



**Universidad
Popular del Cesar**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
AMBIENTAL Y SANITARIA**



**EFFECTO DEL MÉTODO SODIS PARA REMOCIÓN DE COLIFORMES TOTALES EN
AGUAS SUPERFICIALES, EN EL MUNICIPIO DE PIJIÑO, DEPARTAMENTO DEL
MAGDALENA.**

AUTORES:

DANIEL ANDRES DAVILA CORREA

MARIA MARTHA RODRIGUEZ QUIROZ

**UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLÓGICAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA
VALLEDUPAR, CESAR
2022-1**

**EFFECTO DEL MÉTODO SODIS PARA REMOCIÓN DE COLIFORMES TOTALES EN
AGUAS SUPERFICIALES, EN EL MUNICIPIO DE PIJIÑO, DEPARTAMENTO DEL
MAGDALENA.**

AUTORES:

DANIEL ANDRES DAVILA CORREA

MARIA MARTHA RODRIGUEZ QUIROZ

DIRECTOR/ ASESOR

DEIVIS JHOAN GUTIERREZ MONTERO

Profesor Asistente – Departamento de Microbiología

UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR

FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLÓGICAS

PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA

VALLEDUPAR, CESAR

2022-1

DEDICATORIA

Dedico la terminación de este proyecto a mi familia.

Daniel Andrés Dávila Correa

Esta tesis va dedicada principalmente a Dios, quien como guía ha estado presente en el caminar de mi vida supliendo fuerzas para no desfallecer en el proceso.

A mi Padre por ser ese ejemplo de constancia y dedicación y a mi Madre por ser mi fortaleza e inspiración diaria.

María Martha Rodríguez Quiroz





**Universidad
Popular del Cesar**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
AMBIENTAL Y SANITARIA**



AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a las instituciones: Universidad Popular del Cesar, SENA Tecnoparque Laboratorio Cesar y Universidad Nacional Laboratorio Ambiental, también a nuestro director Deivis Jhoan Gutiérrez Montero por los grandes aportes brindados durante la ejecución de este proyecto.

De igual manera, agradecemos a Dios, quién ha forjado nuestro camino y a nuestros familiares y compañeros de carrera por brindarnos apoyo incondicional en el transcurso de camino.

Un agradecimiento especial a los amigos, que desafortunadamente y por voluntad de Dios partieron de este espacio terrenal y todos los aún presentes en nuestras vidas, profundo agradecimientos por el tiempo que pasamos, por compartir desinteresadamente sus conocimientos y experiencias, por cada abrazo y por cada uno de los momentos alegres y tristes que vivimos en todo este recorrido.

Daniel Andrés Dávila Correa

María Martha Rodríguez Quiroz

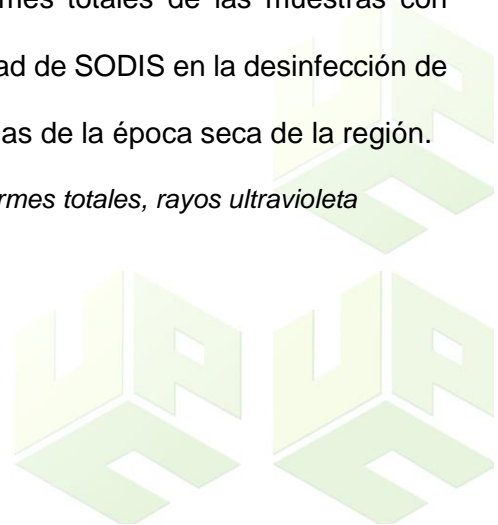




RESUMEN Y ABSTRACT

Miles de millones de personas en todo el mundo siguen careciendo de acceso al agua, el saneamiento y la higiene, según un nuevo informe de UNICEF y la Organización Mundial de la Salud. Alrededor de 2.200 millones de personas en todo el mundo no cuentan con servicios de agua potable gestionados de manera segura, 4.200 millones de personas no cuentan con servicios de saneamiento gestionados de manera segura y 3.000 millones carecen de instalaciones básicas para el lavado de manos (UNESCO, 2019). Uno de los métodos de desinfección más simples y menos costosos para suministrar agua de calidad aceptable para el consumo humano es la radiación solar. De acuerdo con la investigación se alcanzaron porcentajes de remoción de coliformes totales sobre 94.31 y 100% en muestras de agua contaminadas en el Jagüey de la finca el Éxito, en el municipio de Pijiño, Magdalena. Por lo que es evidente que la radiación ultravioleta A (UVA) es capaz de inactivar la mayoría de los patógenos (bacterias) que pueden estar presentes en el agua. Luego de exponer las muestras de distintas turbiedades a una radiación promedio 1182 W/m², se logró eliminar el total (100%) de los coliformes totales de las muestras con turbiedades alta, media y baja. Se comprobó la efectividad de SODIS en la desinfección de agua cruda de la finca, bajo condiciones climáticas propias de la época seca de la región.

Palabras claves: *Desinfección solar, radiación, coliformes totales, rayos ultravioleta*





**Universidad
Popular del Cesar**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
AMBIENTAL Y SANITARIA**



ABSTRACT

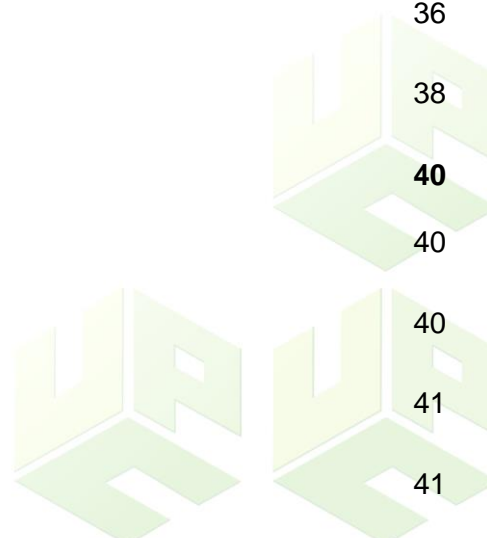
Billions of people around the world continue to lack access to water, sanitation and hygiene, according to a new report from UNICEF and the World Health Organization. Around 2.2 billion people worldwide lack safely managed drinking water services, 4.2 billion people lack safely managed sanitation services, and 3 billion lack basic handwashing facilities (UNESCO, 2019). One of the simplest and least expensive disinfection methods to supply water of acceptable quality for human consumption is solar radiation. According to the investigation, total coliform removal percentages of 94.31 and 100% were achieved in contaminated water samples in the Jaguey of the El Éxito farm, in the municipality of Pijiño, Magdalena. So it is evident that ultraviolet A (UVA) radiation is capable of inactivating most of the pathogens (bacteria) that may be present in the water. After exposing the samples of different turbidities to an average radiation of 1182 W/m², the total (100%) of the total coliforms of the samples with high, medium and low turbidities will be eliminated. The effectiveness of SODIS in the disinfection of raw water from the farm was verified, under climatic conditions typical of the dry season in the region.

Keywords: Solar disinfection, radiation, total coliforms, ultraviolet rays



TABLA DE CONTENIDOS

RESUMEN Y ABSTRACT	5
INTRODUCCIÓN	13
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	15
2. JUSTIFICACIÓN	17
3. OBJETIVOS	19
3.1 Objetivo General	19
3.2 Objetivos Específicos	19
4. MARCO REFERENCIAL	20
4.1 Antecedentes	20
4.2 MARCO TEÓRICO	24
4.3 Marco Conceptual	34
4.4 Marco Contextual	36
4.5 Marco Legal	38
5. MARCO METODOLÓGICO	40
5.1. Línea Y Sublínea De Investigación	40
5.2 Tipo De Investigación	40
5.3 Nivel De Investigación	41
5.4 Población De Estudio	41



5.6 Desarrollo Metodológico	41
5.7 Diseño De La Investigación	59
6. RESULTADOS Y ANÁLISIS	60
7. CONCLUSIONES	108
8. RECOMENDACIONES	110
9. BIBLIOGRAFIA.....	112



LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Marco Legal	38
Tabla 2 Escala McFarland	42
Tabla 3 Irradiancia Media Horaria	44
Tabla 4 Caracterización Bacteriana	47
Tabla 5 Equivalentes McFarland	49
Tabla 6 Caracterización bacteriana	52
Tabla 7 Caracterización Bacteriana	55
Tabla 8 Caracterización Bacteriana	57
Tabla 9 Dilución Agua Superficial	61
Tabla 10 Escala McFarland	65
Tabla 11 Determinación de Radiación	69
Tabla 12 Caracterización Microbiana Turbiedad Alta	70
Tabla 13 Caracterización Microbiana Turbiedad Media	71
Tabla 14 Caracterización Microbiana Turbiedad Baja	71
Tabla 15 Resultados Turbiedad (NTU)	72
Tabla 16 Resultados de remoción	73
Tabla 17 Desviación Estándar	75
Tabla 18 Análisis de Varianza ANOVA	76
Tabla 19 Test LSD	77
Tabla 20 Escala McFarland	79

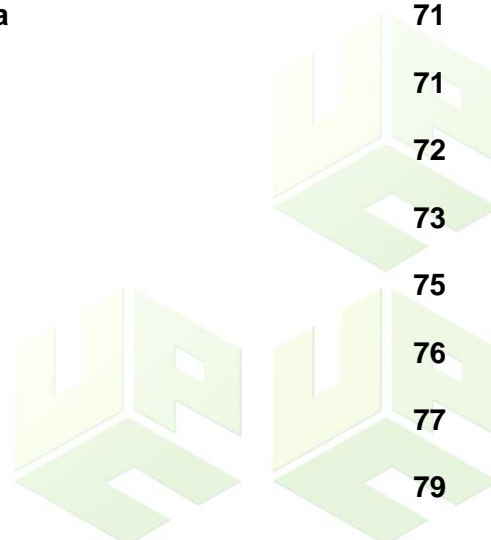
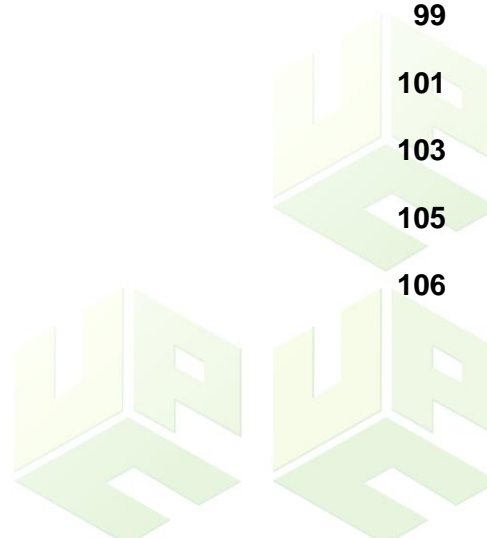




Tabla 21 Características de la muestra de agua	81
Tabla 22 Radiación Media Horaria	82
Tabla 23 Caracterización Microbiana	84
Tabla 24 Remoción de Coliformes Totales	85
Tabla 25 Datos para análisis de desviación estándar	86
Tabla 26 Análisis de varianza ANOVA	88
Tabla 27 Análisis de Test LSD	88
Tabla 28 Escala McFarland	90
Tabla 29 Caracterización Microbiana de muestras con distinto tiempo de exposición	92
Tabla 30 Irradiancia Media Horaria	93
Tabla 31 Remoción de Coliformes Totales	95
Tabla 32 Datos para análisis de desviación estándar	97
Tabla 33 Análisis de varianza ANOVA	98
Tabla 34 Análisis del test LSD	99
Tabla 35 Escala McFarland	101
Tabla 36 Remoción de Coliformes Totales	103
Tabla 37 Análisis de desviación estándar	105
Tabla 38 Análisis de Varianza ANOVA	106



LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Radiación solar en Colombia	24
Figura 2 Principio del método SODIS	27
Figura 3 Ubicación del Municipio de Pijiño	35
Figura 4 Ubicación del punto de estudio	36
Figura 5 Concentración de inóculos	43
Figura 6 Concentración de inóculos	49
Figura 7 Aislamiento de Bacterias	61
Figura 8 Crecimiento de bacterias Coliformes totales y fecales	62
Figura 9 Crecimiento de Bacterias Aisladas	62
Figura 10 Siembra de agua contaminada para identificación bacteriana	63
Figura 11 Contaminación controlada de muestras	63
Figura 12 Metodología de contaminación controlada de muestras	67
Figura 13 Gráfica resultados de remoción de coliformes	74
Figura 14 Gráfica desviación estándar	75
Figura 15 Curva de McFarland	80
Figura 16 Gráfica de remoción bacteriana según espesor	85
Figura 17 Gráfica análisis de desviación estándar	87
Figura 18 Remoción bacteriana Luego de 3 horas de exposición	95
Figura 19 Gráfica análisis de desviación estándar	97
Figura 20 Curva McFarland	101
Figura 21 Remoción bacteriana en muestras expuestas a Cloro	105

Figura 22 Gráfica análisis de desviación estándar





**Universidad
Popular del Cesar**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
AMBIENTAL Y SANITARIA**



INTRODUCCIÓN

El agua salubre y fácilmente accesible es importante para la salud pública, ya sea que se utilice para beber, para uso doméstico, para producir alimentos o para fines recreativos. La mejora del abastecimiento de agua, del saneamiento y de la gestión de los recursos hídricos puede impulsar el crecimiento económico de los países y contribuir en gran medida a la reducción de la pobreza (Organización Mundial de la Salud, 2017).

Según la OMS (2019), en todo el mundo, al menos 2000 millones de personas se abastecen de una fuente de agua potable que está contaminada por heces. Además, según los informes de la OMS (2019), el agua contaminada puede transmitir enfermedades como la diarrea, el cólera, la disentería, la fiebre tifoidea y la poliomielitis. Se calcula que la contaminación del agua potable provoca más de 502.000 muertes por diarrea al año.

Las enfermedades diarreicas son la segunda causa a nivel mundial de muerte de niños menores de cinco años, siendo estos la población más vulnerable. Los niños malnutridos o inmunodeprimidos son los que presentan mayor riesgo de enfermedades diarreicas potencialmente mortales. En personas inmunodeficientes, disminuye la capacidad de reponerse ante enfermedades de mayor complejidad (Ministerio de Salud de la Nación, 2011).

A través de esta investigación se pretende evaluar la efectividad del método de desinfección solar SODIS para la remoción de coliformes totales del agua de la cual se abastecen los habitantes de la finca "EL ÉXITO", como forma de tratamiento económica



**Universidad
Popular del Cesar**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
AMBIENTAL Y SANITARIA**

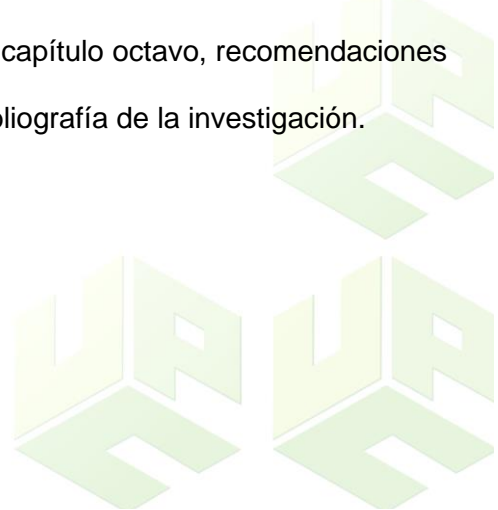


garantizando el consumo diario de agua segura sin que ésta represente un riesgo para su salud.

La investigación se estructura en nueve capítulos, divididos de la siguiente manera: en el capítulo número uno, se realiza la descripción del planteamiento del problema, el capítulo número dos detalla la importancia del desarrollo de la investigación. El capítulo número tres menciona los objetivos de la investigación, este incluye el objetivo general y los objetivos específicos. Posteriormente, encontramos el marco referencial en el capítulo número cuatro, el cual se subdivide en antecedentes; el marco teórico, el marco conceptual; el marco contextual, y, por último, el marco normativo, el cual menciona el articulado jurídico que rige la investigación.

El capítulo número cinco, hace referencia al marco metodológico, en el que se encuentra la descripción de la línea, sublínea, tipo, nivel, población y muestra que requiere el desarrollo de la investigación.

El capítulo sexto se titula resultados y análisis, este apartado de la investigación, se refiere a los resultados obtenidos en cada objetivo planteado. Posteriormente, en el capítulo séptimo se encuentran las conclusiones, seguido por el capítulo octavo, recomendaciones y, por último, el capítulo noveno correspondiente a la bibliografía de la investigación.



1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Según la OMS (2019), en todo el mundo, al menos 2000 millones de personas se abastecen de una fuente de agua potable que está contaminada por heces. Además, según los informes de la OMS (2019), el agua contaminada puede transmitir enfermedades como la diarrea, el cólera, la disentería, la fiebre tifoidea y la poliomielitis. Se calcula que la contaminación del agua potable provoca más de 502.000 muertes por diarrea al año.

Las enfermedades diarreicas son la segunda causa a nivel mundial de muerte de niños menores de cinco años, siendo estos la población más vulnerable. Los niños malnutridos o inmunodeprimidos son los que presentan mayor riesgo de enfermedades diarreicas potencialmente mortales. En personas inmunodeficientes, disminuye la capacidad de reponerse ante enfermedades de mayor complejidad (Ministerio de Salud de la Nación, 2011).

Según el 'Informe nacional de calidad del agua para el consumo humano' (Inca 2016), al menos 6,2 millones de colombianos reciben en sus casas agua que representa un alto riesgo para la salud, y 368.000 de ellos están expuestos a que ese líquido contenga altas concentraciones de bacterias fecales, virus, parásitos y elementos no biológicos, como minerales y sustancias químicas, lo que lo hace inviable para el consumo.

El departamento del Magdalena es uno de los más afectados por la falta de agua potable (Instituto Nacional de Salud, 2015). El municipio de Pijiño del Carmen, Magdalena cuenta con un índice IRCA del 36.1%, lo cual representa un riesgo a la salud de los habitantes del municipio, ya que se les provee agua no apta para consumo humano, en las zonas rurales del departamento los contaminantes principales del agua son *Coliformes Totales* y *E. Coli*



**Universidad
Popular del Cesar**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
AMBIENTAL Y SANITARIA**

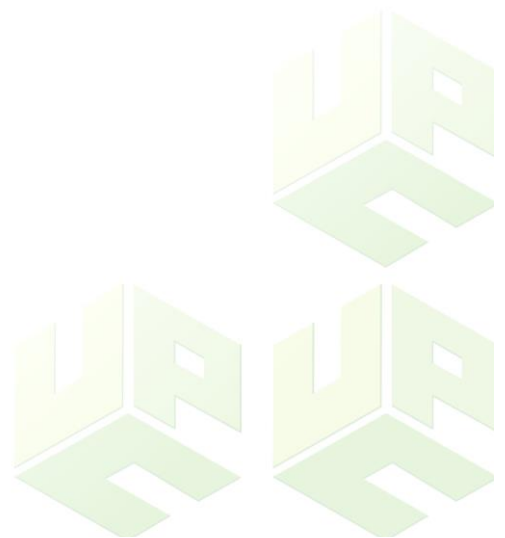


(informe del Sistema de Vigilancia de la Calidad del Agua Potable para consumo humano - SIVICAP-, 2015).

En las zonas veredales del departamento del Magdalena, no hay cobertura del servicio de agua potable, por lo cual se surten de fuentes superficiales como los Jagueyes, es el caso de la finca "El Éxito", en donde sus seis habitantes tienen como fuente de abastecimiento un Jaguey del que también se surten especies ganaderas. El suministro de esta agua contaminada sin ningún tratamiento previo de remoción bacteriana expone a quienes la consumen a graves infecciones.

Pregunta Problema

En consecuencia, surge el interrogante que inicia la investigación: ¿es significativo el efecto del método de desinfección solar "SODIS" para remover *coliformes totales* en muestras de agua superficiales?



2. JUSTIFICACIÓN

La OMS, declara en el 2002, que el agua es fundamental para la vida y la salud. La realización del derecho humano a disponer de agua es imprescindible para llevar una vida saludable, que respete la dignidad humana. Es un requisito para la realización de todos los demás derechos humanos. La directora General de la OMS, Dra. Gro Harlem Brundtland, (2002), señaló que se debe exigir a los países que "respeten, protejan y atiendan" el derecho de las personas a disponer de agua potable y saneamiento que eviten la propagación de enfermedades que por medio de esta se genera.

Uno de los métodos de desinfección más simples y menos costosos para suministrar agua de calidad aceptable para el consumo humano es la radiación solar. Este método es ideal cuando las condiciones económicas y socioculturales de la comunidad ponen en riesgo la sostenibilidad de otras alternativas de tratamiento y desinfección, como la filtración o el uso de cloro. La tecnología de la SODIS usa equipos sencillos, económicos y fáciles de operar (Agencia Interamericana para la Cooperación y el desarrollo, 2015).

La Organización Mundial de la Salud considera al método SODIS una opción válida, pero solo como un "método menor y experimental". Aun así, en áreas donde no hay otro medio disponible para desinfectar el agua, puede mejorar sustancialmente la calidad bacteriológica de la misma.

La implementación de la técnica SODIS en el municipio de Pijiño, Magdalena garantiza el aprovechamiento de condiciones climáticas de la región en materia de radiación solar e índice UV, en el más reciente estudio del IDEAM se evidenció que el departamento del Magdalena cuenta con un promedio anual de radiación solar de 5-5,5 kWh/m², además



**Universidad
Popular del Cesar**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
AMBIENTAL Y SANITARIA**



cuenta con un índice de radiación UV anual de 7-8 IUUV (IDEAM, 2012) estas condiciones garantizan el funcionamiento de la técnica de desinfección SODIS.

Esta investigación busca determinar la efectividad del método SODIS para remover coliformes totales en muestras con distintos niveles turbiedad, lo cual garantiza información detallada en beneficio de los habitantes de la finca “El éxito” a la hora de replicar este método de desinfección.

A través de esta investigación se pretende evaluar la efectividad del método de desinfección solar SODIS para la remoción de coliformes totales del agua de la cual se abastecen los habitantes de la finca “EL ÉXITO”, como forma de tratamiento económico garantizando el consumo diario de agua sin presencia alguna bacteriana que atente contra su salud.





3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo General

Evaluar el efecto del método SODIS para la remoción de *coliformes totales* en aguas superficiales en la finca El Éxito, municipio de Pijiño, departamento del Magdalena.

3.2 Objetivos Específicos

Determinar el efecto de las radiaciones y contenido de materia orgánica en muestras de agua contaminada, sobre la reducción de *coliformes totales*

Determinar el efecto de las radiaciones y espesor de la capa de agua en muestras de agua contaminada, sobre la reducción de *coliformes totales*

Establecer el efecto de las radiaciones y tiempo de exposición en muestras de agua contaminada, sobre la reducción de *coliformes totales*

Comparar los resultados de remoción de *coliformes totales* entre el método de irradiancia solar y método tradicional (cloración)



4. MARCO REFERENCIAL

4.1 Antecedentes

Bartolomé Manzollillo (2019), desarrolló la investigación titulada: Uso de Tecnologías Limpias en la Desinfección del Agua para la Reducción de Diarrea en Niños. Revisión Sistemática, en la Universidad Simón Bolívar, con la finalidad de evaluar el uso de tecnologías limpias como la desinfección solar y cloración como alternativa de purificación de agua contaminada microbiológicamente. La investigación se realizó por medio del análisis de información obtenida en otros estudios y su búsqueda se realizó en 5 etapas mediante la metodología score.

La primera, implicaba incluir todos los estudios que estuviesen de forma libre y gratuita en páginas web. La segunda etapa, consistió en buscar en 5 bases de datos oficiales estudios relacionados con la investigación. La tercera etapa analizar los datos estadísticos obtenidos de los artículos previamente seleccionados, este incluía el análisis cualitativo y cuantitativo. La cuarta etapa, se basó en el almacenamiento de datos en tablas de Excel para su posterior análisis con índices estadísticos de efectividad. La última etapa, fue el análisis de estos datos mediante los índices de efectividad.

Los resultados de la investigación mostraron resultados satisfactorios para los 9 artículos analizados en donde el uso de los sistemas SODIS y Cloración en el tratamiento de aguas microbiológicamente contaminadas, son efectivos para consumo humano y reducen la incidencia de diarrea en niños menores de 5 años. La investigación aporta bases para el desarrollo metodológico y análisis de los datos estadísticos mediante score para la presente.

Gutiérrez, C., et. al. (2018), desarrollaron la investigación titulada: Desinfección fotocatalítica del agua para consumo humano usando luz solar y dióxido de titanio (TiO_2) inmovilizado, en la Universidad Autónoma de Querétaro, Querétaro, México; con la finalidad de evaluar la efectividad de la desinfección foto-catalítica del agua para consumo humano a nivel doméstico, usando la radiación solar.

La investigación se desarrolló a través de 4 etapas: la primera, fue la inmovilización de dióxido de titanio sobre varillas de vidrio, para determinar la cinética química del ácido benzoico. Se inmovilizaron 49 varillas. La segunda etapa, fue la desinfección solar con diferentes concentraciones de TiO_2 , con muestras de agua de la vereda de estudio, para conocer la concentración óptima de TiO_2 . La tercera etapa, consistió en comparar el método de SODIS con SODIS/ TiO_2 para ello se utilizaron botellas de plástico (PET) de dos litros y medio de capacidad y cada tratamiento se realizó por triplicado. La última etapa, consistió en determinar los *coliformes totales* en las muestras de agua en diferentes intervalos de tiempo.

Los resultados de la investigación indican que el método que usó SODIS/ TiO_2 , es más eficiente que el convencional para la desinfección del agua de uso doméstico, ya que hubo mayor remoción de *coliformes totales*. La investigación aporta conocimientos referentes a la dosificación óptima de sustancias que pueden facilitar la remoción de *coliforme* por medio de la radiación, así pues, podemos tomarlas como referentes de la investigación presente.

Bermúdez, D. (2015). Desarrolló la investigación titulada: Desinfección solar para abastecimiento de agua para el consumo humano a nivel domiciliario en el sector de



**Universidad
Popular del Cesar**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
AMBIENTAL Y SANITARIA**



Pereira, parroquia la Avanzada, Cantón Santa Rosa, provincia del Oro, para optar el título de ingeniero civil en la universidad Técnica de Machala. La investigación tenía la finalidad de evaluar la efectividad de la radiación solar como una alternativa de desinfección en la parroquia la Avanzada, Cantón Santa Rosa, provincia del Oro, ya que no poseen sistema de agua potable.

La investigación se realizó por el método SODIS, el cual consiste en las siguientes etapas: La primera, fue la recolección de botellas plásticas PET de 3 litros. La segunda etapa, consistió en llenar las botellas un 75% y agitarlas para oxigenarlas durante 20 segundos, posteriormente se llena completamente y se ubican en la superficie reflectora. Por último, se deja durante 6 horas al sol. Los resultados indican que las muestras estuvieron expuestas a una radiación de 852 W/m², el cual fue muy eficaz en la eliminación de *coliformes totales*. La investigación aporta a la presente, la metodología SODIS, como altamente eficiente en el uso de la radiación como desinfección.

Mendoza Hernández, N (2012), desarrolló la investigación titulada: Impacto en la aplicación del método SODIS como alternativa para el control de enfermedades diarreicas en la comunidad Gracias a Dios, Municipio de Telica, de abril, para optar por el título de Doctor en Medicina y cirugía, en la universidad de Nacional Autónoma de Nicaragua. La investigación con la finalidad de evaluar la eficacia de la aplicación del método de desinfección solar del agua (SODIS) para la reducción de *coliformes fecales* en agua y para el control de enfermedades diarreicas. El estudio se realizó mediante 3 etapas: la primera, consistió en establecer la línea base donde se evaluaron las características generales del agua a usar y las enfermedades diarreicas de la zona de estudio. En la segunda etapa, se

tomaron las muestras de agua tanto de los pozos como de las botellas SODIS y se realizó el seguimiento y reporte de los casos de diarrea en las familias usuarias de SODIS. Por último, se analizaron los resultados obtenidos y se valoró el impacto que genera el uso de SODIS para el control de enfermedades diarreicas. En los resultados se pudo determinar que el método SODIS presentó una eficacia mayor al 99,99%, y redujo hasta el 64% de los casos de diarrea en las familias estudiadas. Esta investigación es de gran aporte para la presente, ya que permite establecer la eficacia del método y como ayuda a controlar las enfermedades diarreicas hasta un 64%. Sirve como base de estudio a la presente investigación.

López González, R. (2011), realizó la investigación titulada: Aplicación del método de desinfección solar SODIS en fuentes de aguas naturales utilizadas para consumo humano en comunidades de San Juan Sacatepéquez, Guatemala, para optar por el título de químico biólogo en la universidad de San Carlos de Guatemala. La investigación con la finalidad de evaluar la eficiencia del método de desinfección solar SODIS en fuentes de aguas naturales que se muestran con contaminación fecal y que se utiliza como abastecimiento para el consumo humano en comunidades de San Juan Sacatepéquez del departamento de Guatemala, región que pertenece a la zona climática de la Meseta y altiplanos. El estudio se realizó mediante dos etapas. La primera etapa consistió en determinar la calidad fisicoquímica y microbiológica de nueve puntos de captación de agua para consumo humano para saber si cumplían con los requisitos del método SODIS. La segunda etapa, se realizó para determinar el conteo de microorganismos por el método de vertido en placa, el conteo de bacterias del grupo *coliforme total* y *E. coli* por el método Colilert. Luego se

aplicó el método SODIS y por último se hizo el análisis de resultados para determinar la eficiencia del método. Los resultados demuestran que el método de desinfección solar SODIS sí es efectivo para el tratamiento de aguas contaminadas utilizadas para el consumo humano en San Juan Sacatepéquez, mejorando la calidad sanitaria del agua que presenta contaminación fecal. La investigación aporta conocimientos metodológicos como base de la estructuración de la actual investigación, además de una guía para el análisis estadístico de los datos de remoción de microorganismo.

4.2 MARCO TEÓRICO

4.2.1 Radiación solar

Hablamos de radiación solar cuando nos referimos a la energía radiante que emite el sol. Esta se genera en un núcleo a través de un proceso de fusión y se irradia hacia las capas externas del sol (Alvarado M., 2020). La radiación solar puede ser dividida en dos tipos la visible y la no visible. Esto se debe al comportamiento de la radiación solar como una onda. A su vez por la longitud de onda estas son subdivididas en tres (Alvarado M., 2020):

La radiación azul-violeta (400-490 nm) la radiación verde (490-560 nm) y por último la radiación de color naranja o rojo (590-700 nm).

En la radiación no visible encontraremos dos tipos de rayos, los ultravioleta y los infrarrojos.

Los rayos ultravioletas se dividen en 3 tipos más:



Los rayos UVC: Estos son bloqueados por la capa atmosférica y en la estratósfera. Su longitud de onda oscila entre 200 y 280 nm. Son Altamente dañinos, pero no tenemos contacto directo con ellos.

Los rayos UVB: Estos poseen una mayor energía en su radiación, llegan a la tierra, pueden atravesar la ropa liviana, ventanas y parabrisas. También son peligrosos por su asociación a enfermedades (Alvarado M., 2020). La longitud de onda oscila entre 280 y 320 (Alvarado M., 2020).

Los rayos UVA: Estos rayos mantienen la misma intensidad a lo largo del año, incluso en días nublados, durante todas las horas del día. La longitud de onda se encuentra entre los 320 y 400 nm (Alvarado M., 2020).

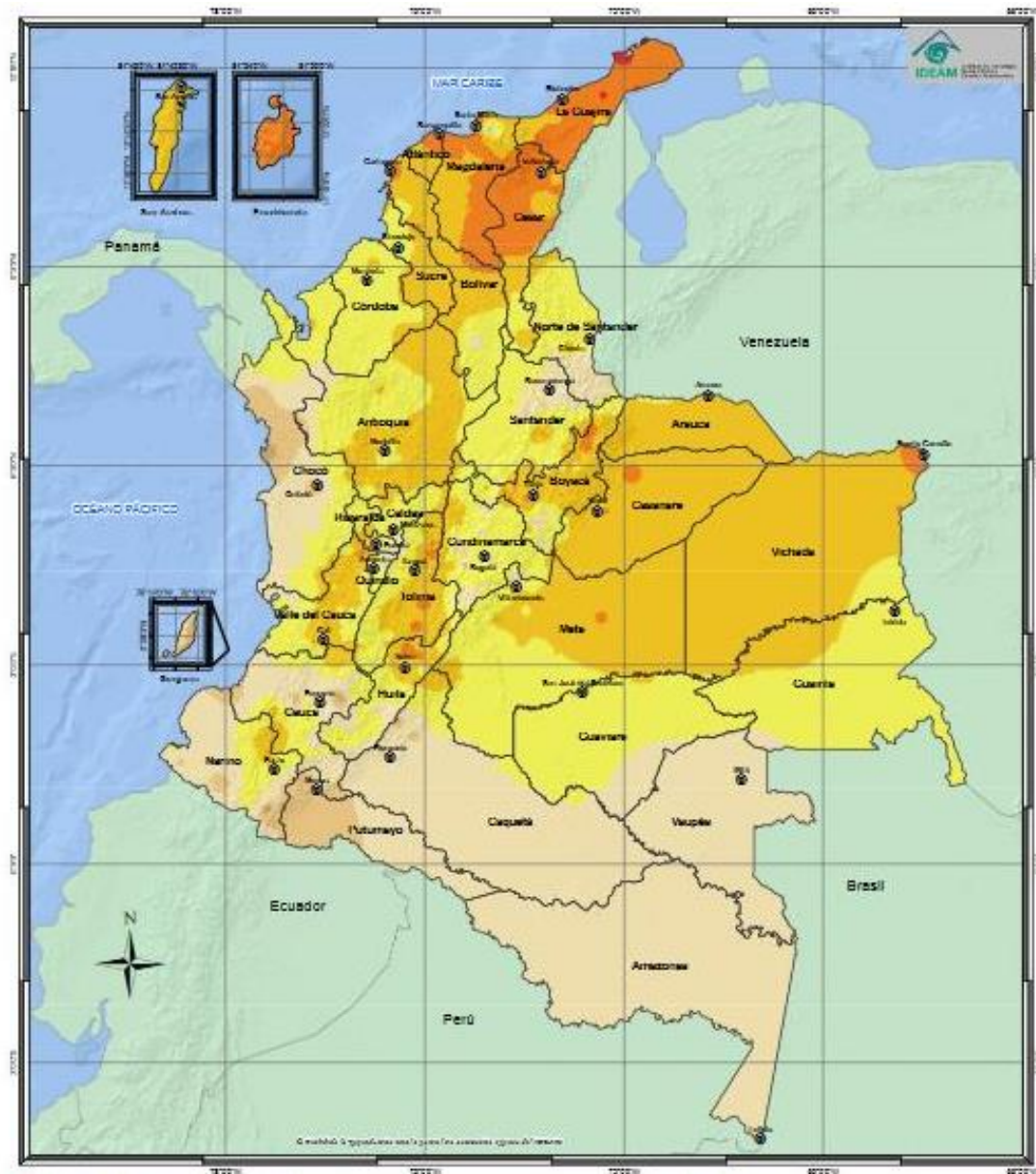
4.2.1.1 Radiación solar en Colombia: Según informes del Atlas de radiación en Colombia, (2012), Colombia tiene un buen potencial energético solar en todo el territorio, con un promedio diario multianual cercano a 4,5 kWh/m² (destacándose la península de La Guajira, con un valor promedio de 6,0 kWh/m² y la Orinoquia, con un valor un poco menor), propicio para un adecuado aprovechamiento.





Figura 1 Radiación solar en Colombia

Mapa de radiación solar en Colombia



Fuente: IDEAM, 2018

4.2.2 Desinfección del agua



4.2.1.1 Desinfección solar: La desinfección del agua es la intervención sanitaria más eficaz, en función de su costo, que pueden emprender las autoridades responsables del abastecimiento de agua y de la disposición de aguas servidas. El costo es menos de EUA\$1,00 por año-persona y los informes científicos indican que a la combinación de agua salubre y saneamiento con educación sanitaria pueden atribuirse marcadas reducciones de algunas enfermedades relacionadas con el agua: de 25% en el caso de la diarrea y de 29% en el de la *ascariasis*. También a ella se atribuye el 55% de la disminución de la mortalidad infantil en general. Las autoridades locales son las que tienen la mayor oportunidad y responsabilidad de eliminar los riesgos de salud que las aguas de mala calidad representan hoy en día para las poblaciones. (Organización Panamericana de la Salud, 2018, Desinfección del agua, cap.2).

4.2.2.1.1 Método de Desinfección Solar del Agua (SODIS). La desinfección solar del agua (o método SODIS) es un método de tratamiento sencillo para eliminar los microorganismos patógenos que causan enfermedades y, por tanto, mejorar la calidad del agua para el consumo humano (Organización panamericana de la Salud, 2018, Desinfección del agua, cap.2).

El método SODIS consiste en utilizarla radiación solar (rayos UV) y el incremento de temperatura del agua generado por el sol, para inactivar y destruir los microorganismos patógenos presentes en el agua, desinfectándola.

El tratamiento consiste básicamente en llenar botellas plásticas transparentes con agua y exponerlas a pleno sol durante aproximadamente seis horas. Para que el método

funcione eficazmente es necesaria una exposición de seis horas bajo una radiación solar de al menos 500 W/m². Esto se consigue en latitudes medias con seis horas de exposición en verano. El efecto conjunto de la temperatura y la radiación se produce cuando el agua supera los 50°C, momento a partir del cual el proceso de desinfección requiere un tercio de la radiación.

Como se mencionó previamente, es un método sencillo y barato que las personas que viven en países en vías de desarrollo y no tienen acceso a agua potable, pueden aplicarlo a escala doméstica, pues solamente utiliza elementos de desecho disponibles a nivel local, como son las botellas de plástico y la luz solar. (Organización Panamericana de la Salud, 2018, Desinfección del agua, cap.2).

4.2.1.2 Principio del método SODIS.

Figura 2 Principio del método SODIS



Fuente: Anne-Marie Altherr, et al, 2012

El sol irradia continuamente cantidades enormes de energía con longitudes de onda que cubren el rango ultravioleta, visible e infrarrojo. No toda la radiación solar que llega a las capas superiores de la atmósfera alcanza la superficie de nuestro planeta, la atmósfera terrestre actúa como un filtro selectivo de las diferentes componentes de la radiación solar en su trayectoria hacia la superficie terrestre; así mismo, la mayor parte de la radiación con un rango de longitudes de onda entre 200 y 300 nm es absorbida por la capa de ozono (O₃) en la atmósfera superior, la luz solar tiene un impacto directo sobre los microorganismos, la radiación UVA es directamente absorbida por la materia orgánica. Por otra parte, la radiación solar produce formas altamente reactivas del oxígeno, como radicales libres y peróxido de hidrógeno, los cuales a su vez eliminan a los microorganismos. Estos subproductos agresivos para los microorganismos son formas temporales producidas por la acción del sol en aguas oxigenadas, pero no tienen un efecto residual significativo una vez que la muestra haya sido removida del sol. Este proceso ha sido denominado "desinfección solar foto-oxidativa". Los microbios expuestos a los subproductos reactivos del oxígeno son oxidados durante el tratamiento. A nivel práctico, se puede aumentar la aireación y el contenido de oxígeno agitando el agua cruda vigorosamente antes de llenar las botellas; también se puede llenar la botella hasta la mitad, sacudirla fuertemente, y finalmente llenarla completamente antes de exponerla al sol; se logrará de esta manera favorecer la inactivación de los microorganismos por el método SODIS. Es particularmente importante proceder a tal aireación para aguas estancadas como las de lagunas, tanques de almacenamiento y pozos (Marín, C.A y Espinoza, N.A., 2012).



Las turbiedades elevadas reducen sustancialmente la penetración de la luz en el agua y por consecuencia reducen la eficiencia de desinfección por el método SODIS, para asegurar una desinfección eficiente y segura, el agua cruda debe tener una turbiedad baja (menor de 30 UNT = Unidad Nefelométrica de Turbiedad) (Marín, C.A y Espinoza, N.A., 2012). Sin embargo, para efectos de investigación en este trabajo tuvimos en cuenta una evaluación con distintos niveles de turbiedad: alta, media y baja, lo cual garantiza resultados certeros a la hora de remoción bacteriana.

La radiación ultravioleta disminuye con el aumento de la profundidad del agua. En una profundidad de 10 cm. y con una turbiedad moderada de 26 UNT, la radiación UV-A esta reducida a un 50%. La superficie inferior negra de las botellas o de las bolsas SODIS crea un gradiente de temperatura y facilita la circulación del agua por convección, mejorando al mismo tiempo la eficiencia de inactivación. En todos los casos, los contenedores utilizados para SODIS deberían ser lo más planos posible y con una profundidad del agua inferior a 10 cm., por tal razón las botellas deben ser expuestas a la radiación de una forma horizontal. Para determinar si el agua necesita ser filtrada previamente, se puede realizar una prueba muy simple para determinar aproximadamente la turbiedad: se pone la botella llena por encima de una figura determinada que puede ser el logotipo de la fundación SODIS y se mira a través de la botella desde arriba hacia abajo; se recomienda realizar la prueba bajo sombra, en una mesa para evitar interferencia de la luz. Si se puede leer las letras a través del agua, la turbiedad es menor a 30 UNT (Marín, C.A y Espinoza, N.A., 2012).

El método de tratamiento del agua SODIS es simple de aplicar. Sin embargo, se requiere una intensa y cuidadosa capacitación de los usuarios tanto en la introducción de SODIS como en su manejo cotidiano para que puedan beneficiarse completamente del método. Hay muchas maneras de exponer las botellas de agua al sol. Por ejemplo, los usuarios a menudo no son conscientes que el lugar donde se exponen las botellas debe recibir sol directo durante unas 4-5 horas, además se pueden observar ciertos errores en los cuales las botellas son expuestas al sol en la mañana, sin embargo, después de unas dos horas, la sombra de unos árboles o de la casa le da al lugar donde se encuentran expuestas las botellas. También se observa que mucha gente pone sus botellas sobre una silla, después de un cierto tiempo, el respaldar de la silla les da sombra a las botellas interfiriendo con la efectividad del método (Fundación SODIS, 2005).

Para la implementación de SODIS se recomienda utilizar botellas de plástico transparente hechas de tereftalato de polietileno (PET) o cloruro de polivinilo (PVC) porque no contienen sustancias peligrosas para la salud humana; en cambio si se utilizan botellas de vidrio se necesitan botellas cuyo material presente una buena transmisión de la luz ultravioleta. Las botellas de plástico están hechas de PET o PVC, ambos contienen aditivos químicos, como estabilizantes frente a la radiación UV para proteger las botellas y a su contenido de la oxidación y la radiación ultravioleta (UV). En el PET, los aditivos son utilizados en concentraciones mucho más bajas que en el PVC (menos del 1% para el PET), lo que hace al PET más adecuado para el tratamiento con el método SODIS (Fundación SODIS, 2005).

4.2.3 Indicadores microbiológicos del agua

Los principales indicadores microbiológicos del agua son virus, bacterias y parásitos, la presencia de estos organismos microbiológicos en muestras de agua o alimentos determina la existencia de patógenos en la muestra evaluada, la cual se vincula directamente a la exposición a heces y aguas residuales, que corresponden un riesgo directo a la salud.

Una de las ventajas de estos indicadores es que permiten una fácil comparación de sus reacciones ante aplicación de métodos físicos o químicos de desinfección, también se puede evaluar su comportamiento ante cambios de temperatura o pH, son indicadores fácilmente cultivables o identificables, y económicamente factibles. Los bajos costos para su aislamiento, identificación y cuantificación, garantizan un fácil monitoreo de la calidad del agua manteniendo criterios nacionales e internacionales (Ríos-Tobón S, 2016).

La existencia de distintos grupos de patógenos que pueden transmitirse por el agua, no se tiene un microorganismo ideal o único que sea el mejor indicador de calidad de agua, ya que estos grupos tienen relación directa con enfermedades de distintos tipos como: bacteriano, viral o parasitario (Ríos-Tobón S, 2016).

La legislación colombiana desde el año 2007, a través del Ministerio de Protección Social, estableció un estricto sistema de protección de la calidad del agua, con el objeto de reducir y prevenir riesgos a la salud por ingerir agua contaminada. En primer lugar, se buscó establecer parámetros físicos, químicos y microbiológicos que podían afectar de manera directa o indirecta la calidad del agua de consumo humano, también se establecen niveles máximos aceptables de los anteriores criterios para el agua de consumo humano. Además, se establecieron planes de acción para identificación de mapa de riesgo en materia de calidad del agua, así como estudios de riesgos, programa de reducción de riesgos y planes

de contingencia para mejoramiento de calidad de agua (Ministerio de Protección Social, 2007).

En materia de indicadores microbiológicos, desde el 2007 el Ministerio de Protección Social reconoce los siguientes: Coliformes totales, *Escherichia Coli*, *Giarda*, *Criptosporidium* y microorganismos mesofílicos, también se estableció la metodología para la determinación de cada uno de los anteriores microorganismos. De encontrarse presencia de los anteriores microorganismos en las muestras realizadas por municipio se procede a incorporarse en un mapa de riesgo a la calidad del agua y posteriormente, las autoridades sanitarias, ambientales y de jurisdicción municipal establecerán un plan de acción (Ministerio de Protección Social, 2007).

4.2.4 *Escherichia Coli*:

Escherichia coli, es una bacteria Gram negativa, que hace parte de la familia *Enterobacteriaceae* y pertenece a una de las cinco especies del género *Escherichia*. Este microorganismo es un habitante normal en el intestino de los seres humanos y de los animales, principalmente los de sangre caliente (Ernozy-Rozand C, 1997). La mayoría de las cepas de *E. coli* son inofensivas, sin embargo, hay un grupo de *E. coli*, consideradas como patógenas que causan enfermedades diarreicas en los seres humanos. Las cepas de *E. coli* pueden ser clasificadas como comensales, patógenos extraintestinales (ExPEC) y patógenos intestinales (entéricos o diarreicos), (Taro JP, Kaper JB., 1998).

Las cepas consideradas como patógenos intestinales, a su vez han sido clasificadas en seis grupos dependiendo de los factores de virulencia y su interacción con las células del



hospedero (taro JP, Kaper JB., 1998): *E. coli* enterotoxigénica (ETEC), *E. coli* enteropatógena (EPEC), *E. coli* verotoxigénica (VTEC), *E. coli* enteroinvasiva (EIEC), *E. coli* enteroagregativa (CEEA) y *E. coli* adherencia difusa (DAEC) (Elsas JD, Semenov AV, Costa R, Trevors JT., 2011); sin embargo, existen algunas cepas patógenas que no han sido caracterizadas (Feng P. XI C, 2012). De éstos, los cuatro primeros grupos son reconocidos por transmitirse a través de agua o alimentos contaminados (Takeda Y, 2011).

4.3 Marco Conceptual

Coliformes Totales: Bacterias Gram negativas, no esporoformadoras, oxidasa negativa, con capacidad de crecimiento aeróbico y facultativamente anaeróbico en presencia de sales biliares, que a temperatura especificada de 35°C +/-2°C causan fermentación de lactosa con producción de gas. Poseen la enzima B-galactosidasa (IDEAM, 2007).

Coliformes Fecales: Las bacterias *coliformes fecales* son llamadas termo tolerantes, ya que se multiplican a temperaturas mayores o iguales a 44°C, este tipo de bacterias son propias de la zona intestinal de los seres humanos y animales de sangre caliente. Su presencia en una muestra de agua es un indicador de que ésta fue expuesta a aguas negras o residuos fecales. (IDEAM, 2007).

SODIS: El método SODIS usa la energía solar para destruir los microorganismos patógenos que causan enfermedades transmitidas por el agua y de esa manera mejora la calidad del agua utilizada para el consumo humano (Fundación SODIS, 2015).



Radiación Ultravioleta: La radiación ultravioleta (UV) es una forma de radiación no ionizante emitida por el sol y fuentes artificiales, como las camas bronceadoras (Centro Nacional de Salud Ambiental (NCEH), traducido por CDC Multilingual Services, 2019).

Irradiancia: Es una magnitud representada por el cociente entre la potencia (la energía por unidad de tiempo) y el área que recibe la radiación (Centro Nacional de Salud Ambiental (NCEH), traducido por CDC Multilingual Services, 2019).

Irradiación: Es la cantidad de irradiancia recibida en un lapso de tiempo determinado, es decir, la potencia recibida por unidad de tiempo y por unidad de superficie (Centro Nacional de Salud Ambiental (NCEH), traducido por CDC Multilingual Services, 2019).

PET: El politereftalato de etileno, tereftalato de polietileno, polietileno tereftalato o polietilentereftalato es un tipo de plástico muy utilizado en el sector de la alimentación. Los envases PET están normalmente asociados a los envases para bebidas ya sea PET amorfo o PET cristalino los envases de plástico para bebida (Arapack, 2018).

Enterobacteria: Las *Enterobacterias* son una familia heterogénea y amplia de bacilos gram negativos que residen en el colon del hombre sin causar enfermedad, aunque con frecuencia son causantes de un número considerable de infecciones, tanto en pacientes con inmunidad conservada como en inmunodeprimidos (Internacional Life Science Institute, ILSI, 2018).

Patógeno: se define como un organismo que tiene la capacidad de causar enfermedad. Esa capacidad depende de diversos factores, que incluyen: la dosis infectante



**Universidad
Popular del Cesar**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
AMBIENTAL Y SANITARIA**



del germen, la puerta de entrada al organismo y especialmente la susceptibilidad del huésped (Eisenstein BI, Zaleznik DF, 2018).

Agua Segura: Según el Ministerio de Salud de la Nación, el agua segura es aquella que por su condición y tratamiento no contiene gérmenes ni sustancias tóxicas que puedan afectar la salud de las personas.

4.4 Marco Contextual

El proyecto se desarrolló en el municipio de Pijiño del Carmen, departamento del Magdalena. Lugar en el cual se encuentra la finca “El Éxito” en donde se tomarán las muestras objeto de estudios. El municipio de Pijiño del Carmen cuenta con una extensión de 526 Km², se encuentra ubicado al sur del departamento del Magdalena, a 45 metros sobre el nivel del mar, cuenta con una temperatura promedio de 38°C y su relieve es mayormente plano. Según datos del IDEAM los valores de irradiancia solar en el municipio oscilan en el rango de 5,0-5,5 kWh/m², lo cual lo convierte en una zona óptima para el proceso de desinfección solar.



Fuente: Google Maps

4.5 Marco Legal

La escogencia del marco legal se realizó teniendo en cuenta los lineamientos de la respectiva normatividad ambiental vigente que resulte aplicable al proyecto.

Tabla 1 Marco Legal

Año	Presentación	Título	Objeto
1991	CONSTITUCIÓN POLÍTICA DE COLOMBIA.	Artículo 79	Establece el derecho colectivo a un ambiente sano.
1991	CONSTITUCIÓN POLÍTICA DE COLOMBIA.	Artículo 80	Planifica el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución; así como prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental.
1979	CONGRESO DE COLOMBIA	Ley 9 de 1979	Código único sanitario nacional.



1993	MINISTERIO DE SALUD.	Ley 100 de 1993	El Ministerio de Salud definirá un plan de atención básica que complemente las acciones previstas en el plan obligatorio de salud de esta ley y las acciones de saneamiento ambiental.
1993	MINISTERIO DE AMBIENTE.	Ley 99 de 1993	Se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental –SINA y se dictan otras disposiciones.
1984	MINISTERIO DE AMBIENTE	Decreto 1594 De 1984	Acerca del uso del agua y residuos líquidos.
2007	MINISTERIO DE LA PROTECCION SOCIAL	Decreto Número 1575 De 2007	Por el cual se establece el Sistema para la Protección y

			Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano
2007	MINISTERIO DE LA PROTECCION SOCIAL	Decreto Número 1575 De 2007	Por el cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano
2017	MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL	Resolución 2115 de 2017	Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano

Fuente: Constitución Política de Colombia, 1991



5. MARCO METODOLÓGICO

5.1. Línea Y Sublínea De Investigación

La investigación tiene como línea correspondiente **SOSTENIBILIDAD Y GESTIÓN AMBIENTAL** y como sublínea la **Gestión Integral del Recurso Hídrico**

5.2 Tipo De Investigación

La investigación es de tipo descriptiva de corte transversal. La investigación descriptiva se encarga de puntualizar las características de la población que está estudiando. Esta metodología se centra más en el “qué”, en lugar del “por qué” del sujeto de investigación (Arias, 2018). La investigación de corte transversal es un tipo de investigación observacional centrado en analizar datos de diferentes variables sobre una determinada población de muestra, recopiladas en un periodo de tiempo (Cabo, 2008)

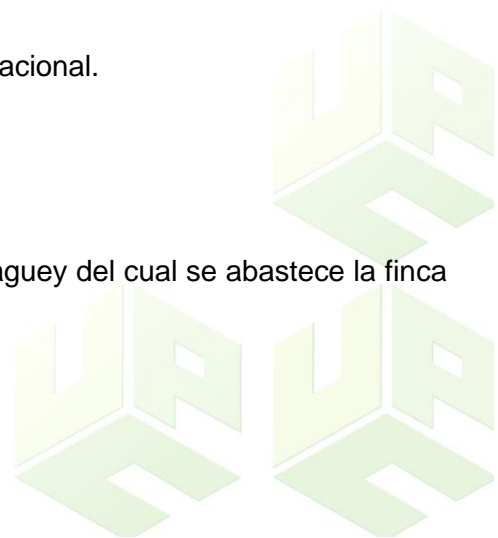
5.3 Nivel De Investigación

El nivel de la investigación es descriptivo y correlacional.

5.4 Población De Estudio

La población estudio de la investigación fue el Jaguey del cual se abastece la finca “Éxito”, en el municipio de Pijiño, Magdalena.

5.5 MUESTRA POBLACIONAL





La muestra poblacional fue probabilística con tipo aleatorio simple. Se tomaron tres muestras.

-La muestra control.

-Dos muestras que serán sometidas a la radiación solar.

5.6 Desarrollo Metodológico

Las fases a continuación describen cada actividad que permitió alcanzar los objetivos específicos planteados anteriormente.

5.6.1 FASE 1: Determinación del efecto de las radiaciones y contenido de materia orgánica en muestras de agua contaminada, sobre la reducción de *coliformes* totales

ACTIVIDAD 1.1: Toma de muestras, (condiciones en que se toman las muestras deben ser muestras con diferentes turbiedades). Donde se tuvo tres niveles de turbiedad (Alta, Media y Baja).

DESCRIPCIÓN: Se tomaron las muestras con diferentes turbiedades ya sea alta, media o baja del agua superficial de la finca el éxito.

-Se realizó la esterilización de las muestras

-Contaminación controlada de muestras

Preparación del inóculo.



La estandarización del inóculo consistió en la determinación de la concentración de las unidades formadoras de colonia en estado estacionario con el objetivo de tener inóculos en estado constante (estos inóculos preferiblemente deben ser cepas nativas).

La metodología empleada por el laboratorio para realizar la determinación de una concentración fue mediante tubos de escala 5.0 el cual generó un valor de la escala de McFarland realizando la medición de la turbidez de la solución salina, de acuerdo con el dato obtenido podemos obtener concentraciones de:

Tabla 2 Escala McFarland

Equivalentes de UFC/ml en escala McFarland.

Patrón	Concentración bacteriana (1) x 10⁶/ml	Densidad óptica teórica (2) a 550 nm
0,5	150	0,125
1	300	0,25
2	600	0,50
3	900	0,75
4	1200	1,00
5	1500	1,25

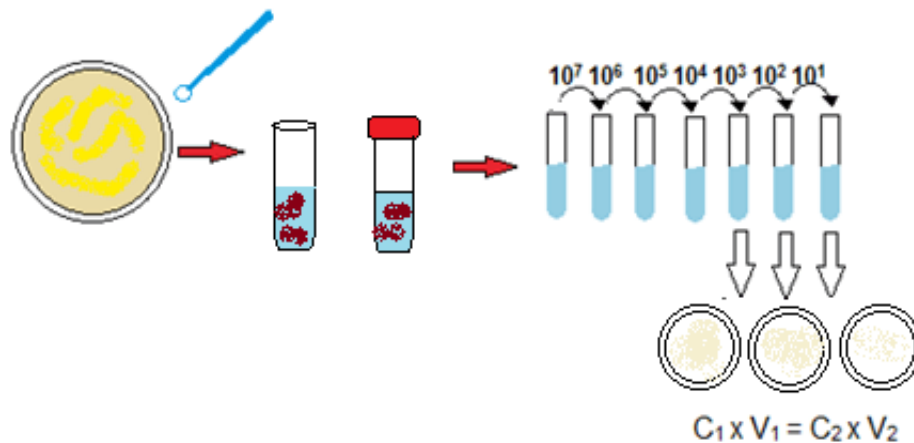
Fuente: McFarland, 1990

Se realizaron las concentraciones de los inóculos añadiendo en un tubo con 10 ml de solución salina estéril, suficiente inóculo de cepas para alcanzar una concentración de

5.0 grados McFarland, es decir, una concentración de 6×10^8 , partiendo de esta concentración se realizaron las diluciones seriadas en tubos con 9 ml de solución salina, se realizó la siembra de las diluciones a 10^{-3} , 10^{-2} y 10^{-1} o 10^{-6} , 10^{-7} y 10^{-8} cada una de estas por triplicado en el medio de cultivo normalizado para el grupo microbiano en cuestión, incubándolas a $37^\circ \text{C} \pm$ por 1 día, posterior al tiempo de incubación se hace la lectura de los resultados.

Figura 5 Concentración de inóculos

Concentración de inóculos



Fuente: Archivos Google, 2020

ACTIVIDAD 1.2 Establecimiento de la irradiancia media horaria del lugar el día de la exposición de las muestras.

DESCRIPCIÓN: Con ayuda del aparato medidor de irradiancia solar: Medidor de radiación solar, referencia: SM-206 se estableció la irradiancia diaria mensual de la finca el éxito. La unidad de medida de la irradiancia la da en unidades de W/m^2 , se tomó el



promedio de medidas horarias según el tiempo de exposición para determinar el valor de $W \cdot h/m^2$, aplicando la siguiente fórmula:

Tabla 3 Irradiancia Media Horaria

Datos para calcular valores de irradiancia media horaria en $W \cdot h/m^2$

IRRADIANCIA MEDIA HORARIA

HORA	MEDIDA (W/m ²)
1	
2	
3	
4	
5	
6	

Fuente: Autor, 2020

$$IRRADIANCIA MEDIA HORARIA = \frac{(medida1 + medida2 + medida3 + \dots n)}{(\text{número de medidas tomadas})} = \left(\frac{W}{m^2}\right)$$

ACTIVIDAD 1.3: Sometimiento de la muestra al método de desinfección solar SODIS.

DESCRIPCIÓN: La muestra tomada fue pasada a una botella PET, las cuales fueron usadas debido a que no contiene sustancias tóxicas ni peligrosas para la salud humana. Se llenó 3/4 de esta y se agitó muy bien durante 20 segundos. Después de agitarla se llenó completamente y se tapó muy bien. La muestra ya en la botella se ubicó en el tejado durante



5 horas. Este procedimiento se hizo dos veces a la semana como se especificó en el apartado de muestras.

ACTIVIDAD 1.4: Caracterización microbiana del agua que ha sido sometida al método SODIS por medio del recuento en placa propuesto por el IDEAM, 2017, para el cálculo de *coliformes totales*.

DESCRIPCIÓN: La metodología para calcular *coliformes* y *E. Coli* se realizó por medio del método conteo en placa propuesto por el IDEAM, 2017 es la siguiente: Se diluyó la muestra para posteriormente tomar 1ml de cada disolución y se llevó a cajas Petri ya esterilizadas. Luego, se vertió en cajas Petri en aproximadamente 15 a 20 ml de cultivo fundido con temperaturas inferiores a 45°C.

Por último, se mezcló la muestra y el medio haciendo movimientos rotatorios con las cajas servidas, y se llevó a incubar a 35°C +/- durante 48 horas.

ACTIVIDAD 1.5 Análisis de turbidez a las muestras de agua tomadas.

DESCRIPCIÓN: se analizó la muestra en un periodo no mayor de 24 h. Si la muestra se encontraba en refrigeración, se sacó y se permitió que alcanzara la temperatura ambiente antes de que se realizara el análisis. Se encendió el equipo, estabilizó, calibró y verificó con estándares dentro del intervalo de trabajo según se relaciona en el respectivo instructivo.

Se enjuagó la celda dos veces con muestra para evitar errores por dilución. Se llenó la celda, removiendo las burbujas de aire u otra entrada de gases a la muestra antes de la



medición, Cuando la determinación se realizó en campo las celdas estaban perfectamente secas para poder determinar la turbiedad de la muestra que se tome. NOTA. -La muestra se homogenizó perfectamente antes de realizar la lectura. Se reemplazó la celda conteniendo la disolución patrón, por la celda que contiene la muestra por analizar y cerrar el compartimento de la celda.

Se leyó la turbiedad de la muestra directamente del equipo, homogeneizando la muestra contenida en la celda entre cada lectura tal que no se generaron burbujas. Se tomaron varias lecturas homogeneizando entre cada una de ellas.

ACTIVIDAD 1.6 Comparación de los resultados de remoción de *coliformes totales* de la muestra control y las muestras sometidas al método SODIS.

DESCRIPCIÓN: Una vez realizada la caracterización microbiológica, se almacenaron los datos en tablas de Excel para facilitar la comprensión. Se analizó los datos del contenido de *coliformes totales* de las muestras de agua sometidas a SODIS con los datos de la muestra control, y se estableció el efecto de las radiaciones y la materia orgánica en la remoción bacteriana de las aguas superficiales.

Tabla 4 Caracterización Bacteriana

Resultados de la caracterización bacteriana de muestras con distinta turbiedad.

Turbiedad	Radiación Media Horaria	% Remoción <i>coliformes</i>	%Remoción turbiedad
<hr/>			



Alta (+1)

Media (0)

Baja (-1)

Alta (+1)

Media (0)

Baja (-1)

Alta (+1)

Media (0)

Baja (-1)

Fuente: Autor, 2020

$$\%REMOCIÓN\ coliforme = \frac{\frac{UFC\ Coliformes}{mL}\text{ después del tratamiento SODIS}}{\frac{UFC\ Coliformes}{mL}\text{ Antes del tratamiento SODIS}} * 100$$
$$\%REMOCIÓN\ Turbiedad = \frac{\frac{Turbiedad\ después\ del\ tratamiento\ SODIS}{mL}}{\frac{Turbiedad\ Antes\ del\ tratamiento\ SODIS}{mL}} * 100$$



FASE 2: Determinación del efecto de las radiaciones y espesor de la capa de agua en muestras de agua contaminada, sobre la reducción de *coliformes totales*

ACTIVIDAD 2.1: Toma de muestras, (condiciones en que se toman las muestras deben ser muestras con diferentes capas de agua).

DESCRIPCIÓN: Se tomaron las muestras con diferentes capas de agua del agua superficial de la finca el éxito.

-Se realizó la esterilización de las muestras

-Contaminación controlada de muestras

Preparación del inóculo.

La estandarización del inóculo consistió en la determinación de la concentración de las unidades formadoras de colonia en estado estacionario con el objetivo de tener inóculos en estado constante (estos inóculos preferiblemente deben ser cepas de colección). La metodología empleada por el laboratorio para realizar la determinación de una concentración fue mediante tubos de escala 5,0 el cual generó un valor de la escala de McFarland realizando la medición de la turbidez de la solución salina, de acuerdo con el dato obtenido podemos obtener concentraciones de:

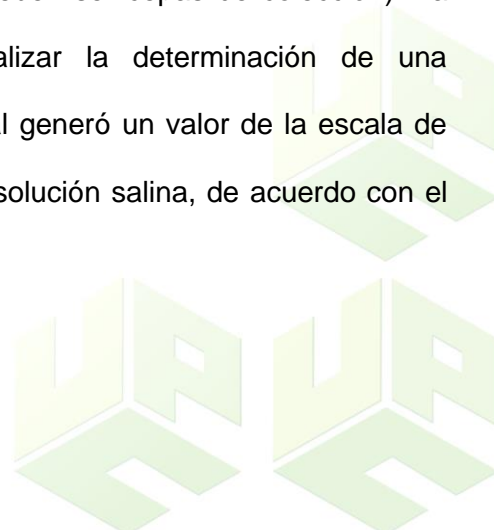




Tabla 5 Equivalentes McFarland

Equivalentes de UFC/ml en escala McFarland.

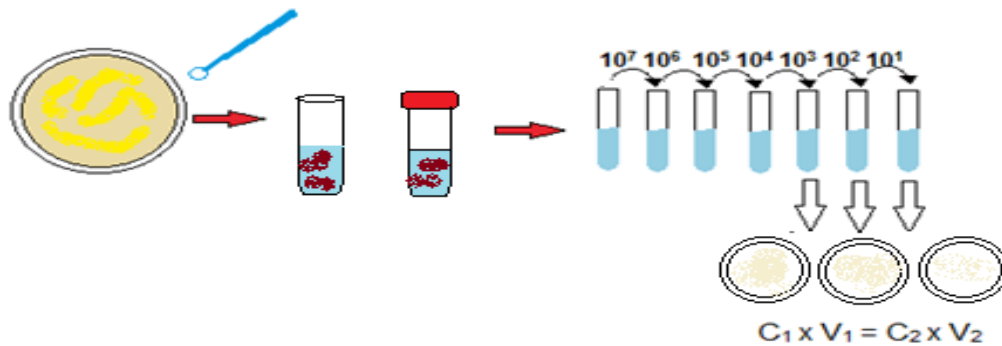
Patrón	Concentración bacteriana (1) x 10⁶/ ml	Densidad óptica teórica (2) a 550 nm
0,5	150	0,125
1	300	0,25
2	600	0,50
3	900	0,75
4	1200	1,00
5	1500	1,25

Fuente:: Autor, 2022

Se realizaron las concentraciones de los inóculos añadiendo en un tubo con 10 ml de solución salina estéril, suficiente inóculo de cepas para alcanzar una concentración de 5.0 grados McFarland, es decir, una concentración de 6×10^8 , partiendo de esta concentración se realizaron las diluciones seriadas en tubos con 9 ml de solución salina, se realizó la siembra de las diluciones a 10^3 , 10^2 y 10^1 o 10^6 , 10^7 y 10^8 cada una de estas por triplicado en el medio de cultivo normalizado para el grupo microbiano en cuestión, incubándolas a $37^\circ \text{C} \pm$ por 24 horas, posterior al tiempo de incubación se hace la lectura de los resultados.

Figura 6 Concentración de inóculos

Concentración de inóculos



Fuente: Archivos de Google, 2020

ACTIVIDAD 2.2: Establecimiento de la capa de agua de las muestras a someter al método SODIS.

DESCRIPCIÓN: Para calcular el espesor de las muestras de agua expuestas se utilizó la siguiente formula;

$$Z=L/V$$

Donde

Z: Espesor del agua (mm)

L: Lámina de agua (mm)

V: Volumen de agua (ml)





ACTIVIDAD 2.3: Sometimiento de la muestra al método de desinfección solar SODIS.

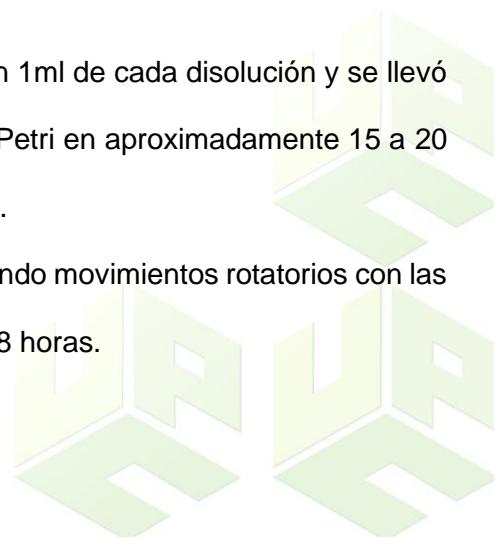
DESCRIPCIÓN: La muestra tomada se pasó a una botella PET, las cuales se recomiendan debido a que no contiene sustancias tóxicas ni peligrosas para la salud humana. Solo se llenó 3/4 de esta y se agitó muy bien durante 20 segundos. Después de agitarla se llenó completamente y se tapó muy bien. La muestra ya en la botella se ubicó en el tejado durante 5 horas. Este procedimiento se realizó dos veces a la semana como se especificó en el apartado de muestras.

ACTIVIDAD 2.4: Caracterización microbiana del agua que ha sido sometida al método SODIS por medio del recuento en placa propuesto por el IDEAM, 2017, para el cálculo de *coliformes totales*.

DESCRIPCIÓN: La metodología para calcular *coliformes* y *E. Coli* por medio del método conteo en placa propuesto por el IDEAM, 2017 fue la siguiente:

Se diluyó la muestra y posteriormente se tomó un 1ml de cada disolución y se llevó a cajas Petri ya esterilizadas. Luego, se vertió en cajas Petri en aproximadamente 15 a 20 ml de cultivo fundido con temperaturas inferiores a 45°C.

Por último, se mezcló la muestra y el medio haciendo movimientos rotatorios con las cajas servidas, y se llevó a incubar a 35°C +/- durante 48 horas.





ACTIVIDAD 2.5 Comparación de los resultados de remoción de *coliformes totales* de la muestra control y las muestras sometidas al método SODIS con sus respectivos espesores.

DESCRIPCIÓN: Una vez realizada la caracterización microbiológica de las muestras, se almacenaron los datos en tablas de Excel para facilitar la comprensión, de acuerdo con el espesor de la capa de agua. Se analizaron los datos del contenido de *coliformes totales* de las muestras de agua sometidas a SODIS con los datos de la muestra control, y se estableció el efecto de las radiaciones y el espesor de la capa de agua de las muestras en la remoción bacteriana de las aguas superficiales.

Tabla 6 Caracterización bacteriana

Resultados de la caracterización bacteriana de muestras con distinto espesor.

Espesor (cm/ml)	Radiación Media Horaria	% Remoción coliformes	%Remoción turbiedad
Alto (+1)			
Medio (0)			
Bajo (-1)			
Alto (+1)			
Medio (0)			



Bajo (-1)

Alto (+1)

Medio (0)

Bajo (-1)

Fuente: Autor, 2021

$$\%REMOCIÓN\ coliforme = \frac{\frac{UFC\ Coliformes}{mL}\text{ después del tratamiento SODIS}}{\frac{UFC\ Coliformes}{mL}\text{ Antes del tratamiento SODIS}} * 100$$
$$\%REMOCIÓN\ Turbiedad = \frac{Turbiedad\ después\ del\ tratamiento\ SODIS}{Turbiedad\ Antes\ del\ tratamiento\ SODIS} * 100$$

FASE 3: Establecimiento del efecto de las radiaciones y tiempo de exposición en muestras de agua contaminada, sobre la reducción de *coliformes totales*

ACTIVIDAD 3.1 Someter las muestras a SODIS en periodos de tiempo distintos.

DESCRIPCIÓN: La muestra tomada se pasó a una botella PET, las cuales se recomiendan debido a que no contiene sustancias tóxicas ni peligrosas para la salud humana. Solo se llenó 3/4 de esta y se agitó muy bien durante 20 segundos. Después de agitarla se llenó completamente y se tapó muy bien. La muestra ya en la botella se ubicó en el tejado durante 5 horas. Este procedimiento se realizó dos veces a la semana como se especificó en el apartado de muestras.



ACTIVIDAD 3.2: Caracterización microbiana del agua que ha sido sometida al método SODIS por medio del recuento en placa propuesto por el IDEAM, 2017, para el cálculo de *coliformes totales*.

DESCRIPCIÓN: La metodología para calcular *coliformes* y *E. Coli* por medio del método conteo en placa propuesto por el IDEAM, 2017 fue la siguiente:

Se diluyó la muestra y posteriormente se tomó un 1ml de cada disolución y se llevó a cajas Petri ya esterilizadas. Luego, se vertió en cajas Petri en aproximadamente 15 a 20 ml de cultivo fundido con temperaturas inferiores a 45°C.

Por último, se mezcló la muestra y el medio haciendo movimientos rotatorios con las cajas servidas, y se llevó a incubar a 35°C +/- durante 48 horas.

ACTIVIDAD 3.3 Comparación de los resultados de remoción de *coliformes totales* de la muestra control y las muestras sometidas al método SODIS en los tiempos de exposición establecidos.

DESCRIPCIÓN: Una vez realizada la caracterización microbiológica de las muestras, se almacenaron los datos en tablas de Excel para facilitar la comprensión, de acuerdo con el espesor de la capa de agua. Se analizaron los datos del contenido de *coliformes totales* de las muestras de agua sometidas a SODIS con los datos de la muestra control, y se estableció el efecto de las radiaciones y el tiempo de exposición de las muestras en la remoción bacteriana de las aguas superficiales.



Tabla 7 Caracterización Bacteriana

Resultados de la caracterización bacteriana de muestras con distinto tiempo de exposición.

Turbiedad	Radiación Media Horaria	Tiempo de Exposición (horas)	% Remoción coliformes	Tiempo de Exposición (horas)	%Remoción Coliformes
Alta (+1)					
Media (0)					
Baja (-1)					
Alta (+1)					
Media (0)					
Baja (-1)					
Alta (+1)					
Media (0)					
Baja (-1)					

Fuente: Autor, 2021





$$\%REMOCIÓN\ coliforme = \frac{\frac{UFC\ Coliformes}{mL}\text{ después del tratamiento SODIS}}{\frac{UFC\ Coliformes}{mL}\text{ Antes del tratamiento SODIS}} * 100$$
$$\%REMOCIÓN\ Turbiedad = \frac{Turbiedad\ después\ del\ tratamiento\ SODIS}{Turbiedad\ Antes\ del\ tratamiento\ SODIS} * 100$$

FASE 4: Comparación de los resultados de remoción de *coliformes totales* entre el método de irradiancia solar y método tradicional (cloración)

ACTIVIDAD 4.1: Toma de muestras, (condiciones en que se toman las muestras deben ser muestras con diferentes niveles de turbiedad).

DESCRIPCIÓN: Se tomaron las muestras con diferentes capas de agua del agua superficial de la finca el éxito.

-Se realizó la esterilización de las muestras

-Contaminación controlada de muestras

ACTIVIDAD 4.2: Aplicación de hipoclorito de sodio a una concentración de 1,5 mg/litro.

DESCRIPCIÓN: La muestra tomada se pasó a una botella PET, las cuales se recomiendan debido a que no contiene sustancias tóxicas ni peligrosas para la salud humana. Solo se llenó 3/4 de esta y se agitó muy bien durante 20 segundos. Después de agitarla se llenó completamente y se tapó muy bien. La muestra ya en la botella se ubicó en el tejado durante 5 horas. Este procedimiento se realizó dos veces a la semana como se especificó en el apartado de muestras.



ACTIVIDAD 4.3: Determinación de los niveles de remoción de *coliformes* y turbiedad en las muestras a las que se aplicó el método tradicional (cloración)

DESCRIPCIÓN: Una vez realizada la caracterización microbiológica de las muestras, se almacenaron los datos en tablas de Excel para facilitar la comprensión, de acuerdo con la concentración de cloro aplicada. Se analizaron los datos del contenido de *coliformes totales* de las muestras de agua sometidas a cloración con los datos de la muestra control, y se estableció el efecto de la cloración la remoción bacteriana de las aguas superficiales

Tabla 8 Caracterización Bacteriana

Resultados de la caracterización bacteriana de muestras expuestas al cloro.

Turbiedad	Concentraci n cloro (ppm)	Concentración antes de exponer a Cloro (UFC/ml) *10⁴	Concentración después de exponer a Cloro (UFC/ml) *10⁴	%Remoción <i>coliformes</i>
Alta (+1)				
Media (0)				
Baja (-1)				
Alta (+1)				
Media (0)				



Baja (-1)

Alta (+1)

Media (0)

Baja (-1)

Fuente: Autor, 2020

$$\%REMOCIÓN\ coliforme = \frac{\frac{UFC\ Coliformes}{mL}\text{ después del tratamiento cloro}}{\frac{UFC\ Coliformes}{mL}\text{ Antes del tratamiento cloro}} * 100$$
$$\%REMOCIÓN\ Turbiedad = \frac{Turbiedad\text{ después del tratamiento cloro}}{Turbiedad\text{ Antes del tratamiento cloro}} * 100$$

5.7 Diseño De La Investigación

La investigación presenta un diseño experimental de tipo cuasiexperimental, ya que se estableció básicamente relaciones causa-efecto. Más específicamente, cuando se desea estudiar como una variable independiente (causa) modifica una variable dependiente (efecto), teniendo un control.

Variable independiente: Radicación solar, tiempo de exposición, espesor del agua,

Variable dependiente: Presencia de *coliformes totales*.

Según Campbell y Stanley (1966), se pueden escoger los siguientes son criterios para la nominación de los diseños experimentales:



R = Para asignación al azar o aleatorización.

G = Para determinar el número o grupo de sujetos (G1 = grupo 1)

X = Para la presencia de un tratamiento, estímulo, o condición experimental, las cuales pueden ser varias, por lo que puede tener subíndices (X1, X2, ..., Xn)

O = Una medición a los sujetos de un grupo. Puede tener subíndices para determinar el número de mediciones (O1, O2, ..., On)

- = Ausencia de un estímulo, indica que se trata de un grupo control.

1°

RG1

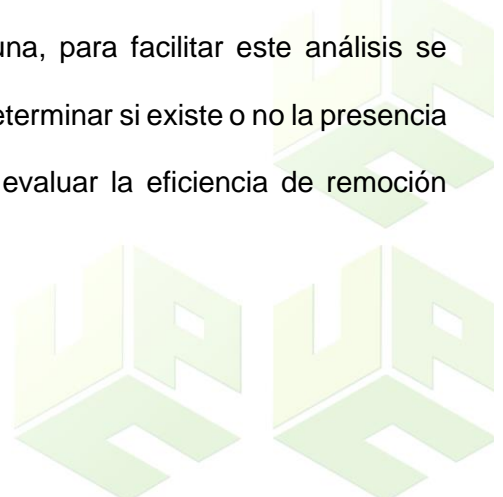
O1

X

O2

En el primer experimento de la investigación, se escogió aleatoriamente (R) una muestra de agua los cuales fueron sometidos a análisis, al cual se le realizó una medición previa (O1), para determinar la presencia de *E. Coli*, como efecto de la falta de potabilización de agua y finalmente se realizó la comparación con una muestra de agua que será nuestro control. (O2).

Este experimento se realizó dos veces con dos muestras de agua sometidas a SODIS y se analizaron los datos obtenidos en cada una, para facilitar este análisis se registraron los datos en tablas de revisión, con el fin de determinar si existe o no la presencia de *E. Coli* después de someterse a la desinfección y evaluar la eficiencia de remoción bacteriana del método mencionado.





6. RESULTADOS Y ANÁLISIS

6.1 Determinación del efecto de las radiaciones y contenido de materia orgánica en muestras de agua contaminada, sobre la reducción de *coliformes totales*

6.1.1 Toma de muestras, (condiciones en que se toman las muestras deben ser muestras con diferentes turbiedades). Donde tendremos tres niveles de turbiedad (Alta, Media y Baja).

Se tomaron las muestras con diferentes turbiedades ya sea alta, media o baja del agua superficial de la finca el éxito, así mismo se realizó la esterilización de las muestras y la contaminación controlada de estas. El procedimiento se describe a continuación:

Esterilización de muestras: La muestra de agua superficial inicial sin diluir se tomó como muestra con turbiedad al 100%, esta misma se diluyó con agua destilada a porcentajes 50% y 20% respectivamente, de esta manera se garantizaron tres niveles de turbiedad: alta, media y baja. Luego de esto se procedió a esterilizar las muestras en la autoclave para garantizar la ausencia de bacterias. Este procedimiento se puede apreciar en el “Anexo 4”.

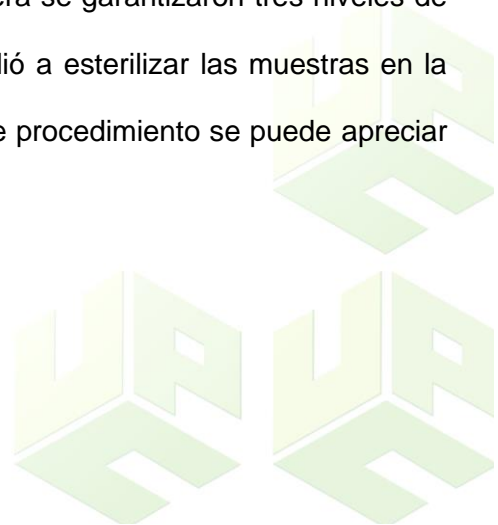


Tabla 9 Dilución Agua Superficial

Dilución de agua superficial

Dilución de Agua superficial

Agua Destilada (ml)	Agua Superficial (ml)	% Concentración
100	0	0
90	10	10
80	20	20
70	30	30
60	40	40
50	50	50
40	60	60
30	70	70
20	80	80
10	90	90
0	100	100

Fuente: Autores, 2021

La tabla anterior permite evidenciar los mililitros de agua destilada utilizados, así como los mililitros de agua superficial utilizada con la respectiva concentración de la dilución.

El proceso de esterilización y contaminación controlada de las muestras de agua utilizadas se evidencia en “anexos 4 y 5”.



Una vez obtenida las muestras esterilizadas y realizada la contaminación controlada de estas, se realizó la preparación del inóculo, cuyo procedimiento se describe a continuación:

Preparación del inóculo: La estandarización del inóculo consistió en la determinación de la concentración de las unidades formadoras de colonia en estado estacionario con el objetivo de tener inóculos en estado constante (estos inóculos preferiblemente deben ser cepas de colección). La metodología empleada por el laboratorio para realizar la determinación de una concentración es mediante tubos de escala 5.0 el cual genera un valor de la escala de McFarland realizando la medición de la turbidez de la solución salina, siguiendo la metodología McFarland adjunta en el “*anexo 1*”.

Siguiendo la metodología antes nombrada se calibró la curva de McFarland

Tabla 10 Escala McFarland

Escala de McFarland

Escala de McFarland

Patrón	Concentración bacteriana UFC.108/ml	Densidad óptica teórica a 600 nm
0,5	1,5	0,165
1	3	0,232
2	6	0,381
3	9	0,456

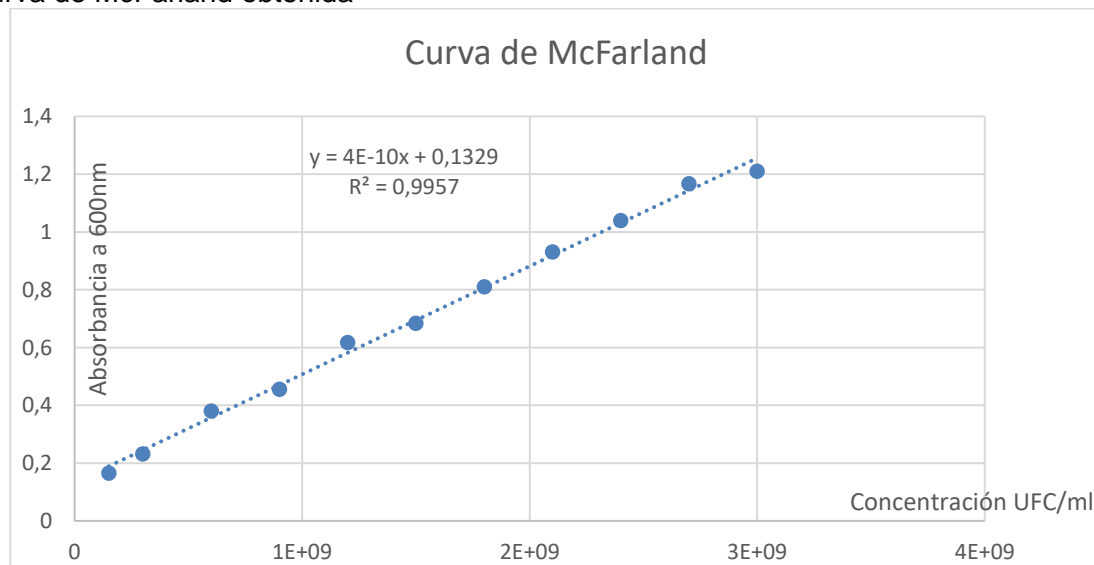


4	12	0,618
5	15	0,684
6	18	0,81
7	21	0,931
8	24	1,04
9	27	1,167
10	30	1,21

Fuente: Autores, 2021

Figura 7 Curva de McFarland

Curva de McFarland obtenida



Fuente: Autor, 2021



La curva de McFarland obtenida a partir de la escala realizada se usa como referencia en suspensiones bacteriológicas para saber que el número de bacterias por mililitro, o más bien en UFC según una escala que va de 0,5 a 10.

Contaminación controlada: La contaminación controlada de las muestras se realizó con la finalidad de garantizar un mismo número de *coliformes* totales en cada tratamiento al que se expusieron las muestras de agua, vale la pena resaltar que la concentración bacteriana elegida fue proveniente de la contaminación natural encontrada en el agua de estudio de la finca “el éxito”.

Se utilizó la curva de calibración McFarland para determinar concentración UFC/ml de la muestra madre contaminada, muestra a la cual se le determinó una absorbancia de 0,155 a una longitud de onda de 600nm.

$$\text{Fórmula McFarland: } y = 4 * 10^{-10} x + 0,1329$$
$$\text{Reemplazando: } \frac{0,155 - 0,1329}{4 * 10^{-10}} = 55250000 \frac{\text{UFC}}{\text{ml}}$$

Luego de determinar la concentración bacteriana inicial, se estableció el volumen necesario de la muestra contaminada para contaminar la muestra que se expuso a tratamiento SODIS a una concentración deseada de 5000UFC/ml.

$$C1V1 = C2V2$$
$$\text{Reemplazando: } V1 = \frac{5000 \frac{\text{UFC}}{\text{ml}} * 1000\text{ml}}{55250000 \text{ UFC/ml}} = 0,09\text{ml}$$

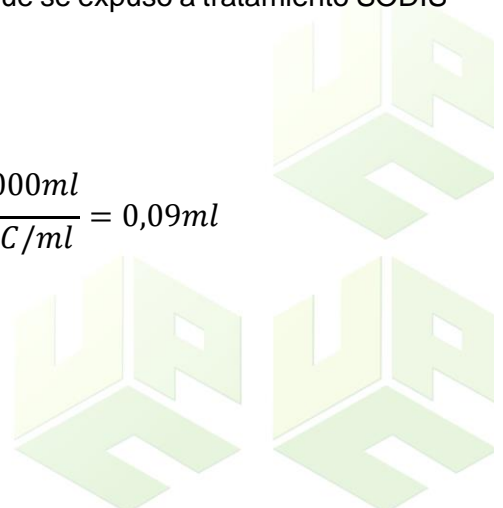


Figura 12 Metodología de contaminación controlada de muestras

Contaminación controlada de muestras



Fuente: Autor 2021

6.1.2 Establecimiento de la irradiancia media horaria del lugar el día de la exposición de las muestras.

Con ayuda del aparato medidor de irradiancia solar: Medidor de radiación solar, referencia: SM-206 se estableció la irradiancia diaria mensual de la finca el éxito. La unidad de medida de la irradiancia la da en unidades de W/m^2 , se tomó el promedio de medidas horarias según el tiempo de exposición para determinar el valor de $W \cdot h/m^2$. Los datos usados con la finalidad de determinar la irradiancia media horaria se presentan a continuación:

Tabla 11 Determinación de Radiación

Datos para calcular valores de irradiancia media horaria en W*h/m²

IRRADIANCIA MEDIA HORARIA

HORA	HORA DEL DÍA	MEDIDA (W/m ²)
1	12:00	1263
2	13:00	1242
3	14:00	1042

Fuente: Autor, 2021

Las mediciones obtenidas con el dispositivo SM-206, se observan en el “anexo 6”

Una vez obtenidos los datos se procedió a realizar el cálculo de la irradiancia media horaria con la fórmula establecida con anterioridad.

$$IRRADIANCIA MEDIA HORARIA = \frac{(1263 + 1242 + 1042)}{(3)} = (1182 \frac{W}{m^2})$$

6.1.3 Sometimiento de la muestra al método de desinfección solar SODIS.

La muestra tomada fue pasada a una botella PET, las cuales fueron usadas debido a que no contiene sustancias tóxicas ni peligrosas para la salud humana. Se envasaron las muestras contaminadas y posteriormente se procedió a exponer a radiación como se aprecia en “anexos 6 y 7”.



Después de agitarla se llenó completamente y se tapó muy bien. La muestra ya en la botella se ubicó en el tejado durante 5 horas. El volumen expuesto fue de 300 mililitros. Los “anexos 6 y 7” aprecian este proceso realizado.

6.1.4 Caracterización microbiana del agua que ha sido sometida al método SODIS por medio del recuento en placa propuesto por el IDEAM, 2017, para el cálculo de coliformes totales.

El cálculo de *coliformes* y *E. Coli* se realizó por medio del método conteo en placa propuesto por el IDEAM, 2017.

La tabla a continuación evidencia la caracterización microbiana de las muestras según la turbidez correspondiente, respaldada por el “anexo 9”

Tabla 12 Caracterización Microbiana Turbiedad Alta

Caracterización Microbiana de Muestras (Turbiedad Alta)

Caracterización Microbiana de Muestras (Turbiedad Alta)

Antes de Exponer		Luego de exposición a radiación	
Turbiedad	Concentración (UFC/ml)	Turbiedad	Concentración (UFC/ml)
Alta	5000	Alta	1200
Alta	5000	Alta	800
Alta	5000	Alta	654

Fuente: Autor, 2021

Tabla 13 Caracterización Microbiana Turbiedad Media



Caracterización Microbiana de Muestras (Turbiedad Media)

Caracterización Microbiana de Muestras (Turbiedad Media)

Antes de Exponer		Luego de exposición a radiación	
Turbiedad	Concentración (UFC/ml)	Turbiedad	Concentración (UFC/ml)
Media	5000	Media	80
Media	5000	Media	120
Media	5000	Media	720

Fuente: Autor, 2021

Tabla 14 Caracterización Microbiana Turbiedad Baja

Caracterización Microbiana de Muestras (Turbiedad Baja)

Caracterización Microbiana de Muestras (Turbiedad Baja)

Antes de Exponer		Luego de exposición a radiación	
Turbiedad	Concentración (UFC/ml)	Turbiedad	Concentración (UFC/ml)
Baja	5000	Baja	1
Baja	5000	Baja	1
Baja	5000	Baja	0

Fuente: Autor, 2021

6.1.5 Análisis de turbidez a las muestras de agua tomadas.



Se analizó la muestra en un periodo no mayor de 24 h. Si la muestra se encontraba en refrigeración, se sacó y se permitió que alcanzara la temperatura ambiente antes de que se realizara el análisis. Se encendió el equipo, estabilizó, calibró y verificó con estándares dentro del intervalo de trabajo según se relaciona en el respectivo instructivo.

Se enjuagó la celda dos veces con muestra para evitar errores por dilución. Se llenó la celda, removiendo las burbujas de aire u otra entrada de gases a la muestra antes de la medición, Cuando la determinación se realizó en campo las celdas estaban perfectamente secas para poder determinar la turbiedad de la muestra que se tomó. NOTA. -La muestra se homogeneizó perfectamente antes de realizar la lectura.

Tabla 15 Resultados Turbiedad (NTU)

Análisis de Turbiedad

Análisis de Turbiedad		
Muestra	Nivel	NTU
1	Baja	16
2	Media	40
3	Alta	99

Fuente: Autor, 2022.

Se leyó la turbiedad de la muestra directamente del equipo, homogeneizando la muestra contenida en la celda entre cada lectura tal que no se generaron burbujas. Se tomaron varias lecturas homogeneizando entre cada una de ellas como se puede apreciar en “anexo 12”.



6.1.6 Comparación de los resultados de remoción de coliformes totales de la muestra control y las muestras sometidas al método SODIS.

Una vez realizada la caracterización microbiológica, se almacenaron los datos en tablas de Excel para facilitar la comprensión. La tabla a continuación representa la recopilación de la información obtenida correspondiente a cada turbiedad, la radiación media horaria y el porcentaje de remoción de *coliformes*.

Tabla 16 Resultados de remoción

Resultados de la remoción muestras con diferente turbiedad

Turbiedad	Radiación Media Horaria	% Remoción coliformes
Alta	1182	76%
Alta	1182	84%
Alta	1182	86,9%
Media	1182	98,4%
Media	1182	97,6%
Media	1182	85,6%
Baja	1182	99,6%



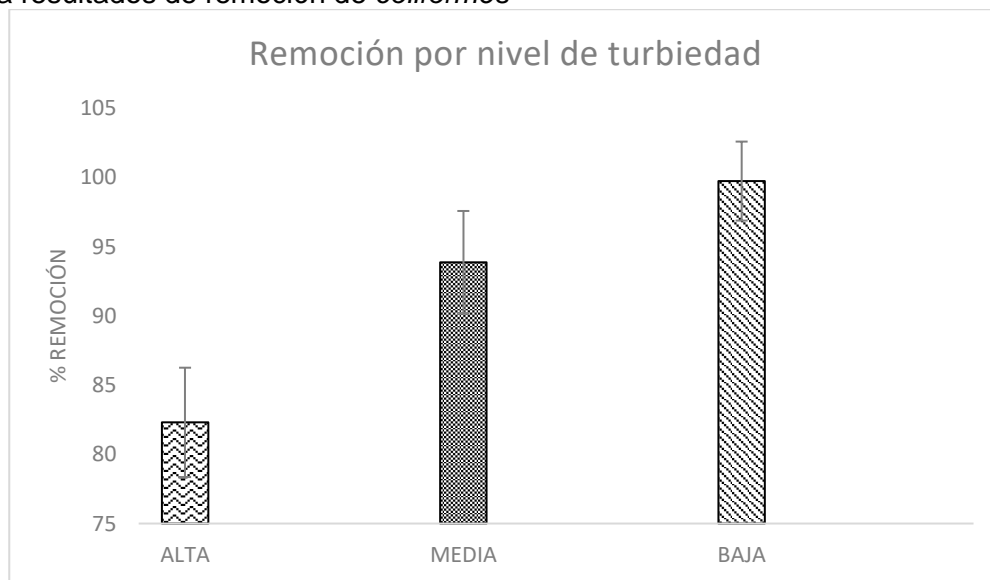
Baja	1182	99,6%
Baja	1182	100%

Fuente: Autor, 2021

Se analizó los datos del contenido de *coliformes* totales de las muestras de agua sometidas a SODIS con los datos de la muestra control, y se estableció el efecto de las radiaciones y la materia orgánica en la remoción bacteriana de las aguas superficiales. Se puede apreciar que para una radiación de 1182 W/m² y con una turbiedad baja el porcentaje de efectividad es del 99,6% y para turbiedades media y altas, el porcentaje de remoción de *coliformes* totales es del 100% en todos los casos.

Figura 13 Gráfica resultados de remoción de *coliformes*

Gráfica resultados de remoción de *coliformes*



Fuente: Autor, 2022

Tabla 17 Desviación Estándar



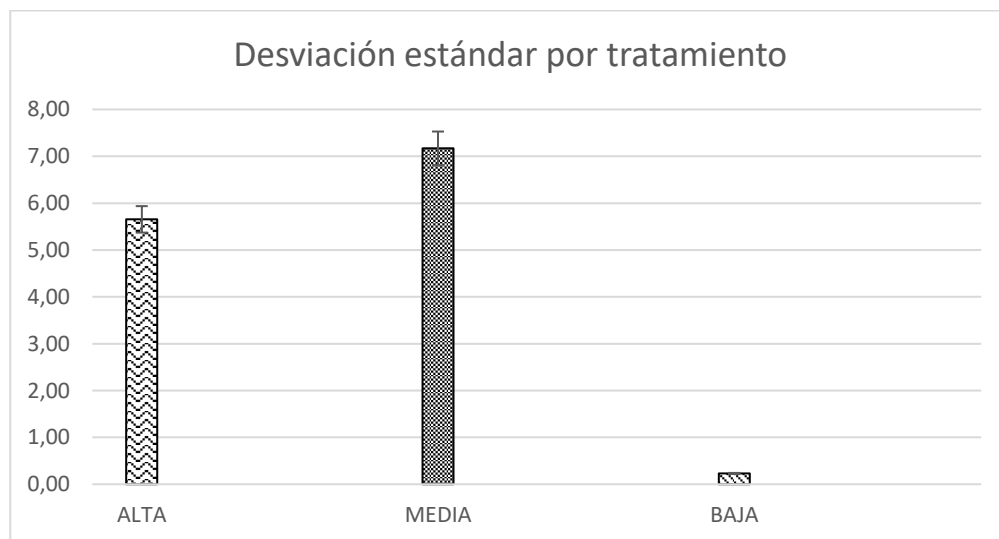
Datos para análisis de desviación estándar

RESULTADOS MUESTRAS EXPUESTAS A DISTINTA TURBIEDAD			
Turbiedad	% Remoción	Promedio	Desviación
ALTA	76	82,31	5,65
	84		
	86,92		
MEDIA	98,4	93,87	7,17
	97,6		
	85,6		
BAJA	99,6	99,73	0,23
	99,6		
	100		

Fuente: Autor, 2022

Figura 14 Gráfica desviación estándar

Gráfica desviación estándar



Fuente: Autor, 2022.

Al realizar el análisis de varianza referenciado en anexos, se rechazó la hipótesis nula porque F calculada fue mayor a la F tabulada, esto indicó que hubo diferencia significativa entre las medias de los tratamientos, posteriormente se realizó el test LSD para



determinar el grado de significancia en las diferencias encontradas entre las medias de los tratamientos.

Luego de realizar el test LSD se demostró que hubo diferencias significativas en entre los tratamientos, principalmente entre los tratamientos de turbiedades altas y bajas, esto fue indicador directo de que los porcentajes de remoción en esta prueba dependieron en gran manera de las turbiedades de cada muestra, en ese orden, a menor turbiedad mayor fue el grado de remoción. Según (Solsona, 2002) dentro de las variables que más incidencia tienen en el correcto funcionamiento del método SODIS encontramos: turbiedad del agua, temperatura y el tipo de envase a utilizar, lo cual fue comprobado en las pruebas realizadas.

6.2 Determinación del efecto de las radiaciones y espesor de la capa de agua en muestras de agua contaminada, sobre la reducción de *coliformes* totales.

6.2.1 Toma de muestras

Se tomaron las muestras con diferentes turbiedades ya sea alta, media o baja del agua superficial de la finca el éxito, así mismo se realizó la esterilización de las muestras y la contaminación controlada de estas.

Esterilización de muestras: La muestra de agua superficial inicial se tomó a concentración 100% respectivamente. Luego de esto se procedió a esterilizar las muestras en la autoclave para garantizar la ausencia de bacterias.



Por otra parte, la estandarización del inóculo consistió en la determinación de la concentración de las unidades formadoras de colonia en estado estacionario con el objetivo de tener inóculos en estado constante (estos inóculos preferiblemente deben ser cepas de colección). La metodología empleada por el laboratorio para realizar la determinación de una concentración es mediante tubos de escala 5,0 el cual genera un valor de la escala de McFarland realizando la medición de la turbidez de la solución salina, siguiendo la metodología McFarland adjunta en el “anexo 1”.

Siguiendo la metodología antes nombrada se calibró la curva de McFarland

Tabla 20 Escala McFarland

Escala de McFarland

Escala de McFarland		
Patrón	Concentración bacteriana UFC.108/ml	Densidad óptica teórica a 600 nm
0,5	1,5	0,165
1	3	0,232
2	6	0,381
3	9	0,456
4	12	0,618
5	15	0,684
6	18	0,81
7	21	0,931
8	24	1,04
9	27	1,167
10	30	1,21

Fuente: Autor, 2021

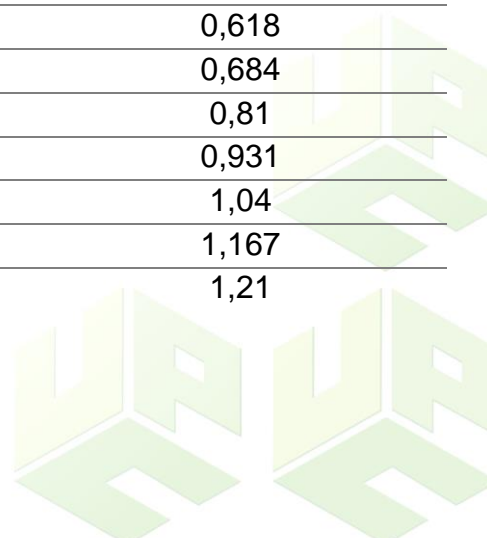
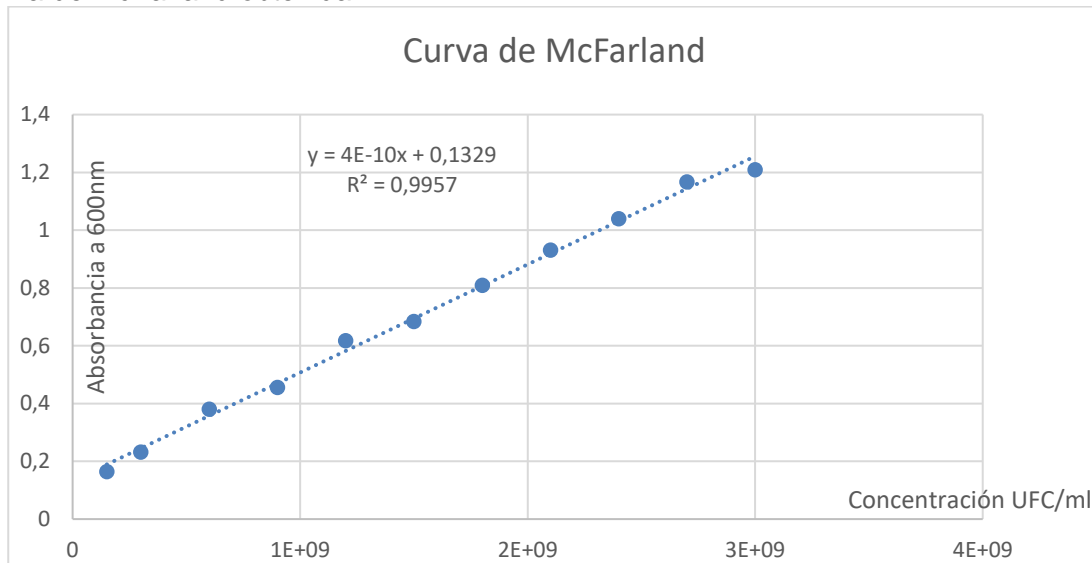


Figura 15 Curva de McFarland

Curva de McFarland obtenida



Fuente: Autor, 2021

La curva de McFarland obtenida a partir de la escala realizada se usa como referencia en suspensiones bacteriológicas para saber que el número de bacterias por mililitro, o más bien en UFC según una escala que va de 0,5 a 10.

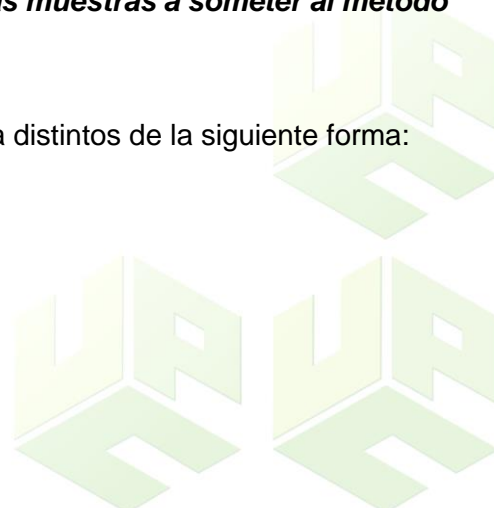
6.2.2 Establecimiento de la capa de agua de las muestras a someter al método SODIS.

Se establecieron tres niveles de espesor de agua distintos de la siguiente forma:

$Z=L/V$ **Donde:**

Z: Espesor del agua (cm)

L: Lámina de agua (cm)



V: Volumen de agua (ml)

La tabla a continuación permite evidenciar las muestras tomadas junto con la lámina de agua en centímetros y el espesor de agua de cada una de estas.

Tabla 21 Características de la muestra de agua

Características de las muestras de agua

Volumen (ml)	L (cm)	Z (cm/ml)
100	1,4	0,0140
100	1,4	0,0140
100	1,4	0,0140
200	2,2	0,0110
200	2,2	0,0110
300	2,2	0,0110
300	3,4	0,0113
300	3,4	0,0113
300	3,4	0,0113

Fuente: Autor, 2021

6.2.3 Sometimiento de la muestra al método de desinfección solar SODIS.

La muestra tomada se almacenó en botellas PET con capacidad máxima de 300ml. Se llenaron hasta niveles de volumen antes elegidos y posteriormente se expuso a radiación solar como se aprecia en “anexo 13”.

Con ayuda del aparato medidor de irradiancia solar: Medidor de radiación solar, referencia: SM-206 se estableció la irradiancia diaria mensual de la finca el éxito. La unidad



de medida de la irradiancia la da en unidades de W/m², se tomó el promedio de medidas horarias según el tiempo de exposición para determinar el valor de W*h/m². Los datos usados con la finalidad de determinar la irradiancia media horaria se presentan a continuación:

Tabla 22 Radiación Media Horaria

Datos para calcular valores de irradiancia media horaria en W*h/m²

IRRADIANCIA MEDIA HORARIA		
HORA	HORA DEL DÌA	MEDIDA (W/m ²)
1	11:00	1246
2	11:00	1348
3	13:00	1309
4	14:00	937
5	15:00	545
6	16:00	346

Fuente: Autor, 2021

Una vez obtenidos los datos se procedió a realizar el cálculo de la irradiancia media horaria con la fórmula establecida con anterioridad.

$$IRRADIANCIA MEDIA HORARIA = \frac{(1246 + 1348 + 1309 + 937 + 545 + 346)}{(6)} = 955,1 \left(\frac{W}{m^2}\right)$$

La irradiancia media horaria obtenida fue de 955,1 $\left(\frac{W}{m^2}\right)$



6.2.4 Caracterización microbiana del agua que ha sido sometida al método SODIS por medio del recuento en placa propuesto por el IDEAM, 2017, para el cálculo de coliformes totales.

El cálculo de coliformes y *E. Coli* se realizó por medio del método conteo en placa propuesto por el IDEAM, 2017.

La tabla a continuación evidencia la caracterización microbiana de las muestras con diferentes espesores, respaldada por el "anexo14".

Tabla 23 Caracterización Microbiana

Caracterización Microbiana de muestras con distinto espesor

Caracterización Microbiana de Muestras con distinto espesor

Antes de Exponer		Luego de exposición a radiación	
Z	Concentración (UFC/ml) *10 ⁴	Z	Concentración (UFC/ml) *10 ⁴
0,0140	2025	0,0140	480
0,0140	2025	0,0140	410
0,0140	2025	0,0140	300
0,0110	2025	0,0110	0
0,0110	2025	0,0110	0
0,0110	2025	0,0110	1



0,0113	2025	0,0113	248
0,0113	2025	0,0113	120
0,113	2025	0,113	200

Fuente: Autor, 2021

6.2.5 Comparación de los resultados de remoción de coliformes totales de la muestra control y las muestras sometidas al método SODIS con sus respectivos espesores.

Una vez realizada la caracterización microbiológica, se almacenaron los datos en tablas de Excel para facilitar la comprensión. La tabla a continuación representa la recopilación de la información obtenida correspondiente a cada turbiedad, la radiación media horario y el porcentaje de remoción de *coliformes*.

Tabla 24 Remoción de Coliformes Totales

Resultados de remoción

Espesor (cm/ml)	Radiación Media Horaria (w/m2)	% Remoción coliformes
0,0140	955,1	76,29
0,0140	955,1	79,75
0,0140	955,1	85,18

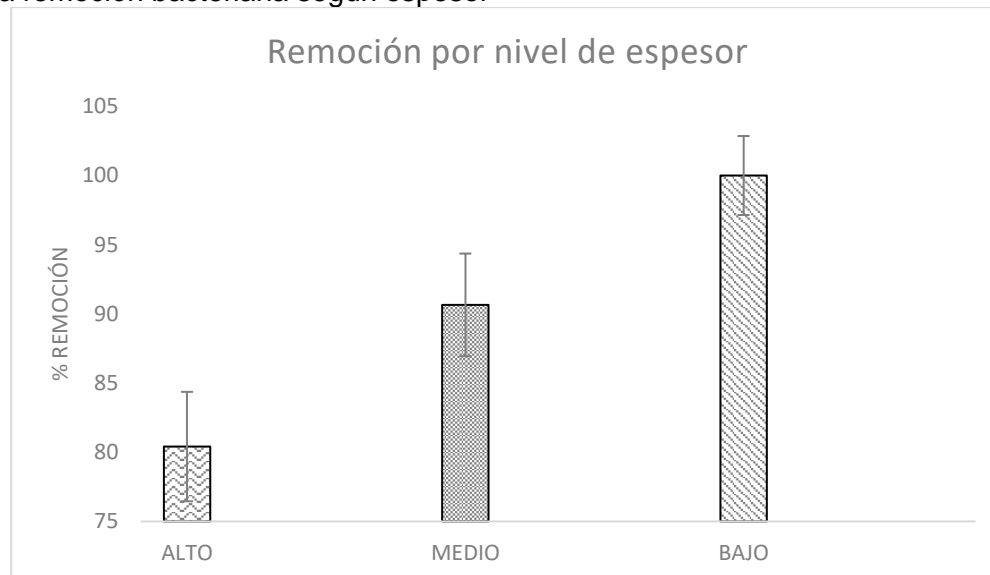


0,0110	955,1	100
0,0110	955,1	100
0,0110	955,1	99,95
0.0113	955,1	87,75
0,0113	955,1	94,07
0,0113	955,1	90,12

Fuente: Autor, 2021

Figura 16 Gráfica de remoción bacteriana según espesor

Gráfica remoción bacteriana según espesor



Fuente: Autor, 2022



Tabla 25 Datos para análisis de desviación estándar

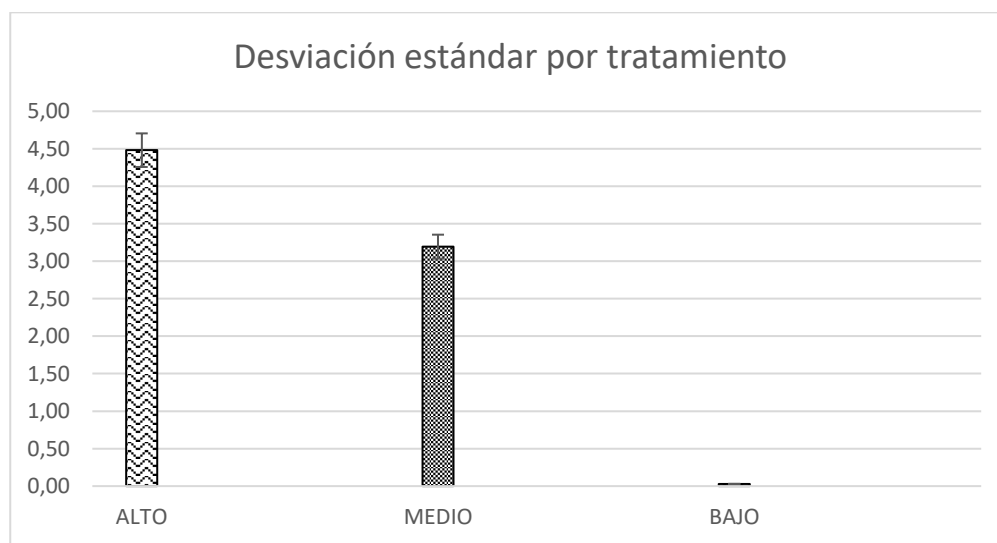
Datos para análisis de desviación estándar

RESULTADOS MUESTRAS EXPUESTAS A DISTINTO ESPESOR			
Turbiedad	% Remoción	Promedio	Desviación
ALTA	76,29	80,41	4,48
	79,75		
	85,18		
MEDIA	87,75	90,64	3,19
	94,07		
	90,1		
BAJA	100	99,98	0,03
	100		
	99,95		

Fuente: Autor, 2022

Figura 17 Gráfica análisis de desviación estándar

Gráfica análisis de desviación estándar



Fuente: Autor, 2022.



Al realizar el análisis de varianza, se rechazó la hipótesis nula se rechazó la hipótesis nula debido a que la F calculada fue mayor a la F tabulada, esto indicó que hubo diferencia significativa entre las medias de los tratamientos de las muestras expuestas a distinto nivel de espesor, posteriormente se realizó el test LSD para determinar el grado de significancia en las diferencias encontradas entre las medias de los tratamientos.

En el caso de las muestras con distinto nivel de espesor, el test LSD mostró que hubo diferencia significativa, debido a que los valores absolutos promedios entre los tratamientos fueron mayores que el valor LSD (5,98) en las medias de los tres niveles de espesor, con tendencia de remoción bacteriana creciente en cuanto menor fue el valor del espesor, esto dejó en visto la importancia del espesor a la hora de buscar una remoción efectiva de bacterias, según (Loo, 2012) al tener mayor espesor disminuye el paso de la radiación UV-A lo cual condiciona la eficiencia de la desinfección, lo cual tiende a convertirlo en un método lento, de bajo rendimiento y de alto nivel de incertidumbre con respecto a la radiación recibida.

6.3 Establecimiento del efecto de las radiaciones y tiempo de exposición en muestras de agua contaminada, sobre la reducción de coliformes totales.

Esterilización de muestras: La muestra de agua superficial inicial se tomó a concentración 100% respectivamente. Luego de esto se procedió a esterilizar las muestras en la autoclave para garantizar la ausencia de bacterias, como se aprecia en “anexo 5 y 6”.

Por otra parte, se realizó la estandarización del inóculo el cual consistió en la determinación de la concentración de las unidades formadoras de colonia en estado



estacionario con el objetivo de tener inóculos en estado constante (estos inóculos preferiblemente deben ser cepas de colección).

La metodología empleada por el laboratorio para realizar la determinación de una concentración fue mediante tubos de escala 5,0 el cual genera un valor de la escala de McFarland realizando la medición de la turbidez de la solución salina, siguiendo la metodología McFarland adjunta en el “*anexo 1*”.

Siguiendo la metodología antes nombrada se calibró la curva de McFarland

Tabla 28 Escala McFarland

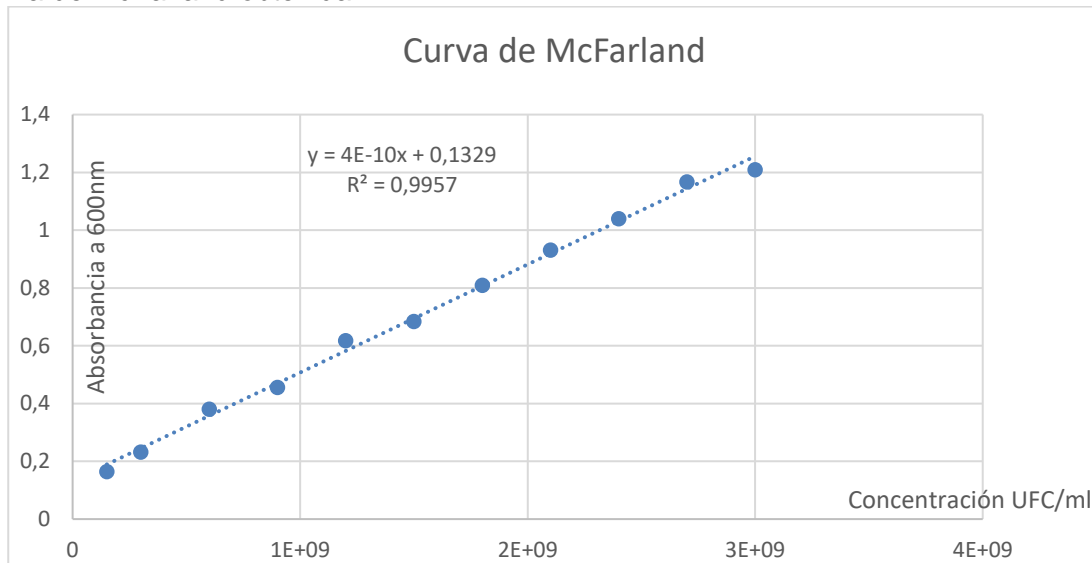
Escala de McFarland

Patrón	Escala de McFarland	
	Concentración bacteriana UFC.108/ml	Densidad óptica teórica a 600 nm
0,5	1,5	0,165
1	3	0,232
2	6	0,381
3	9	0,456
4	12	0,618
5	15	0,684
6	18	0,81
7	21	0,931
8	24	1,04
9	27	1,167
10	30	1,21

Fuente: Autor, 2021

Figura 18 Curva de McFarland

Curva de McFarland obtenida



Fuente: Autor, 2021

La curva de McFarland obtenida a partir de la escala realizada se usa como referencia en suspensiones bacteriológicas para saber que el número de bacterias por mililitro.

6.3.1 Sometimiento de las muestras a SODIS en periodos de tiempo distintos.

Posterior a la contaminación controlada de muestras se eligieron tres niveles de turbiedad: alto, medio y bajo para su exposición a radiación en tiempos diferentes como se reportó en el “anexo 3”.

6.3.2 Caracterización microbiana del agua que ha sido sometida al método SODIS por medio del recuento en placa propuesto por el IDEAM, 2017, para el cálculo de coliformes totales.



El cálculo de *coliformes* y *E. Coli* se realizó por medio del método conteo en placa propuesto por el IDEAM, 2017.

La tabla a continuación evidencia la caracterización microbiana de las muestras con distintos tiempos de exposición.

Tabla 29 Caracterización Microbiana de muestras con distinto tiempo de exposición

Caracterización microbiana de las muestras con distintos tiempos de exposición.

Caracterización Microbiana de Muestras con distinto tiempo de exposición

Botellas	Turbiedad	Concentración (UFC/ml) *10 ⁴	Luego de exposición a radiación	
			3hras Después Concentración (UFC/ml) *10 ⁴	6hras Después Concentración (UFC/ml) *10 ⁴
1	Alta	2025	300	280
2	Alta	2025	300	200
3	Alta	2025	300	120
4	Media	2025	300	230
5	Media	2025	300	150
6	Media	2025	300	300
7	Baja	2025	300	0
8	Baja	2025	300	0
9	Baja	2025	300	100

Fuente: Autor, 2021



Los distintos tiempos de oposición en horas junto con las medidas de irradiancia media horaria se presentan a continuación.

Tabla 30 Irradiancia Media Horaria

Irradiancia media horaria

IRRADIANCIA MEDIA HORARIA

HORA	HORA DEL DÍA	MEDIDA (W/m ²)
1	11:00	1246
2	12:00	1348
3	13:00	1309
4	14:00	937
5	15:00	545
6	16:00	346

Fuente: Autor, 2021

Una vez obtenidos los datos se procedió a realizar el cálculo de la irradiancia media horaria con la fórmula establecida con anterioridad.

$$IRRADIANCIA MEDIA HORARIA = \frac{(1246 + 1348 + 1309 + 937 + 545 + 346)}{(6)} = 955,1 \left(\frac{W}{m^2}\right)$$

La irradiancia media horaria obtenida fue de $955,1 \left(\frac{W}{m^2}\right)$



6.3.3 Comparación de los resultados de remoción de coliformes totales de la muestra control y las muestras sometidas al método SODIS en los tiempos de exposición establecidos.

Una vez realizada la caracterización microbiológica, se almacenaron los datos en tablas de Excel para facilitar la comprensión. La tabla a continuación representa la recopilación de la información obtenida correspondiente a cada turbiedad, la radiación media horario, horas de exposición, y porcentaje de remoción de *coliformes*.

Tabla 31 Remoción de *Coliformes Totales*

Remoción de *coliformes totales*

Turbiedad	Radiación Media Horaria (w/m2)	Horas después de exposición	%Remoción coliformes	Horas después de exposición	%Remoción coliformes
Alta	955,1	3	85,18	6	86,17
Alta	955,1	3	85,18	6	90,12
Alta	955,1	3	85,18	6	94,07
Media	955,1	3	85,18	6	88,64

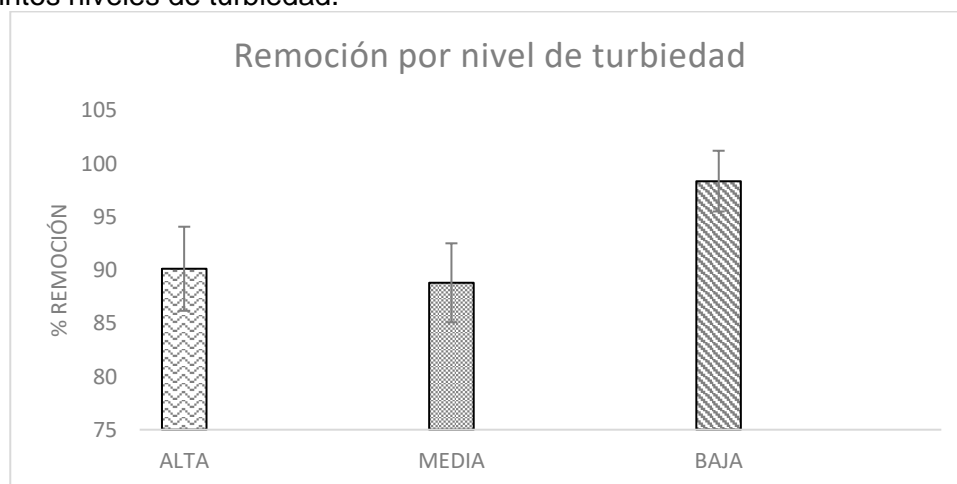


Media	955,1	3	85,18	6	92,59
Media	955,1	3	85,18	6	85,18
Baja	955,1	3	85,18	6	100
Baja	955,1	3	85,18	6	100
Baja	955,1	3	85,18	6	95,06

Fuente: Autor, 2021

Figura 19 Remoción bacteriana Luego de 6 horas de exposición

Gráfica de remoción bacteriana luego de 6 horas de exposición a radiación solar: muestras con distintos niveles de turbiedad.



Fuente: Autor, 2022



Los gráficos anteriores permiten evidenciar que después de 3 horas de exposición de las muestras a la radiación solar correspondiente a 955,1 w/m², el porcentaje de remoción de *coliformes totales* fue de 85,18%, por otra parte, después de 6 horas de exposición con una misma radiación, el porcentaje de remoción promedio de *coliformes totales* varió entre 85,18 y 100% de acuerdo con las condiciones climatológicas del lugar.

Tabla 32 Datos para análisis de desviación estándar

Datos para análisis de desviación estándar

RESULTADOS MUESTRAS DISTINTO TIEMPO DE EXPOSICIÓN			
Turbiedad	% Remoción	Promedio	Desviación
ALTA	86,17	90,12	3,95
	90,12		
	94,07		
MEDIA	88,64	88,80	3,71
	92,59		
	85,18		
BAJA	100	98,35	2,85
	100		
	95,06		

Fuente: Autor, 2022

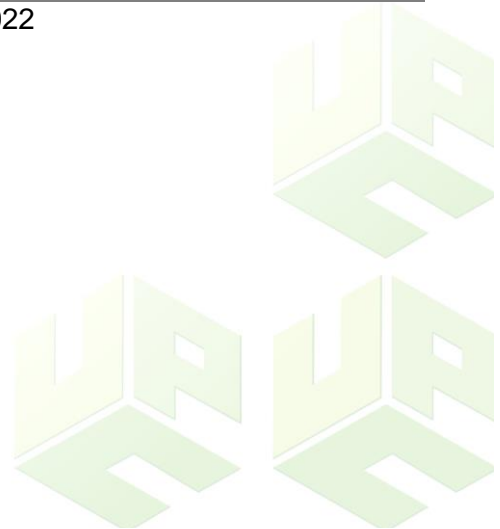
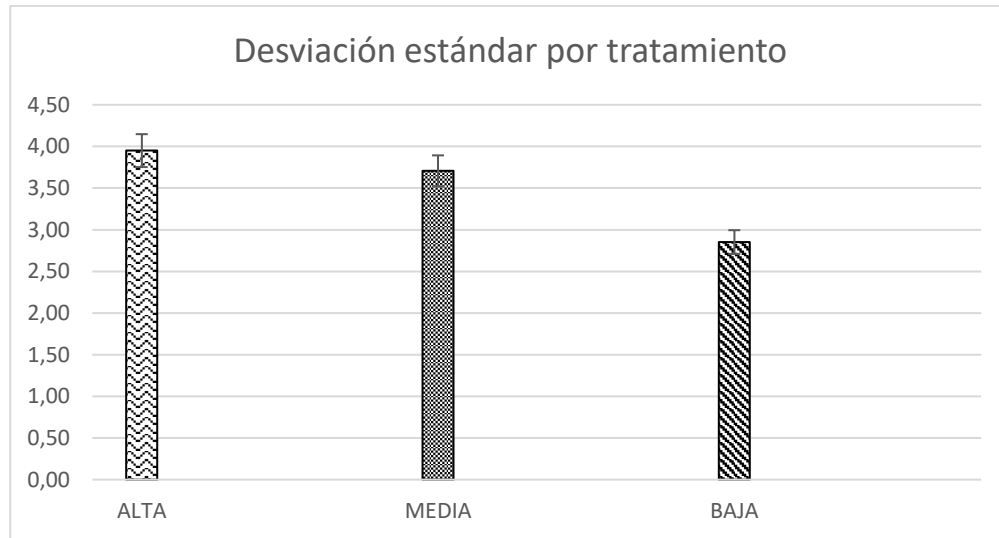


Figura 20 Gráfica análisis de desviación estándar

Gráfica análisis de desviación estándar



Fuente: Autor, 2022.

Al realizar el análisis de varianza, se rechazó la hipótesis nula debido a que la F calculada fue mayor a la F tabulada, esto indicó que hubo diferencia significativa entre las medias de los tratamientos de las muestras expuestas a distinto tiempo de radiación, por lo cual se procedió a realizar el test LSD para determinar el grado de significancia en las diferencias encontradas entre las medias de los tratamientos.

Luego de realizar el test LSD, se comprobó el efecto del tiempo de exposición a radiación en las muestras de bajo nivel de turbiedad, en comparación de los niveles alto y medio la remoción de bacterias *coliformes totales* fue más efectiva e niveles de turbiedad bajo con diferencias significativas, también se mostró que no hubo significancia entre los niveles alto y medio de turbiedad, según (Solsona, 2002) el número de horas a la cual se



exponga la muestra será esencial para obtener resultados positivos de remoción, sumado a condiciones óptimas de latitud y altitud.

6.4: Comparar los resultados de remoción de coliformes totales entre el método de irradiancia solar y método tradicional (cloración).

6.4.1 Toma de muestras, (condiciones en que se toman las muestras deben ser muestras con diferentes niveles de turbiedad).

Se tomaron las muestras con diferentes turbiedades ya sea alta, media o baja del agua superficial de la finca el éxito, así mismo se realizó la esterilización de las muestras y la contaminación controlada de estas como se soporta en “anexos 5,6 y 7”.

Por otra parte, la estandarización del inóculo consiste en la determinación de la concentración de las unidades formadoras de colonia en estado estacionario con el objetivo de tener inóculos en estado constante (estos inóculos preferiblemente deben ser cepas de colección). La metodología empleada por el laboratorio para realizar la determinación de una concentración es mediante tubos de escala 5,0 el cual genera un valor de la escala de McFarland realizando la medición de la turbidez de la solución salina, siguiendo la metodología McFarland adjunta en el “anexo 1”.

Siguiendo la metodología antes nombrada se calibró la curva de McFarland

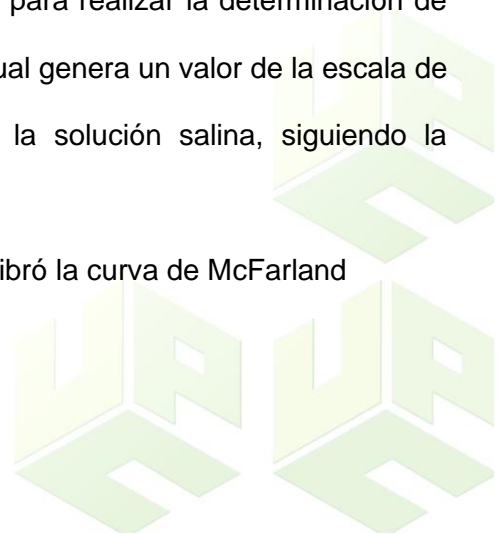




Tabla 35 Escala McFarland

Escala de McFarland

Escala de McFarland

Patrón	Concentración bacteriana UFC.108/ml	Densidad óptica teórica a 600 nm
0,5	1,5	0,165
1	3	0,232
2	6	0,381
3	9	0,456
4	12	0,618
5	15	0,684
6	18	0,81
7	21	0,931
8	24	1,04
9	27	1,167
10	30	1,21

Fuente: Autor, 2021

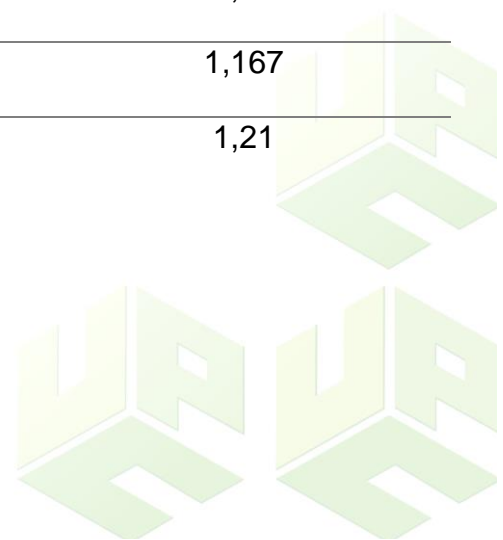
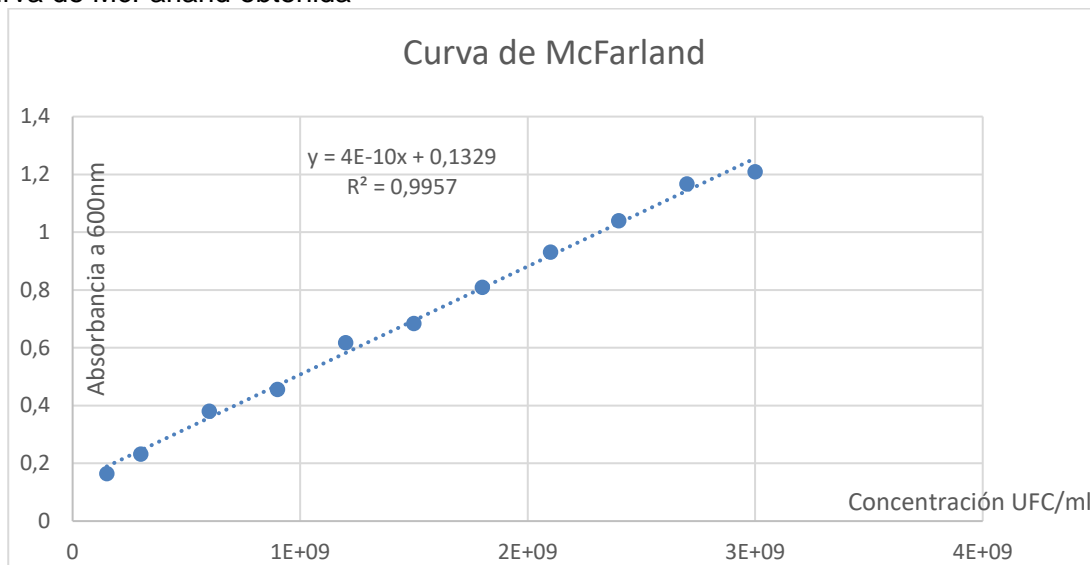


Figura 21 Curva de McFarland

Curva de McFarland obtenida



Fuente: Autor, 2021

La curva de McFarland obtenida a partir de la escala realizada se usa como referencia en suspensiones bacteriológicas para saber que el número de bacterias por mililitro.

6.4.2 Aplicación del hipoclorito de sodio a una concentración de 1,5 ppm

La muestra tomada se pasó a una botella PET, las cuales se recomiendan debido a que no contiene sustancias tóxicas ni peligrosas para la salud humana. Luego de aplicar el cloro se procedió a agitar la mezcla y dejar reposar la muestra durante 45 minutos, luego de esto se determinaron los niveles de remoción. Se realizaron 3 repeticiones por cada nivel de turbiedad. El cálculo del volumen de cloro se evidencia a continuación:

$$C1V1 = C2V2 ; \text{Dónde}$$



$V1 = ?$ $V2 = 1000ml$ $C1 = 5.25\%$ (Según marca de cloro Usada) $C2 = 2ppm$

$$V1 = \frac{\frac{1,5mg}{L} * 1L}{5.25\% * 100} = 0.28ml \text{ Cloro usado}$$

Antes de la adición de cloro se realizó caracterización bacteriana y posterior a la adición de cloro y acción por 45 minutos se realizó la segunda caracterización bacteriana, como se soporta en “anexo 16”.

6.4.3: Determinación de los niveles de remoción de coliformes según los niveles de turbiedad usada en las muestras a las que se aplicó el método tradicional (cloración).

Una vez realizada la caracterización microbiológica de las muestras, se almacenaron los datos en tablas de Excel para facilitar la comprensión, de acuerdo con la concentración de cloro aplicada. Se analizaron los datos del contenido de *coliformes totales* de las muestras de agua sometidas a cloración con los datos de la muestra control, y se estableció el efecto de la cloración la remoción bacteriana de las aguas superficiales.

La tabla a continuación permite conocer los resultados de la remoción de *coliformes totales*.

Tabla 36 Remoción de Coliformes Totales

Resultados de la remoción de *coliformes totales*.

Turbiedad	Concentración cloro (ppm)	Antes de exponer (UFC/ml) *10 ⁴	Luego de exponer (UFC/ml) *10 ⁴	% Remoción coliformes
100% (Alta)	1,5	5275	300	94,31

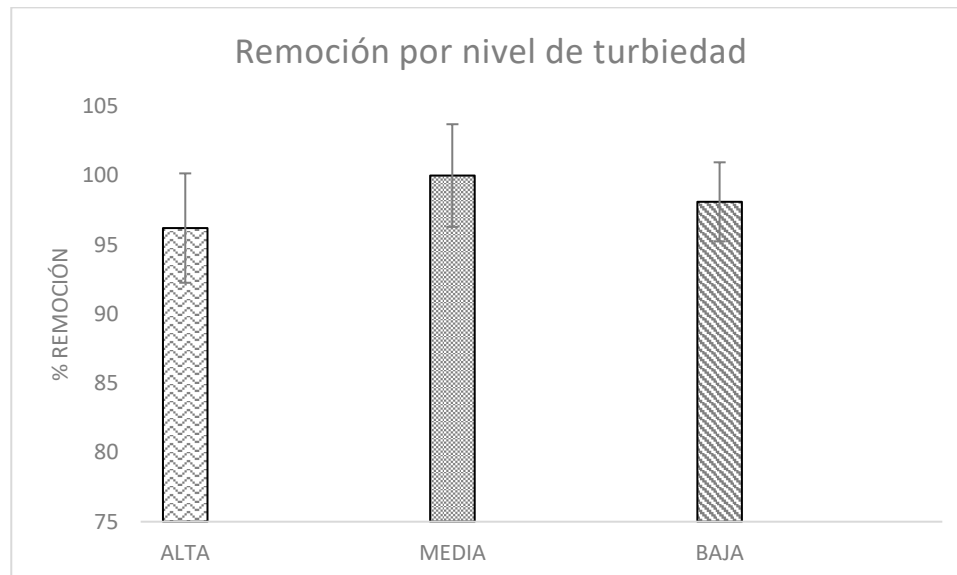


100% (Alta)	1,5	5275	300	94,31
100% (Alta)	1,5	5275	0	100
50% (Media)	1,5	5275	0	100
50% (Media)	1,5	5275	0	100
50% (Media)	1,5	5275	0	100
20% (Baja)	1,5	5275	0	100
20% (Baja)	1,5	5275	0	100
20% (Baja)	1,5	5275	300	94,31

Fuente: Autor, 2021

Figura 22 Remoción bacteriana en muestras expuestas a Cloro

Gráfica de remoción bacteriana, muestras de diferentes turbiedades expuestas a Cloro 1,5 ppm.



Fuente: Autor, 2022



Tabla 37 Análisis de desviación estándar

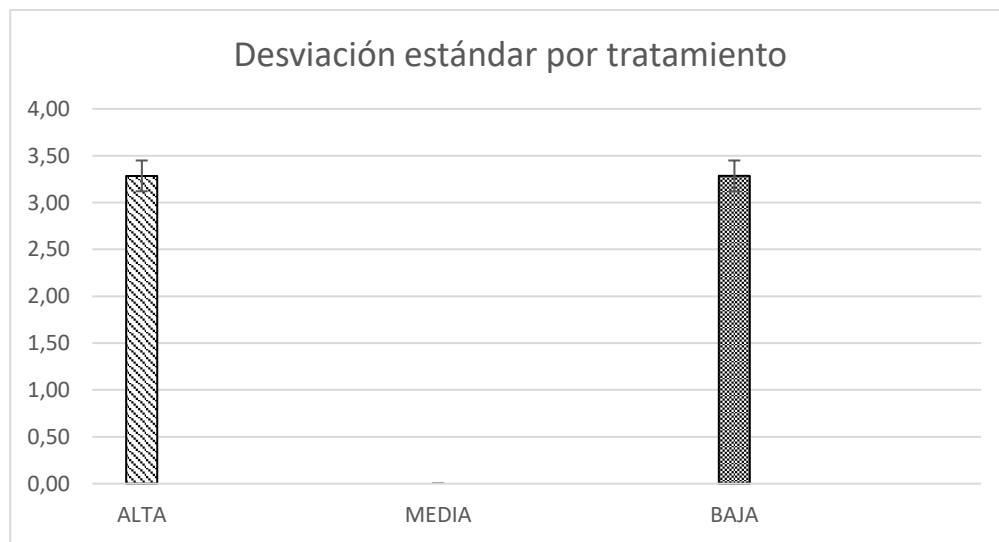
Datos para análisis de desviación estándar

RESULTADOS MUESTRAS EXPUESTAS A CLORO			
Turbiedad	% Remoción	Promedio	Desviación
ALTA	94,31	96,21	3,29
	94,31		
	100		
MEDIA	100	100,00	0,00
	100		
	100		
BAJA	100	98,10	3,29
	100		
	94,31		

Fuente: Autor, 2022

Figura 23 Gráfica análisis de desviación estándar

Gráfica análisis de desviación estándar



Fuente: Autor, 2022.

Al realizar el análisis de varianza, se aceptó la hipótesis nula debido a que F tabulada fue mayor a la F calculada, se concluyó que no hubo diferencia significativa entre las medias



**Universidad
Popular del Cesar**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
AMBIENTAL Y SANITARIA**



de los tratamientos realizados a las muestras expuestas a cloro 1,5 ppm. Además de esto, se comprobó que el método del cloro tiene alta efectividad de remoción de *coliformes totales* en los niveles de turbiedad medios y bajos.

Los resultados obtenidos entre el método SODIS y el método del cloro nos permitieron ver que ambos métodos tienen un mejor desempeño ante condiciones de turbiedad medias y bajas. El método SODIS al ser de fácil uso y de bajo costo de ejecución se convierte en un método óptimo para poblaciones en donde los niveles socioeconómicos no permitan el acceso a métodos más efectivos como el cloro o procesos de filtración, su aplicación es de alta factibilidad para sectores rurales en el ámbito de uso familiar o pequeños grupos de viviendas (Solsona, 2002).





7. CONCLUSIONES

En cuanto al efecto de las radiaciones y contenido de materia orgánica sobre la reducción de *coliformes totales* de las muestras de agua sometidas a SODIS con los datos de la muestra control, se logró establecer que para una radiación de 1182 W/m² y con una turbiedad baja el porcentaje de remoción bacteriana es de 99,73% en promedio y para turbiedades media y altas, el porcentaje de remoción de *coliformes totales* es mucho menor como se puede apreciar en la turbiedad alta, la cual tuvo una remoción promedio de 82,3%.

Por otra parte, al ser muestras de agua controladas en términos de contaminación, se evidenció que el método de desinfección solar SODIS es efectivo en distintos niveles de turbiedades a altos valores de radiación promedio horaria.

En el caso del efecto de las radiaciones y espesor de la capa de agua en muestras de agua contaminada, sobre la reducción de *coliformes totales*, se establecieron tres niveles de espesor de agua distintos. En primer lugar, la irradiancia media horaria con la fórmula establecida obtuvo un valor de 955,1 W/m². En cuanto a la caracterización microbiana, esta varió conforme al espesor antes y después de ser sometido a radiación solar. Las concentraciones en (UFC/ml) *10⁴ antes de exponer las muestras fue de 2025, alcanzando un porcentaje de remoción promedio del 99,98% en el nivel de espesor bajo y en el alto alcanzó una remoción promedio de 80,41%, lo cual mostró que el factor espesor es muy importante para alcanzar mejores niveles de desinfección bacteriana.

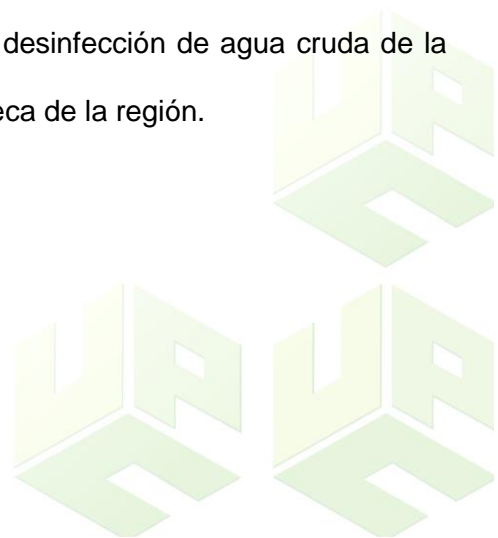
En el cumplimiento del tercer objetivo, el efecto de las radiaciones y tiempo de exposición en muestras de agua contaminada, sobre la reducción de *coliformes totales* se eligieron tres niveles de turbiedad para su exposición a periodos entre 3 y 6 horas de



radiación se evidenció que en niveles altos y bajos de turbiedad la eficiencia tuvo valores cercanos, siendo la turbiedad baja la de mejor remoción (98,35%), esta cercanía en los resultados se dio porque en las primeras tres horas de exposición hubo niveles muy altos de radiación, lo cual tuvo un alto efecto en remoción bacteriana.

Por último, en cuanto al cuarto objetivo de acuerdo con el grado de turbidez de la muestra, sea, alta, media o baja, y con concentraciones de cloro de 1,5 ppm y bajo condiciones antes y después de la exposición (UFC/ml) $\cdot 10^4$, se alcanzaron altos porcentajes de remoción en todos los niveles de turbiedad, pero se vio más eficiencia en los niveles de turbiedad baja y media, lo cual evidenció que tanto el método SODIS como el método del cloro tienen una mayor eficiencia en remoción de *coliformes* cuando se dan bajos niveles de turbiedad.

A nivel general es evidente que la radiación solar es capaz de inactivar las bacterias *coliformes totales* que pueden estar presentes en el agua. Luego de exponer las muestras a varias horas de radiación, se logró eliminar el total (100%) de los *coliformes totales* de las muestras. Se comprobó la efectividad de SODIS en la desinfección de agua cruda de la finca, bajo condiciones climáticas propias de la época seca de la región.





8. RECOMENDACIONES

De acuerdo con la investigación realizada y conforme con los resultados obtenidos, se plantean las siguientes recomendaciones para futuras investigaciones relacionadas, con la finalidad de lograr una mayor eficiencia en el tratamiento del agua por el método SODIS.

- Aumentar el tiempo de exposición de las muestras a radiación solar a un rango de 3-6 horas, esto con la finalidad de remover en mayor porcentaje los *coliformes totales* presentes en el agua, siguiendo así los lineamientos propuestos por varias investigaciones en cuanto al periodo de exposición.
- Los datos meteorológicos de la información como radiación solar, humedad relativa, temperatura ambiente entre otros sean proporcionados por las estaciones meteorológicas de la zona de estudio, logrando una mayor veracidad en la información obtenida.
- Por otra parte, se recomienda para muestras de agua cruda, aplicar un período de quietamiento previo al tratamiento de SODIS, para que los coloides causantes de la turbidez del agua se precipiten y permitan aún más la efectividad de la radiación UV-A en la eliminación de los patógenos.
- Para futuras investigaciones se debe tener en cuenta que, si el cielo tiene una nubosidad superior al 50%, las radiaciones serán menores, por lo cual se reducirá el efecto inhibitorio de bacterias. Si la temperatura del agua alcanza más de 50°C, entonces el tiempo necesario de exposición al sol podría llegar a ser de tan sólo una hora para que el agua sea considerada segura.

- Adicionalmente, la eficacia del tratamiento puede mejorarse si las botellas de plástico están expuestas sobre superficies que reflejan la luz solar, como láminas de aluminio o de hierro corrugado (EAWAG/SANDEC 2003). Durante los períodos de lluvia continua, la desinfección solar no funciona satisfactoriamente, por lo que se recomienda la recolección de agua de lluvia.
- Para lograr una aplicación exitosa de la desinfección solar es importante implementar un programa integral de educación y capacitación con el objetivo de crear conciencia y establecer, en consecuencia, un cambio sostenible de comportamiento por parte de las autoridades ambientales competentes y órganos municipales y/o departamentales.





9. BIBLIOGRAFIA

Almirante Gragera, B: Enfermedades infecciosas. Infecciones por enterobacterias. Revisiones y actualizaciones. Lunes 18 febrero 2002. Volumen 08 - Número 64 p. 3385 – 3397 medline.

Arapack, 2018. ¿Qué es un PET? Obtenido de: <https://www.arapack.com/faq/que-es-el-pet/>

Bartolomé Manzollillo (2019). Uso de Tecnologías Limpias en la Desinfección del Agua para la Reducción de Diarrea en Niños. Revisión Sistemática, Universidad Simón Bolívar, Ecuador.

Bermúdez, D. (2015). Desinfección solar para abastecimiento de agua para el consumo humano a nivel domiciliario en el sector de Pereira, parroquia la Avanzada, Cantón Santa Rosa, provincia de el Oro, universidad Técnica de Machala.

CAWST (2011): Tratamiento de agua a nivel domiciliario y su almacenamiento seguro, hoja informativa: Desinfección Solar (SODIS). Calgary, Alberta (Canada): Centre for Affordable Water and Sanitation Technology (CAWST), pp.164-168.

Cabo, J. V. (20 de 03 de 2008). *Modelos de estudios en investigación aplicada: conceptos y criterios para el diseño*. Obtenido de https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0465-546X2008000100011

Centro Nacional de Salud Ambiental (NCEH), traducido por CDC Multilingual Services, 2019. Radiación UV.

Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. "Sistemas de abastecimiento de agua para pequeñas comunidades: tecnología de pequeños



**Universidad
Popular del Cesar**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
AMBIENTAL Y SANITARIA**



sistemas de abastecimiento de agua en países en desarrollo: desinfección” (1998)
05 may 2008. disponible en: <http://www.cepis.ops-oms.org>.

Eisenstein BI, Zaleznik DF. Enterobacteriaceae. En: Mandell GL, Bennett JE, Dolin R, editors: Principles and Practice of Infectious Diseases. New York: Churchill Livingstone; 2000; p. 2294-310.

Empresas públicas de Neiva, 2018. DETERMINACIÓN DE TURBIDEZ SM2130 B. obtenido de: http://www.lasceibas.gov.co/sites/default/files/documentacion/lb-pr-07_determinacion_de_turbidez_sm2130_b.pdf

Ericson CD: Travelers' diarrhea: epidemiology, prevention, and self-treatment. Infect Dis Clin North Am 1998; 12: 285-303. [\[Medline\]](#)

Gutiérrez, C., et. al. (2018). Desinfección foto-catalítica del agua para consumo humano usando luz solar y dióxido de titanio (tio₂) inmovilizado, Universidad Autónoma de Querétaro, Querétaro, México.

IDEAM, 2012. Atlas de radiación en Colombia

IDEAM. (20 de 10 de 2012). *IDEAM*. Obtenido de

http://www.ideam.gov.co/documents/24277/72007220/PDF_ATLAS/83b33ddd-09ef-4fa6-9419-cdf8b26db260

López González, R. (2011). Aplicación del método de desinfección solar SODIS en fuentes de aguas naturales utilizadas para consumo humano en comunidades de San Juan Sacatepéquez, Guatemala, universidad de San Carlos de Guatemala.



**Universidad
Popular del Cesar**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
AMBIENTAL Y SANITARIA**



Lucet JC, Chevret S, Decré D, Vanjak D, Macrez A, Bédos JP, Wolff M, Régnier B. Outbreak of multiply resistant Enterobacteriaceae in an intensive care unit: epidemiology and risk factors for acquisition. Clin Infect Dis 1996, 22: 430-436. [Resumen]

Max Alvarado Contreras, 2020. Radiación solar. Obtenido de: <https://engimia.com/blog/que-es-la-radiacion-solar>.

Mendoza Hernández, N (2012). Impacto en la aplicación del método SODIS como alternativa para el control de enfermedades diarreicas en la comunidad Gracias a Dios, Municipio de Telica, de abril, universidad de Nacional Autónoma de Nicaragua.

Ministerio de Salud y Protección Social (2011). Enfermedades diarreicas agudas. Obtenido de: <https://www.minsalud.gov.co/salud/publica/Paginas/enfermedades-diarreicas-agudas.aspx>

Ministerio de Protección Social, R. 2. (22 de 05 de 2007). *Ministerio de Salud*. Obtenido de https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/DIJ/Resolución_2115_de_2007.pdf

Ríos-Tobón S, A.-C. R. (04 de 04 de 2016). *Patógenos e indicadores microbiológicos de calidad de agua para consumo*. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/rfnsp/v35n2/0120-386X-rfnsp-35-02-00236.pdf>

Organización Mundial de la Salud (2002). Agua para la salud: un derecho humano. Obtenido de: <https://www.who.int/mediacentre/news/releases/pr91/es/>

Organización panamericana de la Salud, 2018, Desinfección del agua, cap.2.



**Universidad
Popular del Cesar**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
AMBIENTAL Y SANITARIA**



Taro JP, Kaper JB., 1998.: Enteroaggregative Escherichia coli an emergent pathogen with different virulence properties. Obtenido de:
https://www.medigraphic.com/pdfs/lamicro/mi-2005/mi05-3_4j.pdf

World Health Organization. Emerging Issues in Water and Infectious disease. Francia: Doc Tec.

Solsona, F. (08 de 10 de 2002). *Caja de herramientas de saneamiento sostenible y cuidado del agua.*

Solsona, F. (08 de 10 de 2002). *Caja de herramientas de saneamiento sostenible y cuidado del agua.*

Loo, S.-L. (18 de 10 de 2012). *PubMed.*





ANEXOS

Anexo 1: Metodología escala McFarland

Equivalentes de UFC/ml en escala McFarland.

Patrón	Concentración bacteriana (1) x 10⁸/ml	Densidad óptica teórica a 600 nm
0.5	150	0.125
1	300	0.25
2	600	0.50
3	900	0.75
4	1200	1.00
5	1500	1.25

Fuente: Autores, 2021

Anexo 2: Cálculo de remoción bacteriana Coliformes totales.

$$\%REMOCIÓN\ coliforme = \left(1 - \frac{\frac{UFC}{mL}\text{ después del tratamiento SODIS}}{\frac{UFC}{mL}\text{ Antes del tratamiento SODIS}}\right) * 100$$

$$\%REMOCIÓN\ coliforme = \left(1 - \frac{3\frac{UFC}{mL}.104}{2025\frac{UFC}{mL}.104}\right) * 100 = 99.85$$



$$\%REMOCIÓN coliforme = \left(1 - \frac{7 \frac{UFC}{mL} \cdot 104}{2025 \frac{UFC}{mL} \cdot 104}\right) * 100 = 99.65$$

$$\%REMOCIÓN coliforme = \left(1 - \frac{0 \frac{UFC}{mL} \cdot 104}{2025 \frac{UFC}{mL} \cdot 104}\right) * 100 = 100$$

$$\%REMOCIÓN coliforme = \left(1 - \frac{0 \frac{UFC}{mL} \cdot 104}{2025 \frac{UFC}{mL} \cdot 104}\right) * 100 = 100$$

$$\%REMOCIÓN coliforme = \left(1 - \frac{0 \frac{UFC}{mL} \cdot 104}{2025 \frac{UFC}{mL} \cdot 104}\right) * 100 = 100$$

$$\%REMOCIÓN coliforme = \left(1 - \frac{1 \frac{UFC}{mL} \cdot 104}{2025 \frac{UFC}{mL} \cdot 104}\right) * 100 = 99.95$$

$$\%REMOCIÓN coliforme = \left(1 - \frac{0 \frac{UFC}{mL} \cdot 104}{2025 \frac{UFC}{mL} \cdot 104}\right) * 100 = 100$$

$$\%REMOCIÓN coliforme = \left(1 - \frac{0 \frac{UFC}{mL} \cdot 104}{2025 \frac{UFC}{mL} \cdot 104}\right) * 100 = 100$$

$$\%REMOCIÓN coliforme = \left(1 - \frac{10 \frac{UFC}{mL} \cdot 104}{2025 \frac{UFC}{mL} \cdot 104}\right) * 100 = 99.5$$





Anexo 3: Tiempos de exposición

Distintos tiempos de exposición a radiación

Distintos tiempos de exposición a radiación

Botella	Turbiedad	Tiempo de exposición (horas)		
1	100% (Alta)	3	-	6
2	100% (Alta)	3	-	6
3	100% (Alta)	3	-	6
4	50% (Media)	3	-	6
5	50% (Media)	3	-	6
6	50% (Media)	3	-	6
7	20% (Baja)	3	-	6
8	20% (Baja)	3	-	6
9	20% (Baja)	3	-	6

Fuente: Autor, 2021



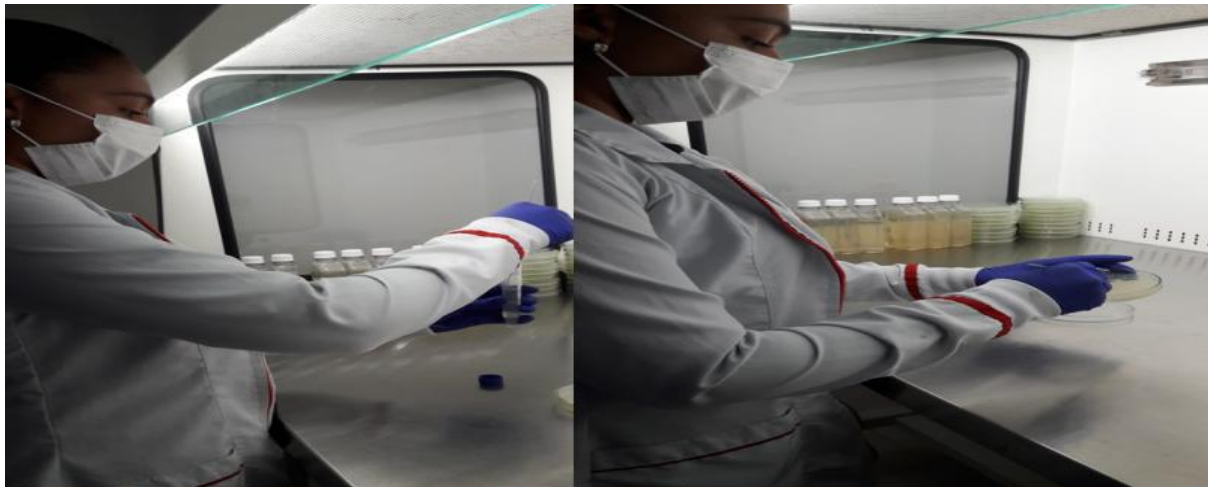
Anexo 4: Esterilización de muestras en la autoclave



TIPO	UBICACIÓN	OBSERVACIÓN
Fotografía	Laboratorio Tecnoparque, Valledupar	Esterilización de muestras en el autoclave

Fuente: Autor, 2021

Anexo 5: Contaminación controlada de muestras



TIPO	UBICACIÓN	OBSERVACIÓN
Fotografía	Laboratorio Tecnoparque, Valledupar	Contaminación controlada de muestras, previa a exposición solar

Fuente: Autor, 2021



Anexo 6: Medición de Radiación

Medición de la radiación solar con el dispositivo SM.206



TIPO	UBICACIÓN	OBSERVACIÓN
 Fotografía	 Laboratorio Tecnoparque, Valledupar	 Medición de Radiación solar (W/m ²) con dispositivo SM-206

Fuente: Autor, 2021

Anexo 7: Envase de agua contaminada

Envase de agua de muestras contaminadas



TIPO	UBICACIÓN	OBSERVACIÓN
 Fotografía	 Laboratorio Tecnoparque, Valledupar	 Envase de muestras de agua contaminada (PVC)

Fuente: Autor, 2021

Anexo 8: Exposición de muestras a radiación

Exposición de muestras a radiación solar

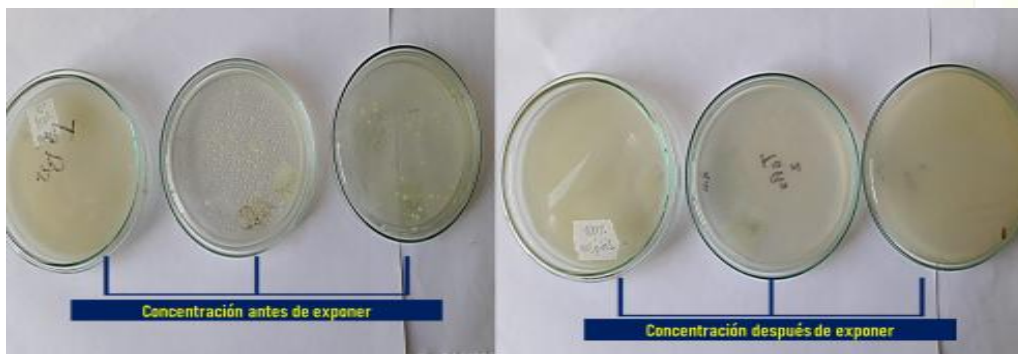




TIPO	UBICACIÓN	OBSERVACIÓN
 Fotografía	 Laboratorio Tecnoparque, Valledupar	 Exposición de muestras a radiación solar

Fuente: Autor, 2021

ANEXO 9: Caracterización Bacteriana

Caracterización bacteriana (Turbiedad Alta)







TIPO	UBICACIÓN	OBSERVACIÓN
 Fotografía	 Laboratorio Tecnoparque, Valledupar	 Caracterización Bacteriana Turbiedad Alta

Fuente: Autor, 2021

Anexo 10: Caracterización Bacteriana

Caracterización bacteriana (Turbiedad media)

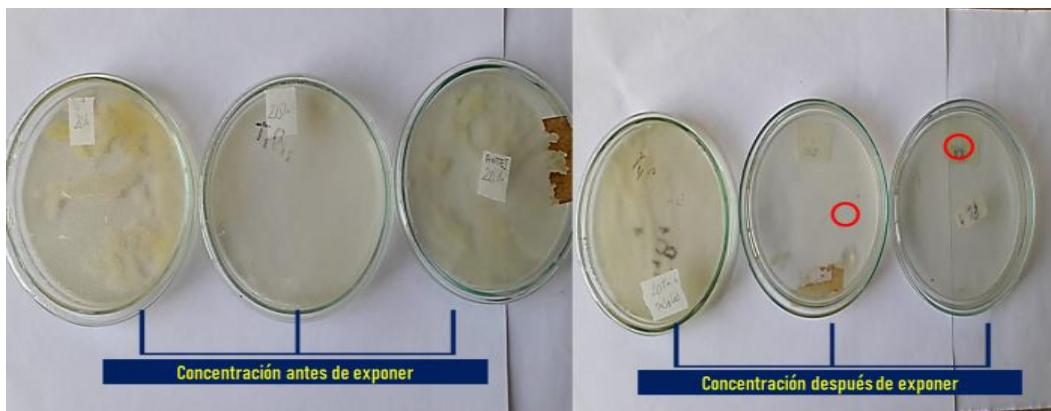





TIPO	UBICACIÓN	OBSERVACIÓN
 Fotografía	 Laboratorio Tecnoparque, Valledupar	 Caracterización Bacteriana Turbiedad Media

Fuente: Autor, 2021

Anexo 11: Caracterización Bacteriana

Caracterización bacteriana (Turbiedad baja)

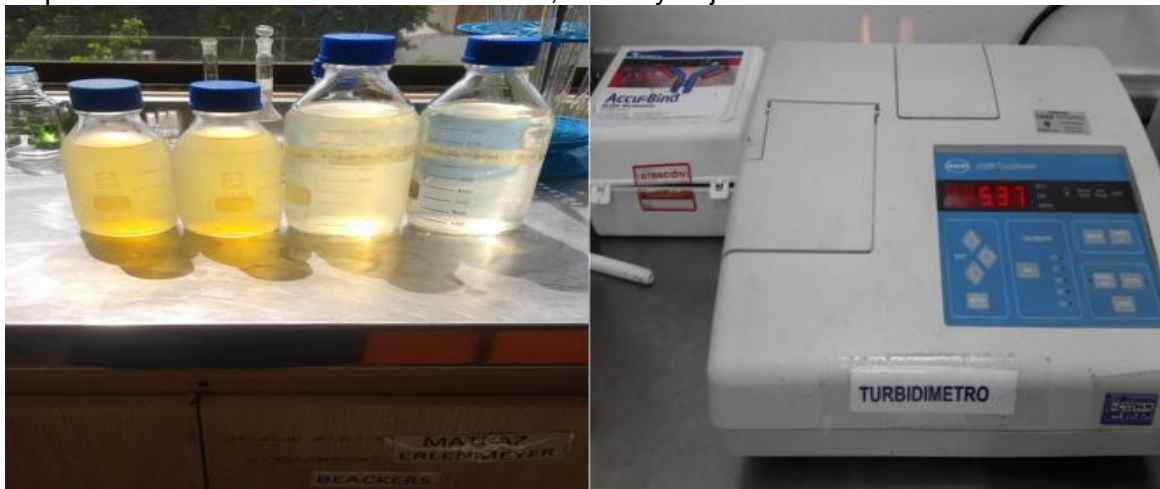


TIPO	UBICACIÓN	OBSERVACIÓN
 Fotografía	 Laboratorio Tecnoparque, Valledupar	 Caracterización Bacteriana Turbiedad Baja

Fuente: Autor, 2021

Anexo 12: Medición de Turbidez

Preparación de muestras con turbidez alta, media y baja



TIPO	UBICACIÓN	OBSERVACIÓN
 Fotografía	 Laboratorio Tecnoparque, Valledupar	 Preparación de muestras con turbiedad: Alta, Media & Baja

Fuente: Autor, 2021

Anexo 13: Envase de agua contaminada

Almacenamiento de muestras previas a exposición de la radiación solar.

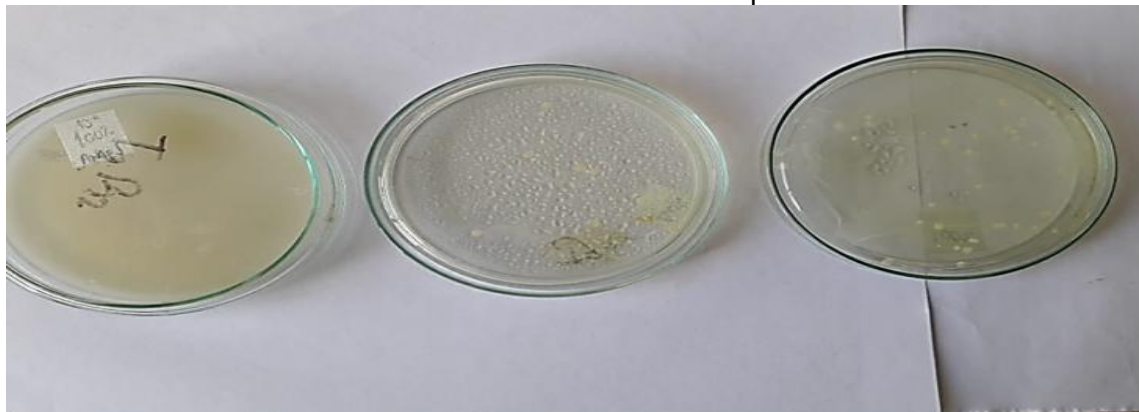


TIPO	UBICACIÓN	OBSERVACIÓN
 Fotografía	 Laboratorio Tecnoparque, Valledupar	 Almacenamiento de muestras previa exposición a radiación solar

Fuente: Autor, 2021

Anexo 14: Caracterización microbiana antes y después de exponer

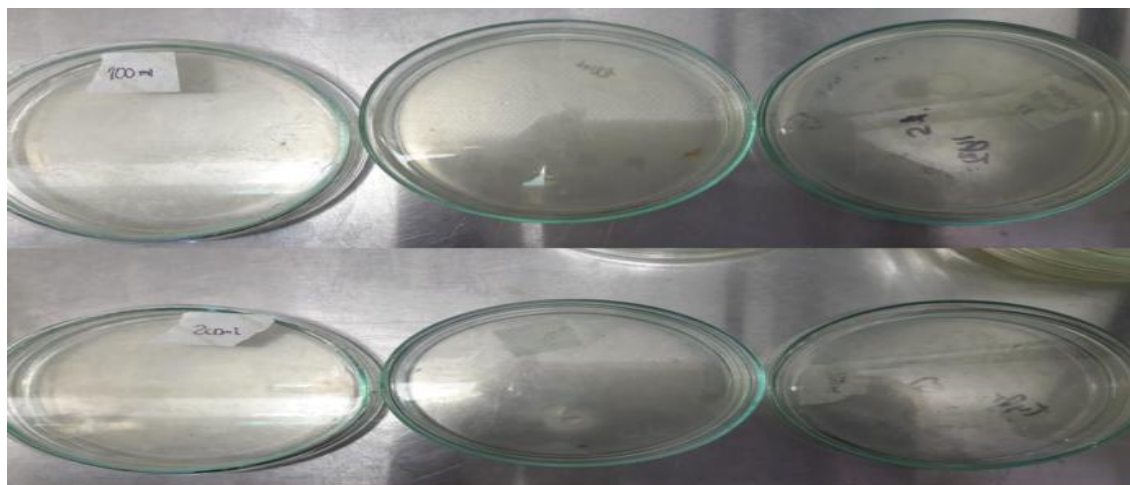
Caracterización microbiana de las muestras antes de la exposición a la radiación solar



TIPO	UBICACIÓN	OBSERVACIÓN
 Fotografía	 Laboratorio Tecnoparque, Valledupar	 Caracterización Bacteriana Antes de exposición

Fuente: Autor, 2021

Caracterización microbiana de las muestras después de la exposición a la radiación solar

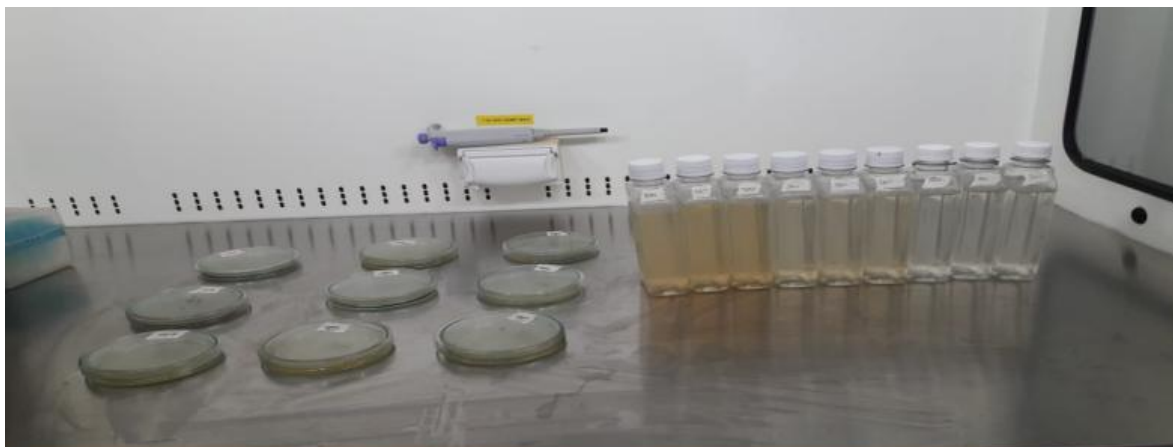





TIPO	UBICACIÓN	OBSERVACIÓN
 Fotografía	 Laboratorio Tecnoparque, Valledupar	 Caracterización bacteriana luego de exposición a radiación solar

Fuente: Autor, 2021

Anexo 15: Caracterización bacteriana muestras con distinto tiempo de exposición

Preparación de muestras y caracterización bacteriana






TIPO	UBICACIÓN	OBSERVACIÓN
 Fotografía	 Laboratorio Tecnoparque, Valledupar	 Preparación de muestras y caracterización bacteriana previa a exposición solar

Fuente: Autor, 2021

Anexo 16: Caracterización muestras a exponer con cloro

Caracterización microbiana previa a la adición de cloro

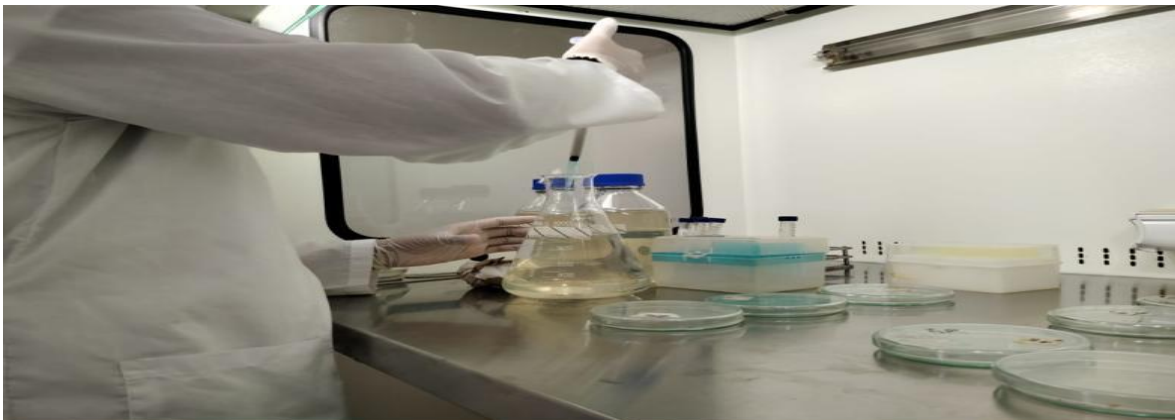





TIPO	UBICACIÓN	OBSERVACIÓN
 Fotografía	 Laboratorio Tecnoparque, Valledupar	 Caracterización microbiana previa a adición de cloro

Fuente: Autor, 2021

Anexo 17: Aplicación de Cloro a muestras contaminadas

Aplicación de cloro a muestras contaminadas

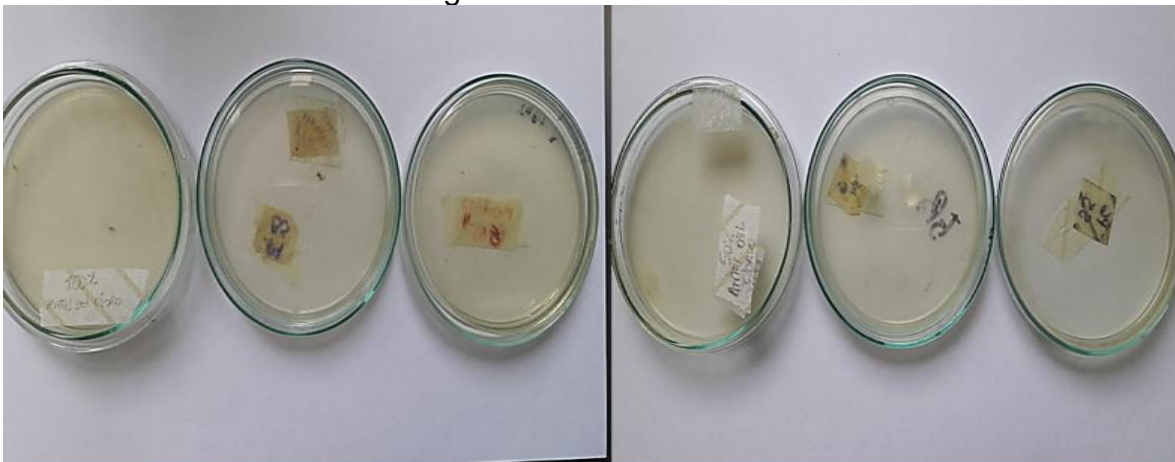



TIPO	UBICACIÓN	OBSERVACIÓN
 Fotografía	 Laboratorio Tecnoparque, Valledupar	 Adición de cloro a muestras contaminadas

Fuente: Autor, 2021

Anexo 18: Caracterización microbiana

Caracterización microbiana luego de adicionar cloro.



TIPO	UBICACIÓN	OBSERVACIÓN
 Fotografía	 Laboratorio Tecnoparque, Valledupar	 Caracterización microbiana luego de adicionar cloro

Fuente: Autor, 2021



Anexo 19: ANOVA Objetivo 1:

Tabla 18 Análisis de Varianza ANOVA

Análisis de varianza ANOVA

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Turbiedad Alta	3	246,92	82,3	31,96
Turbiedad Media	3	281,60	93,8	51,41
Turbiedad Baja	3	299,20	99,7	0,05

Hipótesis0= $M1=M2=M3$
Hipótesis1= Las medias de tratamientos son diferentes
Si $F_{tab} > F_{cal}$ = Aceptar H_0
Si $F_{cal} > F_{tab}$ = Aceptar H_1

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	471,74	2	235,87	8,48	0,02	5,14
Dentro de los grupos	166,86	6	27,81			
Total	638,60	8				

Fuente: Autor, 2022.

Anexo 20: ANOVA Objetivo 2:

Tabla 26 Análisis de varianza ANOVA

Análisis de varianza ANOVA

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Espesor Alto	3	241,2	80,41	20,08
Espesor Medio	3	271,9	90,64	10,20

Hipótesis0= $M1=M2=M3$
Hipótesis1= Las medias de tratamientos son diferentes
Si $F_{tab} > F_{cal}$ = Aceptar H_0



Espesor	299,9				Si $F_{tcal} > F_{tab}$ = Aceptar H1
Bajo	3	5	99,98	0,00	

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	575,26	2	287,63	28,4	0,00	5,14
Dentro de los grupos	60,57	6	10,10			
Total	635,84	8				

Fuente: Autor, 2022.

Anexo 21: ANOVA Objetivo 3:

Tabla 33 Análisis de varianza ANOVA

Análisis de varianza

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Turbiedad Alta	3	270,36	90,12	15,60
Turbiedad Media	3	266,41	88,80	13,75
Turbiedad Baja	3	295,06	98,35	8,13

Hipótesis0= $M1=M2=M3$

Hipótesis1= Las medias de tratamientos son diferentes

Si $F_{tab} > F_{cal}$ = Aceptar H0

Si $F_{tcal} > F_{tab}$ = Aceptar H1

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	160,72388	2	80,3619444	6,431	0,032180697	5,14325285



Dentro de los grupos	74,968133 33	6	12,4946888 9
Total	235,69202 22	8	

Fuente: Autor, 2022.

Anexo 22: ANOVA Objetivo 4:

Tabla 38 Análisis de Varianza ANOVA

Análisis de varianza ANOVA

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Turbiedad Alta	3	288,62	96,21	10,79
Turbiedad Media	3	300,00	100,00	0,00
Turbiedad Baja	3	294,31	98,10	10,79

Hipótesis0= M1=M2=M3

Hipótesis1= Las medias de tratamientos son diferentes

Si $F_{tab} > F_{cal}$ = Aceptar H_0

Si $F_{cal} > F_{tab}$ = Aceptar H_1

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	21,58	2	10,79	1,5	0,30	5,14325285
Dentro de los grupos	43,17	6	7,19			
Total	64,75	8				




Fuente: Autores, 2022.

ANEXO 23: Identificación y aislamiento de bacterias

Figura 7 Aislamiento de Bacterias

Aislamiento de bacterias en condiciones de laboratorio






TIPO	UBICACIÓN	OBSERVACIÓN
 Fotografía	 Laboratorio Tecnoparque, Valledupar	 Aislamiento de Bacterias

Fuente: Autor, 2021

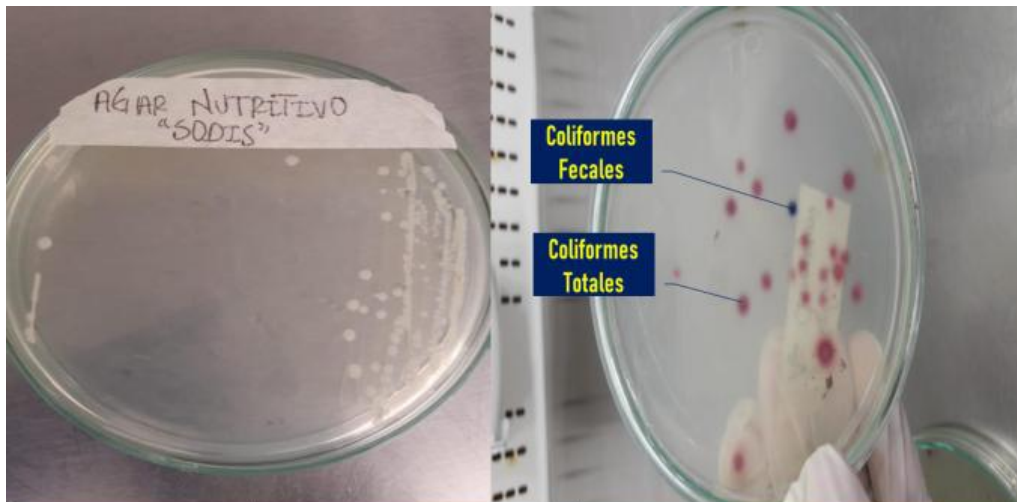
Figura 8 Crecimiento de bacterias *Coliformes totales y fecales*






TIPO	UBICACIÓN	OBSERVACIÓN
 Fotografía	 Laboratorio Tecnoparque, Valledupar	 Crecimiento de Bacterias Coliformes Fecales y Totales

Fuente: Autor, 2021

Figura 9 Crecimiento de Bacterias Aisladas






TIPO	UBICACIÓN	OBSERVACIÓN
 Fotografía	 Laboratorio Tecnoparque, Valledupar	 Crecimiento de Bacterias Aisladas

Fuente: Autor, 2021

Figura 10 Siembra de agua contaminada para identificación bacteriana

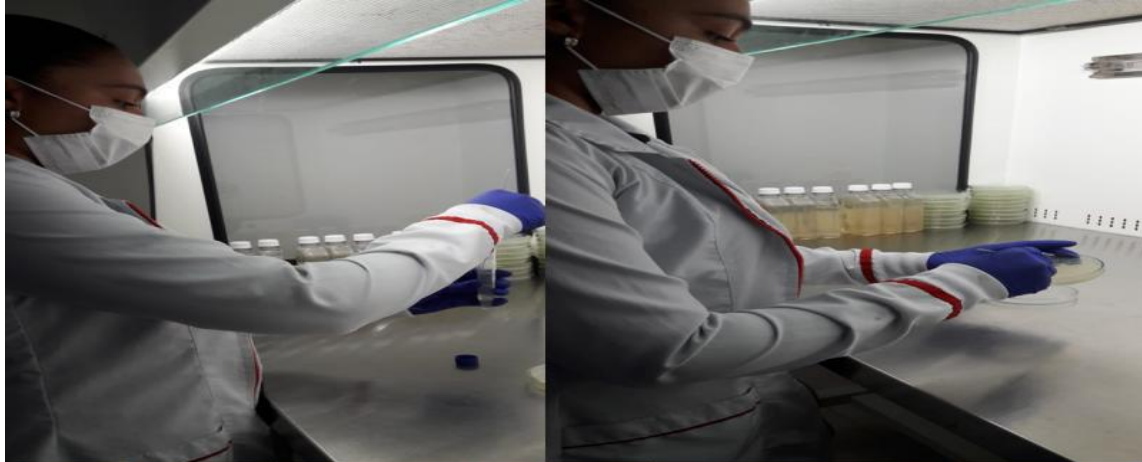


TIPO	UBICACIÓN	OBSERVACIÓN
 Fotografía	 Laboratorio Tecnoparque, Valledupar	 Siembra de agua contaminada para identificación bacteriana

Fuente: Autor, 2021

Figura 11 Contaminación controlada de muestras

Contaminación controlada de muestras, previa a la exposición solar



TIPO	UBICACIÓN	OBSERVACIÓN
Fotografía	Laboratorio Tecnoparque, Valledupar	Contaminación controlada de muestras, previa a exposición solar

Fuente: Autor, 2021

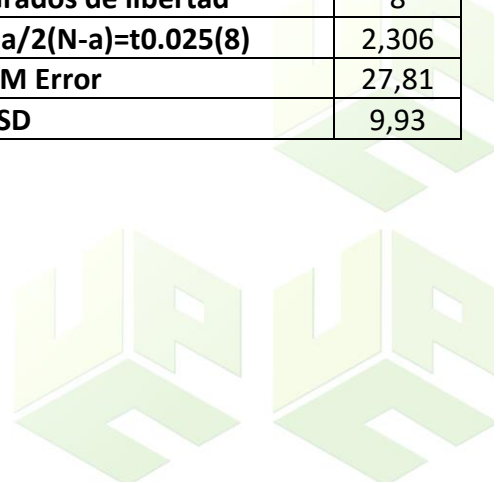
ANEXO 24: Test LSD objetivo 1

Tabla 19 Test LSD

Análisis del test de significancia LSD.

SC Totales	638,60
SC Tratamientos	471,74
SC Error	166,86
CM Tratamiento	235,87
CM Error	27,81
Fcalculada	8,48
Ftabulada	5,14

PRUEBA LSD	
Grados de libertad	8
t a/2(N-a)=t0.025(8)	2,306
CM Error	27,81
LSD	9,93



COMPARACIÓN	PROMEDIO	DIFERENCIA
T. Alta - T. Media	11,56	>9,93 Significativa
T. Alta - T. Baja	17,43	>9,93 Significativa
T. Media - T. Baja	5,87	<9,9 No significativa

TURBIEDAD	MEDIA
Alta	82,31
Media	93,87
Baja	99,73

Fuente: Autor, 2022.

ANEXO 24: Test LSD Objetivo 2:

Tabla 27 Análisis de Test LSD

Análisis del test de significancia LSD.

SC Totales	635,84
SC Tratamientos	575,26
SC Error	60,57
CM Tratamiento	287,63
CM Error	10,10
Fcalculada	28,49
Ftabulada	5,14

PRUEBA LSD	
Grados de libertad	8
$t_{\alpha/2(N-a)}=t_{0.025(8)}$	2,306
CM Error	10,10
LSD	5,98

COMPARACIÓN	PROMEDIO	DIFERENCIA
E. Alto – E. Medio	10,23	>5,98 Significativa
E. Alto – E. Bajo	19,58	>5,98 Significativa
E. Medio – E. Bajo	9,34	>5,98 Significativa

ESPESOR	MEDIA
Alto	80,41
Medio	90,64
Bajo	99,98

Fuente: Autor, 2022.

ANEXO 25: Test LSD Objetivo 3:

Tabla 34 Análisis del test LSD

Análisis del test LSD.

SC Totales	235,69
SC Tratamientos	160,72
SC Error	74,97
CM Tratamiento	80,36
CM Error	12,49
Fcalculada	6,43
Ftabulada	5,14

PRUEBA LSD	
Grados de libertad	8
$t_{\alpha/2(N-a)}=t_{0.025(8)}$	2,306
CM Error	12,49
LSD	6,65

COMPARACIÓN	PROMEDIO	DIFERENCIA
E. Alto – E. Medio	1,32	<6,65 No Significativa
E. Alto – E. Bajo	8,23	>6,65 Significativa
E. Medio – E. Bajo	9,55	>6,65 Significativa

ESPESOR	MEDIA
Alto	90,12
Medio	88,80
Bajo	98,35

Fuente: Autor, 2022.

ANEXO 26: COMPARACIÓN DE MEDIAS TEST LSD POR OBJETIVO

RESULTADOS TEST LSD OB1		
TRATAMIENTOS	COMPARACIÓN DE MEDIAS	DESICIÓN
1	T1-T2	SIGNIFICATIVA
2	T1-T3	SIGNIFICATIVA
3	T2-T3	NO SIGNIFICATIVA

Fuente: Autor, 2022.



ANEXO 27:

RESULTADOS TEST LSD OB2		
TRATAMIENTOS	COMPARACIÓN DE MEDIAS	DESICIÓN
1	T1-T2	SIGNIFICATIVA
2	T1-T3	SIGNIFICATIVA
3	T2-T3	SIGNIFICATIVA

Fuente: Autor, 2022.

ANEXO 28:

RESULTADOS TEST LSD OB3		
TRATAMIENTOS	COMPARACIÓN DE MEDIAS	DESICIÓN
1	T1-T2	NO SIGNIFICATIVA
2	T1-T3	SIGNIFICATIVA
3	T2-T3	SIGNIFICATIVA

Fuente: Autor, 2022.

