacional tiene acceso a líquido vital no contaminado, mientras que el 20,7% consume agua contaminada con heces fecales, así lo demuestra el primer estudio de agua, saneamiento e higiene del Ecuador realizado por el Instituto Nacional de Estadística y Censos. (INEC, 2017)

Invertir de manera eficaz en el saneamiento de aguas residuales y en infraestructuras potabilizadoras es necesario para lograr beneficios en la salud pública, mejorar el estado del medio ambiente y la calidad de vida en general de la población. Administrar de manera segura los servicios de agua, saneamiento e higiene ayudan a prevenir

enfermedades y proteger la salud humana durante los brotes de enfermedades infecciosas, incluida la actual pandemia de COVID-19.(Brault Jean Martin & Iris Marmanillo, 2020)

Las plantas convencionales utilizadas en la mayor parte del mundo usan compuestos químicos como el cloro para eliminar microorganismos causantes de enfermedades presentes en las aguas residuales, sin embargo, “en los últimos años ha sido tema de discusión el uso de cloro, dado que este agente desinfectante reacciona con la materia orgánica presente formando compuestos organoclorados, siendo los trihalometanos los más abundantes y estos últimos son tóxicos para la salud humana, ya que actúan como depresores del sistema nervioso central y afectan las funciones del hígado y riñones”.(Reyes, 2016)

En la actualidad debido a la generación de subproductos derivados de los químicos desinfectantes surgen nuevas alternativas para eliminar microorganismos del agua, estos permitirían una sanitización elevada y sin generación de compuestos cancerígenos, el uso de luz ultravioleta es un método de desinfección alternativo al uso del cloro y el ozono, se puede utilizar en plantas de aguas residuales y plantas potabilizadoras, la radiación ultravioleta permite desinfectar el agua residual sin producir subproductos de desinfección posteriormente dañinos para las personas y el medio ambiente. (Cairns & Wright , 2015)

1.2 Antecedentes

El desarrollo y evolución de la humanidad siempre han estado marcados por la presencia y uso del agua, es por esto que las antiguas civilizaciones se distribuyeron cerca de zonas geográficas con abundancia de líquido vital, las fuentes de agua les permitían realizar actividades de riego, consumo y comercialización. Dependiendo de esto tenían

crecimiento social, cultural y económico, de esta manera podríamos afirmar que una sociedad que domina el agua es una sociedad desarrollada y con proyecciones hacia el futuro.(Works, 2017)

Sin embargo, acorde al consumo del agua y dependiendo de la actividad en la que se la utiliza se generan aguas residuales, las mismas que durante cientos de años han sido tratadas. Los primeros registros documentados de tratamiento de agua se remontan a los años 2.000 a.C en los antiguos textos griegos.

Dos reglas básicas que se tomaban en consideración eran que “el agua debía ser expuesta a la luz del sol y filtrada con carbón”, hasta ese entonces no se sabía nada de contaminación microbiana o contaminación química en el agua. Alrededor al año 5.000 a.C el Científico Hipócrates inventó el primer filtro de tela y este creía que “si el agua olía a limpio era inofensiva para la salud, después de varias décadas, el biólogo Antón van Leeuwenhoek diseñó el primer microscopio y con esto observó por primera vez microorganismos en el agua, de esta manera varios estudiosos se permitieron ver un nuevo mundo dentro de la contaminación del agua”.(Álvarez, 2010)

En 1854, el científico John Snow durante una epidemia de cólera la cual se pensaba que era transmitida por el aire y causaba un cuadro clínico típico de enfermedad gastrointestinal, informó a las autoridades que había descubierto que “la enfermedad del cólera se esparció por medio de agua contaminada, esto tuvo gran impacto en el futuro del tratamiento del agua y desinfección. Por último, Snow utilizó cloro para eliminar las bacterias de cólera en el agua, por lo que se instauró el uso de cloro como un proceso de desinfección eficaz”. (Roca, 2013)

En la actualidad es evidente que la salud humana está estrechamente ligada a una serie de condiciones relacionadas con la calidad del agua, para lograr la eliminación de

enfermedades causadas por agua contaminada es necesario un extensivo control de calidad del agua. En los últimos años se han identificado 39 agentes patógenos, muchos de ellos son transmitidos por el agua, esto representa un reto adicional importante tanto para el sector agua como para la salud pública.(Lorenzo Heyer et al., 2008)

Al presente existen alternativas tradicionales para la desinfección de aguas contaminadas con microorganismos como la cloración u ozonificación sin embargo existen otros métodos alternativos como la luz ultravioleta, la radiación ultravioleta brinda una desinfección efectiva sin generar subproductos que a la larga conlleva un problema de acumulación de reactivos químicos problemáticos para la salud de las personas y de los ecosistemas.

“Su uso data entre el año 1955, empezaron a funcionar instalaciones prácticas de desinfección UV para agua potable en Suiza y Austria. En 1985, el número de instalaciones aumentó tomando en cuenta el descubrimiento de los productos secundarios tóxicos que se generaban en la cloración. En Europa existen en la actualidad más de 2.000 instalaciones que usan radiación UV para desinfectar agua potable y más de 1.000 instalaciones en los Estados Unidos. En Nueva York la desinfección UV es popular, esta se usa para desinfectar más de 6,4% de todos los sistemas de aguas subterráneas”. (Wright & Cairns, 2016)

El efecto germicida de la radiación ultravioleta se vincula directamente con su frecuencia de radiación ultravioleta, es decir la longitud de onda con la que se irradia el agua contaminada, esta radiación produce fotodisociación en los ácidos nucleicos de los microorganismos, varios estudios revelan que la longitud de onda adecuada para lograr una desinfección eficaz es alrededor de los 256 nanómetros. El daño producido en el ADN de los microorganismos impide a virus y bacterias la replicación y la capacidad de infectar.(Rossel Bernedo et al., 2020)

Según varios estudios , la radiación ultravioleta viene condicionada por factores físicos del agua a tratar, por ejemplo (Giraldo et al., 2004) mencionan que “la presencia de turbidez, sólidos en suspensión y materia orgánica e inorgánica en el agua pueden restar eficiencia al tratamiento”.

Por otro lado (Solarte et al., 1997) en su publicación “Uso de la radiación en la inactivación del *Vibrio cholerae* en agua para consumo humano. Factores que condicionan la eficiencia del proceso”, señalan que el agua con baja turbidez necesita menor radiación y tiempo de exposición para eliminar bacterias, puesto que con altos niveles de turbidez en el agua es necesario mayor dosis de irradiación para lograr la inactivación, por esta razón sugieren que la turbiedad alta reduce la eficiencia y recomiendan reducir la turbidez antes de exponer el agua a la radiación.

1.3 Justificación

El agua se encuentra presente en la mayoría de ecosistemas , es primordial para mantener el equilibrio y mantenimiento de la vida en el planeta, considerándola así como un factor indispensable para el desarrollo de los procesos biológicos, es decir el agua es el vital para la vida de todos los seres vivos en la tierra.(Izquierdo, 2018)

No obstante, el continuo crecimiento urbano e industrial representa una gran problemática de contaminación para este recurso, es así que en la actualidad al menos 2000 millones de personas en el mundo utilizan agua de consumo proveniente de una fuente con trazas de heces, esta contaminación microbiana supone un mayor riesgo respecto a salubridad y transmisión de enfermedades como la diarrea, el cólera, la fiebre tifoidea y la poliomielitis.(OMS, 2022)

El agua potable idónea para consumo humano y para todo uso doméstico del día a día, incluida la higiene personal debe estar libre de microorganismos causantes de enfermedades.(Ríos-Tobón et al., 2017) Según la ONU más del 80% de las aguas residuales resultantes de la actividad antrópica se vierten sin tratamiento alguno, lo cual genera contaminación. (UNESCO, 2017). “Las enfermedades producidas están entre las principales causas de fallecimiento de niños menores de 5 años, más de 800 niños fallecen cada día por enfermedades diarreicas asociadas a la falta de saneamiento, es por esto que tratar la contaminación debe ser un objetivo primordial y nunca debe comprometerse. (INEC, Indicadores ODS de Agua y Saneamiento e Higiene en Ecuador, 2016)

Esta vigilancia exige la aplicación de tratamientos que mejoren las características microbiológicas del agua con el fin de garantizar la calidad de vida de la población y reducir la tasa de mortalidad por consumo de agua contaminada, sin embargo, existen grandes limitaciones al momento de determinar la totalidad de agentes involucrados en la contaminación.(Ríos-Tobón et al., 2017)

Es importante distinguir los microorganismos patógenos y no patógenos presentes en el agua con el propósito de identificar posibles indicadores de calidad, el uso de bioindicadores simplifica las actividades de laboratorio y campo, la determinación de microorganismos intestinales comunes en los seres vivos ayudan como indicadores de contaminación fecal en lugar de patógenos, este es un principio universal aceptado en la evaluación de la seguridad microbiana de calidad de agua. (Marchand Pajares, 2002)

La principal ventaja de usar microorganismos indicadores de calidad del agua se relaciona con la facilidad de identificarlos o cultivarlos, y económicamente son más factibles, de esta manera se disminuyen costos y se facilita la puesta en marcha de medidas competentes de tratamiento, control del agua y de enfermedades asociadas a su transmisión.(Pullés, 2014)

La Organización Mundial de la Salud recomienda utilizar como indicadores de contaminación fecal para las aguas de efluentes a la *Escherichia coli* y *Enterococcus spp.*, debido a que el primer indicador está presente en concentraciones muy grandes en las heces humanas y animales, y el *Enterococcus spp.* de igual manera presente en las heces humanas y animales, pero con la gran ventaja de tolerar condiciones desfavorables en medios acuáticos. (OMS, 1995)

A lo largo de los años se han implementado métodos convencionales para combatir la contaminación microbiana, estos incluyen la cloración y la ozonificación; sin embargo, se ha demostrado que estos tratamientos terciarios en sus fases, debido a sus características pueden representar una amenaza para la salud de las personas y los ecosistemas.

La cloración es uno de los métodos ampliamente utilizado dentro de las últimas fases del tratamiento de aguas, debido a su bajo costo y facilidad de uso, pero bajo ciertas circunstancias puede formar productos secundarios tóxicos con alto potencial cancerígeno y mutagénico, como los triclorometanos y cloraminas que son responsables de causar efectos severos en la salud de las personas. (Escalante Pozos & Bandala, 2014)

La ozonificación ha demostrado ser efectiva, el ozono es altamente reactivo, oxida la materia orgánica con la que entra en contacto y elimina microorganismos patógenos, pero tienen grandes desventajas respecto a precios ya que los equipos son más costosos, provoca corrosión y requiere de personal capacitado en su operación. Su uso en ecosistemas acuáticos puede generar productos tóxicos secundarios como los bromatos, que han sido reportados como posibles precursores carcinógenos. (Swancarra, 2015)

Hoy en día una alternativa de desinfección que va siendo cada vez más utilizada por sus múltiples beneficios es el uso de la radiación UV, el sistema de desinfección con luz

ultravioleta se realiza mediante una lámpara de vapor de mercurio que irradia energía electromagnética hacia el material genético del microorganismo, esta energía penetra las paredes de la célula e inhibe la habilidad de reproducción de los microorganismos, pero en algunos casos y dependiendo de la dosis de UV los organismos pueden invertir o reparar los efectos germicidas de la radiación mediante mecanismos de reparación también llamados como fotoreactivación o reparación en oscuro. (EPA, 1999)

Para lograr la eficacia en el tratamiento de agua con radiación ultravioleta es necesario tomar en cuenta las características del agua a tratarse, el tiempo e intensidad de exposición de los microorganismos a la radiación y la configuración del reactor. Autores como (M. Sánchez et al., 2012) mencionan que la turbiedad y los SST son parámetros decisivos en el proceso de desinfección con UV, ya que las partículas impiden que la luz Ultravioleta ingrese en todos los puntos del sistema, además los sólidos dispersos y las partículas en suspensión pueden actuar como portadores de contaminación microbiológica, es decir a mayor valor de turbidez, mayor particulado en suspensión en el agua, lo que aumenta la posibilidad de camuflaje de bacterias, virus y protozoos patógenos y por ende la disminución de la eficacia de los métodos germicidas, al no poder contactar físicamente con el organismo a eliminar, por lo tanto se necesita estudiar estas relaciones y evaluar la eficacia de la desinfección UV en función de la concentración de sólidos suspendidos.

Teniendo en consideración la información expuesta el siguiente trabajo de titulación plantea el análisis de la interferencia de la turbidez en la efectividad del tratamiento de aguas residuales utilizando Radiación Ultravioleta en microorganismos indicadores de contaminación, esto se logró mediante ensayos de flujo continuo donde se irradiaron muestras de agua, en las que se varían la concentración de sólidos suspendidos.

Se analizaron las muestras de agua, a partir de variar de manera controlada sus parámetros físicos, principalmente turbidez vs. la concentración microbiológica. Se pretende inferir cuáles son los factores físicos que más tienen influencia en la inactivación y se compró la importancia de tratamientos primarios previos a la desinfección con radiación ultravioleta. Adicional a ello para realizó un análisis completo, se construyeron curvas dosis - respuesta de cada uno de los parámetros microbiológicos y su relación con el parámetro físico analizado.

1.4 Delimitación

Los ensayos de inactivación y fotoreactivación de los microorganismos indicadores de contaminación fecal se realizaron a nivel de laboratorio, en los laboratorios de la Universidad Politécnica Salesiana, específicamente en los Laboratorios de Ciencias de la Vida .

Referente al agua utilizada para el análisis, esta fue agua destilada obtenida de los laboratorios de la universidad, contaminada previamente con el inóculo de la bacteria a estudiar.

CAPÍTULO II

OBJETIVOS

2.3 Objetivo General

- Estudiar la interferencia de la turbidez en la efectividad del tratamiento terciario de aguas utilizando radiación ultravioleta en la eliminación de microorganismos indicadores.

2.1 Objetivos Específicos

- Realizar ensayos de inactivación con radiación ultravioleta de bacterias *Escherichia coli* y *Enterococcus spp.* bajo distintas concentraciones de sólidos suspendidos.
- Realizar ensayos de reactivación de las bacterias sometiendo las muestras sembradas ante períodos consecutivos de obscuridad y luz.
- Comparación de la eficiencia de inactivación de todas las variantes ensayadas, utilizando gráficas de dosis vs respuesta que serán comparadas con la cantidad de sólidos de cada muestra.

Hipótesis

- La cantidad de sólidos disueltos en el agua interfiere con el tratamiento de aguas residuales tratadas con radiación ultravioleta para la eliminación de microorganismos indicadores de contaminación fecal.

CAPITULO III

3.1 Fundamentación Teórica

El derecho a tener un acceso seguro y suficiente al agua y a la sanidad se reconocen como un derecho humano básico, el tratamiento de aguas residuales antes de ser vertidas a los cuerpos de agua, asegura condiciones sanitarias seguras para la población en general.(Rosales, 2015)

Tradicionalmente se piensa que el agua es un recurso renovable, pero es evidente debido a los constantes problemas de sequias, la falta de este recurso en varios países o a los suministros de agua de mala calidad que propagan enfermedades, que esta aseveración

no es del todo cierta, todo esto debido al mal manejo del agua, lo que produce condiciones de sanidad no deseables.(Muñoz, 2015)

3.2 Aguas residuales

Se denominan aguas residuales a los efluentes que, debido al uso que le da el hombre en determinadas actividades, ha cambiado sus características físicas y químicas, de esta manera pueden representar una amenaza y deben ser desechadas y tratadas, dado que tienen gran cantidad de sustancias químicas o microorganismos infecciosos.(Espigares García & Pérez López, 1985)

Las aguas residuales se generan en diversas actividades y procesos productivos, estas pueden ser tratadas y posteriormente reutilizadas si se alcanzan niveles aceptables de calidad. La UNESCO asegura que el 80% de las aguas residuales vuelve al ecosistema sin ser tratadas ni reutilizadas. Pero también mencionan que pueden ser herramientas útiles para el desarrollo sostenible, por lo que las Naciones Unidas insta a ejercer una responsabilidad común y compartida para mejorar la gestión de este recurso y prevenir la contaminación ambiental.(BBVA, 2021)

3.3 Tipos de Aguas Residuales

Aguas negras. - Se caracterizan por ser aguas provenientes del inodoro, contienen un alto contenido microbiano, proveniente en su mayoría del tracto intestinal del hombre, hace que estas aguas sean consideradas peligrosas, sobre todo si no son depuradas correctamente y son descargadas en la superficie de la tierra, subsuelo, o en cuerpos de agua.(Márquez, 2016)

Aguas Grises. - procede de las actividades diarias humana, esto altera la composición original del agua, generalmente provienen del desagüe de duchas, bañeras, lavadoras y

lavavajillas, debido a su uso puede contener jabón y pequeños residuos sólidos.(ONG, 2018)

Aguas Blancas. - son las aguas residuales que proceden de la lluvia, nieve o del hielo, también se generan de la limpieza de jardines, parques, calles. En la actualidad se han implementado redes de alcantarillado con tratamiento individual para este tipo de efluentes debido a su gran volumen y características.(Puig Caldes, 2020)

Aguas Industriales. - se caracterizan por ser residuos líquidos provenientes de procesos productivos industriales en los cuales se modifica o transforma el agua, su composición y caudal son muy variados dependiendo de la actividad productiva, se consideran los vertidos más difíciles de tratar debido a su alto grado de contaminación química, biológica y física. (Muñoz Cruz, 2008)

Aguas Residuales Agrícolas. – la demanda de agua en la producción de alimentos es casi insostenible y ocasiona grandes cantidades de aguas residuales con restos de fertilizantes y pesticidas, estos químicos son muy complejos de eliminar en los procesos de depuración de aguas y al ser vertidas a los ríos ocasionan eutrofización y severos daños a la flora y fauna.(Fibras y Normas de Colombia S.A.S, 2018)

La agricultura desarrollada en la actualidad es responsable de la generación de grandes cantidades de pesticidas, sedimentos químicos, materia orgánica y sales que van directo a los cuerpos de agua, es la actividad con mayor producción de aguas residuales. A medida que aumenta la población se ha intensificado el uso de la tierra debido a la necesidad de alimentos. Los países productores han aumentado enormemente el uso de pesticidas sintéticos, fertilizantes y otros insumos que contaminan las fuentes de agua.(FAO, 2022)

3.4 Características físicas y químicas del agua

Turbiedad. – es una propiedad óptica que provoca que la luz no sea transmitida, al contrario, la luz se disperse y absorbe. La dispersión de la luz en un líquido es provocada principalmente por sólidos suspendidos en la muestra. Mientras más turbio sea un líquido, mayor será la luz dispersa. Esta característica se considera un indicador de calidad de agua.(Violante, 2019)

A medida que la turbidez aumenta el agua pierde transparencia debido a las partículas en suspensión, altas cantidades de sólidos impactan de manera significativa los ecosistemas acuáticos, afectando en algunos casos la fotosíntesis lo que reduce el oxígeno disuelto del agua. (González Toro, 2011)

La turbidez se mide con la ayuda de un turbidímetro en unidades de NTU: Unidades Nefelométricas de Turbidez, esta mide la intensidad de la luz dispersada a 90 grados cuando un rayo de luz pasa a través de la muestra. Según la Organización Mundial para la Salud, la turbidez del agua para consumo humano no debe ser más, en ningún caso, de 5 NTU, y estará idealmente por debajo de 1 NTU. (Miranda, 2009)

Color. - esta característica se debe a sustancias coloreadas existentes en suspensión o disueltas en ella.(Agudelo & Castañeda, 2021). Existe una estrecha relación entre el color del agua y el Ph, de forma que cuando aumenta el segundo lo hace el primero. (Marín Galvín, 2008)

La remoción del color del agua se logra en los tratamientos de agua y de esta manera se obtiene un líquido adecuado para usos generales o industriales, la determinación del color es importante para saber la calidad del agua, cualquier grado de color es objetable por parte de los consumidores. (Cruz, 2008)

Olor. - ciertas sustancias o compuestos pueden generar olor, la percepción del olor no constituye una medida, sino una percepción, por lo tanto, resulta subjetivo. El olor no siempre indica la presencia de sustancias tóxicas en el agua, pero sí puede indicar la existencia de una elevada actividad biológica, presencia de olor debido a degradación por parte de microorganismo, por ello, en el caso del agua potable, esta no debe tener olor alguno, no sólo en el momento de tomar la muestra sino posterior a 10 días en un recipiente cerrado y a 20°C. (Cedeño Pincay, 2018)

Temperatura. – es considerado uno de los parámetros más importantes del agua, este afecta la velocidad de las reacciones químicas, físicas y biológicas que ocurren en las aguas naturales.(Ramírez, 2021). Se mide en grados Centígrados o grados Fahrenheit.

Oxígeno Disuelto. - se refiere a la cantidad de oxígeno gaseoso que está disuelto en el agua, es fundamental para la vida acuática. La concentración de este elemento es resultado del oxígeno obtenido de la atmósfera y el que es consumido por los organismos vivos. El oxígeno una vez que entra en el sistema se distribuye lentamente y su distribución depende del movimiento del agua. (UCM, 2015)

Sólidos Suspendidos Totales. - hacen referencia al material particulado que se mantiene en suspensión en las corrientes de agua superficial o residual. (DANE, 2003)

Los sólidos suspendidos totales están conformados por partículas orgánicas e inorgánicas que se encuentran en el agua residual, se puede separar mediante el método de filtración, sedimentación o centrifugación.(Peñaherrera Guevara, 2017)

Ph. - es un importante parámetro indicador de calidad del agua. Las aguas con un Ph ácido ayudan a la disolución de metales, los cuales, al ser ingeridos, afectan negativamente la salud. El pH entre 6,5 y 8,5 son aceptables para agua potable, los valores extremos pueden causar daños a la salud.(Pérez López, 2016). Por otro lado, la alcalinidad del agua viene determinada por la presencia de bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos que actúan como reguladores de los cambios de pH.(De Sousa et al., 2010)



Ilustración 1: Escala de Ph

Fuente: (Kuprat, 2019)

Conductividad. – este parámetro mide la capacidad del agua para transportar corriente eléctrica, está relacionada con la cantidad de sales disueltas en el agua, las sales generan iones capaces de transportar energía eléctrica. A temperaturas altas mayor conductividad eléctrica.(Solís Castro et al., 2018)

Transmitancia. - es la capacidad del agua para ser atravesada por los rayos ultravioleta. Es medida con un espectrofotómetro, ajustado a 254 nm, y sirve para determinar la longitud de onda óptima en casos de desinfección. La transmitancia se relaciona con los residuos coloidales, partículas suspendidas que absorben y esparcen esta longitud de onda de luz UV. (Works, 2019)

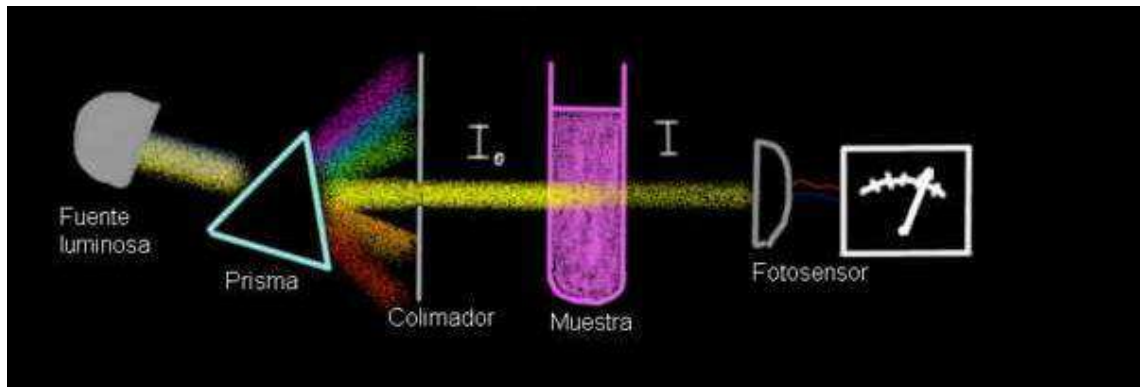


Ilustración 2: Esquema de medición de la transmitancia

Fuente: (Zapata, 2019)

3.5 Características Biológicas

Las aguas tienen en su constitución elementos biológicos variados, desde los más pequeños que son los microorganismos hasta los más grandes, peces. (Echeverría & Centeno Cuadra, 2020)

Para poder realizar la caracterización biológica del agua es necesario estar familiarizado con los grupos de microorganismos biológicos presentes; organismos patógenos en las aguas residuales dependiendo de la fuente y organismos utilizados como indicadores de contaminación.

La salud de la población está estrechamente ligada con el tipo y concentración de microorganismos presentes en las aguas residuales tratadas, los microorganismos son portadores de cientos de enfermedades. La mayoría de los microorganismos patógenos se eliminan en las primeras etapas del tratamiento de depuración sin embargo las que no han sido eliminadas en su totalidad se proliferan en los ecosistemas acuáticos y causan problemas de salud a la población al ser reutilizadas en actividades agrícolas o lúdicas. (Tavares, 2011)

3.6 Indicadores microbiológicos de calidad del agua

En el agua podemos encontrar un sinnúmero de microorganismos, en muchos casos el agua contaminada biológicamente contiene patógenos causantes de enfermedades que generan cientos de muertes, determinar la presencia de todos los organismos patógenos implicados en la contaminación es un proceso complicado y costoso, por lo cual resulta de gran ayuda analizar organismos indicadores de contaminación, los mismos que tienen un comportamiento similar a los organismos patógenos, con la gran ventaja de ser de detección fácil y económica. (Bautista Olivas et al., 2013)

Un microorganismo indicador de contaminación microbiológica debe cumplir diferentes requisitos como por ejemplo: "ser un constituyente normal de la microbiota intestinal de individuos sanos, estar presente de forma exclusiva en las heces de animales homeotérmicos, estar presente cuando los microorganismos patógenos intestinales lo están, ser fácil de cuantificar, aislar e identificar, ser incapaces de reproducirse fuera del intestino de los animales homeotérmicos, su tiempo de supervivencia debe ser igual o un poco superior al de las bacterias patógenas, su resistencia a los factores ambientales debe ser igual o superior al de los patógenos de origen fecal". (Pullés, 2014)

El consumo de agua contaminada implica niveles altos de propagación de enfermedades, como la diarrea y enfermedades respiratorias, por lo cual la medición de la calidad biológica del agua es de vital importancia. La OMS en sus directrices para evaluar la calidad de agua, recomienda hacer pruebas para evidenciar la contaminación fecal. Uno de los parámetros de calidad de agua destinada al consumo humano, analiza el grado de contaminación fecal mediante la presencia de la bacteria *E. coli*, lo cual es internacionalmente aceptado. (Hutton & Varughese, 2016)

En el caso del Ecuador, se emplea la prueba de presencia o ausencia de *E. coli*, como mecanismo para evaluar la calidad del agua. (INEC, Indicadores ODS de Agua y Saneamiento e Higiene en Ecuador, 2016)

3.7 Bacterias

Las bacterias son organismos procariotas unicelulares que se desarrollan en casi todos los ecosistemas y sirven para mantener el equilibrio del mismo, algunas especies soportan condiciones ambientales extremas. El cuerpo humano está lleno de bacterias y la mayoría son inofensivas, al contrario, algunas son beneficiosas. Una cantidad relativamente pequeña de especies son las que causan enfermedades. (NIH, 2022)

El grupo de microorganismos coliformes son comunes en el tracto gastrointestinal tanto de los humanos como de los animales de sangre caliente, por tal razón sirven como indicador de contaminación bacteriana, estos tienen una alta resistencia a condiciones ambientales al entrar en contacto con el agua, es decir permanecen más tiempo que las bacterias patógenas y se comportan de igual manera que los patógenos en los sistemas de desinfección. (Arcos Pulido et al., 2005)

E. Coli

Son bacterias gramnegativas y son un tipo de bacterias coliformes fecales que se encuentran comúnmente en los intestinos de los animales y los seres humanos, estas bacterias son de tamaño microscópico, sin embargo, su crecimiento puede visualizarse mediante siembras en medios de agar en condiciones especiales, en forma de colonias. La mayoría de las bacterias *E. coli* no causan enfermedad, pero si una persona se enferma de *E. coli*, el sitio primario de infección es el tracto gastrointestinal y los síntomas incluyen náusea, vómito, diarrea y fiebre. (Rock & Rivera, 2014)

Enterococcus

Son bacterias grampositivas que habitan en el interior del tracto gastrointestinal de una variedad de organismos, incluyendo al hombre, pueden adaptarse a vivir en ambientes hostiles como temperaturas, pH y salinidad altos, incluso persisten en presencia de detergentes. (Díaz Pérez et al., 2010)

Esta bacteria tiene una amplia aceptación como indicador en la determinación de la calidad microbiológica del agua, debido a que están presentes en las heces de los animales de sangre caliente, son incapaces de reproducirse en las aguas y sobreviven ante cambios drásticos de patrones climáticos, Algunos estudios realizados con aguas recreativas y potables consideran que los *Enterococos* son indicadores más estables que *Escherichia Coli* y los coliformes fecales.(Díaz Pérez et al., 2014)

3.8 Tratamiento de aguas residuales

Según el Banco Mundial menos del 5% de las aguas de alcantarillado de las ciudades reciben tratamiento. esta ausencia de tratamiento genera un riesgo para la salud humana y los ecosistemas. En Latinoamérica, muchas corrientes son receptoras de descargas directas de residuos domésticos e industriales. La contaminación se produce en áreas urbanas como rurales. (Patín, 2020)

El 12 % de las aguas residuales domésticas generadas por la población ecuatoriana no son tratadas, dejando un gran 88% sin depurar, este porcentaje está direccionado directamente a quebradas y ríos. Según datos de SENAGUA los ríos en Ecuador bajo la cota de los 2800 msnm están severamente contaminados y su agua no es apta para el consumo. Ante esta realidad existen proyectos de implementación de plantas de tratamiento de aguas residuales con nuevas tecnologías que permitan la reutilización de las aguas tratadas.(Torske, 2019)

El tratamiento de aguas residuales es una serie de procesos físicos, químicos y biológicos que elimina componentes nocivos para los ecosistemas y sus demás componentes, las aguas tratadas pueden ser reintegrada al ciclo del agua con problemas ambientales mínimos o reutilizada para otros propósitos de acuerdo a cada necesidad. Existen plantas de depuración que se encargan específicamente del tratamiento de efluentes industriales, que tienen una carga de contaminantes dependiendo de la actividad industrial, así como del tratamiento de efluentes urbanos generados diariamente por las actividades de la población. (Arregui, 2022)

Una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales tanto Industrial como Doméstica es estrictamente necesario para el mantenimiento de la vida en el planeta y el cuidado del agua. Con el tiempo, se han mejorado los métodos y aplicaciones para el tratamiento de aguas. Muchas de estas tecnologías permiten la recuperación de recursos y le dan un valor importante al residuo generado, creando de esta manera ciudades sustentables.(Spena Group, 2016)

Tratamientos físicos

Son métodos que se aplican dependiendo de las propiedades físicas de los contaminantes como por ejemplo el tamaño de la partícula, flotabilidad o viscosidad. Entre ellos podemos destacar el tamizado, separación y filtración de sólidos. Durante esta fase los componentes físicos se aglomeran para poder ser retirados fácilmente del agua, estos procesos son clave para el rendimiento de las siguientes fases de la depuración del agua.(Alemany, 2004)

Tratamientos químicos. – estos métodos dependen de las propiedades químicas del contaminante, se puede destacar la precipitación de fosfatos y nitrógeno, la eliminación de fosfatos es necesaria ya que la presencia de detergentes y fertilizantes producen la

superfertilización de las masas de agua, lo cual puede causar eutrofización en los ecosistemas. Por otro lado, la neutralización se usa para regular el valor de pH. Durante la desinfección se eliminan microorganismos patógenos agregando cloro. El uso de luz ultravioleta en las aguas residuales es una buena alternativa ante la incorporación de productos químicos, pero su uso no es muy frecuente. (Aerzen, 2022)

Tratamientos Biológicos. – son necesarios para la estabilización de la materia orgánica, muchos microorganismos consumen materia orgánica para realizar sus funciones básicas, principalmente bacterias, por tanto, para realizar un diseño efectivo del tratamiento biológico, es importante tener en cuenta los requerimientos nutricionales de los microorganismos y los factores ambientales que pueden afectar el crecimiento microbiano. Controlar la cantidad de materia orgánica, temperatura, el pH y el oxígeno es de vital importancia para la eficacia del reactor biológico. (Buitrón Méndez, Reino Sánchez, & Carrera Muyo)

3.9 Etapas del tratamiento de aguas residuales

Los procesos y operaciones que se desarrollan dentro del tratamiento de aguas residuales se agrupan bajo la denominación de tratamiento primario, secundario y terciario. En el tratamiento primario se desarrollan operaciones del tipo físico, en el tratamiento secundario se dan procesos biológicos de descomposición de la materia orgánica e inorgánica y el tratamiento terciario o también llamado tratamiento avanzado aplica operaciones y procesos para eliminar contaminantes no removidos por el

tratamiento primario o secundario. Dependiendo del uso al cual se destinará el efluente se deben seleccionar los tratamientos del agua residual. (Aguilar Escalante, 2019)

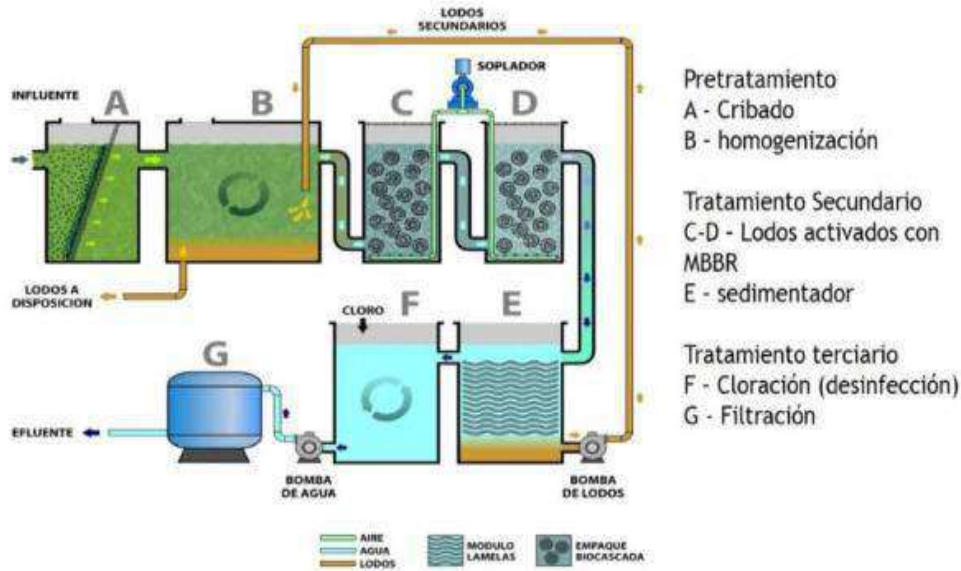


Ilustración 3: Ejemplo esquemático del proceso de tratamiento de aguas residuales domésticas

Fuente: Aguilar, 2019

Pretratamiento

Este proceso regula y mide el caudal que ingresa a la planta de depuración, es una etapa preliminar que elimina sólidos de gran tamaño que podrían ocasionar daños en las estructuras o causar ineficiencia en los siguientes procesos de tratamiento. También suelen utilizarse procesos de aireación para disminuir los compuestos orgánicos volátiles disueltos en el agua, de esta manera se eliminan malos olores y aumentan la DQO del agua. Entre las estructuras utilizadas, se encuentran el pozo de gruesos, desbaste de gruesos, desbaste de finos, desarenado y desengrasado. (Lander Rodríguez, 2020)

Tratamiento primario

El objetivo de los tratamientos primarios es la reducción de sólidos en suspensión ya sean estos flotantes y sedimentables, mediante su sedimentación se reduce la

contaminación biodegradable, ya que una parte de los sólidos eliminados están constituidos por materia orgánica. (Aragón, 2012)

Tratamiento secundario

Este tratamiento es también denominado tratamiento biológico debido a que se utilizan microorganismos para la remoción de nutrientes como el nitrógeno y el fósforo. Los microorganismos consumen la materia orgánica y la transforman en moléculas biodegradables o más fáciles de retirar. Las nuevas moléculas forman flóculos más pesados que se separan y sedimentan para luego ser retirados y así completar el tratamiento. (Nuevo, 2018)

Tratamiento terciario

Es una de las etapas finales de depuración, elimina agentes patógenos como las bacterias de origen fecal que son las causantes de cientos de enfermedades, aumentando así los estándares de calidad requeridos para que el agua tratada pueda ser devuelta al ciclo del agua o reutilizada. Los sistemas terciarios frecuentemente implican elevados costos de inversión, no obstante, se han reportado experiencias positivas con el uso de Radiación Ultravioleta. (Vaca Mier et al., 2014)

3.10 Desinfección Química

El aumento de infecciones intestinales y las numerosas muertes atribuibles al mal funcionamiento de los sistemas de abastecimiento de agua potable o de las estructuras depuradoras, exigen acciones urgentes ante el aumento de enfermedades propagadas a través del agua. Los procesos de desinfección eliminan los patógenos mediante el tratamiento del agua con compuestos químicos, o mediante la exposición a la luz ultravioleta. (OPS, 2002)

Cloro

Es el mecanismo de desinfección más popular y antiguo utilizado en los sistemas de tratamiento de agua potable. A principios del siglo XX fue introducido masivamente como una revolución tecnológica, que complementó a otros procesos de depuración del agua. La clave del uso del cloro se debe a su accesibilidad, su bajo costo, su alta capacidad oxidante que ayuda a eliminar materia orgánica. La cantidad necesaria de cloro está en función del caudal y calidad del agua a tratar. Existen normas de calidad de agua que establece un límite entre el uso de cloro y otras formas. (Solsona & Mendez, 2002)

Hacia la mitad de los años 70, se descubrió que el cloro además de desactivar los organismos patógenos también reacciona con la materia orgánica presente en el agua generando productos secundarios, específicamente compuestos orgánicos sintéticos como los trihalometanos. La exposición a los THM representa un riesgo de salud pública, ya que son considerados potencialmente cancerígenos. (Rodríguez et al., 2007)

Clase de subproducto	Compuesto	Clasificación EPA	Efectos nocivos
Trihalometanos (THM)	Cloroformo	B2	Cáncer, hígado, riñón, efectos sobre la reproducción
	Dibromoclorometano	C	Sistema nervioso, hígado, riñón, efectos sobre la reproducción
	Bromodichloromehano	B2	Cáncer, hígado, riñón, efectos sobre la reproducción
	Bromoformo	B2	Cáncer, sistema nervioso, hígado, efectos sobre el riñón
Haloacetnitrilo (HAN)	Tricloroacetnitrilo	C	Cáncer, efectos mutagénicos y clastogénicos
Aldehidos halogenados y cetonas	Formaldehído	B1	Mutagénicos *
Halofenol	2-Chlorofenol	D	Cáncer, agente de tumores
Ácidos haloacéticos (AHA)	Ácido dicloroacético	B2	Cáncer, efectos sobre la reproducción y el desarrollo
	Ácido tricloroacético	C	Hígado, riñón, bazo, efectos sobre el desarrollo

Ilustración 4: Información toxicológica de los subproductos del uso del Cloro

Fuente: (Rodríguez et al., 2007)

Ozono

Es un oxidante extremadamente potente, formado por tres átomos de oxígeno. Ha sido utilizado a nivel industrial en el tratamiento de aguas residuales y en el sector agrícola, como desinfectante para la eliminación de microorganismos. (INSST, 2020)

El ozono puede ser una sustancia peligrosa con graves efectos para la salud si es inhalada, provoca quemaduras en la piel y daños oculares, daña los órganos tras exposiciones prolongadas o repetidas, es muy tóxica para la vida acuática. Además, se encuentra en evaluación como alterador endócrino.

Respecto a la generación de subproductos, durante la ozonificación en la desinfección de aguas existe la formación de bromatos. El ozono empleado para desinfectar el agua potable reacciona con los iones de bromo presentes de forma natural en el agua. El bromato es la principal causa de preocupación en cuanto a la ozonificación como método para tratar el agua ya que este es un potencial cancerígeno. (Albícker, 2002)

3.11 Tecnologías de desinfección ultravioleta

La desinfección ultravioleta es una alternativa reconocida internacionalmente para la depuración del agua. En Estados Unidos y Reino Unido la tecnología de desinfección UV es muy popular e incluso se han llegado a combinar el uso de cloro con la tecnología de desinfección UV. (Cairns & Wright , 2015)

Se ha estudiado y comprobado que la tecnología de desinfección UV es eficiente en la inactivación y eliminación de bacterias , virus y protozoarios. (Espinoza Mora, 2021)

Luz Ultravioleta

Es un tipo de radiación electromagnética descubierta por el físico Johann Wilhelm Ritter en 1801. Se trata de una luz invisible para el ojo humano, esta posee numerosas y curiosas utilidades como por ejemplo la desinfección. (Oceane Bidault, 2018)

La luz UV es un componente natural de la radiación solar, se encuentra entre la luz visible y los rayos X, su longitud de onda comprende entre 100nm - 400nm. Se reconoce que la luz UV entre longitudes de onda de 220nm y 290nm tienen propiedades germicidas significativas. La luz UV- C es casi totalmente filtrada por las capas de la Tierra, por lo que para utilizar sus propiedades hay que generarla artificialmente mediante lámparas UV producidas comercialmente.(Halma Company, 2022)

Cuando la radiación ultravioleta entra en contacto con el microorganismo destruye las bases nitrogenadas que forman parte del ADN y el ARN, de esta manera inactiva eficazmente bacterias, virus, esporas y mohos, evitando que se multipliquen y causen infecciones. Para la inactivación de microorganismos se utilizan lámparas de mercurio de baja presión, la radiación emitida por estas lámparas corresponde a una banda estrecha con un máximo de emisión a 254 nm.(Oppezzo, 2020)

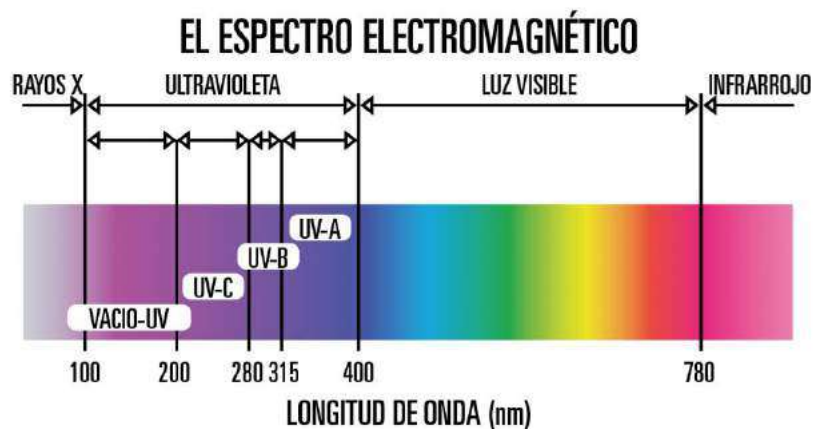


Ilustración 5: Longitudes de onda del espectro electromagnético

Fuente: (Halma Company, 2022)

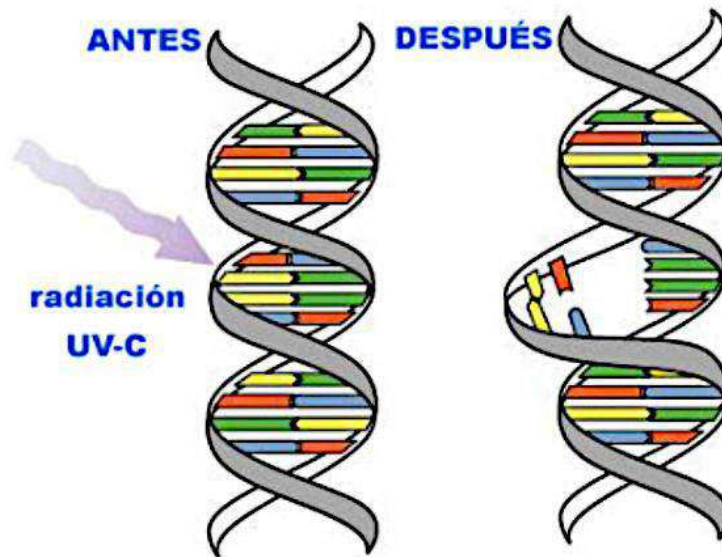


Ilustración 6: Alteración del ADN de las bacterias después de recibir radiación ultravioleta.

Fuente: (Puritec, 2022)

Tipos de lámparas ultravioleta

El uso de lámparas de vapor de mercurio para generar luz ultravioleta ha sido utilizado durante años, estas lámparas se parecen a las lámparas fluorescentes comunes. El mecanismo de las lámparas ultravioleta es sencillo: en el interior de la lámpara la cual está hecha de cuarzo o sílice, un arco eléctrico golpea una mezcla de vapor de mercurio y argón que hay en el interior. Las moléculas de mercurio se excitan y emiten luz ultravioleta. Las lámparas de desinfección UV más utilizadas son las de baja y media presión. (Vazquez, 2005)

Lámparas de baja presión

Son eficientes respecto a su acción germicida, debido a su baja presión no consumen mucha energía y tienen una vida útil de hasta 20000 horas y una óptima eficiencia a 254 nm. (Helios Quartz, 2022)

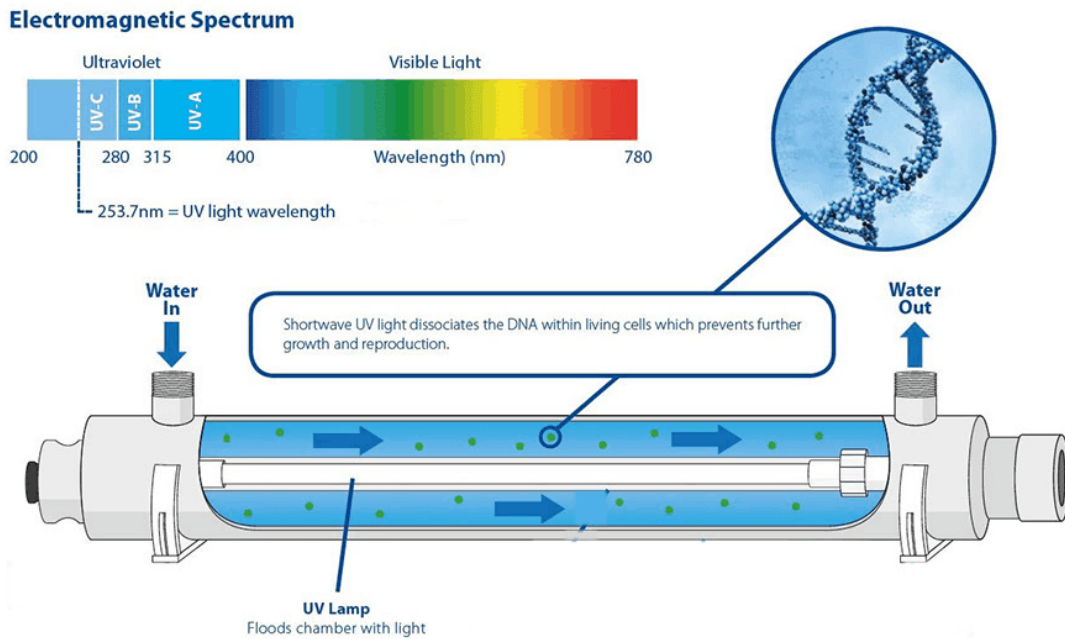


Ilustración 7: Lámpara de baja presión para desactivar microorganismos

Fuente: (Bluegold, 2021)

Lámparas de media presión

Estas son lámparas ultravioletas más potentes, por lo que requieren mayor consumo de energía, debido al aumento de temperatura dentro de la lámpara el mercurio vaporizado entra en fluctuantes estados de excitación. Dentro de la lámpara se producen diferentes longitudes de onda, por lo que la salida espectral de una lámpara de mediana presión consiste en numerosos picos de UV por debajo de 245 nm lo que no garantiza el poder germicida. (Prado, 2021)

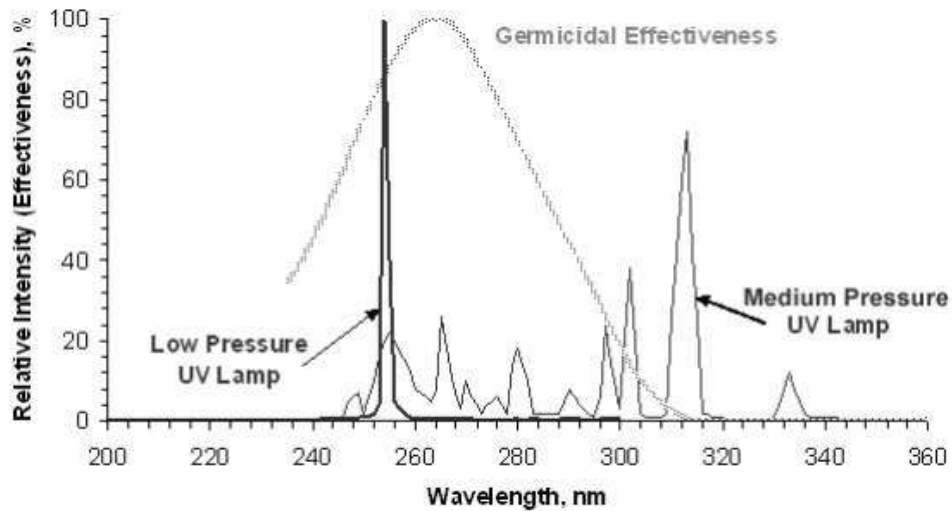


Ilustración 8: Comparación entre Lámparas UV de Baja Presión vs. Lámparas UV de Mediana Presión respecto al efecto germicida.

Fuente: (Prado, 2021)

3.12 Tipos de reactores ultravioletas

Reactor Discontinuo

Este tipo de reactor trata pequeños volúmenes de agua de manera discontinua y es considerado como un sistema controlado, permitiendo que los microorganismos reciban una dosis de radiación necesaria. Se utiliza una lámpara UV-C de baja presión de mercurio de 10 W de potencia. El tiempo mínimo de exposición en este reactor según los criterios de la USEPA, es de 5 segundos y al aumentar los tiempos de exposición se logra una mejor desinfección porque aumenta la dosis UV recibida. (Moreno et al., 2017)

Reactor Colimado

El uso de reactores a escala de banco se utilizó por primera vez en el año 1983 y sirvió para investigar la eficiencia germicida de la radiación ultravioleta. El equipo original consistió en lámparas UV de baja presión dentro de una caja de cartón con un tubo de colimación que se extendía desde un agujero en el centro de la longitud del arco de la lámpara.(Medina Coello, 2018)

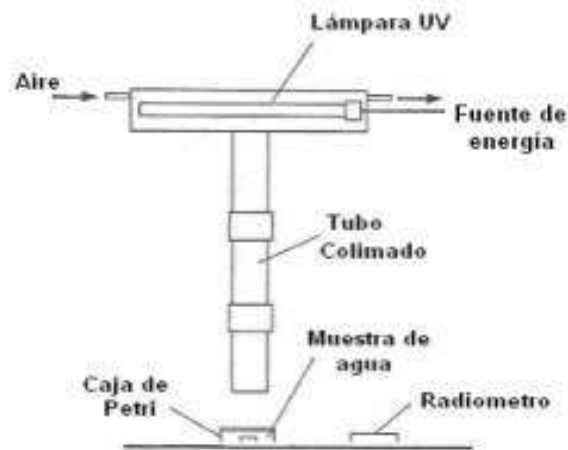


Ilustración 9: Diagrama de un reactor de colimado

Fuente: (Vázquez, 2005)

3.13 Ventajas y desventajas de la Radiación Ultravioleta

La luz UV-C germicida es muy eficiente para eliminar el crecimiento microbiano y logra la desinfección de la gran mayoría de superficies, esta radiación en su rango de longitud de onda corta de 250 ± 10 nanómetros es letal para bacterias, virus, protozoos, hongos, levaduras y algas, estos microorganismos sufren daños sobre la estructura del ADN, sin embargo hay que tomar en cuenta ciertos factores para garantizar la inactivación microbiana, como lo es la distancia de la luz germicida, la longitud de onda para agua, la dosis y las características del flujo a tratar.(Correa et al., 2020)

Ventajas (Toledo, 2022)

- ✓ La desinfección con luz UV es eficaz para la desactivación de la mayoría de los virus, esporas y quistes.
- ✓ La desinfección con luz UV es más un proceso físico lo que descarta la necesidad de generar, manejar, transportar, o almacenar productos químicos tóxicos, peligrosos o corrosivos para las personas y el medio ambiente.
- ✓ No existen efectos residuales que afecten a los seres humanos o cualquier organismo acuático.
- ✓ La desinfección con luz UV no requiere de maniobras específicas.
- ✓ La desinfección con luz UV necesita un período de contacto más corto en comparación con otros desinfectantes
- ✓ El equipo de desinfección con luz UV requiere menos espacio que otros métodos.

Desventajas

- ✓ Se han reportado casos en que la baja dosificación no logra desactivar por completo a los microorganismos.
- ✓ Algunos organismos pueden reparar su material genético o invertir los efectos destructivos de la radiación UV mediante mecanismos de reparación ya sea esto por fotoreactivación o ausencia de radiación.
- ✓ Para tratar agua con radiación ultravioleta es necesario un programa de mantenimiento preventivo para eliminar sólidos presentes en el agua.
- ✓ La turbidez y los sólidos suspendidos totales en el agua residual hacen que la desinfección con luz UV sea ineficaz.

3.14 Crecimiento bacteriano

Se refiere al incremento de bacterias. El crecimiento de la mayoría de los microorganismos procariotas ocurre por fisión binaria, es decir, a partir de una célula se forman dos individuos.

A las curvas de crecimiento microbiano se las puede considerar como sistemas cerrados formados por fases bien definidas, la fase inicial o fase de latencia o de adaptación, es aquella durante la cual los microorganismos se adaptan a su nuevo ambiente llevando a cabo procesos de síntesis. La siguiente fase es la exponencial en esta se alcanza la tasa máxima de crecimiento de las colonias. La tercera fase es la estacionaria, durante esta existe una desaceleración del crecimiento bacteriano, normalmente esto se debe a la falta de nutrientes, alcanzando así el máximo número de microorganismos posibles, es decir el crecimiento neto, y la última fase es la del decrecimiento y muerte de las bacterias.(Aguilar Rivera, 2007)

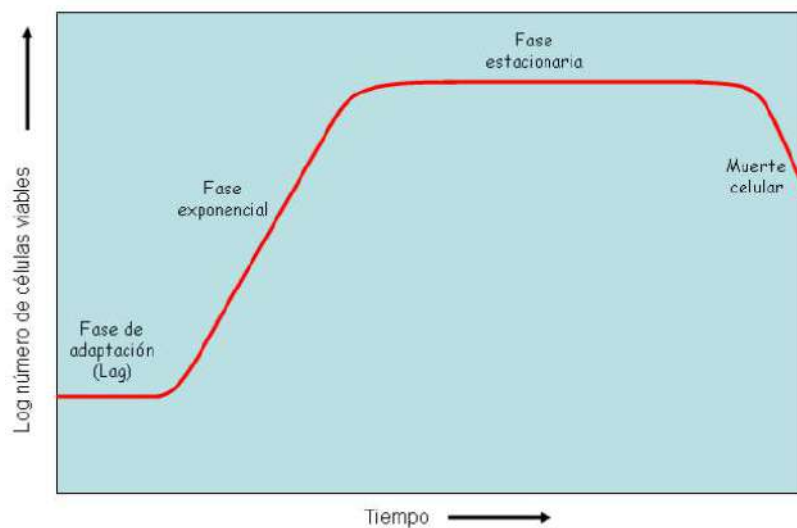


Ilustración 10: Curva de crecimiento bacteriano

Fuente: (López, 2016)

CAPITULO IV

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio se llevó a cabo en los laboratorios de la Universidad Politécnica Salesiana, a continuación, se describe los materiales, equipos y los pasos seguidos en la investigación.

4.1 Construcción del reactor ultravioleta

En el laboratorio de Radiactividad – Toxicología de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca se construyó el reactor experimental de lámpara de baja presión, los materiales que se necesitaron fueron los siguientes:

- Bomba de agua
- Accesorios de conexión (codos, válvula, tubería).
- Base de soporte metálico
- Recipiente plástico de 20 l de capacidad
- Lámpara Ultravioleta de baja presión

Por medio de mangueras y de uniones metálicas, la bomba de agua se conectó a dos llaves de paso, estas se encuentran unidas a la lámpara Ultravioleta de baja presión. El agua a tratar circuló con ayuda de una bomba centrífuga, mientras las llaves de paso se encargan de regular el caudal que ingresa a la lámpara para su desinfección.

Descripción de la lámpara Ultravioleta

La lámpara utilizada para la construcción del reactor experimental es una lámpara de mercurio de baja presión de la marca Hidrotek, es un dispositivo purificador diseñado para tratar aguas contaminadas biológicamente, su potencia es de 6W y la longitud de

onda que genera es de 254 nm. La luz ultravioleta emitida por la lámpara tiene la capacidad de dañar la pared celular de los microorganismos según la literatura estudiada.



Fotografía 1: Reactor experimental tubular UV de lámpara de baja presión

Fuente: Propio de la Autora

Componentes de la lámpara Ultravioleta

- Caja del reactor
- Tubo de vidrio
- Tuerca de aluminio
- Tapa de silicona
- Lámpara UV cubierta con una manga de cuarzo
- Adaptador de energía.

La lámpara ultravioleta fue modificada para reducir el porcentaje de irradiación, se cubrió el 35% de la lámpara UV con papel aluminio, luego se conectó el adaptador de la energía a la lámpara y se procedió a usar normalmente.

Cálculo de la longitud de la lámpara descubierta

Originalmente la longitud de la lámpara ultravioleta es de 18,9 cm y se cubrió 6,7 cm que equivalen al 35 %, como habíamos mencionado se cubrió con papel aluminio para reducir la dosis de radiación.

La fórmula aplicada para conocer la longitud de la lámpara descubierta es la siguiente:

$$l = L - L_{Al}$$

Donde:

l: Longitud de la lámpara sin aluminio (cm)

L: Longitud total de lámpara (cm)

LAl : Longitud de la lámpara cubierta de aluminio (cm)

$$l = 18,9 - 6,7 = 12,2 \text{ cm}$$

Cálculo del radio externo de la funda de cuarzo

$$rQ = r_{reactor} - r_{int.cuarzo}$$

Donde:

rQ= radio externo de la funda de cuarzo (cm)

r reactor = radio del reactor (cm)

r int. cuarzo = radio interno del cuarzo (cm)

Para la obtención de estos datos se midió los valores del reactor implementado en el laboratorio de Radiología.

$$rQ = 2,55 \text{ cm} - 0,984 = 1,56 \text{ cm}$$

Calculo de la dosis aplicada en cada ensayo

La dosis aplicada se obtiene a partir de la siguiente ecuación, los datos obtenidos con la ayuda de Excel se encuentran en el apartado de resultados.

$$\text{Dosis UV} = \frac{VR}{Q} * \frac{P254 * TQ^e}{2L\pi^2 * (rR^2 - rQ^2)} \iint_{rQ}^{rR} \frac{TW^{r-rQ}}{r} * dx dy$$

Donde:

P = Potencia de la lámpara a 254 nm

TQ = Transmitancia 0,94

TW = Transmitancia del agua tratada

e = Grosor del cuarzo (mm)

L = Longitud total de la lámpara

l = Longitud descubierta de la lámpara

rQ = Radio exterior del cuarzo (cm)

rR = Radio interno del reactor (cm)

Q = Caudal



Fotografía 2: Modificación de la radiación que será utilizada en el sistema y sus partes

Fuente: (Espinoza, 2021)

4.2 Preparación de medios de cultivo para la siembra y crecimiento de los microorganismos en estudio.

➤ **Bacteria *Escherichia Coli***

La preparación del medio de cultivo se realizó según las indicaciones que trae cada agar, en este caso por cada 1000 ml se necesita disolver 26,5 gr de Chromocult Agar, en cada Caja Petri se utilizan aproximadamente 4ml de medio de cultivo por lo que dependiendo de la cantidad de medio necesario se realizará una regla de tres, para nuestro ensayo se necesitan 50 cajas aproximadamente que serían 200 ml, por lo cual mediante regla de tres se obtuvo un valor de 5,30 gr de Chromocult Agar.

$$\frac{26,5\text{gr}}{x} = \frac{1000\text{ml}}{200\text{ml}} = 5,30 \text{ gr de Chromocult Agar}$$

Los 5, 30 gr de Chromocult Agar se mezclaron en condiciones de esterilidad con los 200 ml de agua destilada. Posterior a ello se calentó y agitó hasta ebullición durante 1 min, se dejó enfriar hasta una temperatura de 40 a 50 °C.

Finalmente, en la cámara de flujo se distribuyó el medio en placas Petri estériles envueltas con parafina y se dejó solidificar sobre una superficie horizontal nivelada. Las condiciones de crecimiento de estos microorganismos son de 37 °C durante 24 horas. Estas placas con el medio de cultivo estuvieron listas para los ensayos de desinfección ultravioleta.

➤ **Bacteria *Enterococcus spp.***

Para el proceso de crecimiento y cultivo se utilizó el medio selectivo de *Enterococos*. La preparación del medio de cultivo se realizó según las indicaciones del medio de cultivo utilizando en este caso 43.5 g de medio en 1 litro de agua destilada. Se debe calentar y agitar hasta la ebullición para su total homogeneización. Todo este proceso se realizó en condiciones estériles.

Finalmente, en la cámara de flujo se distribuyó el medio en placas Petri estériles envueltas con parafina y se dejó solidificar sobre una superficie horizontal nivelada. Las condiciones de crecimiento de estos microorganismos son de 37 °C durante 48 horas.



Fotografía 3: Medios de cultivo utilizados durante la fase de investigación



Fotografía 5: Medio de cultivos dispensados



Fotografía 4: Cámara de flujo lista para dispensar medio de cultivo

4.3 ENSAYOS DE INACTIVACIÓN DE MICROORGANISMOS CON RADIACIÓN ULTRA VIOLETA

- Objetivo Específico 1: Realizar ensayos de inactivación de bacterias *Escherichia Coli* y *Enterococcus spp.* bajo distintas concentraciones de sólidos suspendidos.

En esta primera fase se utilizó el agua destilada obtenida del laboratorio de Ciencias de la Vida, más el inóculo de las bacterias en estudio.

Crecimiento bacteriano previo ensayo de inactivación

Para poder contar con una concentración similar de bacteria en todos los ensayos se utilizó 1ml de la bacteria que fue dispuesto en 50 ml de medio de cultivo (Soya Casein Digest Medium), se dejó en la estufa por 24 horas y se lo denominó como muestra Sub 1, pasadas las 24 horas se procedió a tomar 1 ml de la muestra Sub 1 y se realizó la muestra denominada Sub 2, la misma que consta de 1ml de Sub 1 más 50 ml de medio de cultivo.

Esta última muestra denominada Sub 2 es aquella que se utilizó como inóculo en el agua destilada que será pasada por el Reactor Ultravioleta después de realizar los siguientes pasos:

- En tubos de centrífuga se dispusieron 5ml de la muestra Sub 2, debido a que contamos con 50 ml obtuvimos 10 tubos de centrífuga con la bacteria, los tubos fueron centrifugados 10 min a 3000 revoluciones. Obtenemos de esta manera material bacteriológico sedimentado. (Fig. 8) y (Fig. 9)
- Se quitó el sobrenadante de cada tubo de centrífuga y pipeteamos 5ml de solución tampón (agua con fosfato), esta solución tiene nutrientes que ayudan y estabilizan el crecimiento microbiano.
- Después con ayuda de un Vortex se mezcló la muestra hasta que se levante lo sedimentado, y por último se vació todos los tubos en un frasco de recolección de orina. Esta última muestra fue utilizada como inóculo en el agua destilada que fue tratada con el reactor ultravioleta. (Fig.7)



Fotografía 6: Muestra Sub 1 y muestra Sub 2



Fotografía 8: Centrifugación de las muestras por 10 min a 3000 revoluciones



Fotografía 9: Bacteria sedimentada



Fotografía 7: Mezcla del material sedimentado y la solución Buffer.

Inactivación de las cepas

Previamente a la inoculación, en los 20 L de agua destilada que serán tratados con Radiación Ultravioleta se dispuso 25 ml de solución Buffer, se esperó 30 minutos para que se establezca la muestra y se procede a inyectar los 50 ml de bacteria para posteriormente iniciar la circulación del agua por el reactor experimental.

Al activar la bomba centrífuga, el agua empieza a circular por el reactor y tomando en cuenta la importancia de la velocidad del paso de la muestra por la lámpara ultravioleta,

se controlaron los caudales a través de una llave de paso. De esta manera se regularon 5 caudales y un blanco.

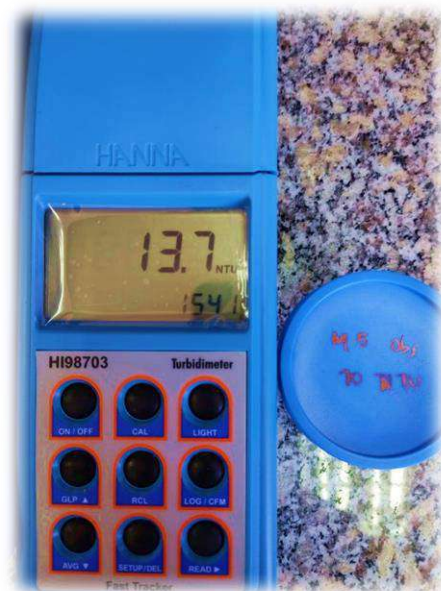
Consideraciones sobre la Turbidez del agua a tratar

Tomando en cuenta que la turbidez es un factor físico que interfiere en el tratamiento de las muestras con radiación ultravioleta, a los 20 litros de agua que fueron inoculados con la bacteria se añadieron cantidades medidas de tierra Diatomea.

Las diatomeas son algas fosilizadas que se utilizan en forma de tierra, con diversos usos entre ellos, como fertilizantes orgánicos. (J. Sánchez, 2020)



Fotografía 10: Gramos de tierra Diatomea utilizados para proporcionar turbidez a las muestras



Fotografía 11: Medición de la Turbidez

Se utilizó diferentes valores de turbidez, los cuales variaron de acuerdo con la cantidad de gramos utilizados de tierra diatomea. Utilizándose así intervalos de turbidez de 0 NTU, 12 NTU Y 22 NTU.

La tierra diatomea se dispuso en el recipiente de 20 L con la bacteria inoculada y durante la toma de muestras fué constantemente agitada con una varilla.

Toma de muestras a diferentes caudales

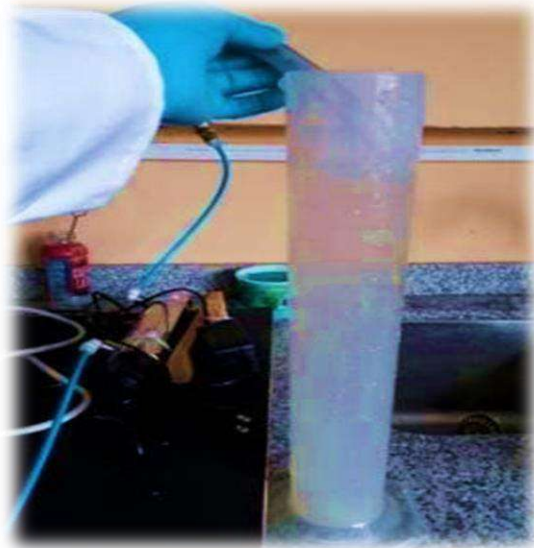
Las muestras de agua residual se recolectaron en recipientes estériles previamente etiquetados. La última muestra recolectada es el control o también denominado blanco, que es la muestra que no ha sido tratada con radiación ultravioleta y nos sirvió para establecer la concentración inicial de la bacteria en el ensayo.



Fotografía 12: Toma de muestras en recipientes estériles

Medición de caudales en los ensayos

Para poder obtener muestras con diferente dosis de radiación ultravioleta, se procedió a tomar 5 caudales que varían aproximadamente desde 58 segundos hasta 12 segundos, se consideró estos tiempos dado que según estudios el menor tiempo de exposición para lograr la desinfección es de 5 s. Como referencia se consideró el tiempo que se demora en llenar una probeta de 1000 ml, con los datos de volumen y tiempo se procedió a calcular el caudal del agua que ingresa a la lámpara para su desinfección.



Fotografía 13: Medición de caudales

Fórmula del Caudal

$$Q = \frac{V}{t}$$

Donde:

Q = Caudal del agua en L/min

V = Volumen del agua en L

T = tiempo en min

Dilución de las muestras

De los 5 caudales obtenidos y el control se procedió a realizar diluciones, este es un proceso que consiste en homogenizar dos o más sustancias, con las diluciones obtuvimos muestras menos concentradas de contaminantes, tomando en cuenta que los caudales dado el mayor o menor tiempo de exposición a la radiación ultravioleta tendrá mayor o menor concentración de bacterias. Por ejemplo, el caudal con menor exposición a la radiación ultravioleta que en este caso sería la muestra 5 deberá tener mayor número de diluciones para que los resultados de conteo de colonias sean observables y válidos.

Las diluciones se realizan de la siguiente manera

En tubos de ensayo se pipeteó 9 ml de agua destilada autoclavada y se completó los 10 ml con 1ml de la muestra tratada con radiación ultravioleta, esta disolución corresponde a una dilución a la -1, es decir si se quiere realizar una dilución a la -2, se necesitan 2 tubos de ensayo con 9 ml de agua destilada, el primer tubo de ensayo corresponde a la dilución a la -1, de este tubo obtenemos 1 ml y colocamos en el segundo tubo de ensayo , así obtenemos la dilución a la -2.

Para obtener una dilución a la -5, se necesitan 5 tubos de ensayo, el primer tubo de dilución tendrá 9 ml de agua destilada más 1 ml del caudal tratado, el segundo tubo tendrá 9 ml de agua destilada más 1ml de la dilución a la - 1, el tercer tubo de dilución tendrá 9 ml de agua destilada más 1 ml del tubo de dilución a la -2 y así sucesivamente hasta llegar a la disolución a la -5 que estará compuesta por 9 ml de agua destilada más 1 ml de la disolución a la - 4.

Si se desea tener una disolución a la 1, esto significa que se deberá trabajar con 1 ml directo de la muestra, de igual manera en el caso de una disolución a la 10; se tomarán 10 ml directo de la muestra y se trabajará con ella.



Ilustración 11: Tubos dispuestos con 9 ml de agua destilada para realizar diluciones

Esquema para las diluciones

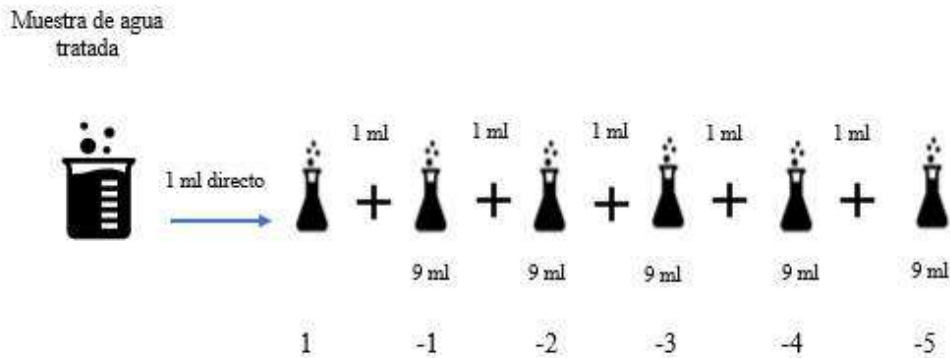


Ilustración 12: Ejemplificación de las diluciones

Fuente: Propio de la autora

Técnica de filtración por membrana – siembra de la bacteria

Para la determinación de los microorganismos utilizados como indicadores de contaminación se empleó el método de filtración por membrana de acuerdo con la norma UNE EN ISO 7899-2: 2001, que consiste en colocar sobre un soporte de filtración una membrana estéril y sobre ésta un embudo de filtración.

El equipo de filtración es sometido a desinfección ultravioleta por 30 min para evitar contaminación cruzada.

Materiales

- Equipo de filtración
- Bomba
- Filtros de membrana con diámetro 47 mm
- Matraz
- Agua destilada autoclavada
- Pinzas estériles
- Placas con medio de cultivo
- Parafilm

- Mecheros



Fotografía 14: Equipo de filtración por membrana



Fotografía 16: Filtros de membrana utilizados en los ensayos



Fotografía 15: Sistema listo para realizar filtración, siguiendo normas de desinfección

Los filtros de membrana se colocaron en cada uno de los embudos del sistema de filtración y se procedió a sembrar la muestra ya diluida.

Para sembrar la muestra se colocó una cantidad de agua destilada en el embudo más 1ml de la disolución realizada y se procedió a filtrar.

Una vez filtrada la muestra se añadió más agua destilada para evitar que las bacterias se queden en la estructura del sistema de filtración y se vuelve a filtrar, ya terminada la filtración, con ayuda de una pinza previamente esterilizada se retiró el filtro y se colocó en la caja petri previamente dispensada con el medio de cultivo específico para cada bacteria.

Por último, para evitar la contaminación de las muestras se sellaron las cajas con parafilm y de manera invertida fueron dispuestas en la estufa de secado durante 24 horas en el caso de *E. coli* y para *Enterococcus* 42 horas a 37 grados centígrados.



Fotografía 17: Cajas petri dispuestas de manera invertida en la estufa de secado

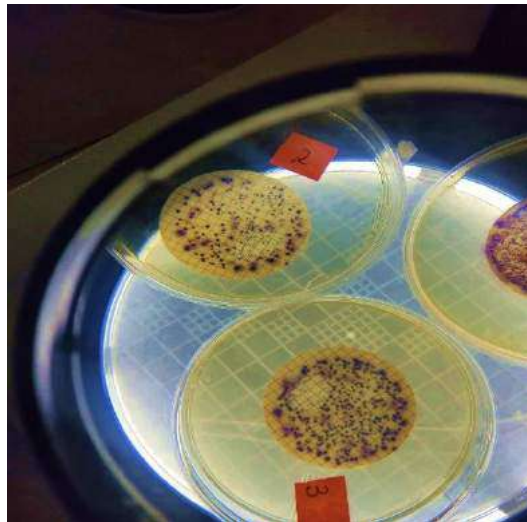
Recuento de Colonias

Transcurrido el tiempo se realizó el conteo de las colonias que crecieron sobre la membrana. El resultado se expresa como Unidades Formadoras de Colonias (UFC) por 100 ml de muestra y se calculó mediante la siguiente expresión:

$$\frac{\text{UFC}}{100 \text{ ml}} = \frac{\text{Numero de colonias}}{\text{Volumen filtrado (ml)}} * (\text{factor de dilución } 100)$$

Donde:

UFC = Unidad Formadora de colonias



Fotografía 18: Conteo de colonias

4.4 Ensayos de reactivación de las cepas en estudio

- Objetivo Específico 2: Realizar ensayos de reactivación de las bacterias ante períodos consecutivos de oscuridad y luz.

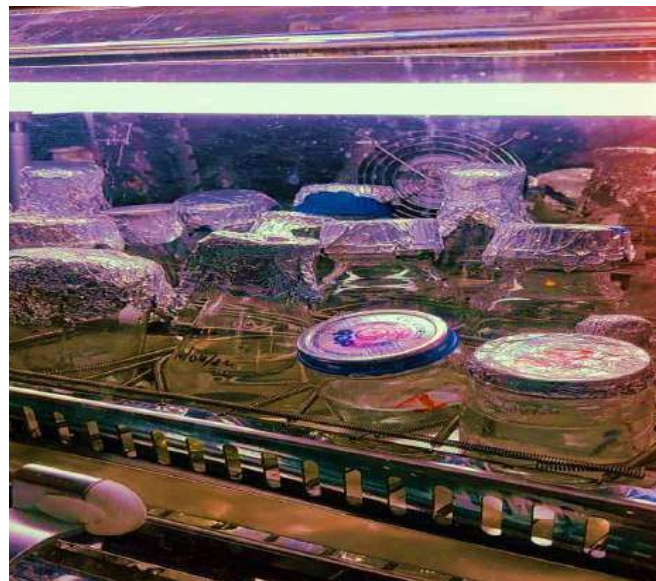
Se realizó ensayos paralelos para estudiar los procesos de reactivación de las cepas *E. coli* y *Enterococcus spp.* puesto que es posible que algunos microorganismos reparen el daño fotoquímico causado por la luz UV, si su dosis es demasiado baja, mediante la

fotoreactivación o reparación oscura, por lo cual con los resultados obtenidos identificamos la dosis efectiva para garantizar que el daño celular no pueda ser reparado.

La reactivación se realizó en luz y oscuridad, las muestras sembradas el día cero fueron guardadas en una cámara de incubación, la misma que nos permitió tener condiciones ambientales constantes, después de 1 día se volvió a analizar las muestras. Para someter las muestras a oscuridad fueron envueltas con papel aluminio.



Fotografía 19: Cámara de Incubación con muestras para ensayos de reactivación



Fotografía 20: Muestras dentro de la cámara de incubación

Pasado el día de incubación, las muestras obtenidas de la cámara Binder fueron sometidas a disoluciones y posteriormente se desarrolló el mismo procedimiento de siembra a través del filtro de membrana y se contabilizó la formación de colonias.

Evaluación cuantitativa de fotoreactivación y reparación en oscuridad

La ecuación de Lindenauer y Darby del año 1994 se utilizó para evaluar el efecto de la fotoreactivación.

$$\% \text{ Fotorreactivación} = \frac{N_t - N}{N_o - N} * 100$$

Donde:

No = Numero de bacterias antes de la irradiación ultravioleta (CFU/ml)

N = Número de bacterias inmediatamente después de la irradiación UV (CFU/ml)

Nt =Numero de bacterias después de la reactivación durante un período de tiempo ultravioleta (CFU/ml).

Solo aquellas bacterias que fueron inactivadas son capaces de reactivarse, para identificar la tasa de supervivencia de la bacteria en relación al tiempo se utilizó la siguiente formula:

$$S = \frac{N_t}{N_o} * 100\%$$

Donde:

S = Tasa de supervivencia del microorganismo el tiempo.

No = Numero de microorganismos antes de la irradiación ultravioleta (UFC/ml).

Nt = Numero de microorganismo después de la fotoreactivación UV durante un cierto tiempo (UFC/ml).

CAPÍTULO V

Resultados y Discusión

Previo a obtener los resultados finales, se experimentó en múltiples ensayos, para poder tener claro la experticia de la experimentación. De esta manera se lograron 4 ensayos válidos, los resultados se detallan a continuación:

Resultados de los ensayos de inactivación de la cepa nativa *Enterococcus*

En la **Tabla 1**, se evidencia los distintos ensayos que se realizó a nivel experimental con el reactor Ultravioleta de la lámpara de baja presión, se detalla el volumen, el tiempo, caudal, la dosis aplicada y la turbidez de la muestra. Se puede observar que dependiendo del caudal se aumenta o se reduce la dosis aplicada a la muestra, siendo así que menor caudal mayor dosis aplicada, lo que supone mayor poder germicida en el ensayo.

Tabla 1: Ensayos experimentales realizados con la bacteria *Enterococcus* a diferentes turbideces

<i>Agua destilada + 50 ml del inóculo microbiano - Enterococcus</i>						
	<i>Muestra</i>	<i>Volumen(L)</i>	<i>t(s)</i>	<i>Caudal (l/h)</i>	<i>Dosis aplicada(mJcm⁻²)</i>	<i>Turbidez (NTU)</i>
<i>Ensayo 1</i>	1	1	65	55,38	30,41	0
	2	1	46	78,26	21,52	0
	3	1	36	100	16,84	0
	4	1	27	133,33	12,63	0
	5	1	13	276,92	6,08	0
	Control	0	0	0	0	Sin dosis
<i>Ensayo 2</i>	1	1	42	85,7	19,01	12
	2	1	27	133	12,22	12
	3	1	15	240	6,79	12
	4	1	12	300	5,43	12
	5	1	8	450	3,62	12
	Control	0	0	0	0	Sin dosis
<i>Ensayo 3</i>	1	1	60	60	26,07	22,5
	2	1	47	76,59	20,42	22,5
	3	1	37	97,29	16,07	22,5
	4	1	23	156,52	9,99	22,5
	5	1	15	240	6,51	22,5
	Control	0	0	0	0	Sin dosis

Fuente: Propia de la autora

Resultados de los ensayos de inactivación de la cepa nativa *E. coli*

En la Tabla 2 podemos observar el ensayo de inactivación realizado con la cepa *E. coli* nativa, de igual manera que en la Tabla 1, observamos que a menor caudal hay un incremento de la dosis irradiada a la muestra.


Tabla 2: Inactivación de la bacteria *E. coli* nativa, tomando en cuenta diferente caudales de recolección

Agua destilada + 50 ml del inóculo microbiano - <i>E. coli</i>	Muestra	Volumen(L)	t(s)	Caudal (l/h)	Dosis aplicada(mJcm ⁻²)	Turbidez (NTU)
Ensayo 1	1	1	52	69,2	54,93	0
	2	1	38	94,7	40,14	0
	3	1	27	133,3	28,52	0
	4	1	17	211,8	17,96	0
	5	1	13	276,9	13,73	0
	Control	0	0	0	Sin Dosis	0

Fuente: Realizado por la autora

La eficiencia de la desinfección con el reactor Ultravioleta podemos observar en la Tabla N 3, existe mayor efectividad cuando el reactor de lámpara de baja presión maneja caudales pequeños, es decir en el caso de las Muestras 1, 2, 3, de esta manera al realizar el conteo de colonias se visualiza menor crecimiento de bacterias, en cambio hay menor efectividad cuando trata caudales grandes, muestras 4 y 5, se produce mayor desarrollo bacteriano. Es importante considerar que el blanco no está sujeto a una dosis de radiación ultravioleta por lo que el crecimiento de colonias es mucho mayor a las demás muestras.

Tabla 3: Crecimiento bacteriano según la disolución utilizada

Ensayo – E. coli	Valor de Disolución						
	-5	-4	-3	-2	-1	1	10
M1							
M2							
M3							
M4							
M5							
Control							

Fuente: Propia del autor

La Tabla 4 muestra el porcentaje de inactivación de la cepa *E. coli* nativa, la eliminación de la bacteria depende de la cantidad de dosis UV irradiada a la muestra contaminada, para esta cepa no se realizaron ensayos con diferentes valores de turbidez.

Se utilizó agua destilada como simulación del agua residual inoculada con la cepa en estudio para evitar trazas de cloro proveniente de la red de agua potable de la ciudad, por lo que se considera la muestra con valores de NTU 0, por consiguiente, no se analizará la interferencia de la turbidez en el tratamiento de desinfección.

Tabla 4: Resultados del conteo de colonias de la cepa *E. coli* nativa día 0

Ensayo 1- NTU 0 – <i>E. coli</i> nativa				
Muestra	Dosis mJ/cm2	Recuento de colonias	UFC/ml	Dilución
M1	54,93	20	200	-1
		160 /95	160/95	1
		619	61,9	10
M2	40,14	152	1520	-1
		716	716	1
		Incontable	I	10
M3	28,52	142	14200	-2
		612	6120	-1
		Incontable	I	1
M4	17,96	387/365	38700/36500	-2
		932	9320	-1
		Incontable	I	1
M5	13,73	6	60000	-4
		115/67	115000/67000	-3
		846	84600	-2
Control	Sin Dosis	173	173000	-3
		31/23	310000/230000	-4
		32/36	3200000/3600000	-5

Fuente: Realizado por la autora

Aplicación de modelos de Inactivación

Los datos de inactivación se obtuvieron tomando en cuenta el modelo sugerido por W.D. Bigelow and J.R. Esty 1920.

En unidades logarítmicas, los ensayos experimentales demuestran que la frecuencia de inactivación de la cepa *Escherichia coli* se encuentra en los rangos comprendidos entre (0,02 y -0,03), (-1,47 y 2,56) y (-3,35 y -4,55).

En la ilustración 13 podemos observar que para eliminar 4 unidades logarítmicas de bacteria se necesita una dosis de 20 mJ/cm².

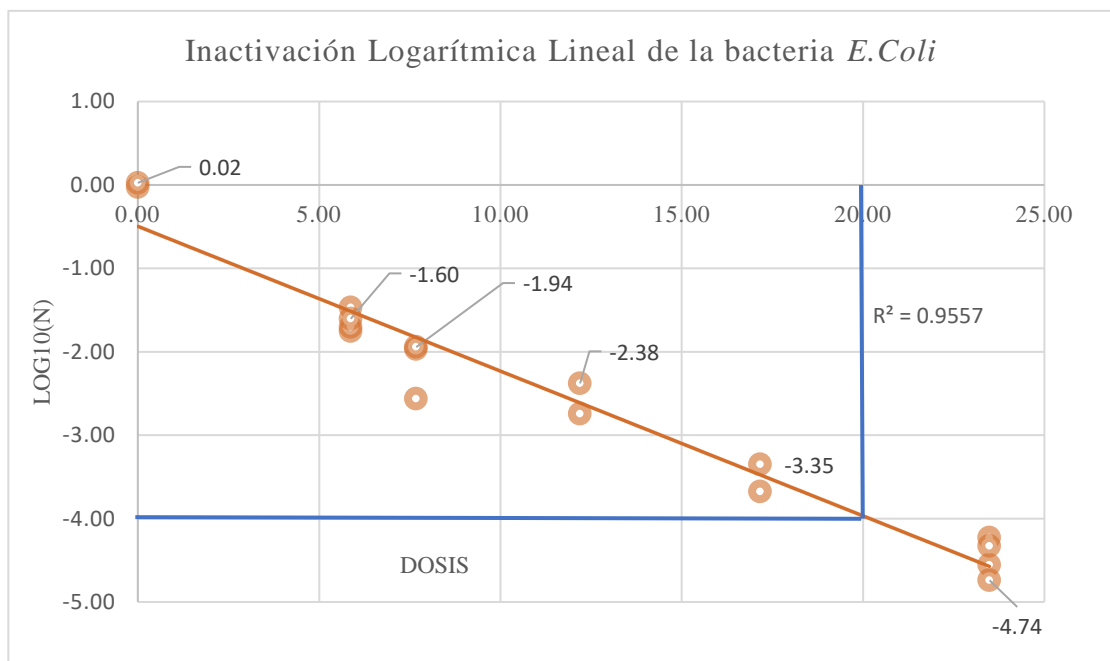


Ilustración 13: Frecuencia de inactivación de la cepa *E. coli* nativa, modelo lineal

Fuente: Propio de la autora

Ajuste de los datos a los modelos teóricos de inactivación bacteriana

Para representar gráficamente la eficiencia de la aplicación de la radiación UV según la dosis aplicada y el cálculo de la dosis ultravioleta se utilizará el programa GInaFiT que es un complemento de software gratuito para Microsoft © Excel, que resulta ser una herramienta de modelización y simulación de microorganismos predictivo de supervivencia microbiana en datos experimentales específicos del usuario que relacionan la evolución de la población microbiana con respecto a la dosis aplicada.

En la ilustración 14 podemos observar que aproximadamente para eliminar 4 unidades logarítmicas se necesitó de 22 mJ/cm² de dosis de radiación UV

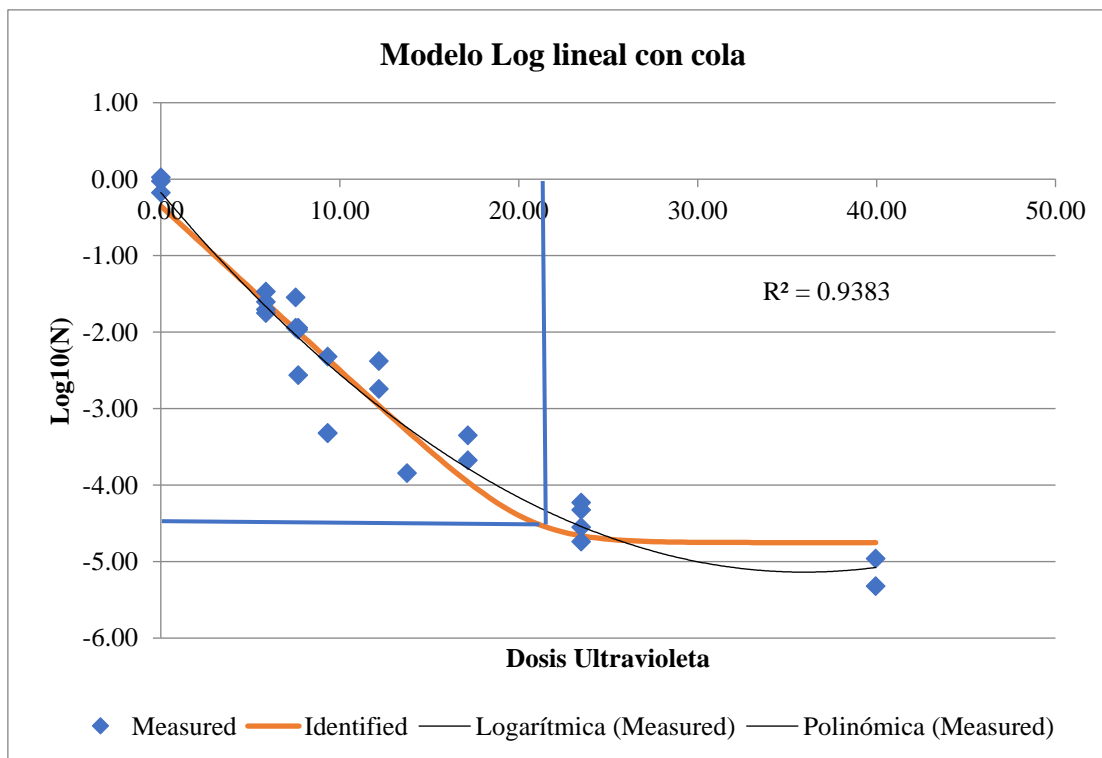


Ilustración 14: Perfil de inactivación de la cepa *E. coli* nativa con el modelo Log Lineal + hombro

Resultados de la cinética de reactivación de la cepa *E. coli* nativa

Después de la incubación en luz y en oscuridad en la cámara tras la irradiación de dosis UV, al día 1 se visualizó que las muestras sometidas a períodos de luz tuvieron un crecimiento notable respecto a las muestras sometidas a oscuridad. Para verificación de

los resultados la Tabla 5 y 6 tienen datos de reactivación de las bacterias tomando en cuenta el recuento de colonias.

Tabla 5: Datos de fotoreactivación de la cepa *E. coli* después de 1 día de incubación

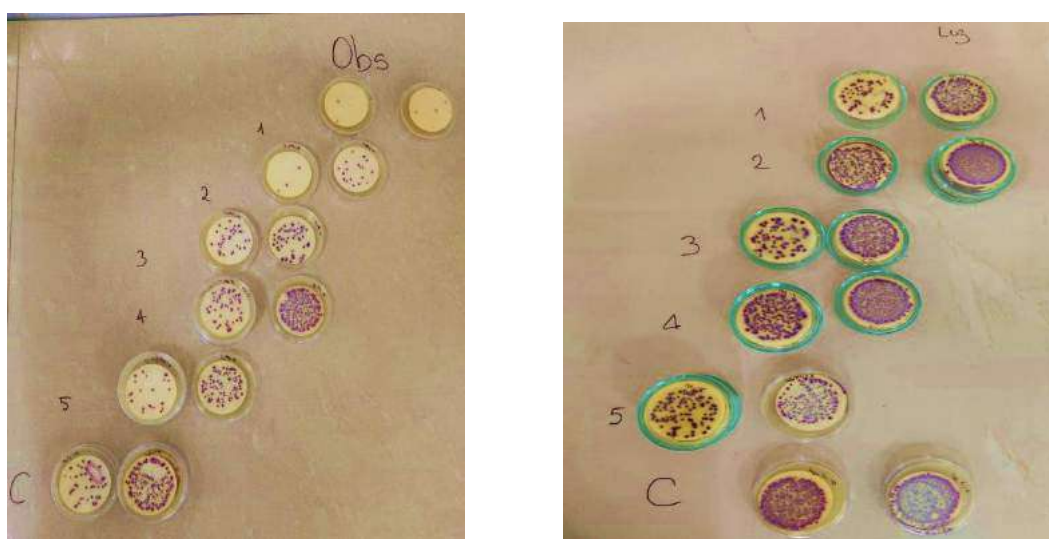
Fotoreactivación - Luz	Dosis	Recuento UFC	Dilución	Log (s)
M1	54,93	392	-1	-2,94
		84	-2	-2,61
M2	40,14	964	-1	-2,55
		313	-2	-2,04
M3	28,52	593	-2	-1,76
		88	-3	-1,59
M4	17,96	641	-2	-1,72
		272	-3	-1,10
M5	13,73	278/263	-3	-1,09 /-1,11
		134/127	-4	-0,40 /-0,43
Control	Sin Dosis	I	-2	I
		700	-3	- 0,69

Tabla 6: Recuento de colonias después 1 día de incubación en oscuridad.

Oscuridad	Dosis	Recuento UFC	Dilución	Log (s)
M1	54,93	4	-1	-4.93
		6	1	-5.75
M2	40,14	3	-2	-4,05
		20	-1	-4.23
M3	28,52	55	-2	-2.79
		35	-3	-1.99

M4	17,96	50/58	-3	-1.83
		339	-2	-2
M5	13,73	96	-3	-1.55
		23	-4	-1.17
Control	Sin Dosis	41	-5	0.08
		580 / 610	-4	0.23/0.25

La información obtenida de la reactivación refuerza la literatura consultada, esta afirma que ciertos microorganismos tienen la capacidad de recuperarse durante períodos de fotoreactivación, en este caso las muestras sometidas a luz fueron las que tuvieron mayor crecimiento microbiano, mientras que en las muestras sometidas a oscuridad se observó que la tasa de crecimiento disminuyó en comparación con los datos del día 0.



Fotografía 21: Conteo de colonias después de periodos de luz y oscuridad

En la ilustración 15 se puede visualizar el crecimiento de las colonias de la cepa *E. coli* nativa tras haber pasado las muestras por el reactor ultravioleta, en contraste con el crecimiento de las colonias en el día 1 en períodos de luz y oscuridad en la cámara de

incubación. Se distingue claramente que la tasa de reactivación de las muestras sometidas a períodos de luz es mayor que la tasa de reactivación de las muestras sometidas a períodos de oscuridad. Lográndose así una reducción de 2,3 unidades logarítmicas en la reactivación en el día 1 de Luz, mientras que para la reactivación en oscuridad se logró reducir hasta 5 unidades logarítmicas, en contraste con la reducción de 4, 5 unidades logarítmicas en el día 0 de tratamiento con UV.

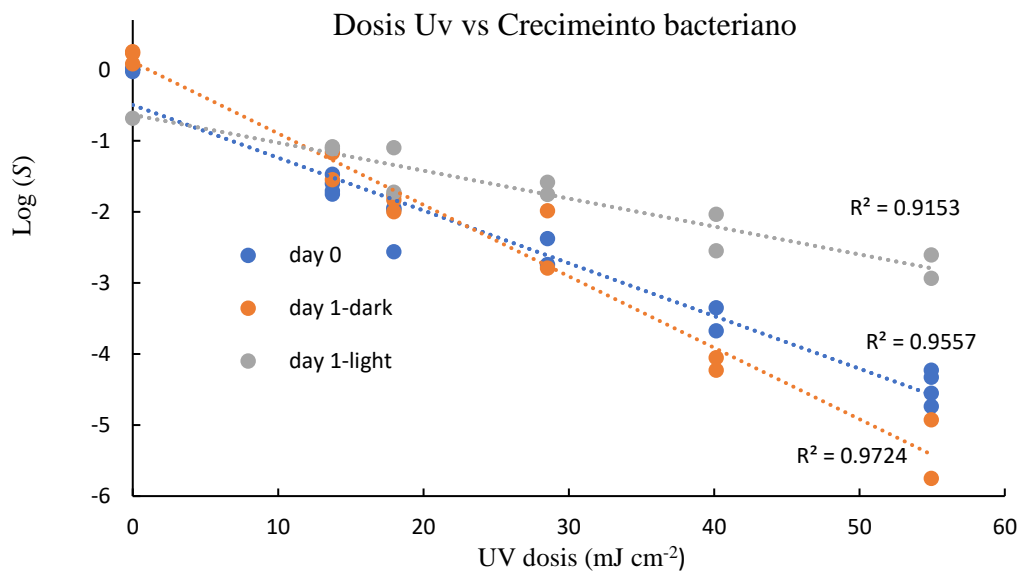


Ilustración 15: Dosis de radiación ultravioleta en relación al crecimiento bacteriano en los días 0, 1 en luz y 1 en oscuridad

Resultado del conteo de colonias de la cepa *Enterococcus* nativa

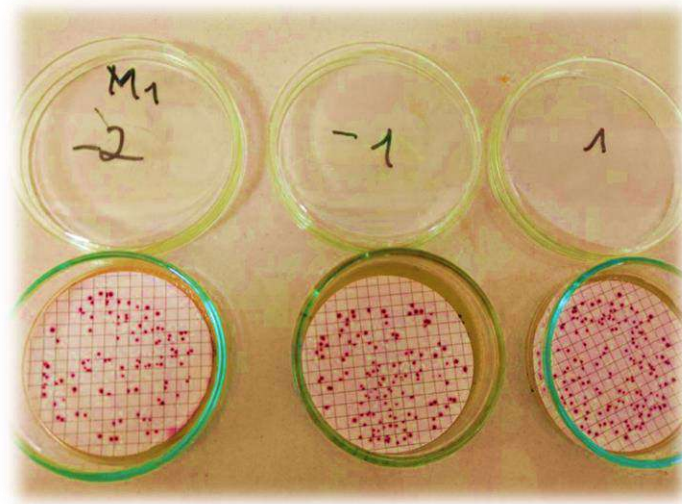
La Tabla 7 muestra la inactivación de la cepa *Enterococcus* nativa, mediante el conteo de colonias, la eliminación de la bacteria depende de la cantidad de dosis UV

irradiada a la muestra contaminada, siendo así la muestra M1 la muestra que más dosis recibe mientras que el Control no recibe tratamiento. Se utilizó agua destilada como simulación del agua residual inoculada con la cepa en estudio para evitar trazas de cloro proveniente de la red de agua potable de la ciudad, por lo que se considera la muestra con valores de NTU 0.

Tabla 7: Resultados del conteo de colonias de la cepa *Enterococcus* Nativa día 0, NTU 0

Ensayo 1- NTU 0 – <i>Enterococcus</i> nativa				
Muestra	Dosis mJ/cm2	Recuento de colonias	UFC/ml	Dilución
M1	30,41	106	10600	-2
		137	1370	-1
		154	154	1
M2	21,52	158	15800	-2
		174	1740	-1
		193	193	1
M3	16,84	220	220000	-3
		293	293000	-2
		378	3780	-1
M4	12,63	249	249000	-3
		372	37200	-2
		405	4050	-1
M5	6,08	393	3930000	-4
		397	397000	-3
		417	41700	-2

Control	Sin Dosis	418	418000	-3
		390	390000	-4
		281	2810000	-5



Fotografía 22: Conteo de colonias de la cepa *Enterococcus* nativa

Aplicación de modelos de Inactivación

Los datos de inactivación se obtuvieron tomando en cuenta el modelo sugerido por W.D. Bigelow and J.R. Esty 1920. En unidades logarítmicas, los ensayos experimentales demuestran que la frecuencia de inactivación de la cepa *Enterococcus* nativa se encuentra en los rangos comprendidos entre -0,154 y -5,57

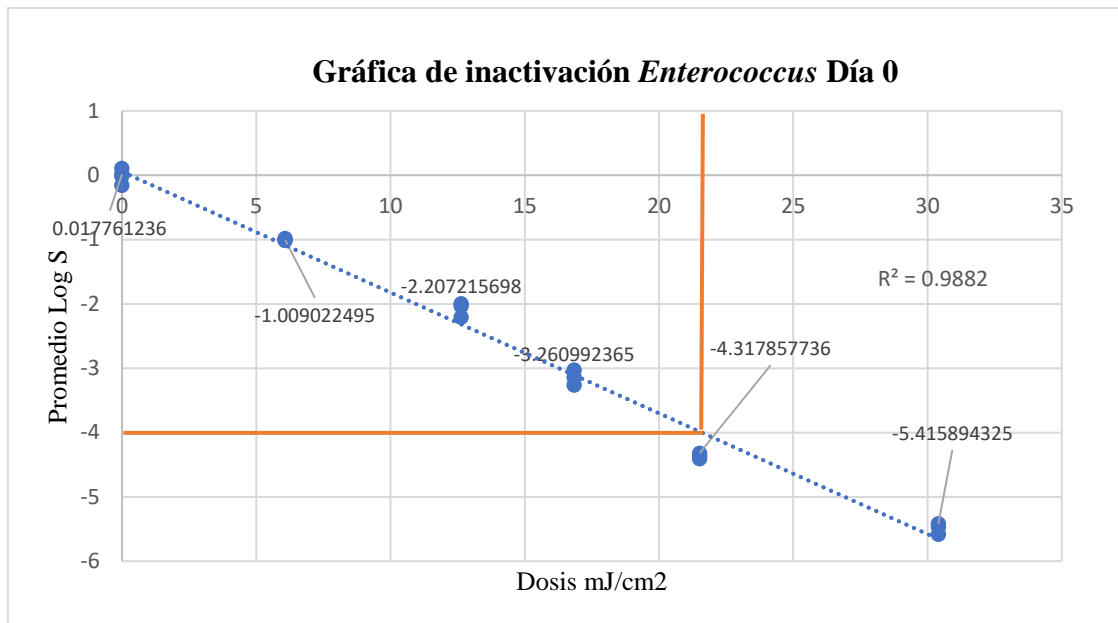


Ilustración 16: Inactivación Logarítmica lineal de la cepa *Enterococcus* nativa

Ajuste de los datos a los modelos teóricos de inactivación bacteriana

Para representar gráficamente la eficiencia de la aplicación de la radiación UV según la dosis aplicada y la dosis ultravioleta se utilizará el programa GInaFiT que es un complemento de software gratuito para Microsoft © Excel, que resulta ser una herramienta de modelización y simulación de microorganismos predictivo de supervivencia microbiana en datos experimentales específicos del usuario que relacionan la evolución de la población microbiana con el tiempo.

En la ilustración 17 se observa que cuando la curva se asintotiza podríamos decir que la eficiencia con respecto a la dosis UV pierde eficacia o se estabiliza el decrecimiento bacteriano y en este caso aproximadamente para eliminar 5 unidades logarítmicas se necesita de 25 mJ/cm².

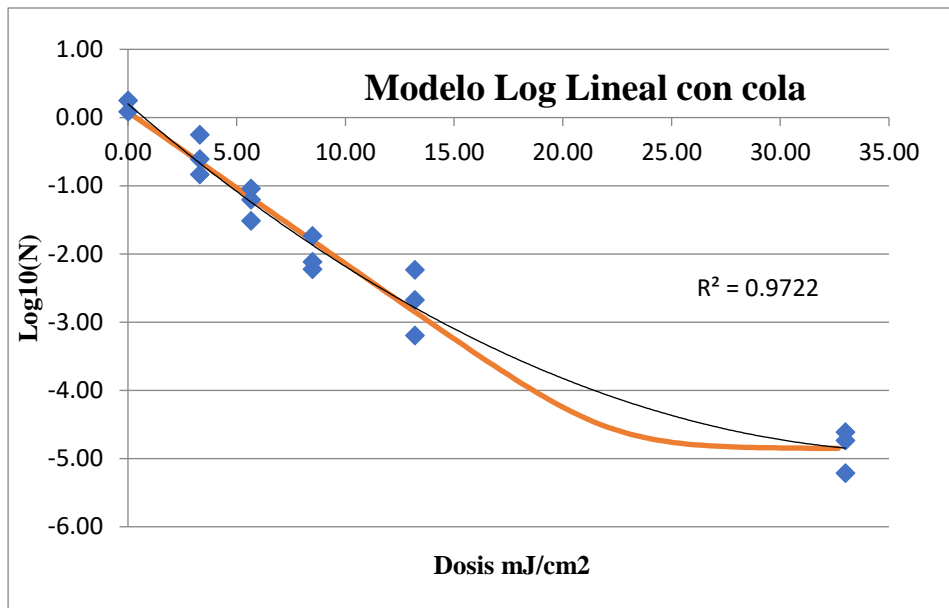


Ilustración 17: Perfil de Inactivación de la cepa *Enterococcus* nativa

Resultados de la cinética de reactivación de la cepa *Enterococcus* nativa

Después de la incubación en luz y en oscuridad en la cámara tras la irradiación de dosis UV, al día 1 se visualizó que las muestras sometidas a períodos de luz tuvieron un crecimiento notable respecto a las muestras sometidas a oscuridad. Para verificación de los resultados la Tabla 8 y 9 tienen datos de reactivación de las bacterias tomando en cuenta el recuento de colonias.

Tabla 8: Recuento de colonias después de 1 día de incubación

Fotoreactivación - Luz				
Muestra	Dosis mJ/cm ²	Recuento de colonias	Dilución	Log s
M1	30,41	237	-2	-0,03
		253	-1	-0,01
		289	1	0,02

M2	21,52	303	-2	-1.03
		379	-1	-1.04
		384	1	-1,61
M3	16,84	271	-3	-2,06
		301	-2	-1,85
		330	-1	-2,65
M4	12,63	350	-3	-2,17
		410	-2	-2,12
		572	-1	-2,71
M5	6,08	371	-4	-3,12
		364	-3	-3.02
		578	-2	-3,71
Control	Sin Dosis	376	-5	-3,23
		413	-4	-3,20
		617	-3	-3,98

En la ilustración 18 podemos observar el perfil de inactivación con un comportamiento exponencial decreciente hasta una estabilización, este modelo es un modelo Log Lineal con cola, nos indica que mientras mayor dosis suministrada mayor será las unidades logarítmicas de inactivación de la bacteria en estudio. Por ejemplo, se logra una inactivación de 1,5 de *Enterococcus* nativa con una dosis de 5 mJ/cm², mientras que se logra una inactivación de 3, 90 unidades logarítmicas con una dosis de 31 mJ/cm².

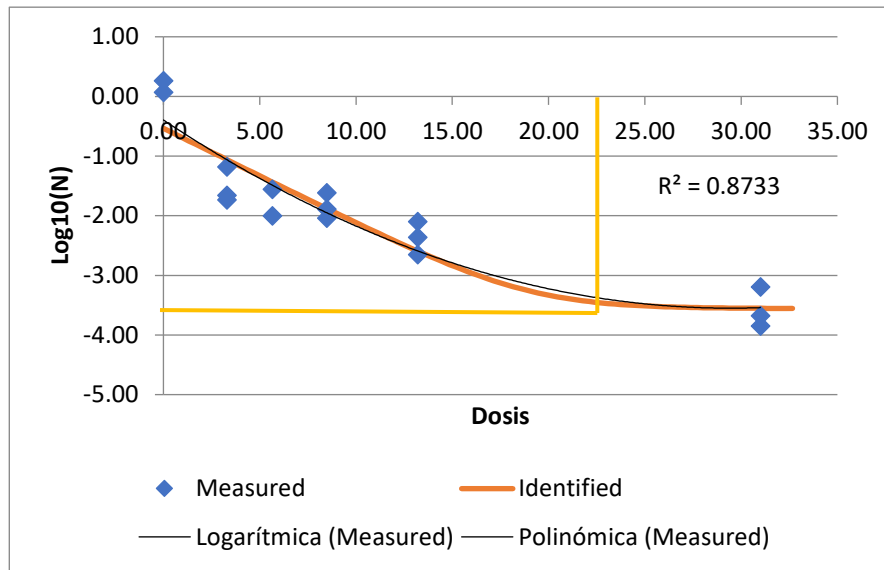


Ilustración 18: Curva de inactivación de la cepa *Enterococcus* nativa, después de la fotoreactivación con Luz

Tabla 9: Resultados del ensayo de reactivación cepa *Enterococcus* nativa después de períodos de oscuridad

Oscuridad				
Muestra	Dosis mJ/cm2	Recuento de colonias	Dilución	Log s
M1	30,41	185	-2	-5,15
		215	-1	-5,27
		285	1	-5,34
M2	21,52	288	-2	-4,02
		354	-1	-4,05
		385	1	-4,14
M3	16,84	155	-3	-3,01
		291	-2	-3,14

		395	-1	-3,86
M4	12,63	156	-3	-2,05
		210	-2	-2,28
		356	-1	-2,41
M5	6,08	218	-4	-2,00
		320	-3	-2,10
		397	-2	-2,26
Control	Sin Dosis	318	-4	-0,19
		318	-4	-0,19
		411	-3	-0,01

En período de obscuridad se logró una inactivación de aproximadamente 5 unidades logarítmicas con una dosis máxima de 31 mJ/cm²

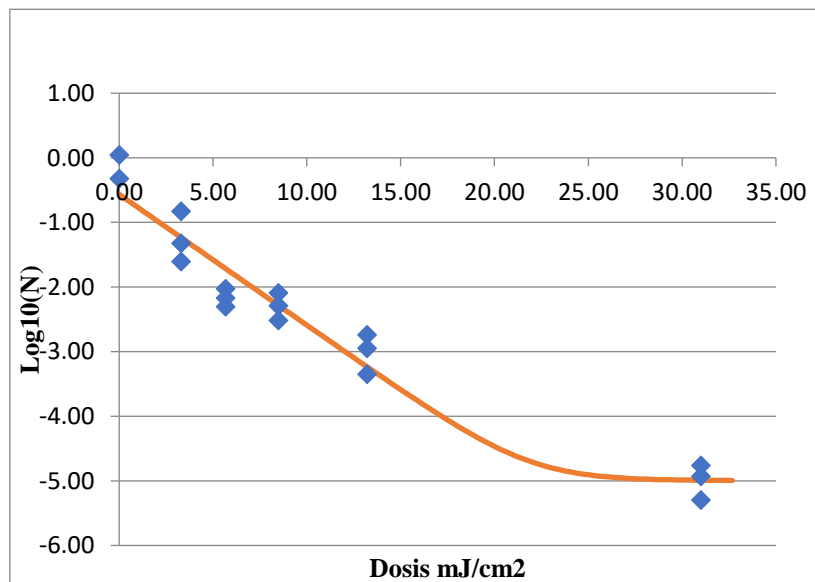


Ilustración 19: Curva de Dosis - Respuesta de inactivación de la cepa *Enterococcus*

En la Ilustración 20 se muestra las curvas de dosis – respuesta para cada ensayo, la tasa de inactivación bajo períodos de luz es menor a comparación de la tasa de inactivación de las muestras sometidas a oscuridad.

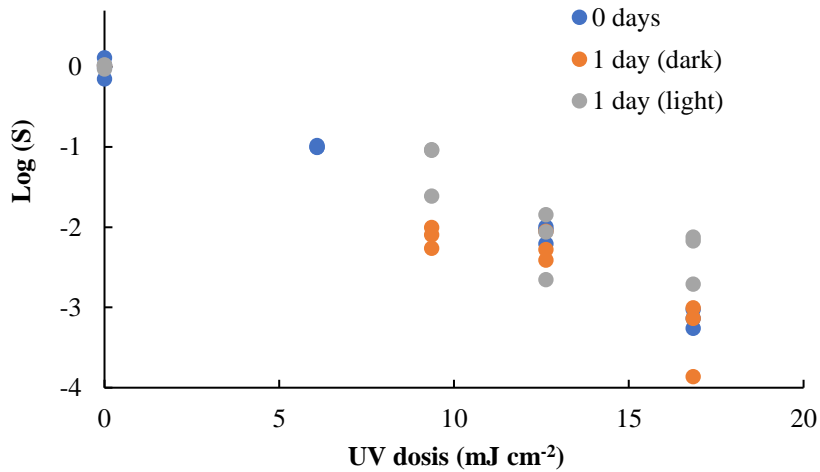


Ilustración 20: Crecimiento microbiano en el día 0 y después de período de fotoreactivación en luz y oscuridad de la cepa *Enterococcus* nativa

Resultados de los ensayos de inactivación de la cepa *Enterococcus* nativa con variaciones de turbidez

En las siguientes tablas se puede visualizar los resultados de los ensayos variando la cantidad de sólidos suspendidos en el agua, los valores promedio aproximados de turbidez usados fueron de 12 y 22 NTU, el principal objetivo de la variación de esta característica física en el agua que será sometida a tratamiento con radiación ultravioleta es demostrar la hipótesis referente a que la cantidad de sólidos disueltos en el agua interfiere con el tratamiento de aguas residuales tratadas con radiación ultravioleta para la eliminación de microorganismos indicadores de contaminación fecal, ya que los sólidos

suspendidos no permiten el contacto directo entre la radiación y el microorganismo que se desea eliminar.

Inactivación de la cepa *Enterococcus* nativa con una Turbidez de 12 NTU

Tabla 10: Mayor dosis suministrada mayor valor de inactivación

Inactivación <i>Enterococcus</i> con Turbidez 12 NTU					
Muestras	Dosis	Recuento colonias	Dilución	Log S	Turbidez
Control	0	137 265	-4	-0,17 -0,12	12
M5	3.6219024	175 150	-3	-1,06 -1,13	12
M4	5.4328536	210 185	-2	-1,98 -2,04	12
M3	6.791067	190 220	-2	-2,02 -1,96	12
M2	12.2239206	34 55	-2	-2,77 -2,56	12
M1	19.0149876	212 197	-1	-2,98 -3,01	12

En la Ilustración 19 se observa el perfil de inactivación de la cepa *Enterococcus* nativa, en este ensayo se logró eliminar 3 unidades logarítmicas de bacteria con una dosis de aproximadamente 19 mJ/cm².

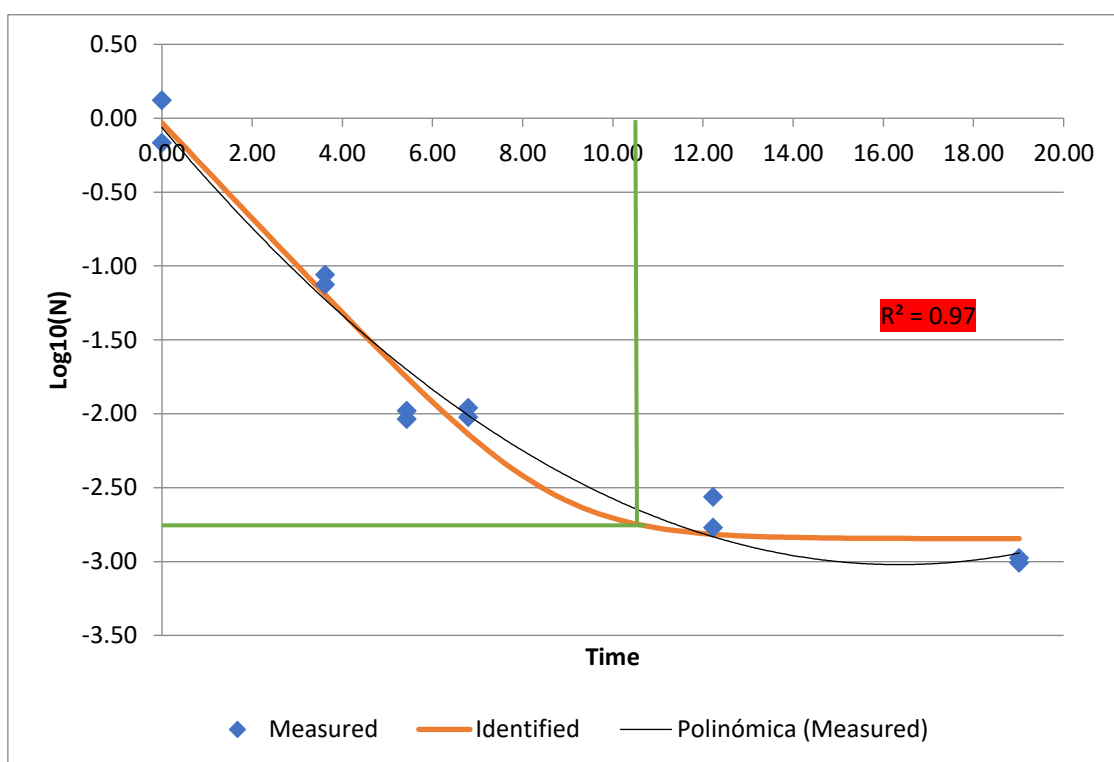


Ilustración 21: Perfil de inactivación de la cepa nativa *Enterococcus* con una turbidez de 12 NTU

Inactivación de la cepa *Enterococcus* nativa con una Turbidez de 22,5 NTU

Tabla 11: Resultados del ensayo de Inactivación con una Turbidez de 22,5 NTU

Inactivación <i>Enterococcus</i> con Turbidez 22,5 NTU					
Muestras	Dosis	Recuento colonias	Dilución	Log S	Turbidez
Control	0	38 301/308	-5 -4 *2	0,06 -0,04/-0,03	22,5
M5	6.518802	20 228/72	-4 -3 *2	-1,22 -1,66/-1,16	22,5
M4	9.9954964	63/92 245	-3*2 -1	-1,72/-1,55 -2,13	22,5
M3	16.0797116	25 125/200	-3 -2 *2	-2,12 -2,42/-2,22	22,5

M2	20.4255796	45 166/222	-2 -1 *2	-2,86 -3,30/-3,17	22,5
M1	26.075208	17 222/391	-1 1 *2	-4,29 -4,17/-3,93	22,5

En la Ilustración 20 podemos observar el perfil de inactivación de la cepa *Enterococcus* sometida a variación de Turbidez, se trabajó con 22, 5 NTU, el modelo utilizado es el modelo clásico logarítmico Lineal, este nos permitió identificar que en este ensayo se logró eliminar hasta 4 unidades logarítmicas con una dosis de aproximadamente 26 mJ/cm².

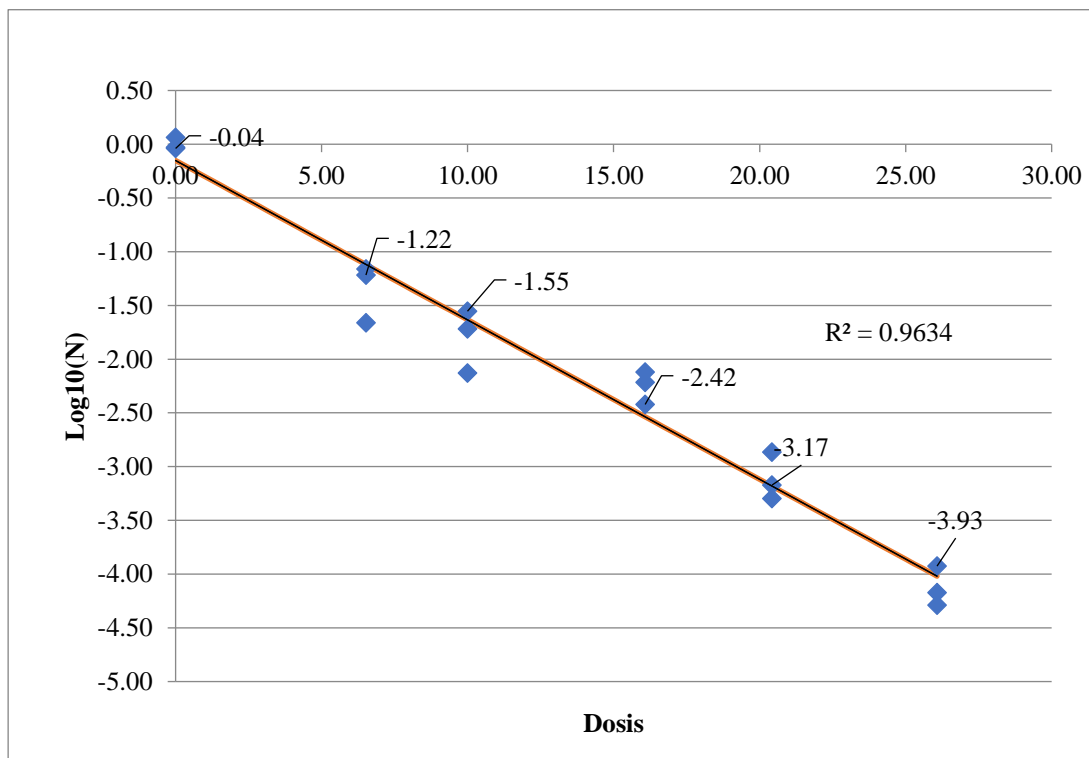
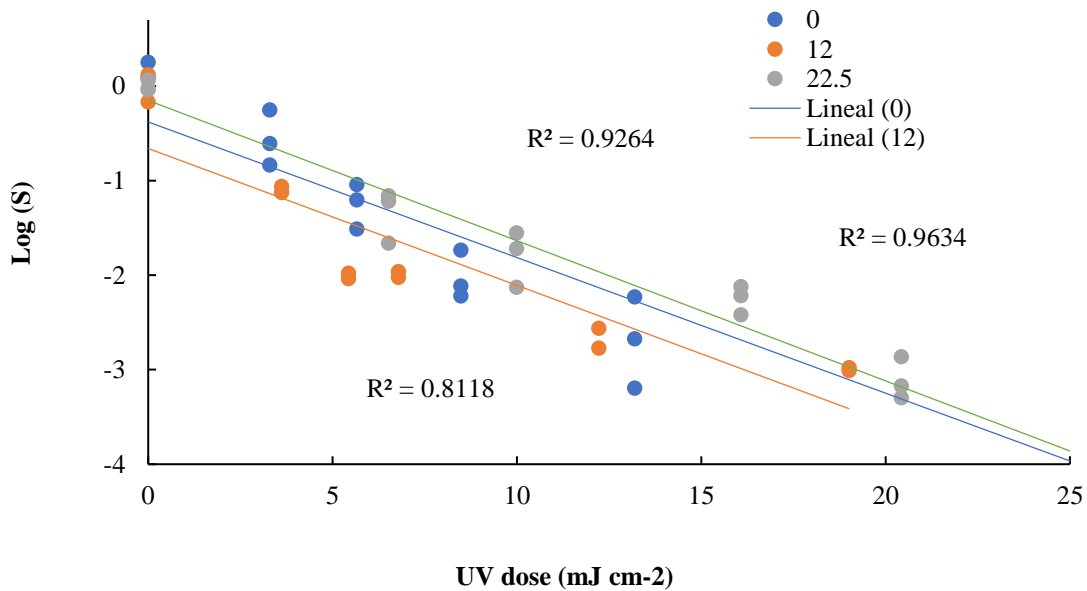


Ilustración 22: Perfil de Inactivación de la cepa *Enterococcus* nativa con turbidez 22, 5 NTU

En la ilustración 21 se muestra el resumen de Inactivación de la cepa *Enterococcus* nativa en el día 0 de tratamiento con radiación ultravioleta, se puede visualizar que se logra mayor valor de inactivación en el ensayo realizado con 0 NTU, mientras que los ensayos con 12 y 22, 5 NTU se reduce el porcentaje de inactivación, pero no de manera significativa, es importante considerar la variación de dosis aplicada en cada ensayo dado que para el ensayo 1, la mayor dosis aplicada es de 30 mJ/cm², el segundo ensayo con turbidez 12 NTU, una dosis de 19 mJ/cm² y finalmente para el ensayo con 30 NTU se logró una dosis de 26 mJ/cm², estas variaciones se producen debido a las fluctuaciones respecto al caudal tratado con el reactor de UV.



Ensayos de reactivación para los ensayos considerando la variación de Turbidez

En la tabla 12 y 13 se muestran los resultados de los ensayos de reactivación de las muestras con turbidez aprox de 12 NTU, después de 1 día sometidas a períodos de luz y oscuridad respectivamente.

Tabla 12: Resultados de los ensayos de reactivación después de 1 día en la cámara de incubación. 12 NTU

Fotoreactivación - Luz					
Muestra	Dosis mJ/cm2	Recuento de colonias	Dilución	Concentración (UFC/mL)	Log s
M1	19.0149876	178	-2	17800	-2.05
		198	-2	19800	-2.01
M2	12.2239206	420	-2	42000	-1.82
		305	-2	30500	-1.68
M3	6.791067	89	-3	89000	-1.47
		68	-3	68000	-1.35
M4	5.4328536	110	-3	110000	-1.31
		98	-3	98000	-1.26
M5	3.6219024	420	-3	420000	-0.68
		510	-3	510000	-0.60
Control	Sin Dosis	22	-5	2200000	0.04
		38	-5	2800000	0.28

En la Ilustración 23 y 24 podemos observar el modelo de inactivación según A.H. Geeraerd, C.H. Herremans, es un modelo estructural para describir la inactivación microbiana durante un tratamiento de desinfección, en el ensayo de fotoreactivación en Luz se logró inactivar hasta aproximadamente 2 unidades logarítmicas con una dosis de

19 mJ/cm², mientras que en el ensayo de reactivación en oscuridad se logró inactivar hasta 3 unidades logarítmicas con la misma dosis.

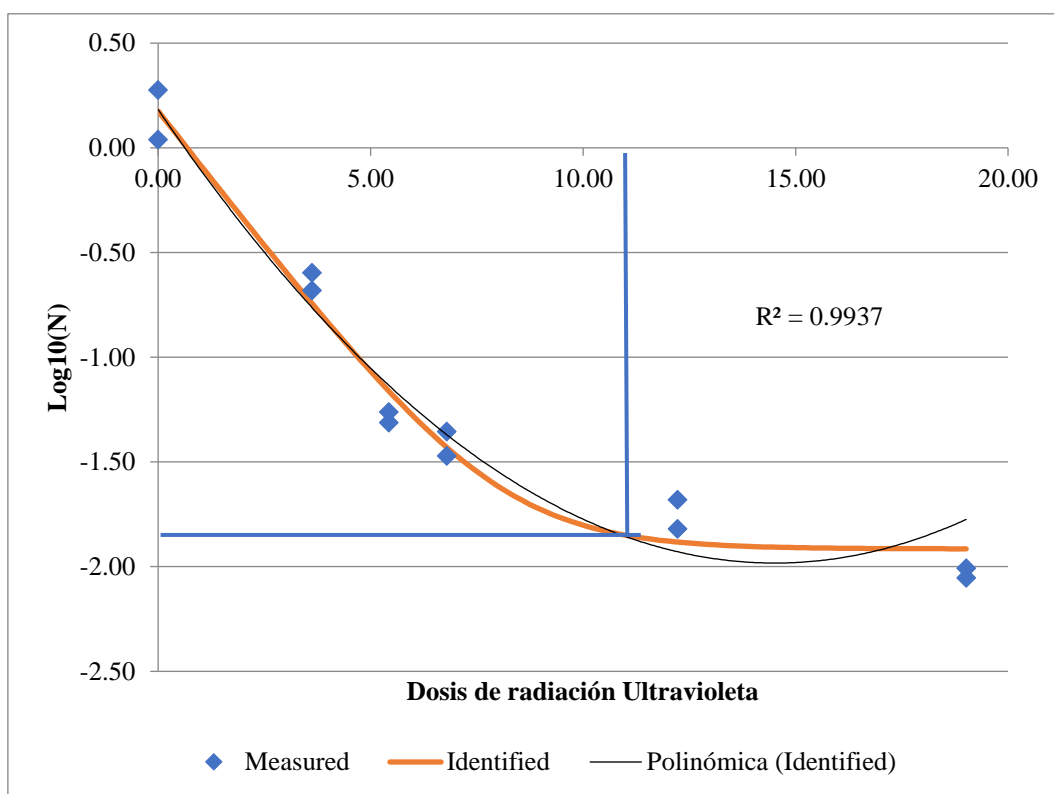


Ilustración 23: Curva de inactivación día 1 Luz, modelo Log Lineal con cola. 12 NTU

Tabla 13: Resultados del ensayo de reactivación durante 1 día de incubación en oscuridad, 12 NTU

Oscuridad					
Muestra	Dosis mJ/cm ²	Recuento de colonias	Dilución	Concentración (UFC/mL)	Log s
M1	19.0149876	201	-1	2010	-3.00
		197	-1	1970	-3.01

M2	12.2239206	98	-2	9800	-2.31
		85	-2	8500	-2.37
M3	6.791067	110	-2	11000	-2.26
		92	-2	9200	-2.34
M4	5.4328536	78	-3	78000	-1.41
		91	-3	91000	-1.34
M5	3.6219024	58	-4	580000	-0.46
		70	-4	700000	-0.54
Control	Sin Dosis	152	-4	1520000	-0.12
		182	-4	1820000	-0.04

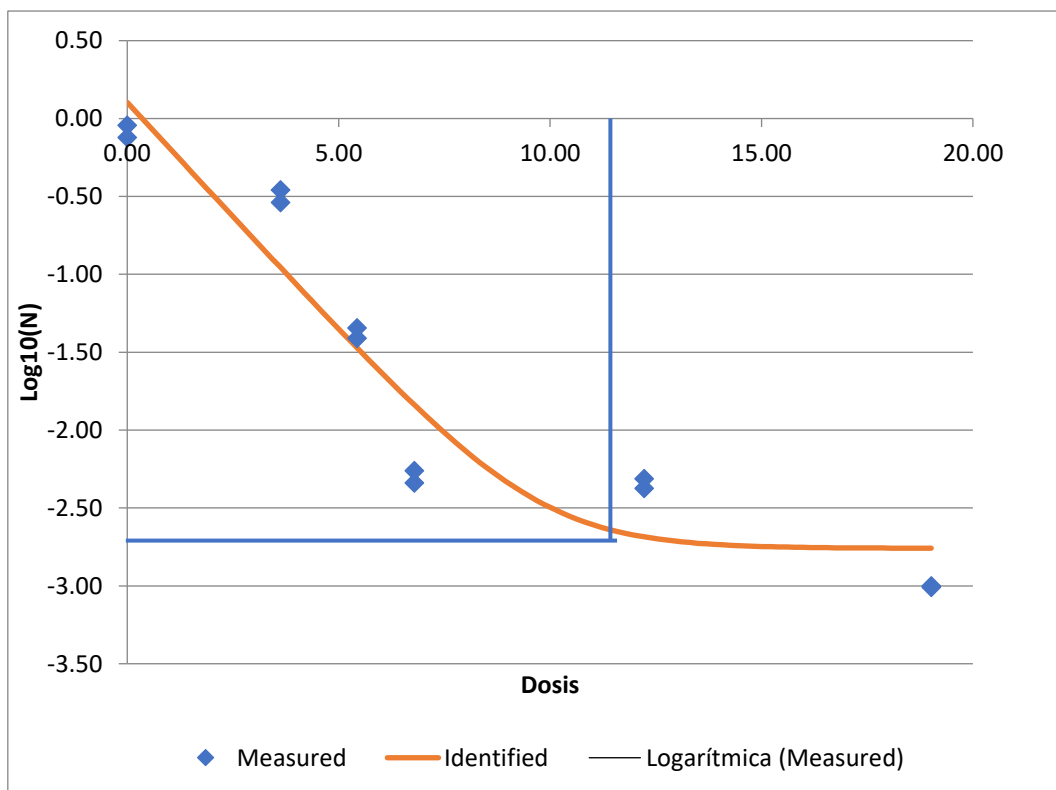


Ilustración 24: Curva de Inactivación de la cepa *Enterococcus* nativa después de 1 día de incubación el período de oscuridad. NTU 12

En la Ilustración 25 podemos observar la diferencia entre la tasa de inactivación lograda el primer día de siembra de las muestras tratadas con radiación ultravioleta en contraste con la tasa de inactividad lograda en las muestras que fueron sometidas a fotoreactivación. De esta manera concluimos que la fotoreactivación es oscuridad tiene mayor efectividad respecto a inactivación de microorganismos indicadores debido a que el daño producido por la radiación ultravioleta nos les permite repararse y reproducirse, y que los organismos que son sometidos a luz a pesar de ser sometidos a la misma cantidad de radiación tienen la capacidad de reactivarse y reproducirse.

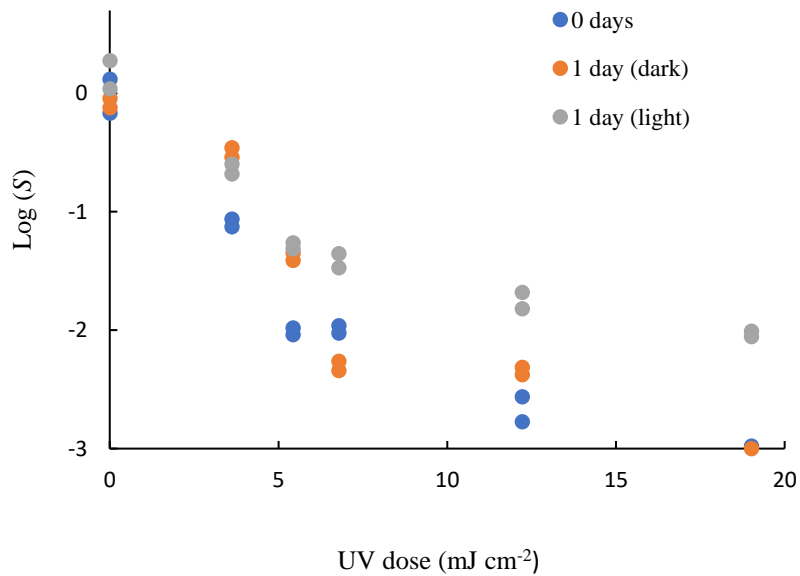


Ilustración 25: Resumen de curvas de inactivación, tomando en cuenta día 0, día 1 de luz y oscuridad. 12 NTU

En la tabla 14 y 15 se muestran los resultados de los ensayos de reactivación de las muestras con turbidez aprox de 22,5 NTU, después de 1 día sometidas a períodos de luz y oscuridad respectivamente.

Tabla 14: Reactivación después de 1 día de incubación en Luz. 22,5 NTU

Fotoreactivación - Luz					
Muestra	Dosis mJ/cm²	Recuento de colonias	Dilución	Concentraci ón (UFC/mL)	Log s
M1	26.075208	120	-2	12000	-2,44
		207	-1 *2	2070	-2,98
		342		3420	-3,20
M2	20.4255796	73	-2	7300	-2,65
		142	-1 * 2	1420	-3,37
		280		2800	.3,07
M3	16.0797116	39	-3	39000	-1,93
		92	-2 *2	9200	-2,55
		138		13800	-2,38
M4	9.9954964	55	-3	55000	-1,78
		110	-2 *2	11000	-2,48
		180		18000	-2,26
M5	6.518802	6	-4	60000	-1,74
		89	-3	89000	-1,57
		257	-2	25700	-2,11
Control	Sin Dosis	42	-5	4200000	0,11

		268/258	-4*2	2680000	-0,09
				2580000	-0,11

En la Ilustración 25 podemos observar que en el ensayo de reactivación después de 1 día sometidas las muestras a Luz, estas presentaron una tasa de inactivación de aproximadamente 2,70 unidades logarítmicas con una dosis de aproximadamente 26 mJ/cm²

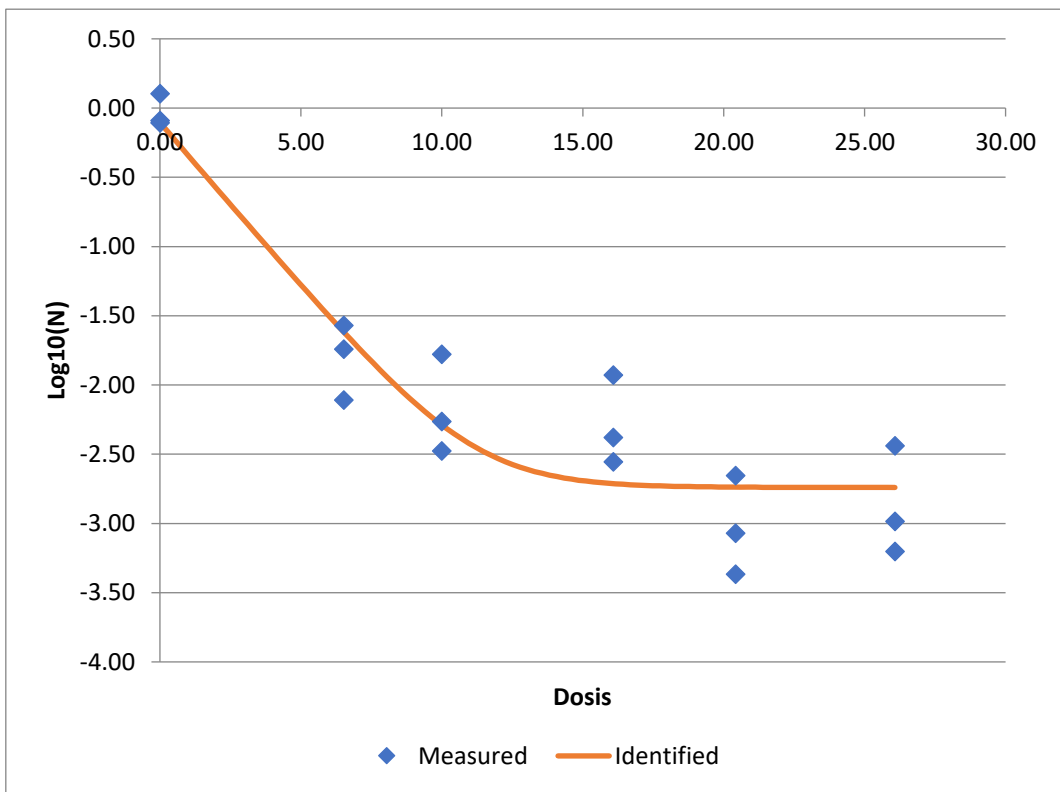


Ilustración 26: Curva de dosis – respuesta después de 1 día de incubación en Luz. 22,5 NTU

Tabla 15: Resultados de la reactivación después de 1 día de oscuridad. 22,5 NTU

Oscuridad					
Muestra	Dosis mJ/cm2	Recuento de colonias	Dilución	Concentraci ón (UFC/mL)	Log s
M1	26.075208	101	-2	1010	-3,51
		201	-1	2010	-3,21
		250	1	250	-4.12
M2	20.4255796	81	-2	8100	-2,61
		100	-1 * 2	100 /2150	-3,52/-3,19
		215			
M3	16.0797116	42	-3	42000	-1,89
		189 /97	-2 *2	189 /9700	-2,53/-2,26
M4	9.9954964	82	-3	82000	-1,60
		100/141	-2 *2	100/14100	-2,52/-2,37
M5	6.518802	29	-4	290000	-1,06
		108/205	-3 *2	108/205000	-1,48/-1,21
Control	Sin Dosis	14	-5	1400000	-0,37
		117/223	-4*2	117/2230000	-0,45/-0,17

En la Ilustración 26 se puede observar que en el ensayo de reactivación después de 1 día de oscuridad en la cámara de incubación, las muestras presentan un mayor porcentaje de inactivación que las muestras sometidas a luz e incluso presentan mayor inactivación que el ensayo realizado en el día 0.

En este ensayo se logró inactivar hasta 4 unidades logarítmicas con una dosis de 26 mJ/cm²

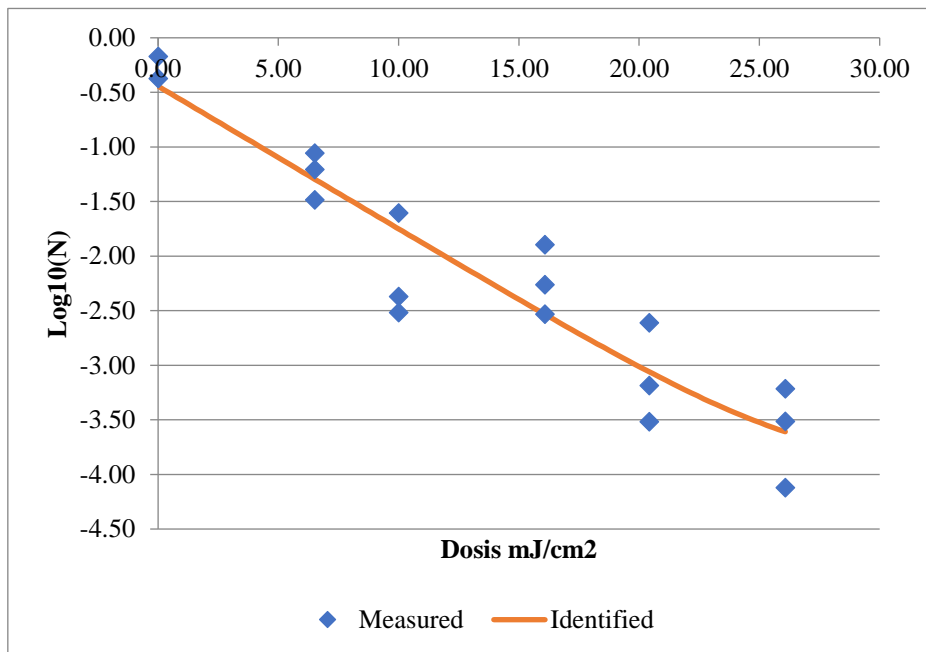


Ilustración 27: Curva de inactivación después de 1 día en oscuridad. 22,5 NTU

En la Ilustración 28 podemos observar la diferencia entre la tasa de inactivación lograda el primer día de siembra de las muestras tratadas con radiación ultravioleta en contraste con la tasa de inactividad lograda en las muestras que fueron sometidas a fotoreactivación. De esta manera concluimos que la fotoreactivación es oscuridad tiene mayor efectividad, se logró reducir hasta 4 unidades logarítmicas de bacteria con una dosis de 26 mJ/cm² mientras que las curvas de inactivación para el día 1 en Luz se obtuvo una reducción de 2,7 unidades logarítmicas con la misma dosis.

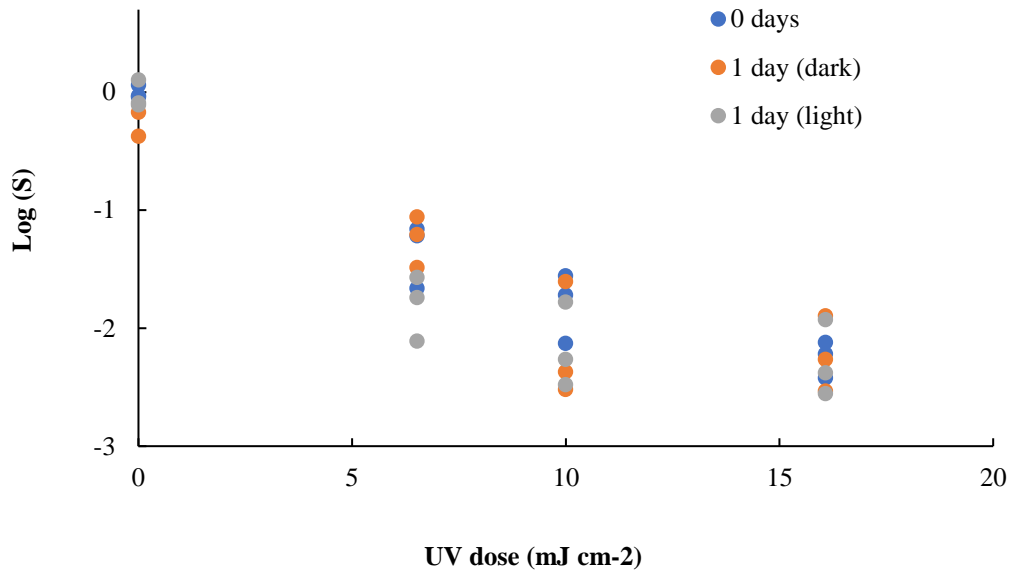


Ilustración 28: Resumen de curvas de inactivación, tomando en cuenta día 0, día 1 de luz y oscuridad. 22,5 NTU

Grafica para el análisis de la interferencia de la Turbidez

En la Ilustración 29 podemos observar, tomando en cuenta unas dosis de 15 mJ/cm², que con una turbidez de 0 NTU se logró desactivar 3, 2 unidades logarítmicas de bacteria, para las muestras con 12 NTU se logró la inactivación de 2,8 unidades logarítmicas, mientras que las muestras con turbidez de 22, 5 NTU mostraron una reducción en la inactivación, obteniendo así una inactivación de más de 2,5 unidades logarítmicas.

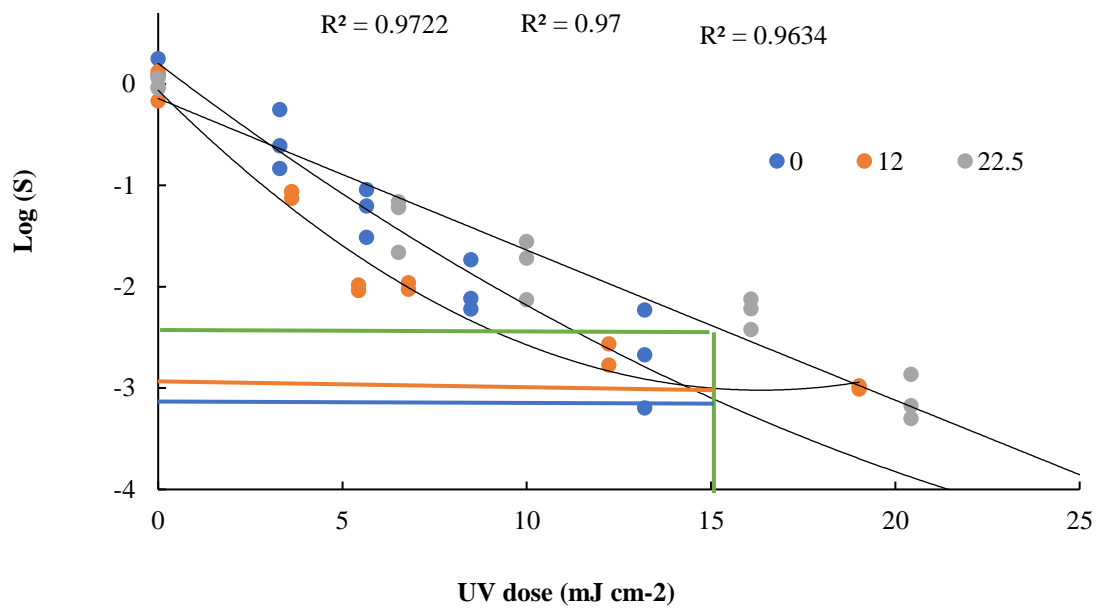


Ilustración 29: Curvas de dosis - respuesta logradas en el día 0 de inactivación, tomando en consideración la concentración de solidos suspendidos en el agua tratada

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES

Esta investigación ha resultado de gran interés debido a que es un tratamiento de aguas residuales que está en auge debido a sus múltiples beneficios, tomando en cuenta que los actuales métodos de desinfección según información consultada podrían causar severos daños a la salud de la población y los ecosistemas. Con los ensayos realizados nos hemos permitido comprender el comportamiento de los microorganismos, en este caso organismos indicadores de contaminación fecal, frente al tratamiento con luz ultravioleta y adicional se tomó en consideración como afecta la cantidad de sólidos disueltos a este proceso de desinfección.

Se ha demostrado que la luz ultravioleta tiene una gran efectividad germicida, el tiempo necesario para que la luz ultravioleta cause daño en el ADN de los patógenos es relativamente corto en comparación con otras tecnologías de desinfección que requieren de más contacto con los microorganismos, pero esta se ve afectada por la presencia de sólidos disueltos que no permiten el contacto directo con el microorganismo.

Respecto a la turbidez se ha constatado que durante los ensayos realizados en el día cero de inactivación no hay mayor interferencia por parte de los sólidos suspendidos durante el tratamiento con radiación UV, sin embargo, los datos de reactivación en el día 1 tanto en fotoreactivación como en oscuridad, demuestran que la turbidez si bien no afecta totalmente en el proceso de desinfección, si causa deficiencia en el daño producido en el ADN de las bacterias por lo que estas tienen mayor capacidad de reactivación. Es decir, a mayor turbidez los patógenos tienen la capacidad de reactivarse tras haber recibido dosis de radiación ultravioleta.

Se logró inactivar 2,9 unidades logarítmicas de la cepa *E. coli* nativa con una dosis UV de 54,93 (mJ/cm²), siendo esta la mayor tasa de inactivación conseguida durante los ensayos experimentales, en cambio con una dosis UV de 13,73 (mJ/cm²) se obtiene una mínima tasa de inactivación de 0,40 unidades logarítmicas.

Se logró inactivar hasta 4 unidades logarítmicas de la cepa *Enterococcus* nativa con una dosis de 25 mJ/cm², esta muestra tenía 0 NTU. En la muestra que tenía 12 NTU se logró inactivar hasta 3 unidades logarítmicas con una dosis de 19 mJ/cm² y por último se logró inactivar 2,70 unidades logarítmicas con una dosis de 26 mJ/cm², en la muestra con 22,5 NTU.

RECOMENDACIONES

Se recomienda tomar en cuenta las características químicas y físicas del agua antes de empezar el tratamiento con radiación ultravioleta, debido a que el agua con mejores características mejora la eficiencia del tratamiento, demostrando así la importancia de los tratamientos primarios y secundarios que preceden a la desinfección.

Durante los ensayos es necesario mantener todas las áreas de experimentación estériles ya que las muestras son muy propensas a la contaminación cruzada, de esta manera se evita resultados inexactos.

Para la siembra de las bacterias siempre será mejor utilizar medios de cultivo específicos para cada cepa, así evitamos el desarrollo de otro tipo de microorganismos que dificultan el conteo de colonias o que pueden causar confusiones.

Respecto al uso del inóculo microbiano, siempre es buena idea considerar las curvas de crecimiento y muerte de las bacterias, es mejor trabajar para cada ensayo con inóculos frescos que nos permitan empezar cada ensayo con una cantidad estable de bacterias.

Se recomienda continuar con la investigación para evaluar qué pasa con los procesos de reactivación durante más días expuestos a condiciones de luz y oscuridad.

CAPÍTULO VII

BIBLIOGRAFÍA

Las aguas residuales en la agricultura y ganadería. (2018, enero 4). *TÉRMINOS Y DEFINICIONES*. <https://blog.fibrasynormasdecolombia.com/las-aguas-residuales-de-origen-agricola-y-ganadero/>

20.7% del agua que se consume en Ecuador está contaminada—Ecuador | ReliefWeb. (2017, mayo 30). <https://reliefweb.int/report/ecuador/207-del-agua-que-se-consume-en-ecuador-est-contaminada>

Aerzen. (2022). *Los procesos básicos del tratamiento de las aguas residuales*. <https://www.aerzen.com/es/aplicaciones/agua-y-tratamiento-de-aguas-residuales/asesoramiento-para-el-tratamiento-de-aguas-residuales/procesos-del-tratamiento-de-las-aguas-residuales.html>

Aguilar Escalante, S. (2019, marzo 14). Tratamientos primario, secundario y terciario en la depuración de agua residual. *Axisima®*, *ingeniería y medio ambiente*. <http://axisima.com/tratamientos-primario-secundario-y-terciario-en-la-depuracion-de-agua-residual/>

Aguilar Rivera, C. (2007). *MODELACIÓN DEL CRECIMIENTO EN CULTIVO MIXTO DE BACTERIAS ÁCIDO LÁCTICAS Y PATÓGENAS ASOCIADAS A ALIMENTOS*. 198.

Albícker, C. (2002). *El ozono y la Formación de Bromatos—Agua Latinoamérica*. yumpu.com. <https://www.yumpu.com/es/document/read/46579372/el-ozono-y-la-formacion-de-bromatos-agua-latinoamerica>

Alemany, J. (2004, octubre 1). *Tratamiento físico-químico compacto de aguas residuales industriales*. Interempresas. <https://www.interempresas.net/Reciclaje/Articulos/9137-Tratamiento-fisico-quimico-compacto-de-aguas-residuales-industriales.html>

Álvarez, J. de D. (2010). *DESINFECCIÓN DE AGUA DE TORRES DE REFRIGERACIÓN CON*. 195.

Ambientum. (2022). *Características físicas y organolépticas—Enciclopedia Medioambiental*. Ambientum Portal del Medioambiente. <https://www.ambientum.com/>

AQUAE. (s. f.). *El agua en la historia de la humanidad*. Fundación Aquae. Recuperado 23 de julio de 2022, de <https://www.fundacionaquae.org/historia-del-agua/>

Arcos Pulido, M. D. P., Ávila de Navia, MSC, S. L., Estupiñán Torres, MSC, S. M., & Gómez Prieto, A. C. (2005). Indicadores microbiológicos de contaminación de las fuentes de agua. *Nova*, 3(4), 69. <https://doi.org/10.22490/24629448.338>

Arregui, F. (2022, enero 11). *Importancia del tratamiento de aguas residuales*. Contyquim. <https://contyquim.com/blog/importancia-del-tratamiento-de-aguas-residuales>

Bautista Olivas, A. L., Tovar Salinas, J. L., Mancilla Villa, Ó. R., Magdaleno Flores, H., Ramírez Ayala, C., Arteaga Ramírez, R., & Vázquez Peña, M. A. (2013). Calidad microbiológica del agua obtenida por condensación de la atmósfera en Tlaxcala, Hidalgo y Ciudad de México. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 29(2), 167-175.

BBVA. (2021, octubre 21). ¿Qué son y cómo se pueden clasificar las aguas residuales? *BBVA NOTICIAS*. <https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/que-son-y-como-se-pueden-clasificar-las-aguas-residuales/>

Bluegold. (2021, junio 1). *Luz ultravioleta aplicada al tratamiento de aguas residuales*. Blue Gold. <https://www.bluegold.es/luz-ultravioleta-para-la-purificacion-del-agua-residual/>

Brault Jean Martin & Iris Marmanillo. (2020, marzo 19). *Tres soluciones para una mejor gestión de las aguas residuales en Guayaquil, Ecuador*. <https://blogs.worldbank.org/es/latinamerica/tres-soluciones-para-una-mejor-gestion-de-las-aguas-residuales-en-guayaquil-ecuador>

Castellanos, P. M. A., Camargo, C. A. C., & Granados, N. R. P. (2015). Análisis de interferencia de parámetros físicos del agua, en desinfección por radiación UV. *Revista de Tecnología*, 14(2), 105-112. <https://doi.org/10.18270/rt.v14i2.1874>

Cedeño Pincay, J. A. (2018). *Diseño de filtros Grava-Arena-Carbón para el tratamiento de aguas lluvias almacenadas en cisternas de viviendas unifamiliar en zonas Rurales de Jipijapa*". 89.

Correa, M., Mera, S., Guacho, F., Villarreal, E., & Valencia, S. (2020). Desinfección mediante el uso de luz UV-C germicida en diferentes medios como

estrategia preventiva ante la COVID-19. *Minerva*, 1(2), 46-53.
<https://doi.org/10.47460/minerva.v1i2.11>

Crecimiento bacteriano. Modelos predictivos de ComBase. (s. f.). Recuperado 31 de julio de 2022, de http://coli.usal.es/web/demos/demo_alteracion/FactoresCrecimiento/FactoresCrecimiento.html

Cruz, A. C. P., & Martínez, P. C. C. (s. f.). EL RECURSO AGUA EN EL ENTORNO DE LAS CIUDADES SUSTENTABLES. *Cultura Científica y Tecnológica*, 31, Article 31. Recuperado 23 de julio de 2022, de <http://erevistas.uacj.mx/ojs/index.php/culcyt/article/view/341>

Dávila, I. S., Balao, J. A. A., María, J., Alonso, Q., & Sanz, E. N. (2002). *Desinfección de aguas residuales urbanas mediante radiación ultravioleta: Aplicación en la EDAR de Jerez de la Frontera.* 227, 10.

De Sousa, C., Correia, A., & Colmenares, M. C. (2010). Corrosión e incrustaciones en los sistemas de distribución de agua potable: Revisión de las estrategias de control. *Boletín de Malariología y Salud Ambiental*, 50(2), 187-196.

Desinfección Ultra Violeta. (s. f.). Tratamiento de Aguas, Osmosis Inversa, Filtros Autolimpiantes, Ablandadores. Recuperado 29 de julio de 2022, de <https://ecoionics.com/#!/-desinfeccion-uv/>

Díaz Delgado, C. (2003). *Agua potable para comunidades rurales, reúso y tratamientos avanzados de aguas residuales domésticas.* RIPDA-CYTED. <https://books.google.com.ec/books?id=hnY9MwEACAAJ>

Díaz Pérez, M., Rodríguez Martínez, C., & Zhurbenko, R. (2010). Aspectos fundamentales sobre el género *Enterococcus* como patógeno de elevada importancia en la actualidad. *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*, 48(2), 147-161.

Díaz Pérez, M., Zhurbenko, R., Lobaina Rodríguez, T., Quiñones Pérez, D., & Rodríguez Martínez, C. (2014). Determinación cuantitativa de enterococos en aguas utilizando un método cromogénico alternativo. *Revista Cubana de Investigaciones Biomédicas*, 33(1), 1-11.

Echeverría, K., & Centeno Cuadra, R. (2020, junio 8). *Características Físicas, Químicas y Biológicas en el Agua Potable que deben controlarse*. TecnoSoluciones Integrales - TSI Group. <https://tecnosolucionescr.net/blog/215-caracteristicas-fisico-quimicas-y-biologicas-en-el-agua-potable-que-deben-controlarse>

Ecoionics. (s. f.). *Desinfección Ultra Violeta*. Tratamiento de Aguas, Osmosis Inversa, Filtros Autolimpiantes, Ablandadores. Recuperado 29 de julio de 2022, de <https://ecoionics.com/#!/-desinfeccion-uv/>

Elizabeth, V. L. J. (s. f.-a). *DISEÑO DE UN PROCESO BIOLÓGICO COMO MEDIDA DE REMEDIACIÓN DE LAS AGUAS DEL RÍO EL ROSARIO DE LA CIUDAD DE QUITO*. 118.

Escalante Pozos, V., & Bandala, R. (2014). *Calidad del agua y su relación con alimentos: Aplicación de procesos Fenton y tipo Fenton en la eliminación de contaminantes en agua*.

Espigares García, M., & Pérez López, J. (1985). *AGUAS RESIDUALES*. 22.

Espinoza Mora, L. M. (2021). *Estudio de los procesos de desinfección UV; cinéticas de inactivación y reactivación en bacterias E. coli*. 111.

FAO. (2019, marzo 22). *Escasez de agua: Uno de los mayores retos de nuestro tiempo* [Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura]. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <http://www.fao.org/fao-stories/article/es/c/1185408/>

FAO. (2022, junio 19). *FAO - Noticias: Los contaminantes agrícolas: una grave amenaza para el agua del planeta.* <https://www.fao.org/news/story/es/item/1141818/icode/>

Fibras y Normas de Colombia S.A.S. (2018, enero 4). ▷ Las aguas residuales en la agricultura y ganadería. *TÉRMINOS Y DEFINICIONES.* <https://blog.fibrasynormasdecolombia.com/las-aguas-residuales-de-origen-agricola-y-ganadero/>

Galvín, D. R. M. (s. f.). *CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS DE LAS AGUAS.* 38.

Genesis Water Tech. (2020, febrero 27). Tipos comunes de lámparas UV para la desinfección ultravioleta. *Genesis Water Technologies.* <https://es.genesiswatertech.com/entrada-en-el-blog/tipos-de-l%C3%A1mparas-ultravioleta-uv/>

Giraldo, L. F. G., Franco, E. A. M., & Arango, J. J. S. (2004). *La fotocatalisis como alternativa para el tratamiento de aguas residuales.* 11.

Glosario: Bromato. (s. f.). Recuperado 31 de julio de 2022, de <https://www.greenfacts.org/es/glosario/abc/bromato.htm>

Grupo Banco Mundial. (2020, marzo 19). *El agua residual puede generar beneficios para la gente, el medioambiente y las economías.* [Text/HTML]. World Bank.

<https://www.bancomundial.org/es/news/press-release/2020/03/19/wastewater-a-resource-that-can-pay-dividends-for-people-the-environment-and-economies-says-world-bank>

Halma Company. (2022). Ultravioleta explicado—La luz UV es un componente natural. *Berson, Hanovia & Aquionics UV*. <https://www.weuvcare.com/es/uv-education/>

Helios Quartz. (2022). Lámparas UV a Baja Presión | Amalgam Lámparas. *Helios Quartz*. <https://www.heliosquartz.com/prodotti/lampade-uv-a-bassa-pressione-ad-amalgama/?lang=es>

Hutton, G., & Varughese, M. (2016). *The Costs of Meeting the 2030 Sustainable Development Goal Targets on Drinking Water, Sanitation, and Hygiene*. World Bank, Washington, DC. <https://doi.org/10.1596/K8543>

Izquierdo, M. A. S. (2018, septiembre 4). *La importancia del agua en el planeta y como cuidarla* [Text]. iAgua; iAgua. <https://www.iagua.es/noticias/imta/importancia-agua-planeta-y-como-cuidarla>

Lander Rodríguez, J. (2020, diciembre 15). *El proceso de tratamiento de aguas residuales y eliminación de contaminantes emergentes* [Text]. iAgua; iAgua. <https://www.iagua.es/blogs/lander-rodriguez-jorge/proceso-tratamiento-aguas-residuales-y-eliminacion-contaminantes>

Las aguas residuales. (s.f.). Recuperado 27 de julio de 2022, de http://mimosa.pntic.mec.es/vgarci14/aguas_residuales.htm

López, L. (2016). *Curva de crecimiento Bacteriano en la producción de proteínas recombinantes*. 27.

Lorenzo Heyer, Olga Ramos, Patricio Rivera, Blanca Castro, & Francisco de la Garza. (2008, abril). *Water quality and public health in the central area of Tamaulipas* [Revista Científica]. ProQuest. <https://www.proquest.com/openview/37eac902b858fecedda0c2a499f73714b/1?pq-origsite=gscholar&cbl=2069501>

Marín Galvín, R. (2008). *CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS DE LAS AGUAS*. 38.

Márquez, B. F. de. (2016, agosto 23). *¿Qué son las Aguas Negras?* [Text]. iAgua; iAgua. <https://www.iagua.es/blogs/bettys-farias-marquez/que-son-aguas-negras-0>

Medina Coello, J. (2018). *CAPITULO 4 ANÁLISIS DE UN REACTOR DE COLIMACIÓN PARA DESINFECCIÓN UV. - PDF Descargar libre*. <https://docplayer.es/74339555-Capitulo-4-analisis-de-un-reactor-de-colimacion-para-desinfeccion-uv.html>

Moreno, J. A., Romero Martínez, L., Acevedo Merino, A., & Nebot, E. (2017). *TRATAMIENTOS BASADOS EN LUZ ULTRAVIOLETA PARA AGUAS DE LASTRE COMO OPCIÓN VIABLE HACIA EL CONTROL DE ESPECIES INVASORAS EN LA BAHÍA DE ALGECIRAS*. 14.

Muñoz, J. A. B. (2015). La práctica nos compromete con la humanidad y el mundo. *Boletín Informativo CEI*, 2(2), Article 2. <https://revistas.umariana.edu.co/index.php/BoletinInformativoCEI/article/view/804>

NIH. (2022). *Bacteria | NHGRI*. Genome.gov. <https://www.genome.gov/es/genetics-glossary/Bacteria>

Nuevo, D. (2018). *Tratamiento secundario de aguas residuales*.
<https://www.tecpa.es/edar-tratamiento-secundario-depuracion-aguas/>

Oceane Bidault. (2018). *¿Qué es la luz ultravioleta y para qué sirve?* Waterlogic.
<https://www.waterlogic.es/blog/que-es-la-luz-ultravioleta/>

OMS. (1995). *Guías para la calidad del agua potable*. (Segunda, Vol. 1).
Organización Panamericana de la Salud, Oficina Sanitaria Panamericana, Oficina
Regional de la Organización Mundial de la Salud.

OMS. (2022, de marzo del). *Agua para consumo humano*.
<https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>

ONG. (2018). *Aguas negras: ¿qué son y cómo pueden tratarse?*
<https://www.accioncontraelhambre.org/es/aguas-negras-que-son>

Oppezzo, O. (2020, julio 10). *Radiación ultravioleta para reducir la propagación
de SARS-CoV-2*. [https://www.intramed.net/96377/Radiacion-ultravioleta-para-reducir-
la-propagacion-de-SARS-CoV-2](https://www.intramed.net/96377/Radiacion-ultravioleta-para-reducir-la-propagacion-de-SARS-CoV-2)

Parámetros Físicos—Parámetros de Caracterización del Agua. (s. f.).
Recuperado 28 de julio de 2022, de [https://1library.co/article/par%C3%A1metros-
f%C3%ADsicos-par%C3%A1metros-de-caracterizaci%C3%B3n-del-agua.yd7x7mgy](https://1library.co/article/par%C3%A1metros-f%C3%ADsicos-par%C3%A1metros-de-caracterizaci%C3%B3n-del-agua.yd7x7mgy)

Peñaherrera Guevara, T. S. (2017). *Diseño de tratamiento primario para agua
residual de producción de látex concentrado*.
<http://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/6578>

Pérez López, E. (2016). Control de calidad en aguas para consumo humano en la
región occidental de Costa Rica. *Revista Tecnología en Marcha*, 29(3), 3-14.
<https://doi.org/10.18845/tm.v29i3.2884>

Puig Caldes, J. (2020, enero 10). Conoce los tipos de aguas residuales. *deagua*.
<https://blogdeagua.es/conoce-los-tipos-de-aguas-residuales/>

Pulido, M. del P. A., Sara Lilia Ávila de Navia, M. S. C., Sandra Mónica Estupiñán Torres, M. S. C., & Prieto, A. C. G. (2005a). Indicadores microbiológicos de contaminación de las fuentes de agua. *Nova*, 3(4), 69-79.
<https://doi.org/10.22490/24629448.338>

Pullés, M. R. (2014). *Microorganismos indicadores de la calidad del agua potable en cuba*. 45, 13.

Puritec. (2022). Desinfección de agua con luz ultravioleta UV - Como funciona. *Tratamiento de agua*. <https://www.manantialwater.com.mx/purificacion/desinfeccion-de-agua-con-luz-ultravioleta/>

Ramírez, C. A. S. (2021). *Calidad del agua: Evaluación y diagnóstico*. Ediciones de la U.

Ramos Pereira Xavier. (2020, diciembre 20). *Uso del agua es ineficiente en Ecuador*. El Universo. <https://www.pressreader.com/ecuador/el-universo/20201220/281500753852240>

Raworth, K. (2012). *Un espacio seguro y justo para la humanidad: ¿Podemos vivir dentro del donut?* 32.

Reyes, G. (2016). *Uso del cloro en las plantas de tratamiento de aguas residuales domesticas: Desinfección y formación de subproductos*. 94.

Ríos Tobón Sandra, Gutiérrez Builes Lina, & Agudelo Cadavid Ruth. (2017). Patógenos e indicadores microbiológicos de calidad del agua para consumo humano. *Revista Facultad Nacional de Salud Pública*, 35(2), 236-247.

<https://doi.org/10.17533/udea.rfnsp.v35n2a08>*Nacional de Salud Pública*, 35(2), 236-247. <https://doi.org/10.17533/udea.rfnsp.v35n2a08>

Roca, A. J. (2013). John Snow: Desarrollos metodológicos en Epidemiología. *Medicina*, 35(2), 155-167.

Rock, C., & Rivera, B. (2014). *La Calidad del Agua, E. coli y su Salud*. 5.

Rodríguez, M. J., Rodríguez, G., Serodes, J., & Sadiq, R. (2007). Subproductos de la desinfección del agua potable: Formación, aspectos sanitarios y reglamentación. *Interciencia*, 32(11), 749-756.

Rosales, J. (2015). El agua en el futuro de la humanidad. *Guayana Sustentable*, 7, 63-63.

Rossel Bernedo, L. J., Ferro, M., Zapana Quispe, R. R., Ferro Gonzales, A. L., Zapana Quispe, R. R., & Rossel Bernedo, L. A. (2020). Radiación ultravioleta-c para desinfección bacteriana (coliformes totales y termotolerantes) en el tratamiento de agua potable. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 22(1), 68-77. <https://doi.org/10.18271/ria.2020.537>

Sánchez, J. (2020). *Qué es la tierra de diatomeas y para qué sirve*. [ecologiaverde.com. https://www.ecologiaverde.com/que-es-la-tierra-de-diatomeas-y-para-que-sirve-1687.html](https://www.ecologiaverde.com/que-es-la-tierra-de-diatomeas-y-para-que-sirve-1687.html)

Sánchez, M., Villalobos, N., & Gutiérrez, E. (2012). *Diseño de un equipo de desinfección por luz ultravioleta para el tratamiento de aguas residuales*. 8.

Solarte, Y., Salas, M. L., Sommer, B., Dierolf, C., & Wegelin, M. (1997a). Uso de la radiación solar (UV-A y temperatura) en la inactivación del *Vibrio cholerae* en agua

para consumo humano. Factores que condicionan la eficiencia del proceso. *Colombia Médica*, 28(3), 123-129. <https://doi.org/10.2510/colomb>

Solís Castro, Y., Zúñiga Zúñiga, L. A., & Mora Alvarado, D. (2018). La conductividad como parámetro predictivo de la dureza del agua en pozos y nacientes de Costa Rica. *Revista Tecnología en Marcha*, 31(1), 35. <https://doi.org/10.18845/tm.v31i1.3495>

Spena Group. (2016, diciembre 11). Planta de Tratamiento de Aguas Residuales—PTAR. *SPENA GROUP Tratamiento de Aguas Residuales*. <https://spenagroup.com/planta-tratamiento-aguas-residuales-ptar/>

SysOp. (s. f.). *Tratamiento secundario – TSS Internacional*. Recuperado 30 de julio de 2022, de <http://tssinternacional.com/tratamiento-secundario/>

Tavares. (2011, noviembre 21). *Las aguas residuales no tratadas contienen virus desconocidos hasta la fecha—El Agua*. <https://www.madrimasd.org/blogs/remtavares/2011/11/21/131691>

Telwesa. (2021, julio 21). Tratamiento terciario de aguas residuales. *Telwesa*. <https://telwesa.com/tratamiento-terciario-de-aguas-residuales/>

Tobón, S. R., Cadavid, R. M. A., & Builes, L. A. G. (2017). Patógenos e indicadores microbiológicos de calidad del agua para consumo humano. *Revista Facultad Nacional de Salud Pública*, 35(2), 236-247. <https://doi.org/10.17533/udea.rfnsp.v35n2a08>

Toledo, C. (2022). Desinfección mediante Luz Ultravioleta, Cloro y Ozono. – ISA. *Gerente Técnico ISA Ingeniería y Servicios Ambientales*. <https://isa.ec/desinfeccion-mediante-luz-ultravioleta-cloro-y-ozono/>

Torske, M. (2019). *La realidad de las aguas servidas en Ecuador* [Yakunina].
<https://www.yakunina.com/la-realidad-de-las-aguas-servidas-en-ecuador/>

Tratamientos biológicos de aguas residuales—Buscar con Google. (s. f.). Recuperado 30 de julio de 2022, de https://www.google.com/search?q=Tratamiento+biol%C3%B3gicos+de+aguas+residuales+&newwindow=1&rlz=1C1UEAD_esEC1001EC1001&biw=1366&bih=649&sxsrf=ALiCzsYL5TIIVbwaUYaxFNCWXs3TZIgCKw%3A1659215873281&ei=AaDIYrrpEK3tkvQPg5CyyA0&ved=0ahUKEwj67e3lxKH5AhWttoQIHQOIDNkQ4dUDCA4&uact=5&oq=Tratamiento+biol%C3%B3gicos+de+aguas+residuales+&gs_lcp=Cgdnd3Mt d2l6EAMyBggAEB4QFjIGCAAQHhAWMgYIABAeEBYyBggAEB4QFjIGCAAQHhAWMgYIABAeEBYyBggAEB4QFjIGCAAQHhAWMgYIABAeEBYyBggAEB4QFjoHCAAQRxCwAzoECAAQDTGCAAQHhAHOggIABAeEAQBzoICAAQHhAIEA06BAghEApKBAhBGABKBAhGGABQ_QNYhVVggFtoCXABeACAAfgBiAGBHJIBBjAuMTkuM5gBAKABAcgBCMABAQ&scient=gws-wiz

UNESCO. (2019). *Informe Mundial de Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2019: No dejar a nadie atrás.* UN.
<https://doi.org/10.18356/e96937a1-es>

Vaca Mier, M., Magdaleno Chapa, L., Sosa Carrera, M., Monroy Mendieta, M., & Jiménez Cisneros, B. (2014). *TRATAMIENTO TERCIARIO DE AGUAS RESIDUALES POR FILTRACIÓN E INTERCAMBIO IÓNICO.* 9.

Violante, D. (2019, marzo 29). ¿Qué es la turbidez? » HANNA® instruments México. *HANNA® instruments México.* <https://hannainst.com.mx/blog/que-es-la-turbidez/>

Works, E. (2017, abril 28). *El agua en la historia de la civilización del hombre*.
<https://www.aguasresiduales.info/revista/blog/el-agua-en-la-historia-de-la-civilizacion-del-hombre>

Works, E. (2019). *Cómo controlar el coste de la desinfección por Ultravioletas*.
<https://www.aguasresiduales.info/revista/noticias/como-controlar-el-coste-de-la-desinfeccion-por-ultravioletas-IQV3j>

Zapata, F. (2019, julio 17). Absorbancia: Qué es, ejemplos y ejercicios resueltos. *Lifeder*. <https://www.lifeder.com/absorbancia/>

Bgefoundation. (2017). *El agua potable apta para el consumo es esencial: Desinfección química*. Behring Global Educational Foundation.

Buitrón Méndez, G., Reino Sánchez, C., & Carrera Muyo, J. (s.f.). *Manual técnico sobre tecnologías biológicas aerobias aplicadas al tratamiento de aguas residuales industriales*. Ciencia y Tecnología para el desarrollo .

Cairns , & Wright . (2015). *Luz Ultravioleta*. Universidad Salvadoreña Alberto Masferrer.

Cruz, A. M. (2008). *Carcaterización y tratamiento de aguas residuales*. México: Universidad Autónoma del estado de Hidalgo.

DANE. (2003). *Ficha Técnica: Sistema de Información del Medio Ambiente*. Colombia .

EPA. (1999). *Folleto informativo de tecnologías de aguas esiduales: Desinfección con Luz Ultravioleta*. Washington, D.C: Municipal Technology Branco .

González Toro, C. (2011). *Monitoreo de la calidad del agua : La Turbidez*.

- INEC. (2016). *Indicadores ODS de Agua y Saneamiento e Higiene en Ecuador* . Ecuador : Grupo del Banco Mundial .
- INEC. (2017). *Medición de los Indicadores ODS, Agua, Saneamiento e Higiene en el Ecuador* . Ecuador en Cifras.
- INSST. (2020). *El ozono como desinfectante frente al Sars Cov 2*. Gobierno de España: Ministerio de trabajo y economía social .
- Kuprat, M. (19 de 06 de 2019). *Agua Vida Eco Tecnologías*. Obtenido de <https://www.agua-viva.info/blog/como-medir-la-calidad-de-tu-agua-n6>
- Marchand Pajares, E. O. (2002). *Microorganismos indicadores de calidad de agua de consumo humano en Lima Metropolitana*. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marco .
- Miranda, M. (2009). *Turbiedad*. Guayaquil : Biblioteca Virtual de la Escuela Superior Politécnica del Litoral .
- Muñoz Cruz, A. (2008). *Caracterización y tratamiento de aguas residuales*.
- OPS. (2002). *La desinfección del agua* . Organización Panamericana de la Salud.
- Prado, R. (2021). *Comparación entre Lámparas UV de Baja presión vs. Lámparas UV de Media Presión*. Bio Light S.A. .
- Reynolds, K. (2002). Tratamiento de aguas residuales en Latinoamérica . *Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico del Agua* .
- Solsona, F., & Mendez, J. (2002). *Desinfección del agua*. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente.
- Swancarra, J. (2015). *El uso efectivo del Ozono en la producción de agua embotellada*.

UCM. (2015). *Descripción de Indicadores: Oxígeno Disuelto* . España: Universidad Complutense de Madrid .

Vazquez. (2005). *Análisis, diseño y construcción de reactores a escala para desinfección de agua potable con radiación UV*. México: Universidad de las Américas Puebla.

Wright , & Cairns. (31 de diciembre de 2016). *DESINFECCION DE AGUA POR MEDIO DE LUZ ULTRAVIOLETA*. Obtenido de Trojan Technologies Inc:
<http://www.elaguapotable.com/Desinfeccion%20del%20agua%20UV%20Trojan%20Technologies.pdf>