

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**

**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**



**Eficiencia del sistema de desinfección solar en la reducción de Coliformes Totales y Termotolerantes del agua superficial de la Quebrada Saldaña a escala laboratorio – UNAS, 2023**

**Tesis**

**Para optar el título de:**

**INGENIERO AMBIENTAL**

**PRESENTADO POR:**

**HEILY KATHERINE CRIOLLO ISIDRO**

**Tingo María – Perú**

**2024**



**ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS N° 062-2024-FRNR-UNAS**

Los que suscriben, Miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 08 de abril de 2024, a horas 5:00 p.m. de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Recursos Naturales Renovables para calificar la tesis titulada:

**“EFICIENCIA DEL SISTEMA DE DESINFECCIÓN SOLAR EN LA  
REDUCCIÓN DE COLIFORMES TOTALES Y TERMOTOLERANTES DEL  
AGUA SUPERFICIAL DE LA QUEBRADA SALDAÑA A ESCALA  
LABORATORIO-UNAS 2023”**

Presentado por el Bachiller: **CRIOLLO ISIDRO HEILY KATHERINE**, después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las interrogantes formuladas por el Jurado, se declara **APROBADO** con el calificativo de **“MUY BUENA”**.

En consecuencia, el sustentante queda apto para optar el Título Profesional de **INGENIERO AMBIENTAL** que será aprobado por el Consejo de Facultad, Tramitándolo al Consejo Universitario para el otorgamiento del Título Correspondiente.

Tingo María, 5 de junio de 2024

**Blgo. M. Sc. LUIS A. SANCHEZ ROMERO**  
**PRESIDENTE**

**Ing. MSc. SANDRA L. ZAVALA GUERRERO**  
**MIEMBRO**



**Blgo. M. Sc. CESAR AUGUSTO GOZME SULCA**  
**MIEMBRO**

**Ing.MSc. ABBY SOLANGE DA CRUZ RODRIGUEZ**  
**ASESOR**

**Ing. M.Sc. JORGE ALEJANDRO SUAREZ VASQUEZ**  
**ASESOR**



"Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia, y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho"

## CERTIFICADO DE SIMILITUD T.I. N° 203 - 2024 - CS-RIDUNAS

El Director de la Dirección de Gestión de Investigación de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, quien suscribe,

### CERTIFICA QUE:

El Trabajo de Investigación; aprobó el proceso de revisión a través del software TURNITIN, evidenciándose en el informe de originalidad un índice de similitud no mayor del 25% (Art. 3° - Resolución N° 466-2019-CU-R-UNAS).

Programa de Estudio:

Ingeniería Ambiental

Tipo de documento:

Tesis	X	Trabajo de Suficiencia Profesional	
-------	---	------------------------------------	--

TÍTULO	AUTOR	PORCENTAJE DE SIMILITUD
Eficiencia del sistema de desinfección solar en la reducción de Coliformes Totales y Termotolerantes del agua superficial de la Quebrada Saldaña a escala laboratorio – UNAS, 2023	HEILY KATHERINE CRIOLLO ISIDRO	11 %  Once

Tingo María, 09 de julio de 2024

  
UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA  
DIRECCIÓN DE GESTIÓN DE INVESTIGACIÓN  
Dr. Tomás Menacho Muniñqui  
JEFE  
C.C. Archivo

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**  
**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**



**Eficiencia del sistema de desinfección solar en la reducción de Coliformes Totales y Termotolerantes del agua superficial de la Quebrada Saldaña a escala laboratorio – UNAS, 2023**

<b>Título</b>	: Eficiencia del sistema de desinfección solar en la reducción de coliformes totales y termotolerantes del agua superficial de la Quebrada Saldaña a escala laboratorio – UNAS, 2023
<b>Programa de investigación</b>	: Ciencia y Tecnologías Ambientales.
<b>Línea de investigación</b>	: Tratamiento de aguas.
<b>Eje temático</b>	: Desarrollo de técnicas y mejoras en el tratamiento de aguas.
<b>Autor</b>	: Heily Katherine Criollo Isidro
<b>Asesor(es)</b>	: Ing. M.Sc. Abby Solange Da Cruz Rodriguez Ing. M.Sc. Jorge Alejandro Suarez Vasques
<b>Lugar de ejecución</b>	: Universidad Nacional Agraria de la Selva
<b>Duración del trabajo</b>	: Seis meses
<b>Financiamiento</b>	: S/ 5 559,00
<b>FEDU</b>	: No
<b>Propio</b>	: Si
<b>Otros</b>	: No

**Tingo María – Perú. 2024**

## DEDICATORIA

La tesis la dedico a:

A mi querida madre Perpetua Felicitas Isidro Fernández, la que me dio su apoyo constante y estuvo conmigo en los momentos difíciles de mi vida, dándome su amor ilimitado, a mi padre Gregorio Criollo Teves, quienes con su cariño y constante apoyo en este arduo camino. Ambos son una pieza importante en mi vida y siempre me alientan para cumplir con mis objetivos planteados. De igual manera agradeciendo que sean la razón de mi inspiración y motor que impulsa a que logre cada éxito en mi vida.

A mi hermano Jack Criollo Isidro y mi primo José Isidro Inga, quienes me apoyaron en todo momento durante mi vida estudiantil y más.

A mi ángel Arnold Patrick Ferrer Isidro, que siempre estuvo al pendiente de mí, y el cual ha dejado una gran huella en mi corazón, ahora que no está en este plano terrenal me cuida a donde voy.

A mi confidente y amor, Marcos Bernal, por haberme apoyado durante el proceso de esta tesis y muchos aspectos más de vida.

A mi pequeña gatita Aliss, la que siempre estuvo acompañándome en las diversas amanecidas que conllevo realizar los trabajos universitarios.

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios cuya guía han sido la luz durante mi camino.

A mi familia que siempre estuvieron presente y apoyándome en mi proceso al cumplir mis objetivos

A mis asesores Ing. M.Sc. Abby Solange Da Cruz Rodriguez y Ing. M.Sc. Jorge Alejandro Suarez Vasques, cuya paciencia y orientación fueron indispensables para cada esta de este proceso de investigación. Agradeciendo su mentoría y disposición de compartir su conocimiento para alcanzar mis objetivos.

A los miembros de jurado de mi tesis por su tiempo tomado para brindarme los comentarios constructivos y sugerencias para enriquecer mi trabajo de investigación

Mi agradecimiento al Laboratorio de calidad de agua y el Laboratorio de Microbiología, por brindarme su apoyo en experiencia y recursos en la ejecución de mi investigación,

## ÍNDICE

	Pág.
ÍNDICE.....	5
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Objetivo general .....	2
1.2. Objetivo Específicos.....	2
II. REVISIÓN LITERARIA .....	3
2.1. Marco teórico .....	3
2.1.1. Agua .....	3
2.1.2. Estándares de calidad Ambiental para el agua (D.S. N° 004-2017-MINAM) .	4
2.1.3. Efectos de la radiación UV – A .....	4
2.1.4. Efectos de la temperatura .....	5
2.1.5. Efectos biológicos de la radiación .....	5
2.1.6. Sistema de desinfección solar – Métodos SODIS .....	5
2.1.7. Colector solar.....	6
2.1.8. Efecto de los colores.....	6
2.1.9. Botellas PET e inocuidad .....	7
2.2. Estado del arte .....	7
2.2.1. Internacionales.....	7
2.2.2. Nacionales .....	8
III. MATERIALES Y MÉTODOS .....	9
3.1. Lugar de ejecución .....	9
3.1.1. Ubicación política y geográfica.....	9
3.1.2. Aspectos sociales y ambientales.....	9
3.2. Materiales y métodos.....	10
3.2.1. Materiales y equipos.....	10
3.2.2. Metodología.....	11

3.3. Características de la tesis.....	17
3.3.1. Variables .....	17
3.3.2. Diseño de la investigación.....	17
3.3.3. Diseño estadístico.....	18
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	19
4.1. Determinación de los puntos de muestreo en la quebrada Saldaña.....	19
4.2. Determinación los parámetros fisicoquímicos y microbiológico del agua de la quebrada Saldaña.....	19
4.3. Implementación del sistema de desinfección solar .....	23
4.4. Determinación los parámetros fisicoquímicos y microbiológico del agua de la quebrada Saldaña tratada por el sistema de desinfección solar.....	24
4.5. Determinación del colector de mayor eficiencia en la reducción de microorganismos por el sistema de desinfección solar .....	30
V. CONCLUSIONES.....	32
VI. PROPUESTAS A FUTURO .....	33
VII. REFERENCIAS .....	34
ANEXOS .....	37

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla.</b>	<b>Pág.</b>
1. Estándares de calidad ambiental del agua .....	4
2. Ubicación geográfica del laboratorio de microbiología. ....	9
3. Características del sistema de agua potable en la Quebrada Saldaña.....	10
4. Parámetros fisicoquímicos a evaluar .....	12
5. Puntos de muestreo en la quebrada Saldaña.....	19
6. Eficiencia del sistema de desinfección solar en los coliformes totales .....	30
7. Eficiencia del sistema de desinfección solar en los coliformes termotolerantes (Escherichia coli)..	31
8. Parámetros fisicoquímicos del agua de la quebrada Saldaña .....	38
9. Parámetros microbiológicos del agua de la quebrada Saldaña.....	39
10. Parámetros fisicoquímicos del agua de la quebrada Saldaña tratada por el sistema de desinfección solar .....	40
11. Parámetro – pH antes y después del tratamiento del sistema de desinfección solar por mes.....	42
12. Parámetro – Temperatura (°C) antes y después del tratamiento del sistema de desinfección solar por mes. ....	42
13. Parámetro – OD antes y después del tratamiento del sistema de desinfección solar por mes.....	43
14. Parámetro – Turbidez antes y después del tratamiento del sistema de desinfección solar por mes.	43
15. Parámetros microbiológicos del agua de la quebrada Saldaña tratada por el sistema de desinfección solar .....	44
16. Parámetro – Coliformes totales antes y después del tratamiento del sistema de desinfección solar por mes. ....	46
17. Parámetro – Coliformes termotolerantes (Escherichia coli.) antes y después del tratamiento del sistema de desinfección solar por mes. ....	46
18. Temperatura ambiente de cada hora durante la ejecución del método SODIS.....	47

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura.</b>	<b>Pág.</b>
1. Procedimiento del método SODIS .....	6
2. Ubicación del Laboratorio de microbiología.....	9
3. Determinación de los microorganismos – Coliformes totales.....	13
4. Determinación de los microorganismos – Coliformes termotolerantes. ....	14
5. Diseño del sistema de desinfección solar – método SODIS.....	16
6. Diseño de investigación .....	18
7. Turbidez de las muestras del agua de la quebrada Saldaña. ....	20
8. Oxígeno Disuelto del agua de las muestras de la quebrada Saldaña. ....	21
9. Parámetros microbiológicos del agua de la quebrada Saldaña.....	22
10. Sistema de Desinfección Solar .....	23
11. pH de las muestras del agua tratada de la quebrada Saldaña.....	24
12. Temperatura de las muestras del agua tratada de la quebrada Saldaña. ....	25
13. OD de las muestras del agua tratada de la quebrada Saldaña.....	26
14. Turbidez de las muestras del agua tratada de la quebrada Saldaña. ....	27
15. Coliformes totales de las muestras del agua tratada de la quebrada Saldaña. ....	28
16. Coliformes termotolerantes – Escherichia coli. de las muestras del agua tratada de la quebrada Saldaña. ....	29
17. Mapa de ubicación del laboratorio de Microbiología. ....	48
18. Mapa de Ubicación de los puntos de muestreo. ....	48
19. Determinando las coordenadas con el GPS en la Captación – Punto 1.....	48
20. Determinando las coordenadas con el GPS en la primera vivienda – Punto 2.....	48
21. Determinando las coordenadas con el GPS en el local comunal – Punto 3 .....	48
<b>Figura 22.</b> Preparado el caldo pectonado 1%. ....	48
<b>Figura 23.</b> Preparado de la solución en los tubos de ensayo para los coliformes totales y termotolerantes – Escherichia coli. ....	48
<b>Figura 24.</b> Codificación de los caldos pectonados 1% y los tubos de ensayo.....	48
<b>Figura 25.</b> Recojo de las muestras del agua superficial de la quebrada Saldaña, de los tres puntos de muestreo .....	48
<b>Figura 26.</b> Codificación de las muestras de agua. ....	48
<b>Figura 27.</b> Tomando los parámetros fisicoquímicos en situ en el Punto 1 del muestreo.....	48
<b>Figura 28.</b> Tomando los parámetros fisicoquímicos en situ en el Punto 2 del muestreo.....	48
<b>Figura 29.</b> Tomando los parámetros fisicoquímicos en situ en el Punto 3 del muestreo.....	48

<b>Figura 30.</b> Punto de ubicación del sistema solar. ....	48
<b>Figura 31.</b> Puesta en marcha el sistema de desinfección Solar .....	48
<b>Figura 32.</b> Toma de temperatura ambiental en los dos tratamientos por cada hora de la ejecución del método SODIS. ....	48
<b>Figura 33.</b> Tomando los parámetros fisicoquímicos en situ luego del tratamiento SODIS.....	48
<b>Figura 34.</b> Vertido de 10 mL de muestra del agua tratada al caldo pectonado al 1%.....	48
<b>Figura 35.</b> Vertido de la mezcla del agua tratada al caldo pectonado al 1% en los tubos de ensayo ...	48
<b>Figura 36.</b> Lectura de los resultados obtenidos de los parámetros microbiológicos. ....	48

## RESUMEN

El método SODIS (Desinfección Solar del Agua) proporciona una solución que es de bajo costo y de muy fácil empleo para purificar el agua en sitios con acceso limitado al agua potable y/o al agua tratada. Este método utiliza la radiación solar como fuente para la eliminación de patógenos del agua, además no el método no requiere de productos químicos ni de una tecnología costosa. Por todo ello se plantea el método SODIS como una alternativa muy tentativa. El objetivo principal es evaluar la eficiencia del sistema de desinfección solar en la reducción de coliformes totales y termotolerantes del agua superficial de la quebrada Saldaña a escala laboratorio – UNAS, 2023. Los resultados obtenidos con respecto a los parámetros fisicoquímicos estuvieron en el rango establecido en los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para el agua en la categoría de aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable; y la variación luego del método SODIS solo fue significativa en el OD y la temperatura, con respecto al pH y turbidez la variación fue mínima. Los resultados obtenidos con respecto a los parámetros microbiológicos fueron favorables, puesto que hubo una fuerte reducción de estos, llegando a la eliminación total en algunos casos. La eficiencia alcanzada en la reducción de los coliformes totales mediante el sistema de desinfección solar color negro llego hasta 98,46 %, y en el color blanco llego hasta 95,38%. Con respecto a los coliformes termotolerantes (*Escherichia coli.*) se tuvo una reducción del 100% en el sistema de desinfección solar color negro y con respecto al blanco se tuvo hasta 97,83%. Por todo ello se afirma que el método de desinfección solar del agua es altamente eficiente en la reducción de microorganismos, y que además que el colector de mayor eficiencia fue el de color Negro.

Palabra clave: Método SODIS, desinfección solar, reducción de Coliformes Totales y Termotolerantes.

## ABSTRACT

SODIS (solar purification for water) provides a solution that is low cost and very easy to use in order to purify water from places with limited access to drinkable water and/or treated water. This method utilizes solar radiation as a source for eliminating the pathogens in water, moreover, the method does not require the use of chemical products nor costly technology. Due to all of this, the SODIS method was proposed as a very tentative alternative. The principal objective was to evaluate the efficiency of the solar purification system in reducing the total coliforms and thermotolerants from the surface of the water in the Saldaña watershed on a laboratory scale at the UNAS (acronym in Spanish) during 2023. The results that were obtained with respect to the physicochemical parameters were that they were within the range established by the environmental quality standards (ECA – acronym in Spanish) for water in the “superficial water designated for drinkable water production” category. The variation after the use of the SODIS method was only significant for the OD (acronym in Spanish) and for the temperature, with respect to the pH and the turbidity, the variation was minimal. The results that were obtained with respect to the microbiological parameters were favorable, given that there was a strong reduction of them, arriving at the total elimination in some cases. The efficiency achieved in the reduction of the total coliforms using the black solar purification system achieved up to 98.46%, and for the white [system] up to 95.38% was achieved. With respect to the thermotolerant coliforms (*Escherichia coli*.) there was a 100% reduction in the black solar purification system, and with respect to the white [system], it was up to 97.83%. Due to all of this, it was affirmed that the solar purification method for water is highly efficient in the reduction of microorganisms, and that moreover, the collector with the greatest efficiency was the black one.

Keywords: SODIS method, solar purification, total coliform and thermotolerant reduction

## I. INTRODUCCIÓN

El recurso hídrico, es indispensable para todo ser viviente ya que se utiliza por lo general para las diversas actividades básicas del ser humano, además de ello en el agua es el escenario donde ocurren diversas reacciones bioquímicas que repercuten en la disponibilidad de este recurso.

Hoy en día el ser humano utiliza las diversas fuentes de agua superficiales como quebradas, para abastecerse, por ello que la contaminación por microorganismos genera mucha preocupación ya que puede ser el causante de diversas enfermedades, poniendo en peligro la salud y/o bienestar de la población. Un ejemplo de esta situación es la quebrada Saldaña es aprovechada por la población de Asunción Saldaña perteneciente a la ciudad de Tingo María, por lo que se requiere que dichas personas conozcan la forma de poder darle un tratamiento a esta fuente de agua, ya que no cuenta con ningún tratamiento.

Considerando que la presencia de microorganismos es un problema muy recurrente en estos tiempos, se busca muchas alternativas, las cuales preferiblemente deber ser económicas, eficientes y respetuosas con el medio ambiente. Por lo tanto, la utilización de la energía solar es una opción muy tentativa para este procedimiento, en este contexto se destaca el método SODIS el cual cumple con ser una alternativa particularmente atractiva.

La importancia del método SODIS trasciende de que es una solución practica y asequible para comunidades que carecen a sistemas de tratamiento de agua convencionales. Al empoderar a las comunidades para que puedan purificar su propio suministro de agua, el método SODIS no solo contribuye a mejorar la salud y el bienestar de los beneficiarios, sino que también les brinda un mayor dominio sobre su calidad de vida. Por todo ello este método se alinea perfectamente con los principios de la sostenibilidad y conservación del medio ambiente, al no requerir el uso de los productos químicos ni la generación de residuos contaminantes. Por otro parte el aprovechamiento y uso de la energía solar como fuente de energía renovable va promover la transición hacia practicas más sostenibles y amigables con el medio ambiente en el ámbito del saneamiento básico y la gestión del agua. Por lo tanto, el método SODIS, no solo representa una herramienta efectiva para asegurar el acceso a agua potable limpia y segura, sino que también impulsa al desarrollo sostenible y la equidad social.

Por lo que teniendo como antecedentes la falta de tratamientos convencionales en el tratamiento del agua procedente de la quebrada Saldaña se plantea la siguiente problemática: ¿Cuál es la eficiencia del sistema de desinfección solar en la reducción de coliformes totales y termotolerantes del agua superficial de la quebrada Saldaña a escala laboratorio – UNAS, 2023?

Para lo cual se tiene como hipótesis que el sistema de desinfección solar tiene una eficiencia mayor al 90% en la reducción de coliformes totales y termotolerantes del agua superficial de la quebrada Saldaña a escala laboratorio – UNAS, 2023.

### **1.1. Objetivo general**

Evaluar la eficiencia del sistema de desinfección solar en la reducción de coliformes totales y termotolerantes del agua superficial de la quebrada Saldaña a escala laboratorio – UNAS, 2023.

### **1.2. Objetivo Específicos**

- Determinar los puntos de muestreo en la quebrada Saldaña.
- Determinar los parámetros fisicoquímicos (pH, T°, OD y turbidez) y microbiológico (coliformes totales, coliformes termotolerantes y *Escherichia coli.*) del agua de la quebrada Saldaña.
- Implementar el sistema de desinfección solar.
- Determinar los parámetros fisicoquímicos (pH, T°, OD y turbidez) y microbiológico (coliformes totales, coliformes termotolerantes y *Escherichia coli.*) del agua tratada por el sistema de desinfección solar.
- Determinar el colector de mayor eficiencia en la reducción de coliformes totales y termotolerantes por el sistema de desinfección solar.

## II. REVISIÓN LITERARIA

### 2.1. Marco teórico

#### 2.1.1. Agua

##### 2.1.1.1. Características fisicoquímicas

###### - pH

El nivel de pH del agua está definido principalmente por el balance carbónico y las actividades vitales de los organismos microscópicos presentes en ambientes acuáticos. En relación al balance carbónico, la sucesión de equilibrio de mezcla de  $\text{CO}_2$  en agua, seguida de mezcla de  $\text{CO}_3^{2-}$  (carbonatos) e insolubilidad de  $\text{HCO}_3^-$  (bicarbonatos), altera significativamente el nivel de pH de cualquier cuerpo de agua y reduce igualmente la eficiencia fotosintética del  $\text{CO}_2$ . La respiración de los heterótrofos produce  $\text{CO}_2$ , que tiene el efecto contrario sobre el pH del medio acuático (Marín, 2020).

###### - Temperatura

Este parámetro está determinado por la capacidad de la capa superior del líquido de absorber la radiación, además está vinculada directamente a la energía cinética media de sus moléculas. Los cambios de  $T^\circ$  influyen por lo general en todas sus propiedades como; gases en agua, solubilidad de las sales, así mismo incluido el comportamiento químico y microbiano. Por otra parte, las temperaturas más altas son beneficiosas para la esterilización de dicho medio. (Marín, 2020)

###### - Oxígenos disueltos

(Goenaga y Martínez, 2017), Este parámetro consiste en la concentración oxígeno presente en el medio acuático. (Stella, 2004) La respiración microbiana requiere del oxígeno disuelto.

###### - Turbidez

El exceso de turbidez puede proteger de los desinfectantes a los microorganismos, por lo que se necesita una cantidad mayor de Cloro (Zhen, 2009). La medición de este parámetro se da por medio de un nefelómetro o turbidímetro, y como unidad de dicha medida es expresada en Unidad de Nefelometría de Turbidez (NTU). (Aranda, 2021).

##### 2.1.1.2. Parámetros microbiológicos

###### - Coliformes totales

Se considera como bacterias, las cuales tienen la característica de ser Gram negativas, que se encuentren en un aspecto de bacilar por consiguiente provoca

que estas fermenten la lactosa a una temperatura entre 35 a 37 °C y esto hace que se produzcan tanto ácido y gas (CO<sub>2</sub>) en un periodo de 24 h. (Carrillo y Lozano, 2008)

- **Coliformes termotolerantes**

Estos coliformes son pertenecientes al grupo de coliformes totales, teniendo como diferencia que son indol positivo, además su crecimiento tiene como temperatura optima hasta un 45°C, siendo así considerado como uno de los mejores indicadores con respecto al higiene en el agua y alimentos. (Carrillo y Lozano, 2008)

- ***Escherichia coli***

Es considerado una bacteria Gram negativa, la cual es anaerobia y generalmente se encuentra en el intestino del humano y también en otros animales homeotermos. (Carrillo y Lozano, 2008)

**2.1.2. Estándares de calidad Ambiental para el agua (D.S. N° 004-2017-MINAM)**

El propósito de esta norma es disponer el valor aceptable de los parámetros fisicoquímicos y biológicos que debe tener el agua. En la tabla 1 se muestra los valores en relación Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable:

**Tabla 1.** Estándares de calidad ambiental del agua

Parámetros	Unidad	Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable		
		A1 aguas potabilizadas con desinfección	A2 aguas potabilizadas con tratamiento convencional	A3 aguas potabilizadas con tratamiento avanzado
pH	Unidad de pH	6,5 - 8,5	5,5 - 9,0	5,5 - 9,0
OD	mg/L	≥ 6	≥ 5	≥ 4
Temperatura	°C	Δ 3	Δ 3	**
Turbidez	UNT	5	100	**
Coliformes termotolerantes	NMP/100 mL	20	2 000	20 000
Coliformes totales	NMP/100 mL	50	**	**
E. Coli	NMP/100 mL	0	**	**

Fuente: D.S. N° 004-2017-MINAM

**2.1.3. Efectos de la radiación UV – A**

Esta radiación provoca una consecuencia mortal a los patógenos que se encuentren en el agua, ya que dichos microorganismos generalmente se encuentran en el tracto

digestivo del ser humano por lo que son más vulnerables a dicha radiación. La luz UV – A interviene en el ADN directamente, así como también en la enzima de la célula viva, provocando un cambio en la composición molecular y como consecuencia ocasiona el fin de la vida celular. (SODIS, 2005)

Esta radiación también interactúa con el contenido de oxígeno disuelto en el agua, dando como producto peróxidos de hidrogeno y los radicales libre de oxígeno, en consecuencia, estas molecular intervienen en las estructuras celulares provocando la muerte de los patógenos. (SODIS, 2005)

#### **2.1.4. Efectos de la temperatura**

La radiación que tiene la característica de ser de onda larga, la cual también se puede nombrar como infrarroja, no puede ser visto por el ser humano a simple vista, pero si podemos percibirlo por el calor que produce con una longitud de onda que no supere a 700 nm. Así mismo, el agua absorbe esta radiación infrarroja, provocando de esta manera su calentamiento. (SODIS, 2005)

#### **2.1.5. Efectos biológicos de la radiación**

Los investigadores de la EAWAG/SANDEC en 1991 encontraron que existe una sinergia en la interacción de la temperatura del agua y la radiación UV – A , para la inactivación de los microorganismos patógenos del agua. (SODIS, 2005)

Los rayos ultravioletas son absorbidos por el ADN de los microorganismos, el cual está presente en los nucleoides celulares, esta radiación elimina la cadena de aminoácidos de las proteínas, deteniendo así el metabolismo y afectando el mecanismo de reproducción. Todo ello provoca la inactivación de los microorganismos ya que se vio afectado su desarrollo microbiano y sus propiedades de producción patológicas que tenía. La utilización del rayo UV – A es beneficioso ya que no se necesita productos químicos para la desinfección. (Fontal, 2005).

#### **2.1.6. Sistema de desinfección solar – Métodos SODIS**

Este método utiliza la energía solar con la finalidad de deshacerse de la presencia de microorganismos patógenos en el agua y que generan enfermedades, este método favorece la calidad de este recurso, la cual es utilizada para el consumo del ser humano. La microbiota perteneciente a los patógenos son susceptibles al producto generado por la energía solar como; la luz UV – A (una longitud onda de 320 – 400 nm) y el incremento del nivel de temperatura como característica del agua por el calor proporcionado, por lo cual SODIS utiliza la radiación UV – A y la temperatura para llevar a cabo la desinfección del agua. (SODIS, 2005)

(SODIS, 2005) En los parámetros importantes en el método SODIS se tiene lo siguiente:

- La turbiedad debe ser menor a 30 UNT)
- Las botellas deben ser llenadas completamente para evitar el aire interior y esta reduzca la radiación solar.
- Uso de botellas transparentes de plástico de hasta 2L de volumen.
- La exposición debe ser de 5 a 6 horas en un tiempo soleado o con un cielo ligeramente nublado, este último debe estar cubierto máximo hasta al 50%.
- Recomendable que la exposición sea desde las 9:00 a.m. hasta las 3:00 p.m.



**Figura 1.** Procedimiento del método SODIS

Fuente: SODIS, 2005

### 2.1.7. Colector solar

Es un dispositivo que tiene la capacidad de acumular y absorber la radiación solar. Convierte la energía solar en energía eléctrica o calorífica, para lo cual se tiene 2 tipos; colector concentrador y plano. (Nandwani, 2005)

### 2.1.8. Efecto de los colores

La radiación luminosa infrarroja es absorbida por un objeto, la cual varía en relación al color que esta posee. Objetos de color blanco no logran absorber casi nada de la

radiación, a comparación con el color negro que absorbe casi toda la radiación luminosa. Por otro lado, en colores oscuros no hay la reflexión de luz, en cambio, los colores claros reflejan una gran cantidad. Considerando la ley de la conservación de energía, esta no se pierde solo se transforma; por lo tanto, en los colores oscuros la energía se representa en calor, mientras que, cuando el color más claro sea, como por ejemplo el blanco, esta va a reflejar un 100% de la luz que le llega y en este caso nada es absorbido. (Astudillo, 2009)

#### **2.1.9. Botellas PET e inocuidad**

Es recomendable el uso de las botellas de tereftalato de polietileno para el método SODIS, pues estas contienen una menor cantidad de aditivos a comparación de las botellas de PVC. Además que las botellas PET al estar en posición horizontal no supera los 10 cm de profundidad, lo que es conveniente que la radiación ingrese sin dificultad, puesto que si hay una turbiedad de 26 UNT y la profundidad del agua es de 10 cm la radiación ultravioleta se ve afectado ya que se reduce el ingreso a un 50%. (SODIS, 2005).

### **2.2. Estado del arte**

#### **2.2.1. Internacionales**

Matus (2020), "Energía solar como fuente de desinfección del agua para consumo humano a nivel domiciliario mediante una tecnología social. Caso Magdalena Teitipac, Oaxaca.", en dicho trabajo de investigación la recolección del agua fue del pozo San Felipe, del cual se ha obtenido una muestra para llevar a cabo un análisis bacteriológico previo al tratamiento con la metodología SODIS, obteniendo en 15 NMP/ 100 mL la presencia de coliformes totales. Para la metodología utilizó 2 botellas PET de 2 L, el colector tuvo la forma de cilíndrico parabólico. Se realizaron 3 muestras donde el colector utilizó como superficie papales que tenga las características como; metálico plateado, papel aluminio y así mismo que sea de una capa de hojalata. De esta manera obtuvo como resultado eficiente la desinfección en un tiempo de 2.5 horas, a temperaturas que oscilan entre 30 y 64.51 °C, donde logró la inactivación con respecto a los coliformes totales ya que no fue detectable en los resultados después del tratamiento del agua. Esta eficacia se atribuyó a la interacción entre la temperatura y la concentración que se tuvo con respecto a la radiación UV en las botellas, además se vio beneficiada por el diseño que tuvo que fue en forma de cilindro parabólico.

Cifuentes (2022). "Análisis de combinaciones de techo y botella para desinfección mediante la metodología SODIS", en la investigación se busca realizar un análisis entre los materiales de fácil acceso, por lo cual hace una combinación de botella y techo, la cual garantice la desinfección eficaz y además que sea a un costo bajo. En dicho trabajo se utilizó el

agua de lluvia, las botellas fueron de vidrio y por otro lado también se utilizó el tereftalato de polietileno (PET), las cuales estuvieron sometidas a la radiación sobre dos tipos distintos de techos; teniendo como primer tipo a la lámina de acero y también por otro lado se tuvo la teja de barro. La exposición fue de 6 horas donde la remoción de coliformes totales fue entre 25% a 50%, la de coliformes fecales fue entre 53% y 88%, finalmente se encontró que la mayor eficacia en la eliminación de los coliformes fecales y totales fue en la configuración que combina la botella de PET y el techo de lámina.

### 2.2.2. Nacionales

Asencios (2022), “EFICACIA DE UN SISTEMA DE DESINFECCIÓN SOLAR EN LA REDUCCION DE CONTENIDO MICROBIOLÓGICO DE CUERPOS DE AGUA SUPERFICIAL”, en dicho trabajo busca evaluar la eficiencia del sistema para lo cual utilizó el agua proveniente del río Huallaga donde se hizo la determinación de algunos parámetros in situ como: pH, T, OD, así mismo también se evaluaron los coliformes totales, coliformes termotolerantes y *Escherichia coli*. Para la muestra se recolectó 60 L de agua, botellas PET de colores; blanco, negro, verde y transparente, el cual fue expuesto por un periodo de 8 horas al día a temperaturas de 25 a 28°C. En el cual obtuvo que no existe cambios significativos en los parámetros físicos, con respecto a los coliformes termotolerantes se observó que las botellas de color negro tuvieron una mayor reducción a comparación de los demás colores y por el contrario en la botella de color verde hubo un incremento. En los coliformes totales se obtuvo una reducción mínima en las botellas de color transparente y negro, y por el contrario con respecto a los colores; verde y blanco hubo un incremento, siendo el verde con mayor cantidad. Finalmente se concluye que no hubo eficiencia en la reducción de microorganismos del agua después del proceso de desinfección solar y que no se hallan en el rango de los límites que ya se encuentran establecidos, luego de ser comparados con la categoría 3 de los ECAs del agua.

Suarez (2020), en su trabajo de investigación determinó que el ICA del agua con respecto a la quebrada de Naranjal, Cochero y Córdova están aptas para el consumo humano, puesto que en conexión con los parámetros de metales pesados se halla en el rango establecido en los ECAs y LMP a excepción del plomo en tiempo de estiaje. Los parámetros fisicoquímicos de dichas quebradas como DBO5, pH, STD, cloruros, nitratos, nitritos, amoniac, dureza y turbiedad se encuentran dentro de los ECAs y LMP y finalmente en cuanto a los parámetros microbiológicos de las quebradas; los coliformes totales, termotolerantes están fuera de los rangos de LMP.

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Lugar de ejecución

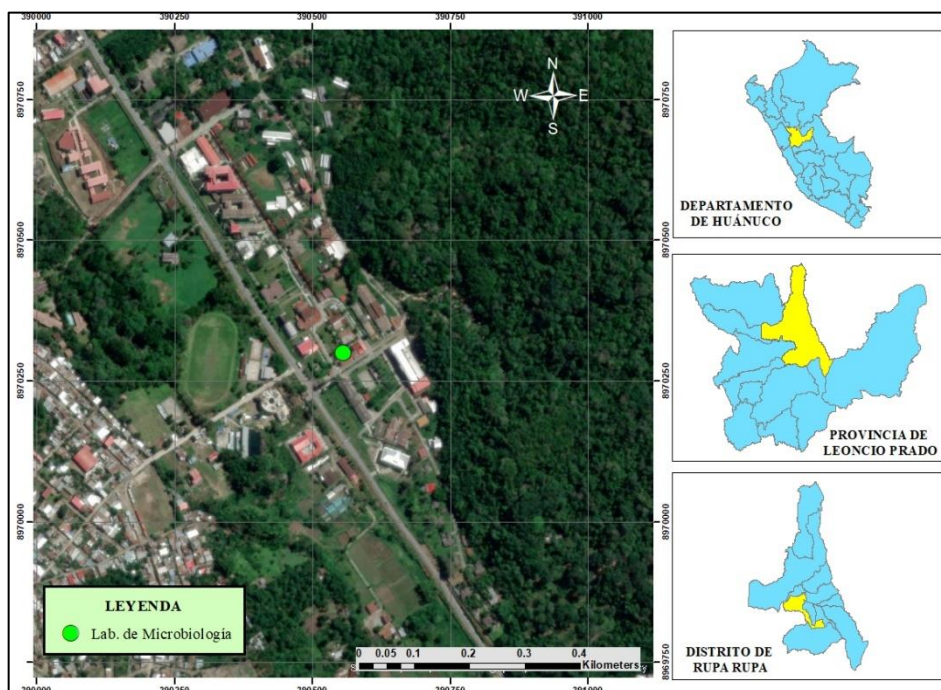
##### 3.1.1. Ubicación política y geográfica

La investigación se llevó a cabo en el laboratorio de microbiología de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, dicho lugar se localiza en la ciudad de Tingo María, en el distrito Rupa Rupa de la provincia de Leoncio Prado, departamento de Huánuco.

**Tabla 2.** Ubicación geográfica del laboratorio de microbiología.

Ubicación	Coordenadas Geográficas UTM		Altitud (msnm)
	Este (X)	Sur (Y)	
Laboratorio de microbiología	390 556	8 970 299	668

Fuente: Elaboración propia.



**Figura 2.** Ubicación del Laboratorio de microbiología

Fuente: Elaboración propia.

##### 3.1.2. Aspectos sociales y ambientales

###### 3.1.2.1. Clima

El clima en la ciudad es tropical, teniendo como valor una temperatura promedio anual de 24.9°C, así mismo, se tiene que 32°C es la máxima y la mínima de 19°C aproximadamente, además se tiene precipitaciones todo el año. (SENHAMI, 2022)

### 3.1.2.2. Características del Sistema de agua de la Quebrada Saldaña

Con respecto a las características de esta quebrada se tiene lo siguiente:

**Tabla 3.** Características del sistema de agua potable en la Quebrada Saldaña

LUGAR	CARACTERISTICAS	REFERENCIA
CAPTACIÓN	Muestra una estructura de cemento sin un cerco perimétrico, lo que permite que la vegetación y el moho crezcan en las paredes.	
RESERVORIO	Presenta una estructura de cemento sin un cerco perimétrico, por lo que se encuentra expuesta y tiene las paredes cubiertas de moho. El reservorio si cuenta con un techo.	
DISTRIBUCIÓN	La mayoría de los conductos y/o tuberías están a la vista y en ciertos puntos se encuentra a nivel del suelo, además existen reparaciones con materiales inadecuados.	

Fuente: Elaboración propia.

## 3.2. Materiales y métodos

### 3.2.1. Materiales y equipos

Envase de vidrio de 1 L, Stiker de codificación, rotulador, cuaderno de apuntes, marcador indeleble, mascarilla, guantes latex, cooler, cinta adhesiva, piceta, tubos de ensayo, vaso precipitado de 500 mL, 21 botellas PET 1 L, calamina, clavos de calamina, lata de pintura acrílico (negro y blanco), thinner acrílico, brocha, soporte de madera de la calamina. Multiparametro 3630 IDS, turbidímetro HANNA HI93414 – 01, GPS, termómetro ambiental y cámara fotográfica.

### **3.2.2. Metodología**

#### **3.2.2.1. Determinación de los puntos de muestreo en la quebrada Saldaña**

##### **a. Puntos de muestreo**

En la Resolución Jefatural N°010 – 2016 – ANA, referente al Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales, determina que para los puntos de monitoreo se puede considerar que el primer punto debe ser donde no haya influencia antropogénica el cual será como “blanco”, así mismo considerar donde haya intervención. El número de puntos de muestreo debe ser definido dependiendo del tamaño del área interesada.

Luego de un recorrido por la quebrada Saldaña, localizada en la ciudad de Tingo María, se determinó 3 puntos de muestreo, donde las coordenadas del punto están registradas en UTM ya que se empleó un GPS para establecer estos puntos, considerando que dicho punto de muestreo sea accesible a la toma de muestra y además intervenga en el abastecimiento de la población, teniendo así la importancia de la investigación.

#### **3.2.2.2. Determinación de los parámetros fisicoquímicos (pH, T°, OD y turbidez) y microbiológico (coliformes totales, coliformes termotolerantes y *Escherichia coli*) del agua de la quebrada Saldaña**

##### **a. Recolección de muestra de agua**

Se utilizó las botellas PET para la recolección de las muestras, las cuales fueron debidamente codificadas, donde se sustrajo 21 L en un muestreo puntual en los 3 puntos de muestreo, considerando 7 muestras en cada punto de muestreo.

##### **b. Acondicionamiento y transporte**

Las muestras fueron conservadas en un cooler, para luego ser transportadas al laboratorio de microbiología y también puesto donde se ejecutó el tratamiento del método SODIS (Figura 30).

##### **c. Determinación de los parámetros fisicoquímicos**

Se emplearon los equipos especificados en la tabla 4 para medir los parámetros fisicoquímicos de la quebrada Saldaña, los cuales fueron evaluados in situ en los 3 puntos determinados de muestreo.

**Tabla 4.** Parámetros fisicoquímicos a evaluar

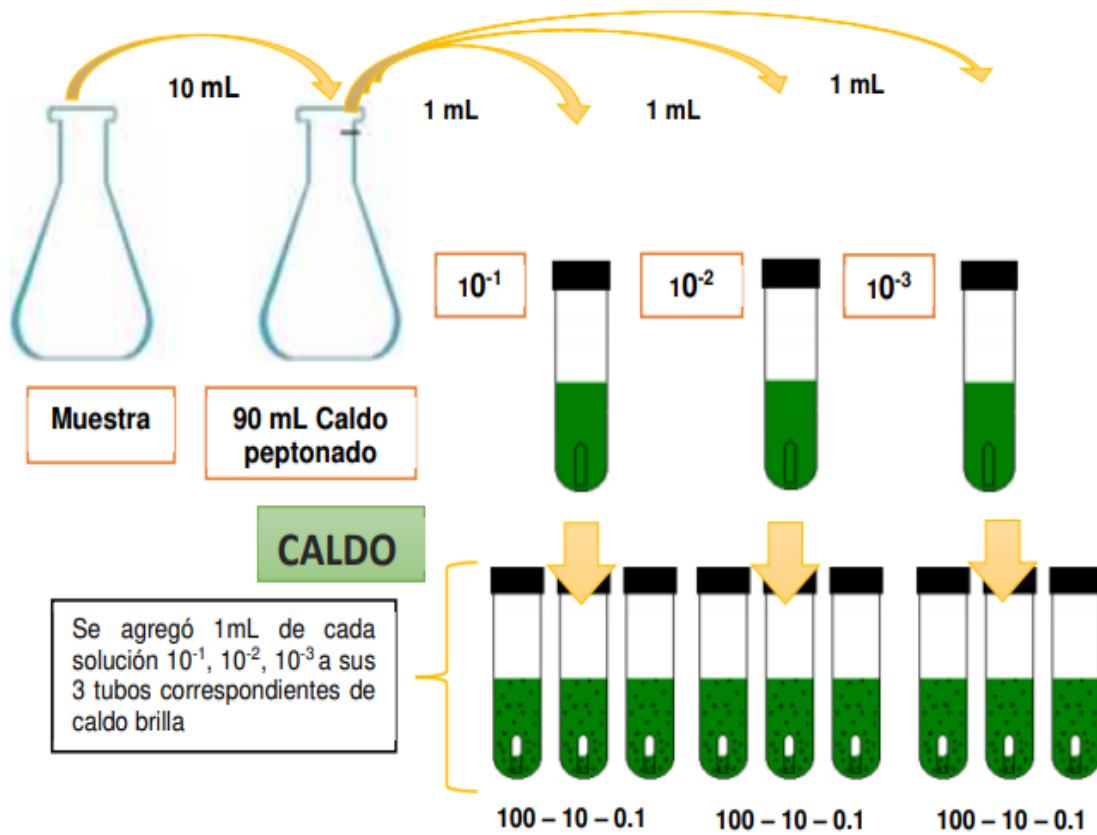
Parámetro	Equipo	Unidad
pH	Multiparametro 3630 IDS	Unidad de pH
T°	Multiparametro 3630 IDS	°C
OD	Multiparametro 3630 IDS	mg/L
Turbidez	Turbidímetro HANNA HI93414 – 01	UNT

Fuente: Elaboración propia

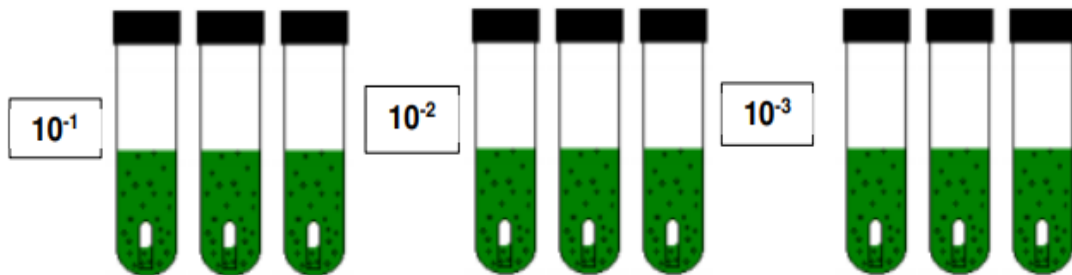
**d. Determinación de los parámetros microbiológicos**

Para determinar estos parámetros se utilizó el protocolo establecido en las prácticas de microbiología, donde se menciona las mediciones y pasos a realizarse para los análisis de coliformes totales, termotolerantes y *Escherichia coli* (LOPEZ, 2012). Dicho parámetro se realizó en el Laboratorio de Microbiología.

- Coliformes totales



**Cálculo de los macroorganismos**



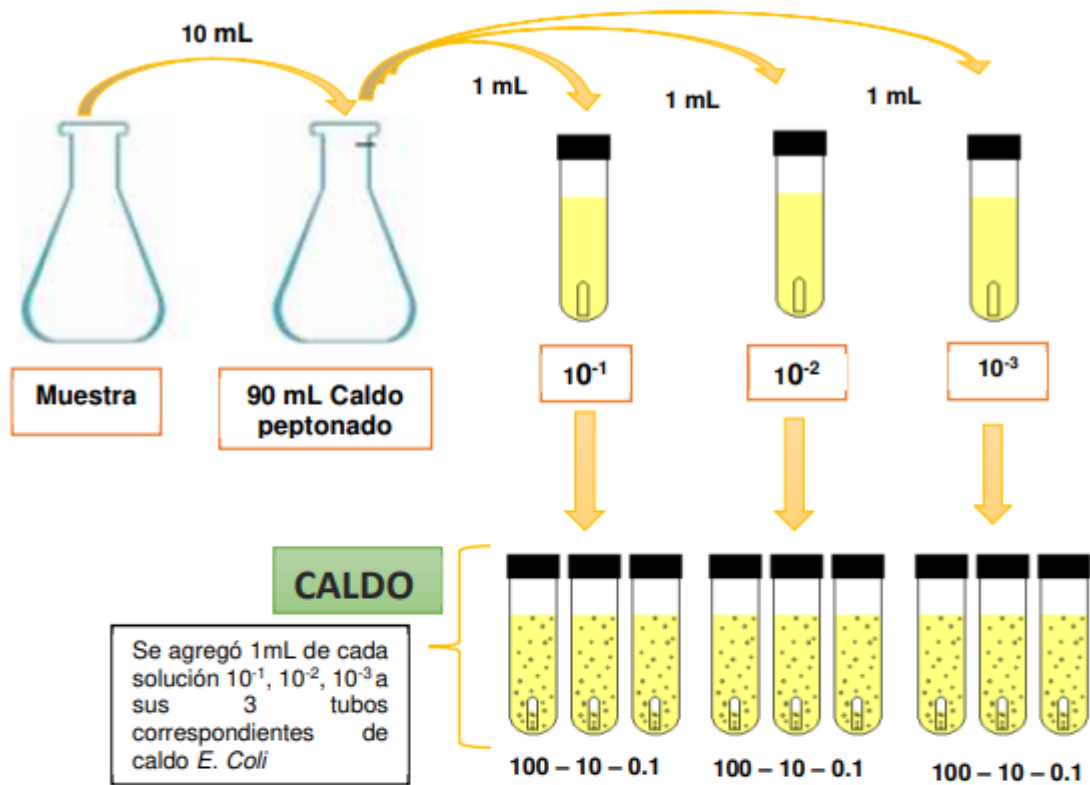
Calculamos el NMP/100mL:

$$\frac{\text{NMP}}{100\text{mL}} = \frac{\text{índice NMP(tabla)} \times \text{dilución intermedia}}{100}$$

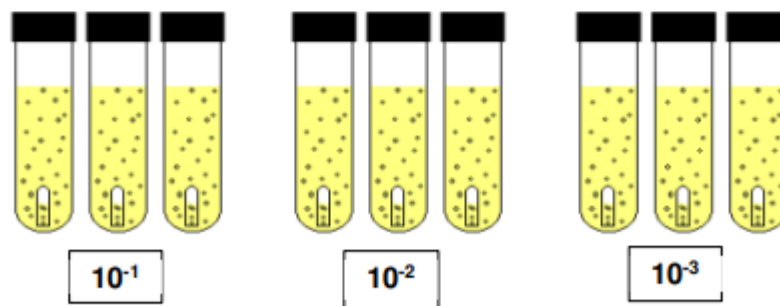
**Figura 3.** Determinación de los microorganismos – Coliformes totales.

Fuente: LOPEZ, 2012.

- Coliformes termotolerantes (*Escherichia coli*)



**Cálculo de los macroorganismos**



Calculamos el NMP/100mL:

$$\frac{\text{NMP}}{100\text{mL}} = \frac{\text{índice NMP(tabla)} \times \text{dilución intermedia}}{100}$$

**Figura 4.** Determinación de los microorganismos – Coliformes termotolerantes.

Fuente: LOPEZ, 2012.

### **3.2.2.3. Implementación del Sistema de desinfección solar**

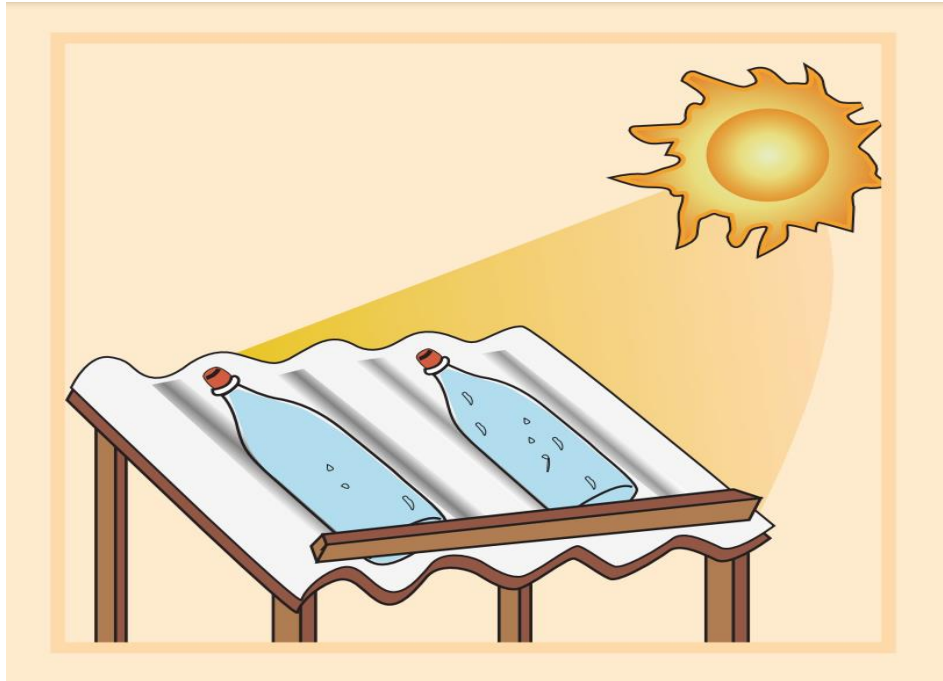
#### **a. Rediseño del sistema**

Utilizando como referencia la metodología de SODIS (2005) como primer paso se armó la base de madera con las siguientes medidas; las patas traseras y delanteras con una medida de 1.20 m y 1 m de alto respectivamente. Luego se cortó la plancha de calamina con una medida de 0.6 x 1.25 m, el cual se unió a la base de madera utilizando clavos de calamina. Dicho procedimiento se realizó 2 veces, para luego pintar la calamina de color negro y blanco.

#### **b. Puesta en marcha del sistema de desinfección solar**

Teniendo las muestras de agua de 1 L en las botellas PET previamente acondicionadas, se siguió teniendo como referencia la metodología SODIS (2005), por lo cual se dispuso a colocarlos encima de la plancha de calamina, considerando que se puso 3 repeticiones de cada punto de muestreo en cada sistema de desinfección solar. Se dejó reposar en ese estado por un periodo de 6 horas por la presencia del sol, si el cielo se hubiese encontrado más que 50% nublado, la exposición de las botellas PET debió ser de 2 días consecutivos.

En dicho procedimiento se tomó el grado de temperatura ambiente cada hora desde el inicio. Se consideró que el sistema de desinfección solar debe ubicarse en un lugar don los rayos del sol llegue sin interferencias (sombras), para poder alcanzar una gran eficiencia en método SODIS. Este procedimiento se llevó a cabo una vez al mes, en un periodo de 3 meses, se consideró de manera objetiva realizarlo cuando el día se encontró soleado debido a la presencia de los rayos – UV.



**Figura 5.** Diseño del sistema de desinfección solar – método SODIS  
Fuente: SODIS, 2005

#### **3.2.2.4. Determinación de los parámetros fisicoquímicos (pH, T°, OD y turbidez) y microbiológico (coliformes totales, coliformes termotolerantes y *Escherichia coli*) del agua de la quebrada Saldaña tratada por el sistema de desinfección solar**

Luego del periodo de tiempo transcurrido del del sistema de desinfección solar – método SODIS, se utilizó el multiparámetro para determinar los valores de los parámetros fisicoquímicos (pH, T°, OD y turbidez) in situ donde se llevó a cabo el método SODIS (Figura 30), considerando la tabla 3.

Después se llevó las muestras del agua tratada al Laboratorio de Microbiología, para las mediciones de los parámetros microbiológicos, considerando las figuras 3 y 4.

#### **3.2.2.5. Determinación del colector de mayor eficiencia en la reducción de microorganismos por el sistema de desinfección solar**

Teniendo los valores obtenidos anteriormente, se comparó los resultados obtenidos previo y posterior al tratamiento con el método SODIS, donde se observó que color de la calamina tuvo mayor eficiencia en la reducción de microorganismos (coliformes totales y termotolerantes) del agua de la quebrada Saldaña.

La fórmula utilizada para calcular la eficiencia en la reducción de microorganismos es la siguiente:

$$Eficiencia = \left( \frac{C_0 - C_F}{C_0} \right) \times 100\% \quad \text{Ecuac. (1)}$$

Donde:

C0: Concentración inicial de microorganismos (coliformes totales y termotolerantes)

CF: Concentración final de microorganismos (después del proceso del tratamiento de desinfección solar)

### 3.3. Características de la tesis

**Enfoque de la investigación:** Considerando los indicadores utilizados en la investigación, este se encuentra en el enfoque cuantitativo puesto que se cuantificó la concentración de microorganismos (coliformes totales y termotolerantes) previo y posterior al método de desinfección solar (Arias, 2021).

**Tipo de investigación:** Esta investigación es de naturaleza aplicada, dado que se recurrió a una metodología ya conocida que es el método SODIS. Considerando que este tipo de investigación se aplica conocimientos tanto teóricos como prácticos (Toscano, 2018).

**Nivel de investigación:** El estudio de investigación tendrá un nivel explicativo, puesto que busca comprobar la reducción de microorganismos (coliformes totales y termotolerantes) del agua por el sistema de desinfección solar. Este nivel agrupa el conocimiento inductivo y deductivo para dar respuesta a un problema (Toscano, 2018).

**Tipo de diseño:** Esta investigación es experimental, ya que se implementará el sistema de desinfección solar con la condición de reducir los microorganismos (coliformes totales y termotolerantes) del agua, además se manipulará el color del soporte de calamina del equipo de desinfección solar de los tratamientos. Este tipo de diseño modifica intencionalmente sus componentes con la finalidad de poder observar el resultado (Toscano, 2018).

#### 3.3.1. Variables

- Variable independiente

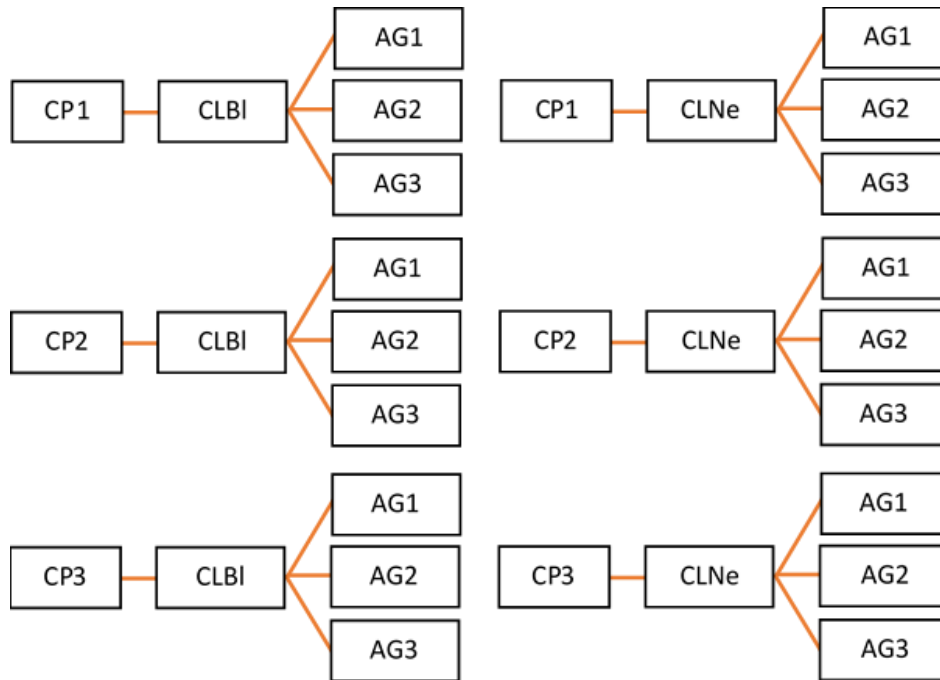
Sistema de desinfección solar.

- Variable dependiente

Microorganismos del agua de la quebrada Saldaña.

#### 3.3.2. Diseño de la investigación

Consistió en 2 tratamientos y 3 repeticiones.



[CP1, CP2, CP3]: contenidos microbianos iniciales de cada punto de muestreo, [CLBI, CLNe]: color de la calamina del equipo de sistema de desinfección [AG1, AG2, AG3]: repeticiones de del agua a tratar.

**Figura 6.** Diseño de investigación

Fuente: Elaboración propia

### 3.3.3. Diseño estadístico.

Se usará la prueba de t Student, teniendo en cuenta que sea para muestras relacionadas. Para el ajuste estadístico se realizará un ANOVA con 2 tratamientos, 3 repeticiones de cada uno. Se utilizará el programa SPSS, teniendo de nivel de significancia el 5%. Para lo cual se tiene el siguiente modelo estadístico:

$$t = \frac{\bar{d}}{s_d/\sqrt{n}} \quad \text{Ecuac. (2)}$$

Siendo,

t: Estadístico t calculado.

$\bar{d}$ : Promedio de las diferencias.

$s_d$ : Desviación estándar de las diferencias.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Determinación de los puntos de muestreo en la quebrada Saldaña

Considerando que en la Resolución Jefatural N°010 – 2016 – ANA, referente al Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales, se determinó 3 puntos de muestreo (ver anexo B, figura 18), los cuales fueron estipulados por las características del lugar, considerando el primer punto en la captación, luego en el transcurso para las viviendas y finalmente el último se consideró en el local comunal. De esta manera se estaría abarcando el punto donde hay influencia antropogénica, un lugar de intervención y por último el abastecimiento de la población, de este modo se abarca la importancia de la investigación.

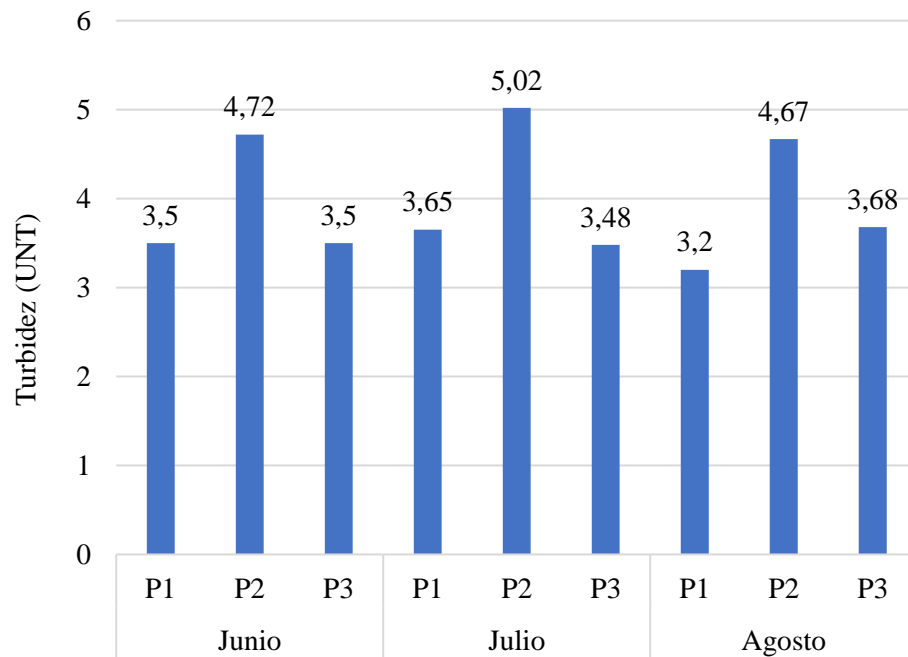
**Tabla 5.** Puntos de muestreo en la quebrada Saldaña.

Ubicación	Punto de Muestreo	Coordenadas Geográficas UTM		Altitud (msnm)
		Este (X)	Sur (Y)	
Captación	P1	390878	8971009	705
Primera vivienda	P2	390483	8971119	701
Local comunal	P3	390331	8971127	686

Fuente: Elaboración propia

### 4.2. Determinación los parámetros fisicoquímicos (pH, T°, OD y turbidez) y microbiológico (coliformes totales, coliformes termotolerantes y *Escherichia coli*) del agua de la quebrada Saldaña.

Se realizó análisis de los parámetros fisicoquímicos in situ y microbiológicos en el Laboratorio de Microbiología, donde los resultados obtenidos en la tabla 8 y 9 están dentro del rango óptimo considerado en los ECAs del agua, en la categoría de aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable y en la sub categoría A1.

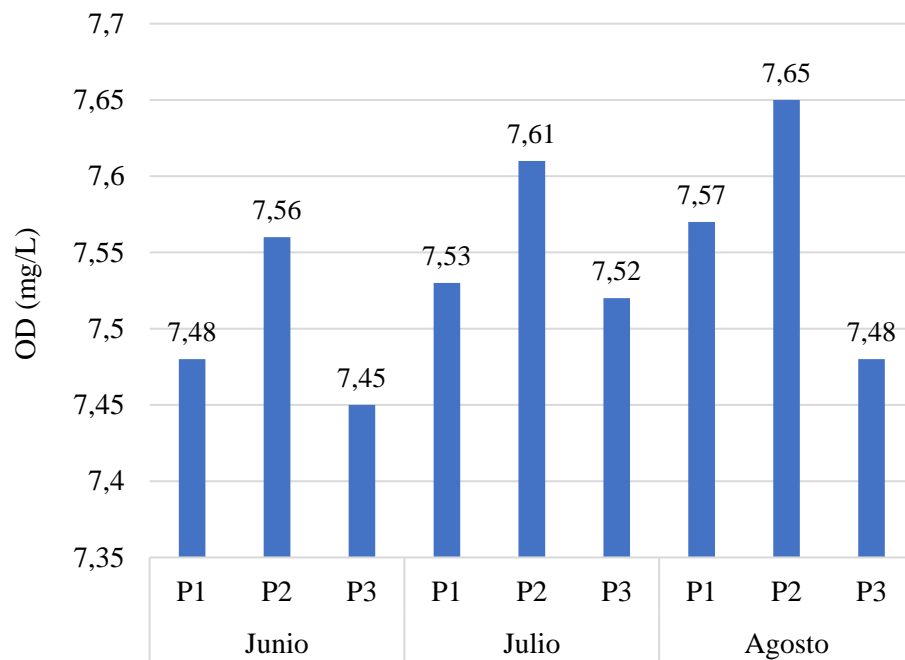


**Figura 7.** Turbidez de las muestras del agua de la quebrada Saldaña.

En la figura 7 se muestra claramente que en el P2 de los tres meses contiene mayor cantidad de turbidez a comparación de los demás puntos de muestreo, esto puede ser provocado ya que en este punto se realiza el desfogue cuando hay limpieza.

Por otro lado, los valores de turbidez se encuentran en un rango óptimo según los ECAs para el agua en la categoría mencionada en la tabla 1 y en la sub categoría A1, que es de 5 UNT, además los valores obtenidos de la turbidez están por debajo de los 30 UNT, el cual es una condición importante del método SODIS, puesto que si superara dicho valor no habría una eficiencia de la reducción de microorganismos (coliformes totales y termotolerantes) porque afecta al ingreso de la radiación ultravioleta (SODIS, 2005).

Además de ello el exceso de turbidez puede proteger a los microorganismos de los desinfectantes (Zhen, 2009), por lo que se asegura que la turbidez no influyó en los resultados obtenidos por el sistema de desinfección solar.

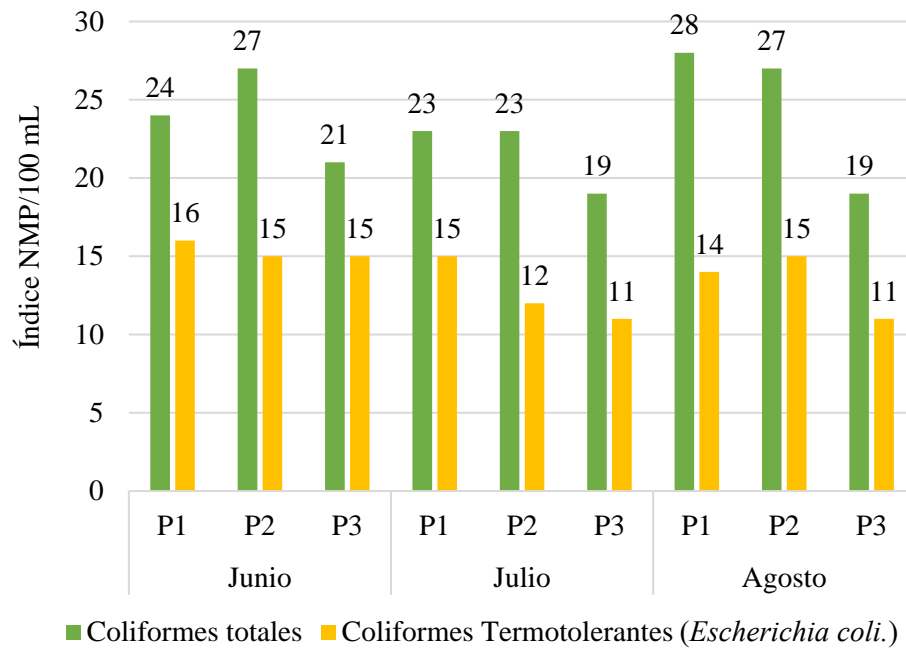


**Figura 8.** Oxígeno Disuelto del agua de las muestras de la quebrada Saldaña.

Tal como se ilustra en la figura 8 los valores del oxígeno disuelto de las muestras de agua de la quebrada Saldaña están en un rango de 7.45 – 7.65, estando de esta manera dentro del rango de los ECAs del agua (tabla 1), sub categoría que es de mayor o igual a 6.

Es importante considerar este parámetro puesto que los microorganismos requerirán del oxígeno disuelto para su respiración microbiana. (Stella, 2004). Y de esta manera se afirma que la concentración de OD no tuvo ningún efecto y/o influenció en la concentración de microorganismos presentes en las muestras de agua.

Así mismo se muestra los resultados hallados con respecto a la medición de los parámetros microbiológicos del agua de la quebrada Saldaña.



**Figura 9.** Parámetros microbiológicos del agua de la quebrada Saldaña.

En la figura 9 se evidencia la presencia de coliforme totales y termotolerantes hallados en los tres lugares de muestreo seleccionados, considerando los datos recolectados están dentro del rango de los ECAs del agua (tabla 1) en la sub categoría A1 que es 50 para los coliformes totales y 20 para *Escherichia coli*.

Sin embargo, existe mayor cantidad de estos microorganismos en el Punto 1 que llego hasta 28 NMP/100mL a comparación del P2 y P3, el cual se puede dar debido a la presencia de animales silvestres que suelen abastecerse de esta quebrada y suelen orinar y/o excretar en zonas cercas a esta fuente de agua. Por otro lado, en el P2, P3, no existe un sistema de cloración permanente por lo que se asegura que no está siendo limpia en su totalidad ya que se encontró presencia de los coliformes en esta fuente de agua, lo que puede provocar malestares en la población; como cólicos, indigestión, etc.

Considerando de manera general, la quebrada Saldaña se encuentra dentro del Bosque reservado de la Universidad Nacional Agraria de la selva (BRUNAS), de manera similar a las quebradas Naranjal, Cocheros y Cordova, pero a diferencia de ellos es que su actividad antropogénica en la quebrada Saldaña es casi nula, y en las demás quebradas mencionadas anteriormente si existe tienen la intervención del hombre, debido a que el alumnado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva realizan sus prácticas y/o otras actividades estudiantiles. Considerando este punto, la quebrada Saldaña se encuentra menos contaminada que las quebradas Naranjal, Cocheros y Córdoba, puesto que estas últimas en

relación con los parámetros microbiológicos (coliformes totales y termotolerantes) están fuera de los LMP, de igual forma el *Vibrio cholerae* están fuera de los ECAs Suarez (2020). Esta diferencia se da por la ubicación de las quebradas, actividad antropogénica, y así mismo la presencia de animales silvestres que pueden estar en mayor cantidad en las quebradas Naranjal, Cocheros y Córdoba.

#### 4.3. Implementación del sistema de desinfección solar

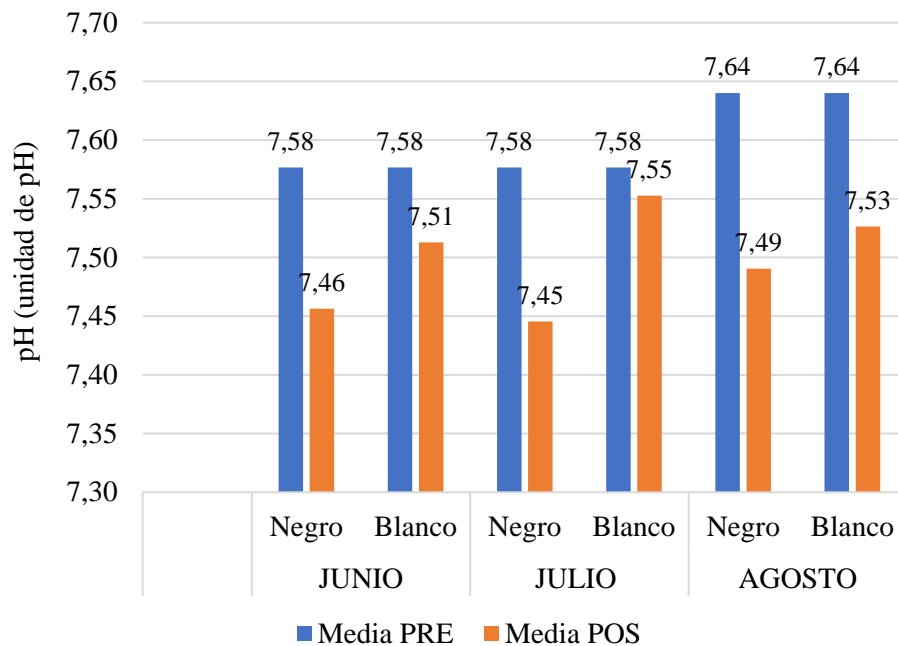
Teniendo como referencia la metodología SODIS (2005), se realizó el rediseño del sistema de desinfección solar, donde se obtuvieron como parte de la investigación dos tipos, en el que la diferencia de ellos fue el color de la calamina; negro y blanco. Donde según la ley de conservación de energía, establece que la energía esta se transforma pero no se pierde; entonces, el color blanco no logrará absorber la radiación, pero si podrá reflejarse, en cambio, el color negro absorberá casi toda la radiación (Astudillo, 2009).



**Figura 10.** Sistema de Desinfección Solar

Tal y como se aprecia en la figura 10 el sistema de desinfección solar servirá como un colector solar, el cual tiene la capacidad de absorber y acumular la radiación solar (Nandwani, 2005), el cual es muy eficiente para el método SODIS. Además de ello se realizó con una inclinación para poder asemejar a una vivienda común, donde la población pueda colocar sus botellas en su propia vivienda.

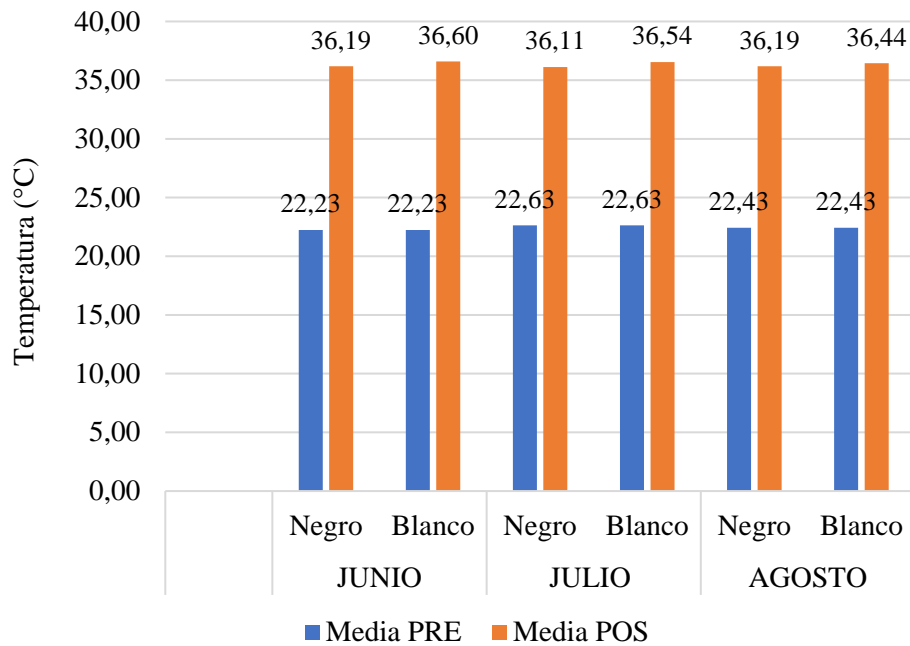
**4.4. Determinación los parámetros fisicoquímicos (pH, T°, OD y turbidez) y microbiológico (coliformes totales, coliformes termotolerantes y *Escherichia coli.*) del agua de la quebrada Saldaña tratada por el sistema de desinfección solar**



**Figura 11.** pH de las muestras del agua tratada de la quebrada Saldaña.

De acuerdo al ilustrado en la figura 11 se puede evidenciar que hubo una reducción mínima de pH durante el estudio, donde el pH medio más bajo fue de 7,45. Se tiene que tener en cuenta que el pH está ligado al balance carbónico y las actividades vitales de los microorganismos acuáticos (Marín, 2020), por lo que si hubo una reducción del pH quiere decir que hubo una alteración con respecto a los microorganismos, pero se debe considerar que la diferencia es mínima.

Según Asencios (2022) en su investigación de su sistema de desinfección solar que realizó en diferentes colores de botellas encontró que la medición sus parámetros físicos no tuvo cambios significativos, al igual que en nuestros resultados obtenidos.



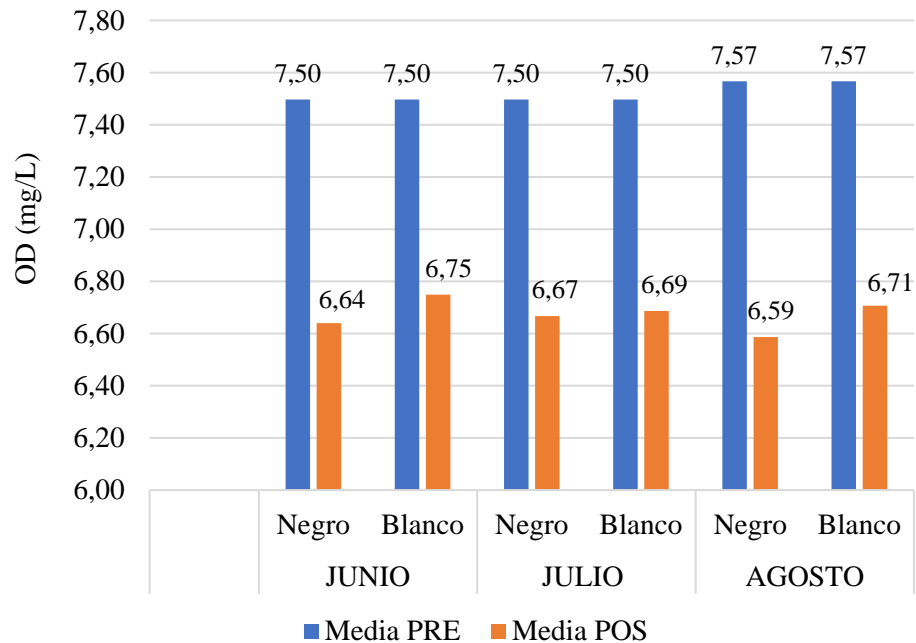
**Figura 12.** Temperatura de las muestras del agua tratada de la quebrada Saldaña.

Tal y como se ve en la figura 12 se puede mostrar que se produjo un aumento de la temperatura en todas las muestras, siendo la mayor temperatura media alcanzada de 36,60 °C.

Por lo que se puede asegurar que hubo la absorción de la radiación por parte de la capa superior del agua, así mismo, la radiación llamada infrarroja provoca el calentamiento del agua (SODIS, 2005).

El cambio de temperatura en el agua está directamente relacionado con diferentes propiedades del agua, en donde se incluye el comportamiento químico y microbiano (Marín, 2020).

Por todo ello se puede asegurar que si la temperatura de las muestras aumento, entonces también hubo variación con respecto a los microorganismos.

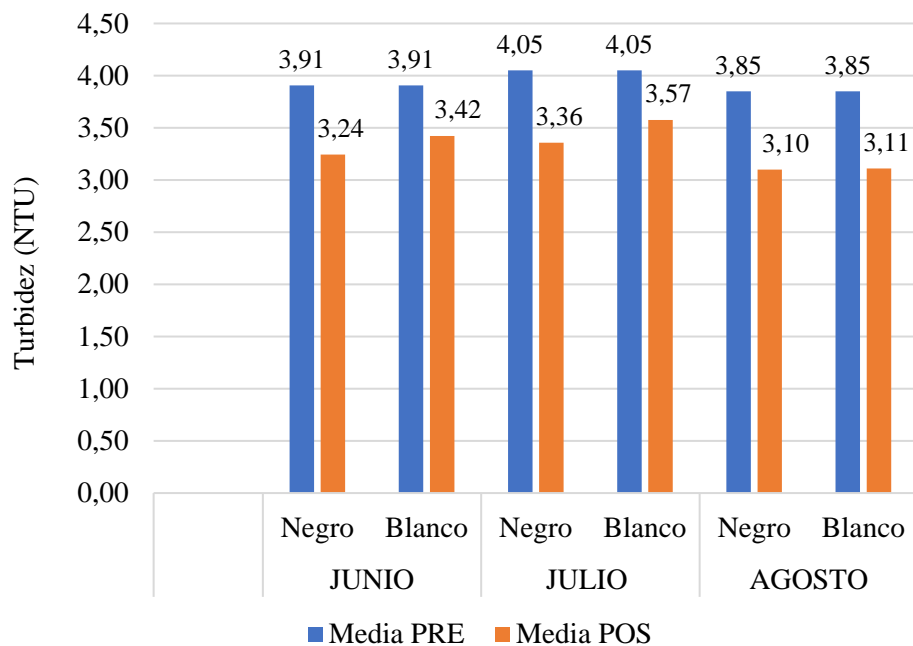


**Figura 13.** OD de las muestras del agua tratada de la quebrada Saldaña.

Considerando la figura 13 se puede evidencia que hubo una reducción de OD durante el estudio, donde el OD medio más bajo fue de 6,59. Se tiene que tener en cuenta que este parámetro será la concentración de oxígeno presente en un medio acuático (Goenaga y Martínez, 2017), por lo que es muy importante para la respiración microbiana por que requerirá de dicho oxígeno disuelto (Stella, 2004).

Por otro lado, la radiación UV – A va interactuar con el oxígeno disuelto, dando como producto peróxidos de hidrogeno y los radicales libre de oxígeno, lo que ocasiona que estas moléculas van a intervenir en las estructuras celulares y como consecuencia se tiene la muerte de patógenos (SODIS, 2005).

Considerando todo ello se puede asegurar que, si hubo una reducción del OD debido al mismo uso del oxígeno por parte de los microorganismos, entonces los microorganismos también sufrieron alguna alteración que este caso sería la reducción porque ya no tendrían a su disponibilidad el OD para su respiración, y de la misma manera con respecto a la formación de peróxidos de hidrógenos y radicales libres de oxígeno que provoca la muerte de los microorganismos.

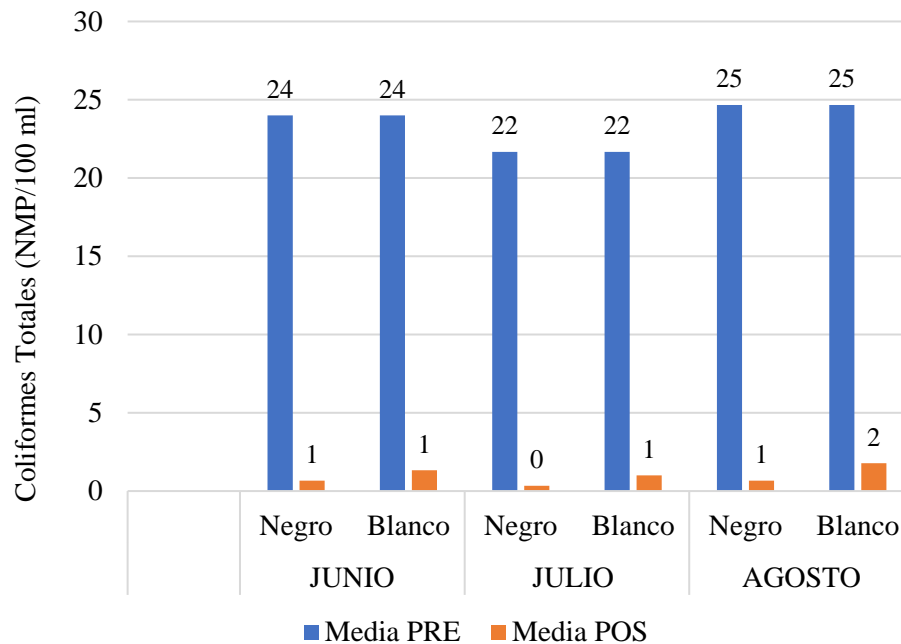


**Figura 14.** Turbidez de las muestras del agua tratada de la quebrada Saldaña.

Teniendo en consideración la figura 14 se puede mostrar que hubo una reducción con respecto a la turbidez al comparar el agua antes y después de ser tratada por el método SODIS, donde la turbidez más baja obtenida fue de 3,11.

Se debe considerar que si hubiese el exceso de turbidez este hubiese influenciado en el tratamiento ya que protege de los desinfectantes a los microorganismos (Goenaga y Martínez, 2017), el cual no es el caso. Por lo que se asegura que este parámetro no fue factor que influyera negativamente en el método SODIS, y por ende en la cantidad de microorganismos.

Por otro lado, la reducción de este parámetro se vio afectado por el mismo echo de permanecer estático las botellas de agua, por lo que los sólidos se fueron sedimentando por la misma gravedad.

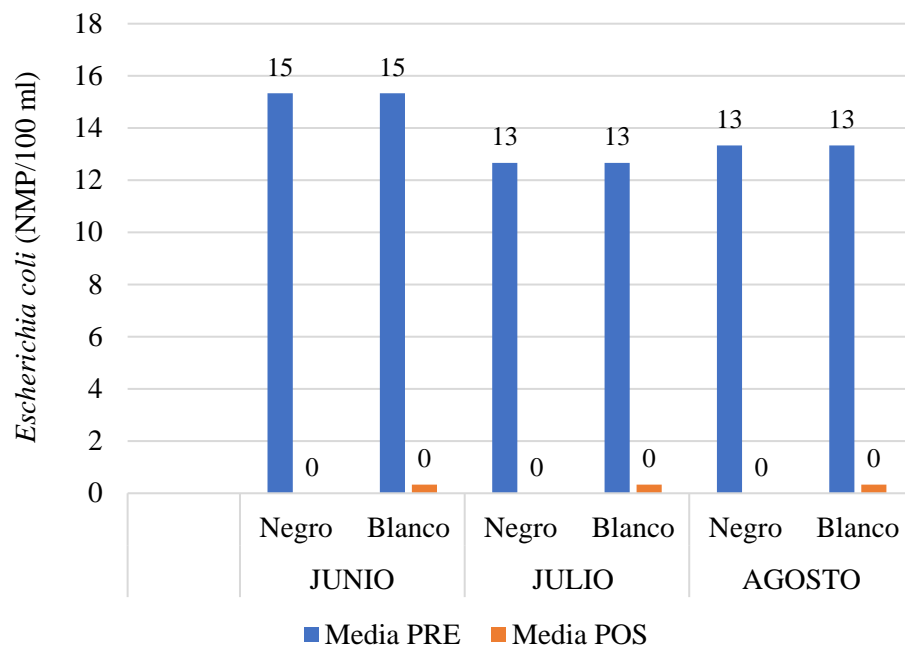


**Figura 15.** Coliformes totales de las muestras del agua tratada de la quebrada Saldaña.

Según indica en la figura 15 se puede evidencia que hubo una reducción de los coliformes totales, donde hubo un caso en el que la reducción promedio fue de 0 NMP/100mL y la mayoría fue a 1 NMP/100mL, por lo que se asegura que si hubo efecto en la reducción de microorganismos. (SODIS, 2005), considerando que la radiación UV – A interviene directamente en el ADN y en las enzimas de las células viva, todo ello provocando un cambio en la estructura molecular lo que ocasiona la muerte de la célula y por ende del microorganismo.

Según Asencios (2022) en su investigación con el método SODIS que realizó en diferentes colores de botellas encontró que tuvo una reducción mínima en las botellas de color transparente y negro, en cambio en las de color verde y blanco tuvo al contrario un aumento de este microorganismo, lo que diferencia del estudio que si hubo una reducción de este microorganismo en la calamina negra. La diferencia puede radicar en el color de la botella y como esta hace que, entre mayor cantidad de radiación, ya que los tonos oscuros tienden a absorber un mayor número de radiación y en cambio los colores que tienden a ser claros reflejan la radiación (Astudillo, 2009).

En esta investigación ayudo que el color negro fuera de la calamina donde reposa las botellas, mas no el color de botella, esto conlleva a que, si hubo absorción y/o reflexión de la radiación por el color negro y blanco respectivamente, la botella seria benefactora de dicha radiación.



**Figura 16.** Coliformes termotolerantes – *Escherichia coli*. de las muestras del agua tratada de la quebrada Saldaña.

Como se presenta en la figura 16 se puede observar que hubo una reducción total de *Escherichia coli*., donde se consiguió un promedio de 0 NMP/100mL en los dos sistemas de desinfección solar. Por lo que se puede asegurar que la radiación UV – A intervino directamente en el ADN y en las enzimas de las células viva, todo ello provocando un cambio en la estructura molecular lo que ocasionó la muerte de la célula y por ende de los microorganismos (SODIS, 2005).

Según Asencios (2022) en su investigación de su sistema de desinfección solar que realizó en diferentes colores de botellas encontró que tuvo mayor reducción de los coliformes termotolerantes en la botella negra, a comparación de los demás colores; transparente, verde y blanco. De la misma manera en la investigación el sistema de desinfección solar color negro redujo completamente la cantidad de coliformes totales, al igual que la investigación de (Matus, 2020), donde consiguió la eliminación de coliformes totales, siendo indetectables en los resultados.

En el presente estudio se dio por que el color negro hace que haya mayor cantidad de absorción de la radiación y esto ayuda a la reducción de los microorganismos del agua (Astudillo, 2009).

#### 4.5. Determinación del colector de mayor eficiencia en la reducción de microorganismos por el sistema de desinfección solar

**Tabla 6.** Eficiencia del sistema de desinfección solar en los coliformes totales

Mes	Calamina	Media PRE	Media POS	Eficiencia
JUNIO	Negro	24,00	0,67	97,22
	Blanco	24,00	1,33	94,45
JULIO	Negro	21,67	0,33	98,46
	Blanco	21,67	1,00	95,38
AGOSTO	Negro	24,67	0,67	97,30
	Blanco	24,67	1,78	92,79

Fuente: Elaboración propia

Como se evidencia la tabla 6 hubo reducción de los coliformes totales, por lo tanto, el método SODIS si redujo la cantidad de microorganismos, puesto que este sistema tiene un colector solar donde posee la facultad de acumular y captar la radiación (Nadwani, 2005). Por lo que se puede asegurar que no dependen del tipo de la botella, ya que (Cifuentes, 2022) determinó que la botella PET tiene mayor eficiencia que las de vidrio y de la misma manera que la calamina tiene mayor eficiencia a comparación de la teja de barro. Igualmente (Matus, 2020) en su investigación tuvo su sistema de desinfección solar en un diseño parabólico, donde logró la inactivación de los coliformes totales, siendo estas indetectables en los resultados después del tratamiento. Comparando con los resultados obtenido también se tuvo una gran reducción de los coliformes totales, por lo tanto, se puede afirmar que no existe una diferencia significativa en la forma que pueda tener el sistema del método SODIS.

Según datos obtenidos se tiene un gran porcentaje de reducción de coliformes totales, teniendo mayor eficiencia en el sistema del método SODIS color negro con un valor de 98,46% de reducción. Esto se dio debió a que el color negro hace que haya mayor absorción de la radiación (Astudillo, 2009), por ende, al haber mayor radiación habrá mayor UV – A y este interviene directamente con la reducción de microorganismos (SODIS, 2005). Sin embargo, el color blanco también tuvo una buena cantidad de porcentaje de remoción, pero como refleja la radiación no todo llega directamente a la botella por ende se pierde cierta cantidad de radiación y por ello la diferencia de eficiencias.

**Tabla 7.** Eficiencia del sistema de desinfección solar en los coliformes termotolerantes (*Escherichia coli*)

Mes	Calamina	Media PRE	Media POS	Eficiencia
JUNIO	Negro	15,33	0,00	100,00
	Blanco	15,33	0,33	97,83
JULIO	Negro	12,67	0,00	100,00
	Blanco	12,67	0,33	97,37
AGOSTO	Negro	13,33	0,00	100,00
	Blanco	13,33	0,33	97,50

Fuente: Elaboración propia

Según los resultados que se pudo lograr mostrados en la tabla 7 se tiene un porcentaje de 100% en la reducción promedio de coliformes termotolerantes (*Escherichia coli*) en el sistema de desinfección solar color negro, dado que este color hace que haya mayor absorción de la radiación (Astudillo, 2009), por ende, al haber mayor radiación habrá mayor UV – A y este interviene directamente con la reducción de microorganismos (SODIS, 2005). Sin embargo, cabe recalcar que el color blanco también tuvo una buena cantidad de porcentaje de reducción de microorganismos, pero considerando la ley de la conservación de energía, donde tiene la característica de que se pierde la energía sino por el contrario solo se transforma, en este caso el blanco va a reflejar casi en su totalidad la radiación que le llega y nada es absorbido, como refleja la radiación no todo llega directamente a la botella por ende se pierde cierta cantidad de radiación y por ello la diferencia de eficiencias (Astudillo, 2009).

## V. CONCLUSIONES

Se determino tres puntos de muestreo en la quebrada Saldaña, abarcando el punto donde no hay influencia antropogénica, un lugar de intervención y por último el abastecimiento de la población, de este modo se abarca la importancia de la investigación.

Se encontró que los parámetros fisicoquímicos se encuentran en el rango establecido por el ECA del agua, así mismo se obtuvo la presencia de coliformes totales y termotolerantes en las muestras de agua de la quebrada Saldaña

Se implementó el sistema de desinfección solar de color negro y blanco; y se llevó a cabo el método SODIS para la reducción de microorganismos del agua superficial de la quebrada Saldaña.

Se encontró los parámetros fisicoquímicos del agua tratada por el método SODIS como el pH y turbidez, los cuales no tuvieron una diferencia significativa con los valores anteriores, en cambio la T° y el OD si se vio afecta por el método SODIS. Con respecto a los parámetros microbiológicos hubo una reducción significativa en los valores obtenidos.

Se determinó que el colector de mayor eficiencia con respecto a la reducción de los microorganismos (coliformes totales y coliformes termotolerantes) por el sistema de desinfección solar fue el de color Negro.

## **VI. PROPUESTAS A FUTURO**

1. Complementar con otros parámetros microbiológicos para futuras investigaciones.
2. Considerar para futuras investigaciones si el sistema de tratamiento con el método SODIS se ve afectado por la humedad ambiental, verificando de esta manera que no sea una característica que influya en los resultados de la investigación.
3. Considerar para próximas investigaciones un equipo de medidor de radiación de energía solar.
4. Realizar investigaciones futuras, si el volumen del agua en el tratamiento intervenga en los resultados del método SODIS. Así mismo si la inclinación de las botellas sea una característica que influya en los resultados.
5. Considerar el sistema de tratamiento del agua por medio de la desinfección solar para los pobladores que no cuenten con un tratamiento convencional, teniendo de esta manera una alternativa accesible y sostenible para la población.

## VII. REFERENCIAS

- Autoridad Nacional del Agua. [ANA]. (2016). Protocolo Nacional para el Monitoreo de la calidad de los recursos Hídricos superficiales – Resolución Jefatural N° 010 – 2016 ANA
- Aranda, T. Esquia, Z. (2021). Aplicación del polvo de moringa (moringa oleífera) como coagulante natural en el tratamiento de agua turbia sintética. [Tesis de titulación]. Repositorio de Universidad de Callao. [http://repositorio.unac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12952/6298/TESIS\\_PREGRA DO\\_ARANDA\\_ESQUIA\\_FIQ\\_2021.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12952/6298/TESIS_PREGRA DO_ARANDA_ESQUIA_FIQ_2021.pdf?sequence=1&isAllowed=y).
- Asencios, J. (2022). EFICACIA DE UN SISTEMA DE DESINFECCIÓN SOLAR EN LA REDUCCION DE CONTENIDO MICROBIOLÓGICO DE CUERPOS DE AGUA SUPERFICIAL [Tesis para el título de ingeniero ambiental]. Repositorio UDH. <http://repositorio.udh.edu.pe/bitstream/handle/123456789/3563/Asencios%20Mina%20Jhon%20Atilio.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Asociación Estadounidense de Salud Pública. [APHA]. (1999). Método normalizado para el análisis de aguas potables y residuales. Ed. 20.
- Astudillo, F.(2009). LOS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN Y SU APOORTE AL MEJORAMIENTO DEL CONFORT TÉRMICO EN VIVIENDAS PERIFERICAS DE LA CIUDAD DE LOJA. (Tesis de grado de arquitecto). [https://dspace.utpl.edu.ec/bitstream/123456789/1039/3/UTPL\\_Astudillo\\_Rodr%C3%ADguez\\_Freddy\\_Paul\\_690X636.pdf](https://dspace.utpl.edu.ec/bitstream/123456789/1039/3/UTPL_Astudillo_Rodr%C3%ADguez_Freddy_Paul_690X636.pdf)
- Carrillo, E. y Lozano, A. (2008). Validación del método de detección de coliformes totales y fecales en agua potable utilizando Agar Chromocult. [Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar por el título de Microbióloga Industrial]. Facultad de Ciencias. Microbiología Industrial. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá. <https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/8205>.
- Cifuentes, E. (2022). Análisis de combinaciones de techo y botella para desinfección mediante la metodología SODIS. Agua, saneamiento y ambiente. Guatemala. 17(1). <https://revistas.usac.edu.gt/index.php/asa/article/download/1414/888/5368>
- EL PERUANO (2017). Decreto Supremo N° 004-2017- MINAM. [http://www.minam.gob.pe/dmdocuments/ds\\_004\\_2017\\_ECA\\_LMPagua.pdf](http://www.minam.gob.pe/dmdocuments/ds_004_2017_ECA_LMPagua.pdf).

- EPA. 2007. Acid rain: What is pH Consultado el 15 de octubre del 2019. [En línea]: Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos <https://www.epa.gov/aboutepa/about-office-water#wetlands> documento del 15 abril del 2014.
- Fontal, B. (2005). El Espectro Electromagnético y sus Aplicaciones. Venezuela: Escuela Venezolana para la Enseñanza de la Química
- Goenaga, J. y Martínez, A. (2017). ANÁLISIS DE LA CALIDAD DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO EN EL CORREGIMIENTO DE LA PEÑA-ATLÁNTICO Y DETERMINACIÓN DE RIESGO POTENCIAL PARA LA SALUD HUMANA [Tesis para el título de ingeniero ambiental]. Repositorio CUC. <https://repositorio.cuc.edu.co/bitstream/handle/11323/277/1045710150-1140871903.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- LÓPEZ, C. 2012. Protocolos de prácticas de Microbiología Ambiental. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María, Perú. 8 p.
- Marín, R. (2020). Físicoquímica y microbiológica de los medios acuáticos. <https://books.google.com.pe/books?id=jmzWDwAAQBAJ&pg=PA1&dq=El+agua,+sustancia+esencial+tanto+para+la+vida+como+para+la+propia+civilizaci%C3%B3n+humana,+es+el+veh%C3%ADculo+id%C3%B3neo+donde+se+desarrollan+las+complejas+reacciones+bioqu%C3%ADmicas+que+hacen+posible+el+desarrollo+de+la+actividad+vital+de+cualquier+ser+vivo&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwi8gbnf2bn9AhU3H7kGHXBPBZ4Q6AF6BAgMEAI#v=onepage&q=El%20agua%2C%20sustancia%20esencial%20tanto%20para%20la%20vida%20como%20para%20la%20propia%20civilizaci%C3%B3n%20humana%2C%20es%20el%20veh%C3%ADculo%20id%C3%B3neo%20donde%20se%20desarrollan%20las%20complejas%20reacciones%20bioqu%C3%ADmicas%20que%20hacen%20posible%20el%20desarrollo%20de%20la%20actividad%20vital%20de%20cualquier%20ser%20vivo&f=false>
- Matus, I. O. (2020). Energía solar como fuente de desinfección del agua para consumo humano a nivel domiciliario mediante una tecnología social. Caso Magdalena Teitipac, Oaxaca. (Tesis de maestría en gestión de proyectos para el desarrollo solidario, Instituto Politécnico Nacional). [http://literatura.ciidiroaxaca.ipn.mx/jspui/bitstream/LITER\\_CIIDIROAX/513/1/Matus%20Enriquez%2C%20I.%20O.%20%282020%29.pdf](http://literatura.ciidiroaxaca.ipn.mx/jspui/bitstream/LITER_CIIDIROAX/513/1/Matus%20Enriquez%2C%20I.%20O.%20%282020%29.pdf)

- Mortiner, C. (1983). Química. Trad. por Jaime Guerrero. 5 ed. Mexico. Iberoamericana.  
<https://es.scribd.com/document/561162415/Quimica-Mortimer#>
- Nandwani, S. (2005). Energía Solar conceptos básicos y su utilización. Laboratorio de Energía Solar. Departamento de Física, Universidad Nacional; Heredia, Costa Rica.  
[http://www.solartronic.com/download/Energia\\_Solar\\_Conceptos\\_Basicos.pdf](http://www.solartronic.com/download/Energia_Solar_Conceptos_Basicos.pdf)
- Senamhi. (2022). Datos hidrometeorológicos a nivel nacional.  
<https://www.senamhi.gob.pe/?p=estaciones>.
- SODIS, F. (2005). Guía de aplicación de desinfección Solar del Agua. Fundación SODIS, América Latina, y Martín Zevallos.  
[https://www.pseau.org/outils/ouvrages/eawag\\_sodis\\_desinfeccion\\_solar\\_del\\_agua\\_2005.pdf](https://www.pseau.org/outils/ouvrages/eawag_sodis_desinfeccion_solar_del_agua_2005.pdf)
- Stella, M. (2004). DETERMINACIÓN DE OXIGENO DISUELTO POR EL MÉTODO YODOMÉTRICO MODIFICACIÓN DE AZIDA. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. PROGRAMA DE FÍSICOQUÍMICA AMBIENTAL.  
<http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Ox%C3%ADgeno+Disuelto+M%C3%A9todo+Winkler.pdf/e2c95674-b399-4f85-b19e-a3a19b801dbf>
- Suarez, J. (2020). Calidad del agua del sistema de abastecimiento y el nivel de satisfacción de la comunidad universitaria de las quebradas naranjal, cochero y córdova del brunas – tingo maría, 2019. (Tesis para optar el título de ingeniero ambiental). Universidad Nacional Agraria de la Selva.
- Toscano, F. (2018). Metodología de la Investigación. U. Externado de Colombia.
- Zhen, B. (2009). Calidad físico-química y bacteriológica del agua para consumo humano de la microcuenca de la quebrada Victoria, Curubandé, Guanacaste, Costa Rica, año hidrológico 2007-2008. (Tesis en magister scientiae en manejo de recursos naturales con mención en gestión Ambiental).  
<https://www.aya.go.cr/centroDocumetacion/catalogoGeneral/Calidad%20f%C3%ADsico-qu%C3%ADmica%20y%20bateriol%C3%B3gica%20del%20agua%20para%20consumo%20humano%20de%20la%20microcuenca.pdf>

## **ANEXOS**

## ANEXO A. BASE DE DATOS

**Tabla 8.** Parámetros fisicoquímicos del agua de la quebrada Saldaña

Parámetros Fisicoquímicos	Unidad de Medida	Puntos de muestreo								
		Junio			Julio			Agosto		
		P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3
PH	Unidad de pH	7.59	7.52	7.62	7.57	7.51	7.65	7.59	7.71	7.62
T°	°C	21.5	22.3	22.9	21.8	23	23.1	21.5	22.6	23.2
OD	mg/L	7.48	7.56	7.45	7.53	7.61	7.52	7.57	7.65	7.48
Turbidez	UNT	3.5	4.72	3.5	3.65	5.02	3.48	3.2	4.67	3.68

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 9.** Parámetros microbiológicos del agua de la quebrada Saldaña

MES	Puntos de muestreo	Parámetros Microbiológicos							
		Coliformes totales				Coliformes Termotolerantes ( <i>Escherichia coli.</i> )			
		Combinación de tubos positivos A -B - C			Índice NMP / 100 ml	Combinación de tubos positivos A -B - C			Índice NMP / 100 ml
Junio	P1	1	3	2	24	0	2	3	16
	P2	2	1	2	27	1	0	3	15
	P3	2	2	0	21	1	2	1	15
Julio	P1	3	0	0	23	2	1	0	15
	P2	3	0	0	23	0	2	2	12
	P3	1	1	3	19	1	0	2	11
Agosto	P1	2	0	3	28	2	0	1	14
	P2	2	1	2	27	2	1	0	15
	P3	1	1	3	19	1	0	2	11

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 10.** Parámetros fisicoquímicos del agua de la quebrada Saldaña tratada por el sistema de desinfección solar

MES	Puntos de muestreo	Sistema de desinfección solar	Repeticiones	Parámetros Fisicoquímicos			
				PH	T° (C°)	OD (mg/L)	Turbidez (UNT)
Junio	P1	Calamina blanca	P1R1B	7.552	37.4	6.96	3.32
			P1R2B	7.477	37.8	6.77	3.11
			P1R3B	7.541	37.6	6.72	2.89
		Calamina Negra	P1R1N	7.448	37.5	6.84	2.94
			P1R2N	7.462	37.5	6.75	2.87
			P1R3N	7.439	37.6	6.74	3.02
	P2	Calamina blanca	P2R1B	7.445	37.2	6.68	4.41
			P2R2B	7.426	37.0	6.82	4.32
			P2R3B	7.413	36.8	6.64	4.45
		Calamina Negra	P2R1N	7.386	36.8	6.48	4.22
			P2R2N	7.420	36.5	6.53	4.15
			P2R3N	7.391	36.0	6.52	4.12
	P3	Calamina blanca	P3R1B	7.572	35.2	6.74	2.77
			P3R2B	7.589	35.0	6.69	2.78
			P3R3B	7.601	35.4	6.72	2.74
Calamina Negra		P3R1N	7.498	34.8	6.59	2.67	
		P3R2N	7.502	34.6	6.62	2.56	
		P3R3N	7.562	34.4	6.69	2.64	
Julio	P1	Calamina blanca	P1R1B	7.559	37.8	6.73	3.50
			P1R2B	7.411	37.7	6.73	3.22
			P1R3B	7.575	37.6	6.71	2.81
		Calamina Negra	P1R1N	7.295	37.6	6.77	2.70
			P1R2N	7.467	37.5	6.96	2.69
			P1R3N	7.345	37.2	6.93	2.52
	P2	Calamina blanca	P2R1B	7.538	36.6	6.65	4.79
			P2R2B	7.513	37.2	6.57	4.79

		P2R3B	7.524	36.5	6.56	4.68
		P2R1N	7.502	36.5	6.47	4.72
	Calamina Negra	P2R2N	7.470	36.2	6.48	4.49
		P2R3N	7.047	36.0	6.52	4.68
		P3R1B	7.647	35.1	6.75	2.69
	Calamina blanca	P3R2B	7.614	35.2	6.76	2.90
		P3R3B	7.593	35.2	6.72	2.79
	P3	P3R1N	7.647	34.8	6.61	3.02
	Calamina Negra	P3R2N	7.617	34.6	6.65	2.72
		P3R3N	7.620	34.6	6.61	2.68
		P1R1B	7.474	37.2	6.77	2.89
	Calamina blanca	P1R2B	7.473	37.4	6.72	2.79
		P1R3B	7.474	37.5	6.73	2.70
	P1	P1R1N	7.445	37.2	6.61	2.92
	Calamina Negra	P1R2N	7.377	37.0	6.66	2.68
		P1R3N	7.426	37.5	6.61	2.86
		P2R1B	7.585	36.3	6.56	3.68
	Calamina blanca	P2R2B	7.568	36.6	6.53	3.81
		P2R3B	7.578	36.5	6.5	3.72
	P2	P2R1N	7.556	36.4	6.45	4.01
	Calamina Negra	P2R2N	7.554	36.6	6.4	3.72
		P2R3N	7.553	36.5	6.44	3.88
		P3R1B	7.549	35.8	6.82	2.92
	Calamina blanca	P3R2B	7.510	35.5	6.87	2.68
		P3R3B	7.526	35.2	6.86	2.81
	P3	P3R1N	7.487	34.7	6.72	2.68
	Calamina Negra	P3R2N	7.515	35.0	6.69	2.64
		P3R3N	7.502	34.8	6.70	2.50

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 11.** Parámetro – pH antes y después del tratamiento del sistema de desinfección solar por mes.

Mes	Calamina	Media PRE	Media POS	Desv. estándar PRE	Desv. estándar POS	95% de intervalo de confianza para la media			
						L. inferior PRE	L. superior PRE	L. inferior POS	L. superior POS
JUNIO	Negra	7,577	7,456	0,015	0,018	7,547	7,603	7,422	7,494
	Blanca	7,577	7,513	0,015	0,024	7,547	7,603	7,466	7,559
JULIO	Negra	7,577	7,446	0,019	0,062	7,539	7,617	7,314	7,559
	Blanca	7,577	7,553	0,019	0,021	7,539	7,617	7,508	7,593
AGOSTO	Negra	7,640	7,491	0,018	0,020	7,610	7,677	7,453	7,530
	Blanca	7,640	7,526	0,018	0,015	7,610	7,677	7,499	9,555

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 12.** Parámetro – Temperatura (°C) antes y después del tratamiento del sistema de desinfección solar por mes.

Mes	Calamina	Media PRE	Media POS	Desv. estándar PRE	Desv. estándar POS	95% de intervalo de confianza para la media			
						L. inferior PRE	L. superior PRE	L. inferior POS	L. superior POS
JUNIO	Negra	22,23	36,19	0,19	0,41	21,83	22,61	35,40	36,98
	Blanca	22,23	36,60	0,19	0,34	21,83	22,61	35,89	37,24
JULIO	Negra	22,63	36,11	0,20	0,39	22,21	23,01	35,32	36,84
	Blanca	22,63	36,54	0,20	0,36	22,21	22,96	35,87	37,24
AGOSTO	Negra	22,43	36,19	0,24	0,34	21,93	22,88	35,49	36,81
	Blanca	22,43	36,44	0,24	0,25	21,99	22,88	35,91	36,96

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 13.** Parámetro – OD antes y después del tratamiento del sistema de desinfección solar por mes.

Mes	Calamina	Media PRE	Media POS	Desv. estándar PRE	Desv. estándar POS	95% de intervalo de confianza para la media			
						L. inferior PRE	L. superior PRE	L. inferior POS	L. superior POS
JUNIO	Negra	7,50	6,64	0,02	0,04	7,47	7,53	6,57	6,71
	Blanca	7,50	6,75	0,02	0,03	7,47	7,53	6,70	6,81
JULIO	Negra	7,50	6,67	0,02	0,06	7,47	7,53	6,55	6,78
	Blanca	7,50	6,69	0,02	0,02	7,47	7,53	6,63	6,73
AGOSTO	Negra	7,57	6,59	0,02	0,04	7,53	7,61	6,51	6,65
	Blanca	7,57	6,71	0,02	0,05	7,52	7,61	6,62	6,79

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 14.** Parámetro – Turbidez antes y después del tratamiento del sistema de desinfección solar por mes.

Mes	Calamina	Media PRE	Media POS	Desv. estándar PRE	Desv. estándar POS	95% de intervalo de confianza para la media			
						L. inferior PRE	L. superior PRE	L. inferior POS	L. superior POS
JUNIO	Negra	3,91	3,24	0,19	0,22	3,50	4,31	2,81	3,70
	Blanca	3,91	3,42	0,19	0,24	3,50	4,31	2,95	3,90
JULIO	Negra	4,05	3,36	0,23	0,30	3,63	4,53	2,78	4,00
	Blanca	4,05	3,57	0,23	0,28	3,67	4,53	3,03	4,15
AGOSTO	Negra	3,85	3,10	0,21	0,19	3,47	4,29	2,78	3,50
	Blanca	3,85	3,11	0,20	0,15	3,47	4,23	2,82	3,41

Fuente: Elaboración propia



		P2R1B	0	0	0	0	0	0	0	0
	P2	Calamina blanca	P2R2B	0	0	0	0	0	0	0
			P2R3B	0	0	1	3	0	0	0
		Calamina Negra	P2R1N	0	0	0	0	0	0	0
			P2R2N	0	1	0	3	0	0	0
			P2R3N	0	0	0	0	0	0	0
	P3	Calamina blanca	P3R1B	0	0	0	0	0	0	0
			P3R2B	0	0	1	3	0	0	0
			P3R3B	0	0	0	0	0	0	0
	P3	Calamina Negra	P3R1N	0	0	0	0	0	0	0
			P3R2N	0	0	0	0	0	0	0
			P3R3N	0	0	0	0	0	0	0
	P1	Calamina blanca	P1R1B	0	0	1	3	0	1	0
			P1R2B	0	0	0	0	0	0	0
			P1R3B	1	0	0	4	0	0	0
	P1	Calamina Negra	P1R1N	0	0	0	0	0	0	0
			P1R2N	0	1	0	3	0	0	0
			P1R3N	0	0	0	0	0	0	0
Agosto	P2	Calamina blanca	P2R1B	0	0	0	0	0	0	0
			P2R2B	0	0	1	3	0	0	0
			P2R3B	0	0	0	3	0	0	0
	P2	Calamina Negra	P2R1N	0	0	1	3	0	1	0
			P2R2N	0	0	0	0	0	0	0
			P2R3N	0	0	0	0	0	0	0
	P3	Calamina blanca	P3R1B	0	0	0	0	0	0	0
			P3R2B	0	1	0	3	0	0	0
			P3R3B	0	0	0	0	0	0	0
P3	Calamina Negra	P3R1N	0	0	0	0	0	0	0	
		P3R2N	0	0	0	0	0	0	0	
		P3R3N	0	0	0	0	0	0	0	

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 16.** Parámetro – Coliformes totales antes y después del tratamiento del sistema de desinfección solar por mes.

Mes	Calamina	Media PRE	Media POS	Desv. estándar PRE	Desv. estándar POS	95% de intervalo de confianza para la media			
						L. inferior PRE	L. superior PRE	L. inferior POS	L. superior POS
JUNIO	Negra	24,00	0,67	0,81	0,42	22,34	25,67	0,00	1,67
	Blanca	24,00	1,33	0,81	0,49	22,33	25,67	0,33	2,33
JULIO	Negra	21,67	0,33	0,65	0,30	20,33	23,00	0,00	1,00
	Blanca	21,67	1,00	0,65	0,46	20,33	23,00	0,33	2,00
AGOSTO	Negra	24,67	0,67	1,32	0,40	21,78	26,89	0,00	1,66
	Blanca	24,67	1,78	1,32	0,55	21,78	26,89	0,67	2,78

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 17.** Parámetro – Coliformes termotolerantes (*Escherichia coli.*) antes y después del tratamiento del sistema de desinfección solar por mes.

Mes	Calamina	Media PRE	Media POS	Desv. estándar PRE	Desv. estándar POS	95% de intervalo de confianza para la media			
						L. inferior PRE	L. superior PRE	L. inferior POS	L. superior POS
JUNIO	Negra	15,33	0,00	0,16	0,00	15,00	15,67	0,00	0,00
	Blanca	15,33	0,33	0,16	0,31	15,00	15,67	0,00	1,00
JULIO	Negra	12,67	0,00	0,56	0,00	11,56	13,89	0,00	0,00
	Blanca	12,67	0,33	0,56	0,31	11,56	13,78	0,00	1,00
AGOSTO	Negra	13,33	0,00	0,56	0,00	12,22	14,33	0,00	0,00
	Blanca	13,33	0,33	0,56	0,31	12,11	14,44	0,00	1,00

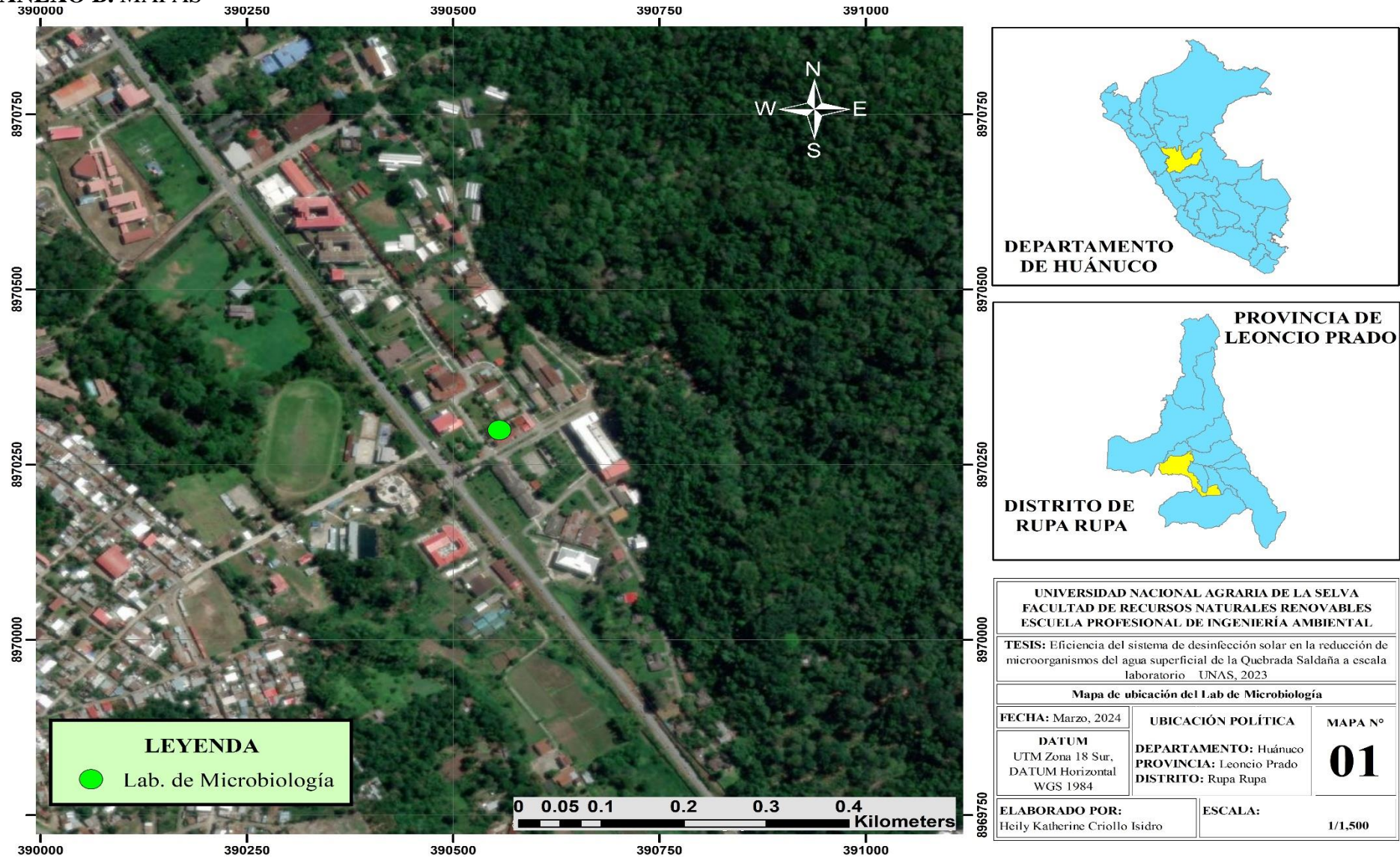
Fuente: Elaboración propia

**Tabla 18.** Temperatura ambiente de cada hora durante la ejecución del método SODIS

Hora	Temperatura ambiental (°C)					
	Junio		Julio		Agosto	
	Calamina negra	Calamina blanca	Calamina negra	Calamina blanca	Calamina negra	Calamina blanca
09:00 a. m.	24	24	24	24	25	25
10:00 a. m.	27	26	26	26	28	26
11:00 a. m.	29	28	30	28	30	28
12:00 p. m.	34	32	33	30	33	31
01:00 p. m.	36	34	35	33	35	34
02:00 p. m.	34	32	34	31	33	32
03:00 p. m.	30	29	31	28	31	29
04:00 p. m.	28	26	28	27	28	27
05:00 p. m.	26	25	26	25	25	25

Fuente: Elaboración propia

**ANEXO B. MAPAS**



**Figura 17.** Mapa de ubicación del laboratorio de Microbiología.

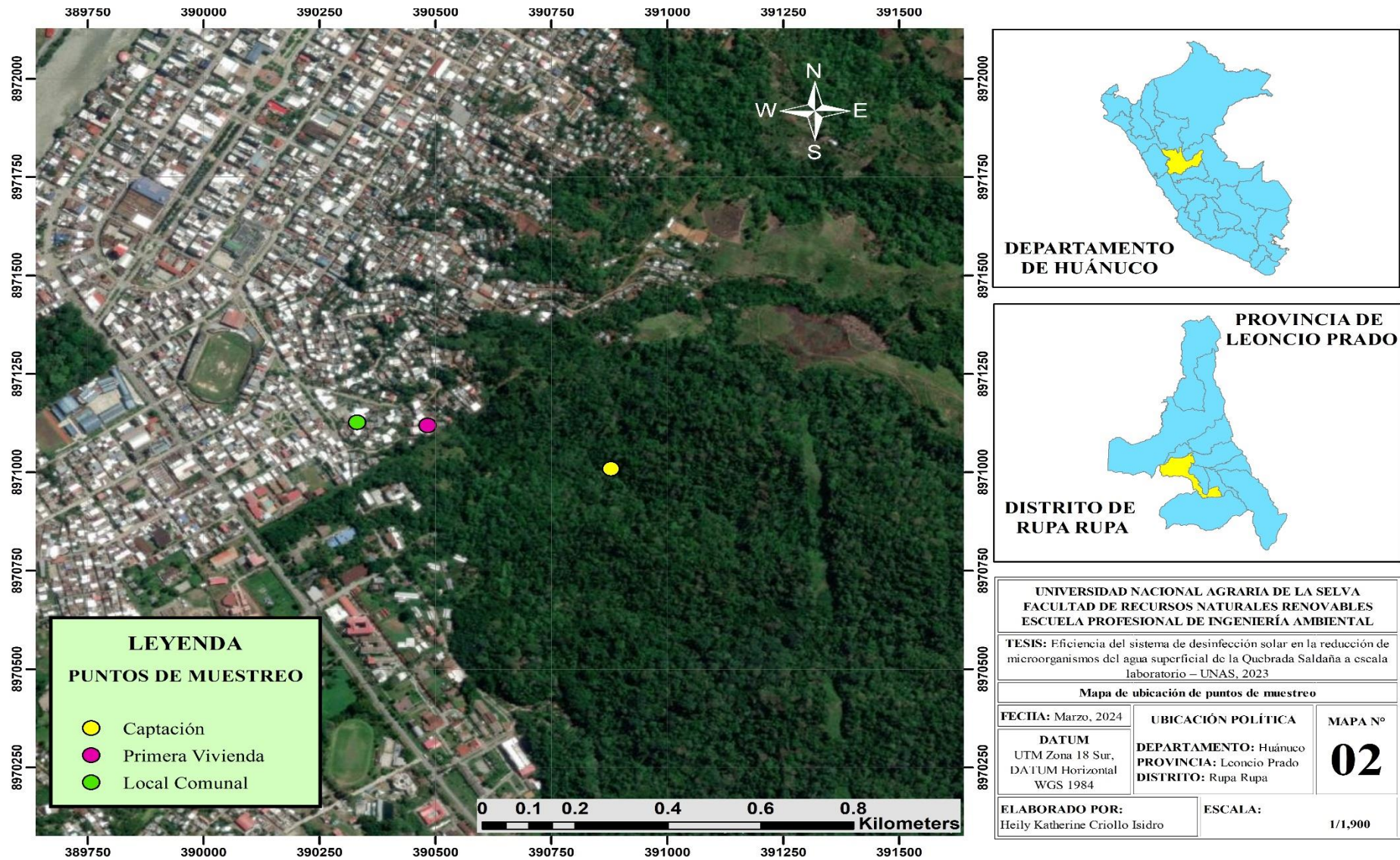


Figura 18. Mapa de Ubicación de los puntos de muestreo.

## ANEXO C. PANEL FOTOGRÁFICO



**Figura 19.** Determinando las coordenadas con el GPS en la Captación – Punto 1.



**Figura 20.** Determinando las coordenadas con el GPS en la primera vivienda – Punto 2



**Figura 21.** Determinando las coordenadas con el GPS en el local comunal – Punto 3



**Figura 22.** Preparado el caldo pectonado 1%.



**Figura 23.** Preparado de la solución en los tubos de ensayo para los coliformes totales y termotolerantes – *Escherichia coli*.



**Figura 24.** Codificación de los caldos pectonados 1% y los tubos de ensayo.



**Figura 25.** Recojo de las muestras del agua superficial de la quebrada Saldaña, de los tres puntos de muestreo



**Figura 26.** Codificación de las muestras de agua.



**Figura 27.** Tomando los parámetros fisicoquímicos en situ en el Punto 1 del muestreo.



**Figura 28.** Tomando los parámetros fisicoquímicos en situ en el Punto 2 del muestreo.



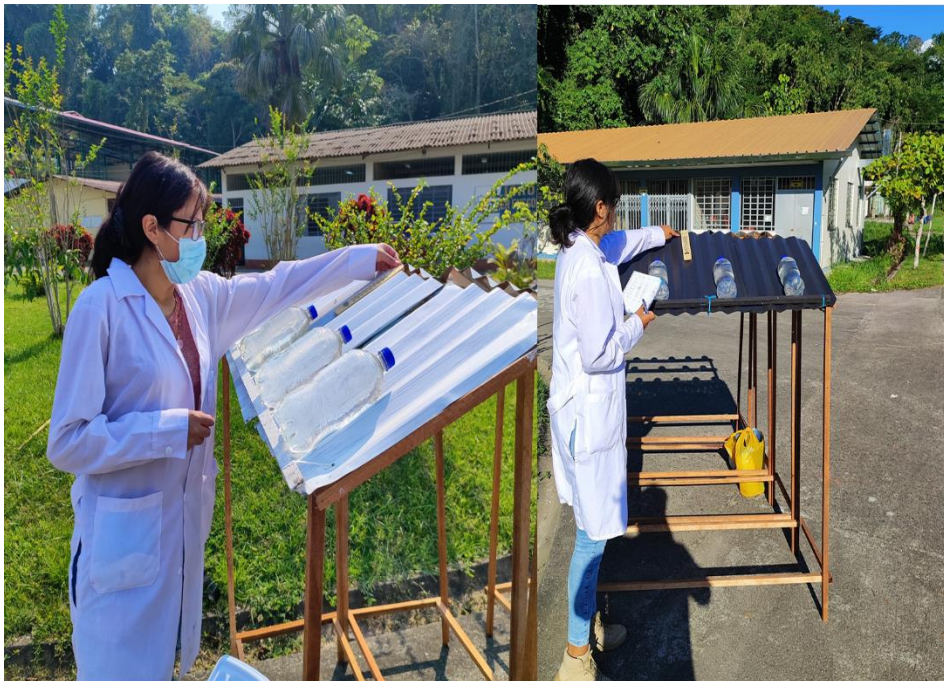
**Figura 29.** Tomando los parámetros fisicoquímicos en situ en el Punto 3 del muestreo.



**Figura 30.** Punto de ubicación del sistema solar.



**Figura 31.** Puesta en marcha el sistema de desinfección Solar



**Figura 32.** Toma de temperatura ambiental en los dos tratamientos por cada hora de la ejecución del método SODIS.



**Figura 33.** Tomando los parámetros fisicoquímicos en situ luego del tratamiento SODIS.



**Figura 34.** Vertido de 10 mL de muestra del agua tratada al caldo pectonado al 1%



**Figura 35.** Vertido de la mezcla del agua tratada al caldo pectonado al 1% en los tubos de ensayo



**Figura 36.** Lectura de los resultados obtenidos de los parámetros microbiológicos.