

**UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA**  
**FACULTAD CIENCIAS DE LA VIDA**



**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN**  
**DEL TÍTULO DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**TEMA:**

APLICACIÓN DEL MÉTODO SODIS, UTILIZANDO TRES  
SISTEMAS DE TRATAMIENTO PARA LA DESINFECCIÓN DE  
AGUA LLUVIA EN LA COMUNIDAD SAN RAMÓN.

**AUTORES**

RICARDO ANDRÉS SANTOS DÍAZ

NÉSTOR SANTIAGO TIRIRA DÍAZ

**TUTOR**

MSC JESSY PAULINA GUERRERO RUBIO

**Pastaza – Ecuador**

**2019/2020**

## **AGRADECIMIENTO.**

*Quiero expresar mi gratitud a Dios, quien con su bendición llena siempre mi vida y a toda mi familia por estar siempre presentes.*

*De igual manera mis agradecimientos a la Universidad Estatal Amazónica, a toda la Facultad de Ciencias de la vida, a mis profesores en especial al Dr. Luís Díaz, Dr. Karel Diéguez, y al Dr. Luis Bravo, quienes con la enseñanza de sus valiosos conocimientos hicieron que pueda crecer día a día como profesional, gracias a cada una de ustedes por su paciencia, dedicación, apoyo incondicional y amistad. A mi compañero de investigación Ricardo Santos que gracias a nuestra dedicación e intercambio de conocimientos logramos acabar con la investigación y convertirnos en profesionales.*

*Finalmente quiero expresar mi más grande y sincero agradecimiento a la Msc Jessy Guerrero, principal colaboradora durante todo este proceso, quien con su dirección, conocimiento, enseñanza y colaboración permitió el desarrollo de este trabajo.*

*Santiago Tirira*

## **AGRADECIMIENTO.**

*Primeramente, agradecer a mi familia por el apoyo brindado a lo largo de todos mis estudios, a mis padres por siempre estar presentes.*

*A la Universidad Estatal Amazónica por permitirme y darme la oportunidad de realizar mis estudios superiores, haciéndome sentir siempre en familia. A todos los profesores que me impartieron sus conocimientos también extenderles mis agradecimientos y mi más grande admiración por ser unos grandes profesionales. A los Dres. Luis Bravo, Karel Dieguez y Luis Díaz por el apoyo para poder culminar este trabajo de investigación. A la Msc Jessie Guerrero, principal colaboradora durante todo este proceso, quien con su dirección, conocimiento, enseñanza y colaboración permitió el desarrollo de este trabajo.*

*A todos los amigos que hice, muchas gracias a ustedes también por siempre saber brindarme el apoyo cuando lo necesitaba. A mi compañero de investigación Santiago Tirira por las horas de dedicación que invertimos en este valioso trabajo.*

*Finalmente darme las gracias a mi persona, por la entrega y sacrificio plasmados en este trabajo y a lo largo de mis estudios.*

*¡Muchas gracias a todos!*

*Ricardo Santos*

## **DEDICATORIA**

*A mis padres Arturo Tirira y María Díaz quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y valentía, de no temer las adversidades porque Dios está conmigo siempre.*

*A toda mi familia porque con sus oraciones, consejos y palabras de aliento hicieron de mí una mejor persona y de una u otra forma me acompañan en todos mis sueños y metas.*

*Finalmente quiero dedicar esta tesis a todas mis amigas, por apoyarme cuando más las necesito, por extender su mano en momentos difíciles y por el amor brindado cada día.*

*Santiago Tirira*

## **DEDICATORIA.**

*Esta investigación está dedicada a:*

*Mi padre Jacinto Santos por siempre estar junto a mí, por haberme inculcado un ejemplo de perseverancia y lucha para cumplir con mis sueños y objetivos.*

*A mi madre Jackeline Díaz por el cariño y apoyo que siempre me ha brindado.*

*A mis hermanos por estar siempre conmigo a lo largo de mi vida.*

*A mi novia por impulsarme siempre a ser una mejor persona.*

*Y por último me dedico esta tesis a mí mismo, porque solo yo conozco todo el camino que tuve que recorrer para llegar aquí.*

*Ricardo Santos*

## **RESUMEN EJECUTIVO Y PALABRAS CLAVE.**

El objetivo de esta investigación consistió en determinar cuál de los tres sistemas, es el más favorable para la aplicación del método SODIS para la desinfección de agua en la comunidad San Ramón, Parroquia 10 de Agosto, Cantón y Provincia de Pastaza; la misma que ayudó a medir los parámetros físicoquímicos y microbiológicos, a través de la información recolectada en el levantamiento de línea base por medio del diagnóstico y encuestas, para conocer los problemas que padece la población por el consumo del agua lluvia, vertientes y ríos, la necesidad de la aplicación de ese sistema es mejorar el consumo de la calidad de agua a través de la desinfección solar. Se evaluaron tres sistemas con la aplicación de filtración y método SODIS (filtro de arena y plancha de zinc, filtro de arena y plancha de papel aluminio, filtro de arena y plástico negro). Se tomó una muestra de agua antes y después de la aplicación de cada uno de los sistemas seis muestras y se procedió al análisis físicoquímicos y microbiológicos, para conocer cuál de los tres sistemas es el más efectivo de acuerdo con el cumplimiento de la normativa; además, se emplearon análisis estadísticos para determinar la varianza entre los resultados.

Palabras clave: SODIS, desinfección, físicoquímico, microbiológico, filtración.

## **ABSTRACT**

The objective of this research was to determine which of the systems according to the SODIS method is the most favorable for application in San Ramón community; the same that helped to measure the physical, chemical and microbiological parameters, through the information collected in the baseline survey through diagnosis and surveys, to know the problems that the population lacks due to the consumption of rainwater, springs and rivers, the need for the application of this system is to improve the quality of drinking water through solar disinfection. Three systems were evaluated according to the SODIS method (sand filter and zinc plate, sand filter and aluminum foil plate, sand filter and black plastic). For the evaluation, water samples were taken after the application of each of the systems and submitted to physicochemical and microbiological analysis, making it possible to know the effectiveness of the systems and compliance with the regulations; In addition, statistical analyzes were used to determine the variance between the results.

**Keywords:** SODIS, water disinfection, chemical physicist, microbiological.

## INDICE

<b>1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN Y SU JUSTIFICACIÓN.</b>	<b>2</b>
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
1.2. JUSTIFICACIÓN.....	2
1.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	3
1.4. OBJETIVOS. ....	3
1.4.1. OBJETIVO GENERAL.....	3
1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS. ....	3
<b>2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>5</b>
2.1. ANTECEDENTES.....	5
2.2. BASES TEÓRICAS.....	5
2.2.1. MARCO TEÓRICO. ....	5
2.2.2. MARCO LEGAL.....	11
<b>3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>14</b>
3.1. LOCALIZACIÓN.....	14
3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	15
3.3. MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN.....	15
3.3.1. LEVANTAMIENTO DE LÍNEA BASE.....	15
3.3.2. ANÁLISIS DEL AGUA PREVIO A LA APLICACIÓN DEL MÉTODO SODIS. 16	
3.3.3. ANÁLISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA LLUVIA CAPTADA CON TRATAMIENTO.....	23
3.3.4. CRITERIOS METEOROLÓGICOS POR TOMAR.....	25
3.3.5. EVALUACIÓN DE LOS SISTEMAS APLICADOS AL MÉTODO SODIS.....	25
<b>4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>26</b>
4.1. RESULTADOS DEL LEVANTAMIENTO DE LINEA BASE.....	26
4.2. RESULTADOS DE LOS CRITERIOS METEOROLÓGICOS.....	30
4.3. RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO.....	32
4.3.1. ANALISIS FISICOQUÍMICO DE LOS SISTEMAS.....	32
4.3.2 ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DE LOS SISTEMAS.....	34
4.4 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	37
4.5 ANÁLISIS DE LA VARIANZA DE RESULTADOS.....	38
4.6 DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.....	39
<b>5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>40</b>
5.1 CONCLUSIONES.....	40
5.2. RECOMENDACIONES.....	40



<b>6. BIBLIOGRAFÍA</b> .....	42
<b>7. ANEXOS</b> .....	48

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Límites máximos permisibles según la norma NTE INEN 1108(2014).....	7
<b>Tabla 2:</b> Tabla de medias de radiación solar en la comunidad San ramón en 30 años según la NASA.....	30
<b>Tabla 3:</b> Temperatura, Índice UV y Radiación solar de los días en lo que se aplicó el método SODIS.....	31
<b>Tabla 4:</b> Temperatura del agua de los tres sistemas en los días que se aplicó el método SODIS.....	31
<b>Tabla 5:</b> Absortividad de los materiales de los sistemas SODIS.....	32
<b>Tabla 6:</b> Tabla de resultados del análisis fisicoquímico utilizando el sistema de lámina de zinc.....	32
<b>Tabla 7:</b> Tabla de resultados del análisis fisicoquímico utilizando el sistema de lámina de aluminio.....	33
<b>Tabla 8:</b> Resultados del análisis microbiológico utilizando el sistema de la lámina de plástico negro.....	33
<b>Tabla 9:</b> Tabla de resultados del análisis microbiológico utilizando el sistema de la lámina de Zinc.....	34
<b>Tabla 10</b> Análisis de varianza de las medias de los tres sistemas.....	38

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1:</b> Resultados encuesta pregunta 1.....	26
<b>Gráfico 2:</b> Resultados encuesta pregunta 2.....	26
<b>Gráfico 3:</b> Resultados encuesta pregunta 3.....	27
<b>Gráfico 4:</b> Resultados encuesta pregunta 4.....	27
<b>Gráfico 5:</b> Resultados encuesta pregunta 5.....	28
<b>Gráfico 6:</b> Resultados encuesta pregunta 6.....	29
<b>Gráfico 7:</b> Resultados encuesta pregunta 7.....	29
<b>Gráfico 8:</b> Radiación media mensual de 30 años en la zona.....	30
<b>Gráfico 9:</b> Efectividad del sistema de lámina de zinc en la eliminación de microorganismos.....	34
<b>Gráfico 10:</b> Efectividad del sistema de lámina de aluminio en la eliminación de microorganismos.....	35
<b>Gráfico 11:</b> Efectividad del sistema plástico negro en la eliminación de microorganismos.....	36
<b>Gráfico 12:</b> Comparación de resultados de efectividad de los sistemas en el análisis microbiológico.....	37
<b>Gráfico 14</b> Análisis de las varianzas de las medias de los tres sistemas.....	38

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<b>Ilustración 1:</b> Mapa mundial de la proporción de la población que utiliza fuentes mejoradas de agua potable en 2015.....	2
--	---

<b>Ilustración 2:</b> Descripción gráfica del método SODIS .....	6
<b>Ilustración 3:</b> La energía global fluye de la radiación solar que es reflejada y absorbida por la atmósfera y la superficie de la Tierra. Datos informados en términos de $W/m^2$ .....	11
<b>Ilustración 4:</b> Mapa de ubicación de la comunidad San Ramón. ....	14
<b>Ilustración 5:</b> Turbidímetro Portátil HACH 2100Q. ....	18
<b>Ilustración 6:</b> pH metro THERMO SCIENTIFIC ORION 4-STAR.....	19
<b>Ilustración 7:</b> Conductímetro InoLab Cond 720.....	20
<b>Ilustración 8:</b> Papel filtro en la estufa.....	21
<b>Ilustración 9:</b> Papel Filtro en el desecador. ....	21
<b>Ilustración 10:</b> Pesaje del papel filtro en la balanza analítica.....	22
<b>Ilustración 11:</b> Diseño de los tres sistemas de tratamiento SODIS. ....	24

# CAPÍTULO I.

## INTRODUCCIÓN

El derecho humano al agua especifica que el agua debe estar disponible continuamente y en cantidades suficientes para las necesidades de beber e higiene personal, así como también para otros usos personales y domésticos (UNICEF, WHO, 2017)

El acceso universal no solo se centra en los hogares o la población como unidad de análisis, sino en otros espacios habitados por la población, como las escuelas, los lugares de trabajo y los espacios públicos. Sin embargo, desde el punto de vista del monitoreo de indicadores, la información que actualmente se tiene para los ODS (Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas) en Ecuador es únicamente en el ámbito de los hogares. (Molina-Vera et al., 2018)

En Ecuador existen bajos niveles de cobertura de agua potabilizada en las zonas rurales por lo que se pueden encontrar aun parroquias en las cuales no existe un sistema de distribución que permita que todos los moradores se beneficien de líquido vital. Dicha situación ocasiona que los habitantes tengan una condición de vida inadecuada, principalmente en la salud, dado a que la ausencia de saneamiento en el agua conduce a desarrollo de enfermedades en la población.

Ante esta situación, las zonas rurales se han beneficiado de la lluvia como principal fuente de abastecimiento de agua, principalmente en Pastaza siendo una de las provincias con mayor precipitación en Ecuador. De esta manera, las aguas lluvias simbolizan un recurso importantísimo para las comunidades de las zonas rurales del país.

Aunque las viviendas poseen captaciones de agua lluvia, no cuentan con un sistema completo para su tratamiento, solo cuentan con una canaleta en el techo para la conducción y un tanque de almacenamiento por lo que la calidad de agua no es apta para el consumo directo, originándose la necesidad de implementar un sistema para el tratamiento el cual posibilite hacer una mejoría en el agua y se logre minimizar el riesgo de problemas a la salud.

Ante esta realidad, el presente trabajo investigativo que radica en la intención de evaluar tres alternativas para la mejoría de la calidad de agua para consumo humano en la comunidad San Ramón de la parroquia Diez de Agosto, posibilitará a que el tratamiento mejore la calidad de agua y evite los problemas de salud asociados a la ingesta de agua contaminada.

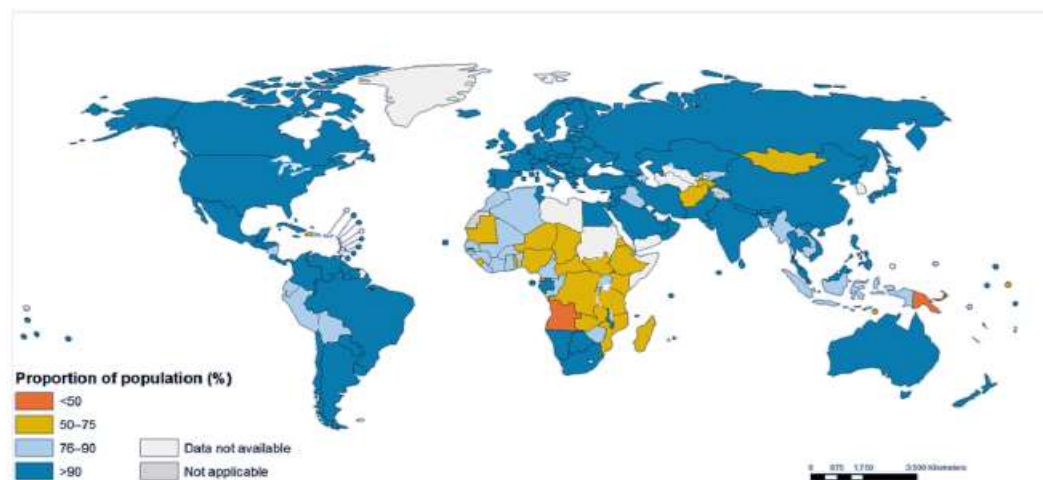
# 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN Y SU JUSTIFICACIÓN.

## 1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

Debido al carecimiento de un sistema de potabilización de agua y al desabastecimiento continuo de agua, los pobladores de zonas rurales han optado por el almacenamiento y consumo de agua lluvia como una fuente alternativa de abastecimiento. Debido a esto se han identificado varios problemas de salud y enfermedades como diarrea, fiebre tifoidea, hepatitis A y enfermedades gastrointestinales relacionadas con el consumo de agua lluvia en la población de la comunidad San Ramón perteneciente a la parroquia Diez de Agosto, para lo cual urge la aplicación del método SODIS para brindar un agua de mejor calidad a las personas.

## 1.2. JUSTIFICACIÓN.

El agua es el elemento fundamental para el desarrollo de todo organismo viviente por lo que, como derecho, tiene que ser suficiente para toda la población y a su vez de calidad para que sea apta para el consumo. La calidad del agua puede verse comprometida por la presencia de agentes infecciosos, productos químicos tóxicos o radiaciones.



**Ilustración 1:** Mapa mundial de la proporción de la población que utiliza fuentes mejoradas de agua potable en 2015

**FUENTE:** (WHO media centre, 2016)

La comunidad San Ramón, ubicada en la parroquia 10 de agosto, cantón y provincia de Pastaza, carece de un sistema de potabilización que brinde agua de calidad apta para el consumo de la población lo cual ha ocasionado una gran variedad de problemas de salud en los habitantes de la zona ya que utilizan aguas lluvias y agua de río para abastecer sus necesidades. En las zonas rurales la contaminación se origina en la defecación a campo abierto, en la presencia de animales domésticos y silvestres que actúan como reservorios de agentes patógenos(Bruno & Vicente, 2018).

La aplicación de los sistemas de desinfección solar de agua (SODIS) es una herramienta útil para zonas rurales, son simples y efectivos por lo que el objetivo de esta investigación es determinar cuál de los sistemas SODIS es el más el más favorable para esta zona para disminuir las enfermedades relacionadas con el consumo de agua lluvia sin un tratamiento previo y a la vez mejorar la calidad de vida de los habitantes de esta comunidad.

### **1.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.**

¿En cuál de los tres sistemas es más favorable aplicar el método SODIS, para la desinfección del agua destinada al consumo humano en la comunidad San Ramón?

### **1.4. OBJETIVOS.**

#### **1.4.1. OBJETIVO GENERAL.**

Determinar cuál de los sistemas en función al método SODIS para la desinfección del agua destinada al consumo humano es el más favorable para la aplicación en la comunidad San Ramón, parroquia 10 de agosto, Cantón Pastaza, Provincia de Pastaza.

#### **1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.**

- Desarrollar un levantamiento de línea base en la población de estudio mediante una encuesta social.
- Realizar una caracterización de los parámetros fisicoquímico y microbiológico para determinar en qué estado se encuentra el agua lluvia que consumen los habitantes de la comunidad San Ramón.
- Diseñar tres sistemas en función al método SODIS que sean accesibles para la

población de la comunidad San Ramón.

- Evaluar los sistemas de desinfección solar de agua (SODIS) con análisis fisicoquímico y microbiológico tomando en cuenta que estos cumplan con los criterios de agua para consumo humano según están establecidos en la norma NTE INEN 1108(2014).
- Realizar un análisis de varianza de resultados.

## **CAPÍTULO II.**

### **2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN.**

#### **2.1. ANTECEDENTES.**

En el mundo existen aún lugares que no cuentan con agua apta para el consumo de sus poblaciones, ocasionando varios problemas principalmente de salud por lo que se han venido investigando métodos para poder brindar líquido vital de calidad.

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 502000 muertes por diarrea al año (OPS/OMS Ecuador, 2018).

Desde el año 1999 en algunos países de Latinoamérica y de igual manera en Asia y África, se crearon iniciativas para la aplicación de métodos para desinfección de agua, entre uno de ellos el método SODIS. En Ecuador, la demanda de agua potable hace que se genere la necesidad de encontrar una solución a esta problemática para los habitantes principalmente de las zonas rurales. En la comunidad San Ramón, los habitantes consumen agua proveniente de la lluvia, almacenada en tanques y sin una previa desinfección, por lo que se exponen a riesgos de contraer enfermedades causadas por microorganismos que se encuentran presentes en el agua.

El método SODIS, es socializado a las autoridades y comunidad, que al aprovechar la radiación ultravioleta (UV) el sol, reduce la carga microbiana del agua contaminada que se capta de la vertiente natural, a niveles que permiten su consumo según los requisitos de la NTE INEN 1108 (Carrillo P. et al., 1970)

#### **2.2. BASES TEÓRICAS.**

##### **2.2.1. MARCO TEÓRICO.**

**Método SODIS:** SODIS (Desinfección solar del agua) es una alternativa a los métodos tradicionales de desinfección de agua y consiste en la exposición bajo el sol de botellas llenas de agua para desinfectarse (da Silva & Gomes, 2016).

La técnica de ‘desinfección solar de agua’, más conocida como SODIS (acrónimo de la expresión inglesa ‘solar water disinfection’) se presenta como una solución de bajo coste para

aquellas comunidades con accesos limitados a fuentes de agua potable y con bajos recursos económicos. En las últimas décadas, su uso se ha extendido a cerca de 5 millones de personas en todo el mundo gracias al trabajo realizado por las ONGs y científicos dedicados a la difusión del SODIS como método de tratamiento de agua(Alfárez, 2017). El funcionamiento es muy simple, consiste en exponer el agua contaminada en contenedores transparentes (normalmente botellas de tereftalato de polietileno, PET por sus siglas en inglés) a la luz solar directa durante al menos 6 horas(Alfárez, 2017).



**Ilustración 2:** Descripción gráfica del método SODIS

**FUENTE:** (McGuigan et al., 1998)

**Contaminación del agua:** el agua con contaminantes presentes en su composición es un problema grave a nivel global, la presencia de varios elementos puede afectar seriamente la calidad del agua, produciendo un problema ambiental y en la salud de las personas.

El consumo de aguas contaminadas puede ocasionar la mayor parte del tiempo múltiples efectos negativos en la salud de las personas, enfermedades cutáneas, complicaciones en el sistema digestivo y hasta la muerte.

**Aguas lluvia:** La cosecha y almacenamiento de agua lluvia es una actividad milenaria de adaptación al cambio climático. Sirve como mecanismo para el buen aprovechamiento del agua, por lo que es fundamental considerarla como una alternativa para la prevención de riesgos relacionados a la escasez, tanto en zonas urbanas como rurales, la captación de agua de lluvia tiene mayor capacidad de aprovechamiento si es captada en los techos de hogares,



con un gasto económico mínimo. Dependiendo la calidad del agua, se dará un uso doméstico o de irrigación. Varios autores sostienen que es fundamental realizar análisis microbiológicos y fisicoquímicos para conocer la calidad del agua, principalmente aquella que es usada para consumo humano (Benavides & Silvana, 2017).

**Parámetros fisicoquímicos:** son aquellos parámetros que precisan las particularidades del agua que son objetivos a los sentidos (vista, gusto, tacto, olfato).

**pH:** es un valor el cual nos permite definir si una sustancia es ácida, neutra o básica, por el cálculo de los iones de hidrogeno que se encuentren presentes. Si el valor de pH es menor a 7 la sustancia es ácida, en la escala de 7 es neutra y si es mayor a 7 es una sustancia básica.

El pH es una propiedad básica del agua potable y cuyos valores extremos pueden originar reacciones secundarias dañinas, entendiéndose por agua potable aquel que puede ser consumido sin restricción para el consumo humano (Mamani et al., 2018) .

**Temperatura:** es un parámetro de gran importancia debido a que influye en gran parte, tanto en el desarrollo de la vida, como en las reacciones químicas que se dan en el agua. También es útil como indicador de calidad de agua.

**Turbidez:** la turbidez, expresada en NTU (Unidades Nefelométricas de Turbidez), es el resultado de la presencia de una variedad de partículas, como sedimentos suspendidos, partículas inorgánicas o fuentes biológicas (Contreras Lozano et al., 2015).

**Tabla 1:** Límites máximos permisibles según la norma NTE INEN 1108(2014).

PARAMETRO	UNIDAD	Límite máximo permitido
<b>Turbiedad</b>	NTU	5

**FUENTE:** NTE INEN 1108 (2014).

**Conductividad:** es una aptitud que tiene el agua para conducir electricidad. Los iones cargados de electricidad llevan corriente eléctrica mediante soluciones de agua.

La conductividad eléctrica en el agua se debe a la ionización de sólidos inorgánicos disueltos y se convierten en una medida de STD (Marín et al., 2018).

**Sólidos totales:** es una medida de la materia en una muestra de agua, más pequeñas de 2 micrones y no pueden ser removidos por un filtro tradicional. STD es básicamente la suma de todos los minerales, metales, y sales disueltos en el agua y es un buen indicador de la calidad del agua (Sigler & Bauder, 2017).

## Parámetros microbiológicos

**Análisis microbiológico:** con el fin de conocer el estado higiénico-sanitario y de establecer los indicadores microbiológicos más adecuados, se efectúa para conocer los microorganismos patógenos que se encuentran en el agua y que son capaces de alterar la salud de las personas que la consumen (Delgado et al., 1992).

**Aerobios totales:** los microorganismos aerobios mesófilos son la flora total compuesta por bacterias, hongos filamentosos y levaduras, aerobios estrictos o facultativos que presentan unas características térmicas intermedias (Morales, 2007).

**Coliformes fecales:** son un subgrupo de los coliformes totales y se han seleccionado como indicadores de contaminación fecal (Bueno et al., 2017).

**Microorganismo por la temperatura:** Según (Tatiana & Geovana, 2014) los microorganismos tienen temperaturas cardinales distintas de acuerdo a esto se clasifican en tres principales grupos:

1. **Microorganismos psicrófilos:** denominados también criófilas, se dividen en dos clases:
  - **Psicrófilas obligados:** con una temperatura que varía de 15 a 18°C. A esta clase pertenece la *Flavobacterium*.
  - **Psicrófilas facultativas:** tienen una temperatura que varía de los 20 a 30°C, pudiendo llegar a los 35°. Estos microorganismos son causantes de la descomposición de los alimentos guardados en ambientes muy fríos como la heladera.
2. **Microorganismos mesófilos:** Presentan una temperatura que varía de los 35 a 47°C, a este grupo corresponden la mayoría de las eubacterias.
3. **Microorganismos termófilos:** Su temperatura varía de 50 a 75°C, algunos pueden llegar a los 113°C, denominadas termófilas extremas, este grupo está formado exclusivamente por procariotas.

***Escherichia coli:*** es uno de los causantes bacterianos más comunes de morbilidad y mortalidad asociadas a la diarrea, particularmente entre bebés y niños pequeños en países de desarrollo. Aun así, el verdadero impacto en la salud infantil y del viajero probablemente se subestima. (Bourgeois et al., 2016)

Aunque las infecciones por *Escherichia coli* son comunes en todo el mundo, sus patrones de prevalencia en el espacio tiempo y en el tiempo no están bien caracterizados. (Bhavnani et al., 2016)

La ingestión de agua contaminada representa uno de los principales causantes de enfermedades gastrointestinales en humanos y se ha descrito que en los países en desarrollo *E. coli* causa el 40% de las diarreas en niños menores de 5 años.(Levy et al., 2012). En el Noreste de Ecuador la prevalencia de *E. coli* es de 8 personas infectadas por cada mil personas (Bhavnani et al., 2016)

### **Tipos de botellas de plástico:**

**Botellas de plástico PET:** El PET (Tereftalato de Polietileno) es uno de los elementos reciclables más usados para la fabricación de botellas plásticas, es irrompible, económico, liviano, impermeable y reciclable, es la resina con mejores características para el reciclado.

La mayoría de envases de agua están hechos con este material y está es una de las mayores fuentes de residuos de plástico, aunque la industria trate de generar residuos más ligeros y amigables para el planeta, la cantidad de desechos no deja de crecer y llegar a 15 lugares donde no pueden ser reutilizados o reciclados (Báez Ochoa et al., 2017).

La materia prima para la elaboración de los envases es el Polietileno Tereftalato PET, que pertenece a los termoplásticos, se obtiene a partir de los derivados del petróleo, entre los cuales está el etileno y el paraxileno. Este material permite la elaboración de envases que son resistentes y al mismo tiempo no alteran las sustancias que se coloquen dentro de dichos envases. Además, se caracteriza por ser altamente transparente, puede ser utilizado para almacenar alimentos, químicamente posee buena resistencia y a su vez puede ser reciclado para descomponer y volver a fabricar otro tipo de producto.

**Botellas Marca Eco-Flex:** En la actualidad el 30 % de plástico es reciclado y el resto es nuevo plástico, las propiedades fisicoquímicas de la silicona (Eco Flex) hacen que el sistema sea biocompatible con las paredes digestivas. No es corrosivo y no permite el desarrollo de bacterias (Zambrano & Fabricio, 2018).

**Muestreo fisicoquímico:** En muestras que se van a utilizar para la determinación de parámetros físicos y químicos, llenar los frascos completamente y taparlos de tal forma que no exista aire sobre la muestra. Esto limita la interacción de la fase gaseosa y la agitación durante el transporte (así se evita la modificación del contenido de dióxido de carbono y la variación en el valor del pH, los bicarbonatos no se conviertan a la forma de carbonatos precipitables; el hierro tienda a oxidarse menos, limitando las variaciones de color, etc.).(NTE-

**Muestreo microbiológico:** Si se trata de tomar una muestra de un grifo del sistema de distribución, comprobar primero que el grifo escogido suministra agua directamente de una tubería de la red, a través de una línea de servicio, que no abastece, por ejemplo, de una cisterna o de un tanque de almacenamiento. Abrir completamente el grifo y dejar que el agua fluya al drenaje por 2 o 3 minutos, o por el tiempo suficiente para permitir la purga de la línea de servicio. En el momento del muestreo, restringir el flujo de la llave, para que pueda llenarse el frasco sin salpicaduras. Evitar como puntos de muestreo grifos con fugas. (*NTE-INEN-1105-AGUAS.-MUESTREO-PARA-EXAMEN-MICROBIOLÓGICO.pdf*, s. f.)

**Turbidímetro:** en la actualidad son bien conocidos los dispositivos de medición de la turbidez de un líquido, los cuales miden la intensidad o atenuación de la luz que se transmite a través de una muestra de líquido. Las lecturas se dan en NTU (Unidades Nefelométricas de Turbidez). Una señal de disminución, cuya señal indica la intensidad o cantidad de luz transmitida, denota un aumento en las partículas sólidas presentes suspendidas, es decir la turbidez del líquido. (OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS, 2012)

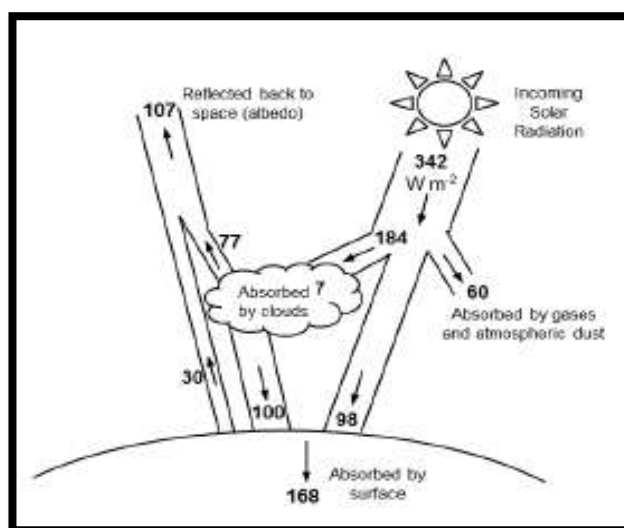
**pH metro:** el instrumento se encuentra basado en la medida de una propiedad eléctrica de los analitos de la muestra. Para obtener el pH se mide la diferencia de potencial que se produce entre la muestra y la disolución interna que contiene el electrodo de vidrio, como consecuencia la diferente concentración de hidrógeno que existe entre ambas (Ganfornina, Pinto, 2012)

**Conductímetro:** el instrumento se encuentra basado en la medida de una propiedad eléctrica de los analitos de la muestra. Para obtener la conductividad se mide la resistencia eléctrica de la muestra cuando se sumerge en ella el electrodo. (Ganfornina, Pinto, 2012)

**Estufa:** La estufa de secado es un equipo que se utiliza para secar y esterilizar recipientes de vidrio y metal en el laboratorio. Se identifica también con el nombre Horno de secado. Los fabricantes han desarrollado básicamente dos tipos de estufa: las que operan mediante convección natural y las que operan mediante convección forzada. Las estufas operan, por lo general, entre la temperatura ambiente y los 350 °C. Se conocen también con el nombre de Poupinel o pupinel. (Organización Panamericana de la Salud, 2005)

**Radiación Solar:** La distribución de la radiación solar varía de 300 nm a aproximadamente 3000 nm. Sobrepasa el rango UV (UVB de 280 a 320 nm y UVA de 320 a 400 nm), rango visible (de 400 a 800 nm) y rango infrarrojo (de 800 en adelante). La mayor parte de la

irradiación se recibe en los rangos visible e infrarrojo (54.3 y 41.1%, respectivamente), mientras que la parte más energética del espectro es absorbida principalmente por la atmósfera, llegando a la superficie de la Tierra solo un 4.6% de UV (distribuido alrededor del 3% de UVB y 97% de UVA)(Alfárez, 2017).



**Ilustración 3:** La energía global fluye de la radiación solar que es reflejada y absorbida por la atmósfera y la superficie de la Tierra. Datos informados en términos de  $W/m^2$

**FUENTE:** (Trenberth & Stepaniak, 2004)

## 2.2.2.MARCO LEGAL

### NTE INEN 1108 V Edición 2014 - CAMPO DE APLICACIÓN

Esta norma se aplica al agua potable de los sistemas de abastecimiento públicos y privados a través de redes de distribución (NTE INEN 1108, 2014).

**3.1.1** Agua potable. Es el agua cuyas características físicas, químicas microbiológicas han sido tratadas a fin de garantizar su aptitud para consumo humano (NTE INEN 1108, 2014).

**3.1.2** Agua cruda. Es el agua que se encuentra en la naturaleza y que no ha recibido ningún tratamiento para modificar sus características: físicas, químicas o microbiológicas (NTE INEN 1108, 2014).

**3.1.3** Límite máximo permitido. Representa un requisito de calidad del agua potable que fija dentro del ámbito del conocimiento científico y tecnológico del momento un límite sobre el cual el agua deja de ser apta para consumo humano. Para la verificación del cumplimiento, los resultados se deben analizar con el mismo número de cifras significativas establecidas en

los requisitos de esta norma y aplicando las reglas para redondear números (NTE INEN 1108, 2014).

3.1.4 UFC/ml. Concentración de microorganismos por mililitro, expresada en unidades formadoras de colonias (NTE INEN 1108, 2014).

## **ACUERDO MINISTERIAL 097**

### **REGISTRO OFICIAL EDICIÓN ESPECIAL 387 DE 04-NOV.-2015**

La norma tiene como objeto la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental, en lo relativo al recurso agua. El objetivo principal de la presente norma es proteger la calidad del recurso agua para salvaguardar y preservar los usos asignados, la integridad de las personas, de los ecosistemas y sus interrelaciones y del ambiente en general. Las acciones tendientes a preservar, conservar o recuperar la calidad del recurso agua deberán realizarse en los términos de la presente Norma (*Acuerdo-097.*, 2015).

#### **Principios Básicos.**

- a) El proceso de control de la contaminación del recurso hídrico se basa en el mantenimiento de la calidad del mismo para la preservación de los usos asignados a través del cumplimiento de la respectiva norma de calidad, según principios que se indican en el presente documento.
- b) Las municipalidades dentro de su límite de actuación y a través de las Entidades Prestadoras de Servicios de agua potable y saneamiento (EPS) de carácter público o delegadas actualmente al sector privado, serán las responsables de prevenir, controlar o solucionar los problemas de contaminación que resultaren de los procesos involucrados en la prestación del servicio de agua potable y alcantarillado, para lo cual deberán realizar los respectivos planes maestros o programa de control de la contaminación.
- c) Para el control de la contaminación de los cuerpos de agua de cualquier tipo, de acuerdo a la actividad regulada, el Sujeto de Control debe entre otras realizar las siguientes actividades: desarrollo del Plan de Manejo Ambiental, en el que se incluya el tratamiento de sus efluentes previo a la descarga, actividades de control de la contaminación por escorrentía pluvial, y demás actividades que permitan prevenir y controlar posibles impactos ambientales. Adicionalmente la Autoridad Ambiental podrá solicitar al regulado el monitoreo de la calidad del cuerpo de agua.

- d) Si el Sujeto de Control es un municipio o gobiernos provinciales, éste no podrá ser sin excepción, la Entidad Ambiental de Control para sus instalaciones. Se evitará el conflicto de interés (*Acuerdo-097.*, 2015).

## **NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 2176:2013 PRIMERA REVISIÓN**

### **AGUA. CALIDAD DEL AGUA. MUESTREO. TÉCNICAS DE MUESTREO**

#### **1. OBJETO**

**1.1** Esta norma establece guías sobre las técnicas de muestreo usadas para obtener los datos necesarios en los análisis de control de calidad, de las aguas naturales, aguas contaminadas y aguas residuales para su caracterización.

#### **2. ALCANCE**

**2.1** Esta norma se aplica a las técnicas de muestreo generales. **2.2** No se aplica a los procedimientos para situaciones especiales de muestreo.

#### **3. DEFINICIONES**

**3.1** Para el propósito de esta norma, se aplican las siguientes definiciones:

**3.1.1** Muestra compuesta. Es la formada por dos o más muestras o submuestras, mezcladas en proporciones conocidas, de la cual se puede obtener un resultado promedio de una característica determinada. Las proporciones para la mezcla se basan en las mediciones del tiempo y el flujo.

**3.1.2** Muestra instantánea, puntual, individual. Es la muestra tomada al azar (con relación al tiempo y/o lugar de un volumen de agua).

**3.1.3** Equipo de muestreo: Es el equipo usado para obtener una muestra de agua, para el análisis de varias características predefinidas.

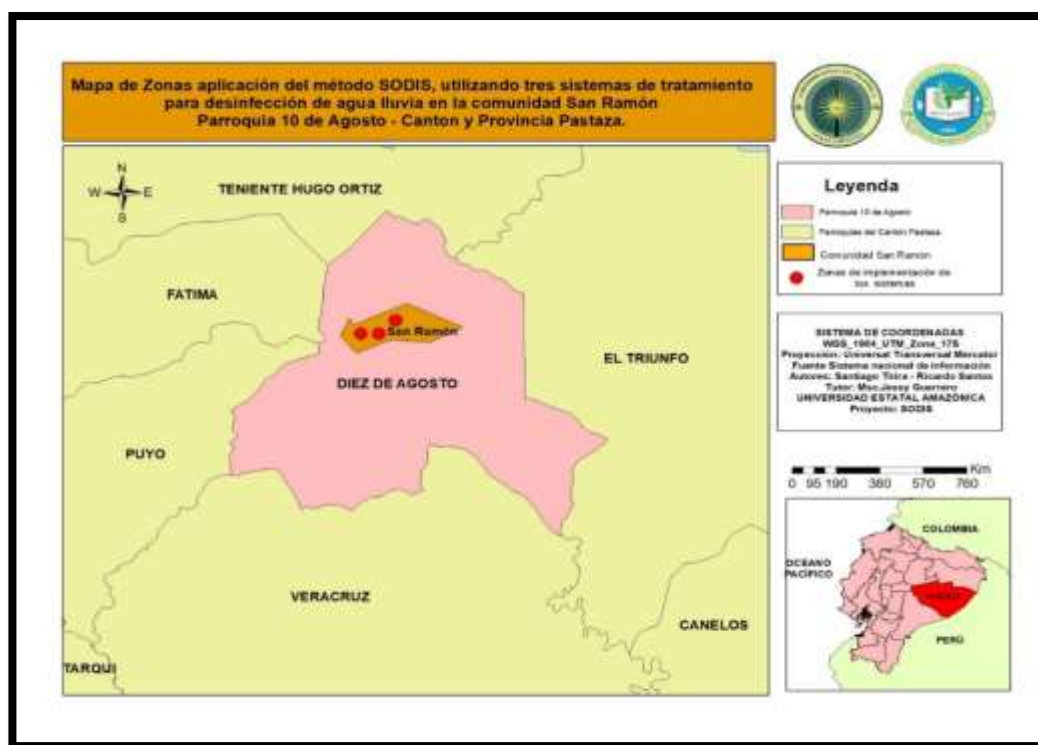
**3.1.4** Muestreo. Es el proceso de tomar una porción, lo más representativa, de un volumen de agua para el análisis de varias características definidas (NTE-INEN-2176, 2013).

## CAPÍTULO III.

### 3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

#### 3.1. LOCALIZACIÓN.

El área de estudio se encuentra ubicada en la comunidad de San Ramón, parroquia 10 de agosto, cantón y provincia de Pastaza. La parroquia 10 de Agosto se encuentra ubicada en vía Puyo-Arajuno, al Este de la parroquia Puyo, a diez kilómetros de distancia de la Capital Provincial. En la última encuesta socioeconómica realizada por el GAD parroquial de la 10 de Agosto realizado en el 2015 señala que su población es de 1276 habitantes siendo la comunidad de San Ramon el sector con más densidad poblacional con 582 habitantes y un promedio de 6.82 hab/km<sup>2</sup>, El clima es Húmedo Tropical, tipo ecuatorial, es decir siempre cálido y húmedo. La temperatura promedio anual de la región es de 20,8°C, con una muy débil variabilidad a lo largo del año. Las máximas absolutas se establecen cerca de 32,6°C y las mínimas absolutas son de 12,1°C para pocos días y horas de friajes (*PDOT-PARROQUIA-10-DE-AUGUSTO-2015-2019.pdf,s. f.*)



**Ilustración 4:** Mapa de ubicación de la comunidad San Ramón.

**FUENTE:** (Santos & Tirira 2019)



## **3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN.**

El estudio que se llevó a cabo pertenece a la línea de investigación propuesta por la Universidad Estatal Amazónica: Gestión y Conservación Ambiental, en este caso se busca proponer un sistema de desinfección de agua lluvia para un mejor aprovechamiento de los recursos naturales.

La investigación de este proyecto es de tipo experimental ya que se llevó a cabo el diseño de los sistemas de purificación, posteriormente se realizó un muestreo, las muestras fueron sometidas a análisis fisicoquímicos (pH, turbidez, conductividad, sólidos totales) y microbiológicos (bacterias, *Escherichia coli*, coliformes totales, mesófilos totales) en los laboratorios y se realizó un análisis comparativo de los resultados. También es de tipo deductivo debido a que se buscó verificar si los resultados cumplían con los límites máximos permisibles de la normativa nacional e internacional; y de tipo inductivo porque las conclusiones se determinaron a partir de análisis. También se recopiló información por medio de material bibliográfico por lo que también fue una investigación de tipo documental; y de tipo histórica ya que se estudiaron realidades pasadas. El enfoque utilizado es mixto, debido a que la investigación se fundamentó en características cualitativas (características de los sistemas) y cuantitativas (resultados de análisis).

## **3.3. MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN.**

En esta investigación se utilizó el método experimental ya que se realizó una recolección de datos para el levantamiento de línea base y se describieron los procesos utilizados para la determinación de resultados.

### **3.3.1. LEVANTAMIENTO DE LÍNEA BASE.**

Para la recolección de datos de línea base se utilizó el método de encuestas (anexo 1). El tipo de encuesta que se aplicó fue descriptivo y de respuestas abiertas siendo el método más adecuado para reflejar la realidad de la comunidad San Ramón y de sus habitantes relacionados con la distribución del agua y el consumo de esta.

Para la aplicación de encuestas se tomó en cuenta a 15 familias, de las cuales se encuestó a un representante de cada una de ellas. Se tomaron en cuenta varios parámetros como:

- Población.

- Servicios básicos.
- Salud.
- Vivienda.

Después de cada encuesta se realizó una capacitación a los encuestados acerca de como se emplea el método SODIS en hogares pequeños y cuáles son sus beneficios.

Para el procesamiento de la información se utilizó el programa informático MICROSOFT OFFICE EXCEL.

Para el análisis de la información y presentación de resultados estadísticos (gráficos y resumen estadístico) se utilizó el programa MICROSOFT OFFICE EXCEL.

### **3.3.2. ANÁLISIS DEL AGUA PREVIO A LA APLICACIÓN DEL MÉTODO SODIS.**

#### **3.3.2.1. TOMA DE MUESTRA.**

Para el respectivo muestreo se empleó una hoja de control de muestreo en la que se especificaron los datos como: fecha, número de muestra, recolector de la muestra.

##### **3.3.2.1.1 TOMA DE MUESTRA PARA PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS.**

Para la toma de muestras para los análisis de parámetros fisicoquímicos se tomó en cuenta la Norma Técnica Ecuatoriana **NTE INEN 2176:2013** (NTE-INEN, 2013), mediante la aplicación del método manual simple.

1. Se identificó el tanque de almacenamiento de agua lluvia de la casa seleccionada.
2. Se limpió la llave de donde sale el agua lluvia.
3. Se abrió la llave y se procedió a llenar una botella de vidrio tipo ámbar con capacidad de 1 litro verificando que se encuentren totalmente llenos de forma que no exista aire sobre la muestra, con su respectiva etiqueta; para evitar que cambie la composición inicial de la muestra.
4. Se almacenó la muestra en un cooler para mantener su temperatura inicial.

### **3.3.2.1.2 TOMA DE MUESTRA PARA PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS**

Para la toma de muestras para los análisis de parámetros fisicoquímicos se tomó en cuenta la Norma Técnica Ecuatoriana **NTE INEN 2176:2013**(NTE-INEN, 2013), mediante la aplicación del método manual simple.

1. Se identificó el tanque de almacenamiento de agua lluvia de la casa seleccionada.
2. Se limpió la llave de donde sale el agua lluvia.
3. Se comprobó que el grifo que suministra el agua sea directamente de una tubería de la red a través de la línea de servicio.
4. Se abrió el grifo de manera completa y se dejó que el agua fluya por aproximadamente tres minutos para permitir la purga de la línea de servicio.
5. Se abrió la llave y se procedió a llenar, evitando salpicaduras, una botella de vidrio tipo ámbar con capacidad de 1 litro dejando un espacio de aire en el frasco para que se facilite el mezclado de la muestra por agitación previo a los exámenes, con su respectiva etiqueta; para evitar que cambie la composición inicial de la muestra.
6. Se almacenó la muestra en un cooler para mantener su temperatura inicial.

### **3.3.2.2 ANÁLISIS FISICOQUÍMICO**

Para el análisis fisicoquímico de la muestra se tomaron en cuenta los siguientes parámetros: turbiedad, pH, conductividad, temperatura y sólidos totales.

#### **3.3.2.2.1 TURBIEDAD**

##### **Equipos y Materiales**

- ❖ Turbidímetro Portátil HACH 2100Q.
- ❖ Vaso de precipitación
- ❖ Servilleta

**Procedimiento** Para la determinación de la turbiedad del agua se utilizó el método nefelométrico( APHA, 2017), empleando un Turbidímetro Portátil HACH 2100Q.



**Ilustración 5:** Turbidímetro Portátil HACH 2100Q.

**FUENTE:** (Santos & Tirira, 2019)

Procedimiento:

1. Se tomó una muestra en un recipiente previamente desinfectada. Se vertió una parte de la muestra en una celda para muestras, previamente limpiada con agua destilada, hasta encontrarse llena (15ml). Se puso la tapa en la celda para evitar derrames.
2. Con una servilleta, se limpió la celda por la parte de afuera para eliminar huellas de los dedos y manchas de agua.
3. Se encendió el Turbidímetro y se lo colocó sobre una superficie plana.
4. Se insertó la fecha y la hora en que se iba a realizar la medición.
5. Se colocó la celda de la muestra en su compartimiento y se cerró la tapa.
6. Se presionó el botón de medición y se esperó alrededor de 10 segundos hasta que se estabilice.
7. Se registró la turbidez en NTU después de que apareció el icono de bloqueado.

### **3.3.2.2.2 pH**

#### **Equipos y Materiales**

- ❖ pH metro THERMO SCIENTIFIC ORION 4-STAR.
- ❖ Vaso de precipitación de 150ml.

#### **Reactivos**

- ❖ Agua destilada

Para la determinación del pH de la muestra de agua se aplicó el método potenciométrico (APHA, 2017) con un pHmetro THERMO SCIENTIFIC ORION 4-STAR previamente calibrado.



**Ilustración 6:** pH metro THERMO SCIENTIFIC ORION 4-STAR.

**FUENTE:** (Santos & Tirira, 2019)

#### Procedimiento

1. Se tomó una muestra en un vaso de precipitación de 150 ml, previamente desinfectado con agua destilada.
2. Se encendió el pH metro THERMO SCIENTIFIC ORION 4-STAR.
3. Se limpió el electrodo con agua destilada y después se lo sumergió en el vaso de precipitación. Se presionó el botón measure y se esperó hasta que el pH quede fijo en la pantalla.
4. Se registró el pH de la muestra.
5. Se limpió el electrodo nuevamente con agua destilada y se lo colocó en su lugar.

### **3.3.2.2.3 CONDUCTIVIDAD.**

#### **Equipos y Materiales**

- ❖ Conductímetro InoLab Cond 720.
- ❖ Vaso de precipitación de 150ml.

#### **Reactivos**

- ❖ Agua destilada

Para la determinación de la conductividad de la muestra se empleó el método electrométrico (APHA, 2017), utilizando un conductímetro InoLab Cond 720.



**Ilustración 7:** Conductímetro InoLab Cond 720.

**FUENTE:** (Santos & Tirira, 2019)

#### Procedimiento

1. Se tomó una muestra en un vaso de precipitación de 150 ml, previamente desinfectado con agua destilada.
2. Se encendió el conductímetro InoLab Cond 720.
3. Se limpió el electrodo con agua destilada y después se lo sumergió en el vaso de precipitación.
4. Se presionó el botón RUN ENTER y se esperó hasta que la conductividad se estabilice y se registró la temperatura de la muestra en grados centígrados.
5. Una vez estabilizada la conductividad se registró en  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .
6. Se limpió el electrodo nuevamente con agua destilada y se lo colocó en su lugar.

### **3.3.2.2.4 SÓLIDOS TOTALES.**

#### **Equipos y Materiales**

- ❖ Papel filtrante
- ❖ Estufa
- ❖ Desecador
- ❖ Balanza Analítica
- ❖ Matraz de Erlenmeyer de 1000ml
- ❖ Embudo.
- ❖ Probeta graduada de 250ml.
- ❖ Vaso de precipitación de 150ml.

## Reactivos

- ❖ Agua destilada

Para la determinación de Sólidos Totales se empleó el método de Sólidos totales secos a 103°-105°C (APHA, 2017).

## Procedimiento

1. Se tomó un papel filtrante.
2. Se encendió la estufa BARSTEAD y se graduó la temperatura a 103°C.
3. Se verificó la temperatura del termómetro exterior.
4. Una vez fijada la temperatura se extendió el papel filtrante dentro de la estufa y se lo dejó por el lapso de dos horas de secado.



**Ilustración 8:** Papel filtro en la estufa.

**FUENTE:** (Santos & Tirira, 2019)

5. Después de las dos horas se pasó el papel filtrante al desecador con el fin de eliminar la humedad.



**Ilustración 9:** Papel Filtro en el desecador.

**FUENTE:** (Santos & Tirira, 2019)

6. Una vez eliminada la humedad del papel, se procedió a realizar un pesaje en la

balanza analítica AE ADAM PW254.



**Ilustración 10:** Pesaje del papel filtro en la balanza analítica.

**FUENTE:** (Santos & Tirira, 2019)

### 3.3.2.3 ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO

Para la determinación de los Análisis Microbiológicos se empleó el Método de siembra profunda para unidades formadoras de colonia.

1. Se tomó 9 ml de agua de peptona para cada muestra en 4 tubos de ensayo.
2. En la cámara estéril se realizó la siembra en 4 cajas Petri (una por cada muestra) de 1 ml de muestra por caja ayudados de la micropipeta de precisión.
3. Se etiquetó las cajas con sus respectivos datos y se los trasladó a la estufa de secado a 60°C durante 24 horas.
4. Transcurridas las 24 horas se procedió al conteo de microorganismos tomando en cuenta el método de los cuadrantes y con la siguiente fórmula:

$$Nmict = Nmiccu \times 4 \times 10$$

Donde:

Nmict=Numero de microorganismos totales

Nmiccu= Numero de microorganismos por cuadrante

Identificándolos con los siguientes aspectos:

- Microorganismos color blanco: Bacterias
  - Microorganismos color azul-verdes: *Escherichia coli*
  - Microorganismos color rosado: coliformes fecales
  - Microorganismos color morados: Aerobios totales
5. Se procedió a hacer un informe de los resultados.



### **3.3.3. ANÁLISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA LLUVIA CAPTADA CON TRATAMIENTO.**

En este periodo, se evaluó a los diferentes sistemas de tratamiento para la desinfección del agua en función al método SODIS.

Los sistemas aplicados y evaluados fueron los siguientes:

#### **Sistema 1: Filtro de arena y plancha de zinc.**

##### **Construcción del filtro de Arena.**

Para la construcción del filtro de arena se requirió de un Contenedor de agua de 5 litros, un tacho plástico de 18 litros, tubos PVC de 2 pulgadas una llave de agua.

Se implementó una conexión en forma de T en la tubería por la que circula el agua desde el tanque reservorio hasta la llave de la cocina de la vivienda, con la finalidad de extraer con otra llave el agua y direccionarla con una manguera hacia el tacho de plástico.

Dentro del tacho de plástico se colocó una capa de grava de 30 cm y encima una capa de arena de 30 cm para la filtración del agua lluvia. Se adaptó una llave para la salida del agua filtrada.

Se construyó una mesa rectangular de madera de 1x1, la parte superior se la construyo con una pequeña inclinación para colocar las botellas PET. La mesa se la dividió en tres partes: la primera con una plancha de zinc en la superficie, la segunda con plástico negro extendido en la superficie y la tercera con una plancha de aluminio en su superficie.

Para aplicar el primer sistema, se siguió el procedimiento:

1. Se llenaron dos botellas de plástico PET de un litro con el agua lluvia pasada por el filtro de arena, verificando que se encontraban bien aseguradas para evitar derrames.
1. Se colocaron las botellas sobre la mesa de madera, en este caso sobre la plancha de zinc y se las expuso al aire libre durante 48 h a que reciban radiación solar.

#### **Sistema 2: filtro de arena y plástico negro.**

Para la aplicación del segundo sistema, se siguió el procedimiento:

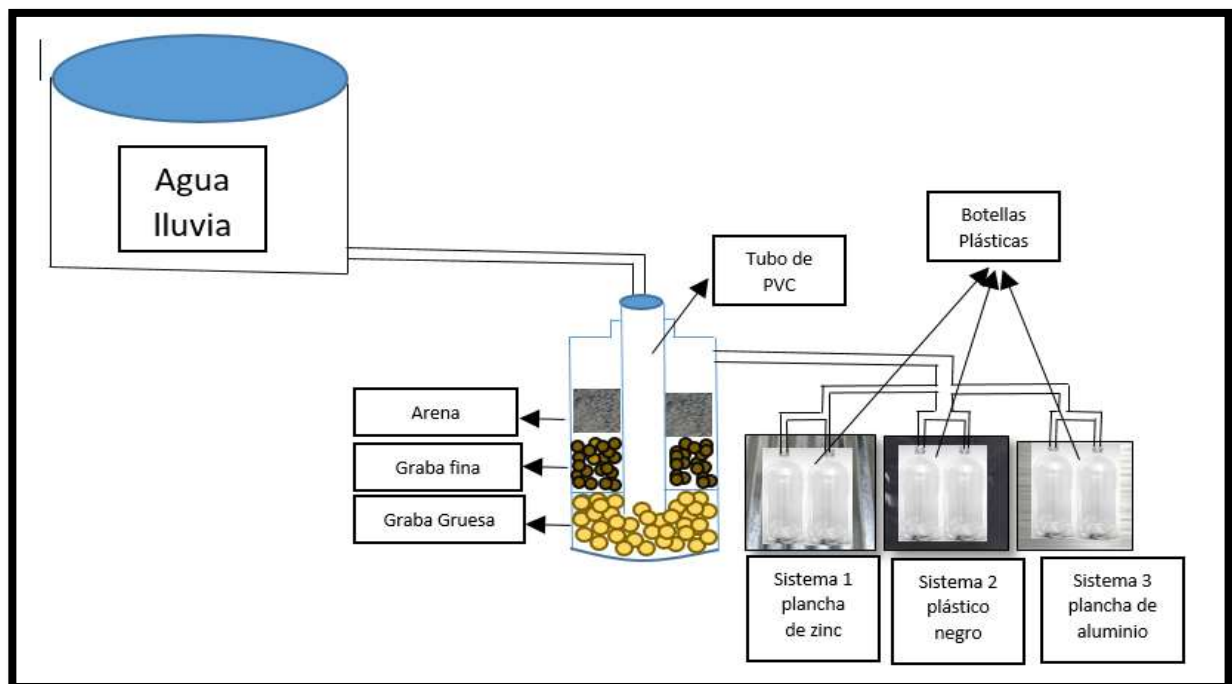
1. Se llenaron dos botellas de plástico PET de un litro con el agua lluvia pasada por el

filtro de arena, verificando que se encontraban bien aseguradas para evitar derrames.

2. Se colocaron las botellas sobre la mesa de madera, en este caso sobre el plástico negro extendido y se las expuso al expuso al aire libre durante 48 h a que reciban radiación solar.

### Sistema 3: filtro de arena y plancha de papel aluminio.

3. Se llenaron dos botellas de plástico PET de un litro con el agua lluvia pasada por el filtro de arena, verificando que se encontraban bien aseguradas para evitar derrames.
4. Se colocaron las botellas sobre la mesa de madera, en este caso sobre la plancha de papel aluminio y se las expuso al aire libre durante 48 h a que reciban radiación solar.



**Ilustración 11:** Diseño de los tres sistemas de tratamiento SODIS.

**FUENTE:** (Santos & Tirira, 2019)

Una vez transcurridas las 48 horas, se prosiguió al respectivo muestreo de cada uno de los sistemas y posteriormente se llevó las muestras al laboratorio para someterlas a análisis fisicoquímicos y microbiológicos con el mismo procedimiento mencionado en los puntos 3.2.2.2 y 3.3.2.3.

### **3.3.4. CRITERIOS METEOROLÓGICOS POR TOMAR**

Se realizó la recolección de datos históricos procedente de la página web del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) durante los días 26 y 27 de noviembre. Se tomaron en cuenta los siguientes parámetros:

- Registro de temperatura
- Índices de la radiación UV.

En la página web de la Corporación para la Investigación Energética (CIE) se recolectaron los datos de radiación solar en  $W/m^2$  de los días mencionados anteriormente.

En la página web de la NASA se recolectaron los datos históricos con respecto las medias de radiación solar en la comunidad San ramón en 30 años.

### **3.3.5. EVALUACIÓN DE LOS SISTEMAS APLICADOS AL MÉTODO SODIS.**

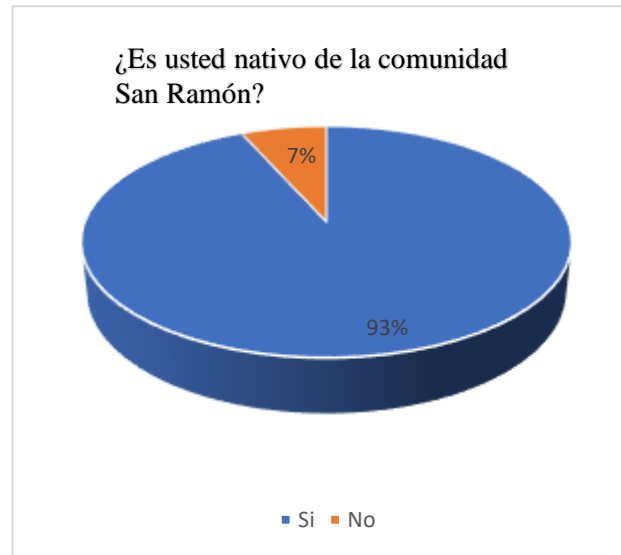
Los resultados del laboratorio fueron evaluados de una manera comparativa entre los diferentes sistemas tomando en cuenta que se cumplan con los criterios de agua para consumo humano según están establecidos en la norma NTE INEN 1108(2014) y así determinar cuál de los tres sistemas es el más favorable para aplicarlo en la comunidad.

Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) en el software MICROSOFT EXCEL, mediante el cual se pudo comparar la varianza de los resultados obtenidos de dos replicas en cada uno de los tratamientos y se mostraron las medias de cada uno.

## CAPÍTULO IV.

### 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

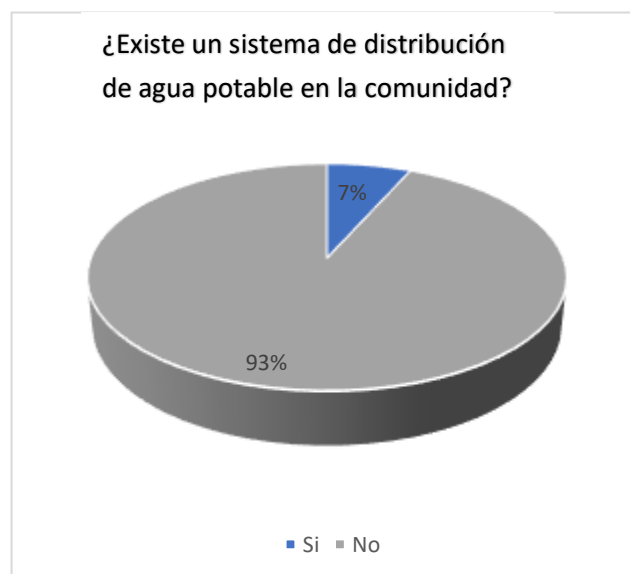
#### 4.1. RESULTADOS DEL LEVANTAMIENTO DE LINEA BASE



**Gráfico 1:** Resultados encuesta pregunta 1

**FUENTE:** (Santos & Tirira, 2019)

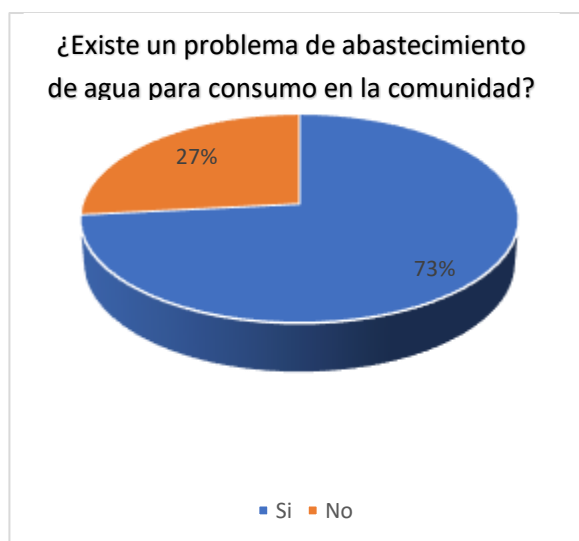
De acuerdo con los encuestados el 7% no era nativo de la comunidad San Ramón y el 93% si era nativo de la comunidad San Ramón.



**Gráfico 2:** Resultados encuesta pregunta 2

**FUENTE:** (Santos & Tirira, 2019)

De acuerdo con los encuestados, el 7% dijo si existe un sistema de distribución de agua en la comunidad San Ramón, asegurando que en el sector existía una captación que abastecía a la comunidad, pero el sistema tuvo fallas y dejó de funcionar hace algunos años, mientras que el 93% dijo que no existe y se mantienen con el consumo de agua lluvia.



**Gráfico 3:** Resultados encuesta pregunta 3

**FUENTE:** (Santos & Tirira, 2019)

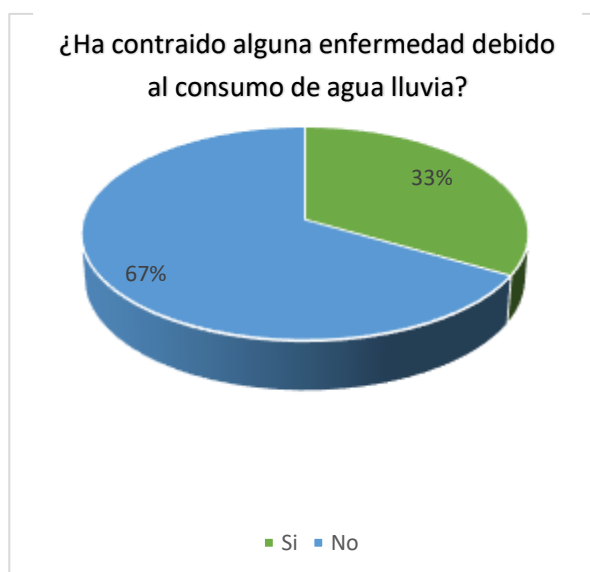
De acuerdo con los encuestados, el 27% dijo que el abastecimiento de agua para consumo es un problema en la comunidad San Ramón debido que en épocas de sequía muchas veces se quedan sin líquido vital y tienen que esperar a que llueva para abastecerse, mientras que el 73% dijo que no es un problema ya que tienen tanques de almacenamiento de agua lluvia los cuales suministran de agua a las familias en épocas secas.



**Gráfico 4:** Resultados encuesta pregunta 4

**FUENTE:** (Santos & Tirira, 2019)

De acuerdo con los encuestados, el 7% no poseía tanque de almacenamiento de agua lluvia, mientras que el 93% sí posee aseverando que es la única manera de obtener y almacenar agua en la comunidad.



**Gráfico 5:** Resultados encuesta pregunta 5

**FUENTE:** (Santos & Tirira, 2019)

Casos de ETAS reportados a nivel nacional Ecuador 2016 – 2019*				
Evento	2016	2017	2018	2019*
Otras intoxicaciones alimentarias bacterianas	11757	11861	15439	11855
Hepatitis A	3435	3499	4126	4224
Infecciones debidas a Salmonella	1858	2063	2680	1546
Fiebre tifoidea y paratifoidea	1230	1659	1476	1059
Shigelosis	595	560	386	238
Cólera**	1	1**	0	2**

**Ilustración 12:** Casos de ETAS reportados a nivel nacional Ecuador 2016-2019

**FUENTE:** (MSP, 2019)

De acuerdo con los encuestados, el 33% dijo que si ha contraído alguna enfermedad por el consumo de agua lluvia, enfermedades como diarrea, vómito, y fiebre, sobre todo en niños, mientras que el 67% dijo que no ha contraído alguna enfermedad asociada al consumo de agua lluvia



**Gráfico 6:** Resultados encuesta pregunta 6

**FUENTE:** (Santos & Tirira, 2019)

De acuerdo con los encuestados, el 20% conocía acerca del método SODIS dado que en años anteriores ya se dio un proyecto como este en el sector, pero por una falta de seguimiento y constancia en la comunidad las personas dejaron de utilizar, mientras que el 80% no conocía acerca del método SODIS aseverando que en ocasiones anteriores no fueron bien capacitados.



**Gráfico 7:** Resultados encuesta pregunta 7

**FUENTE:** (Santos & Tirira, 2019)

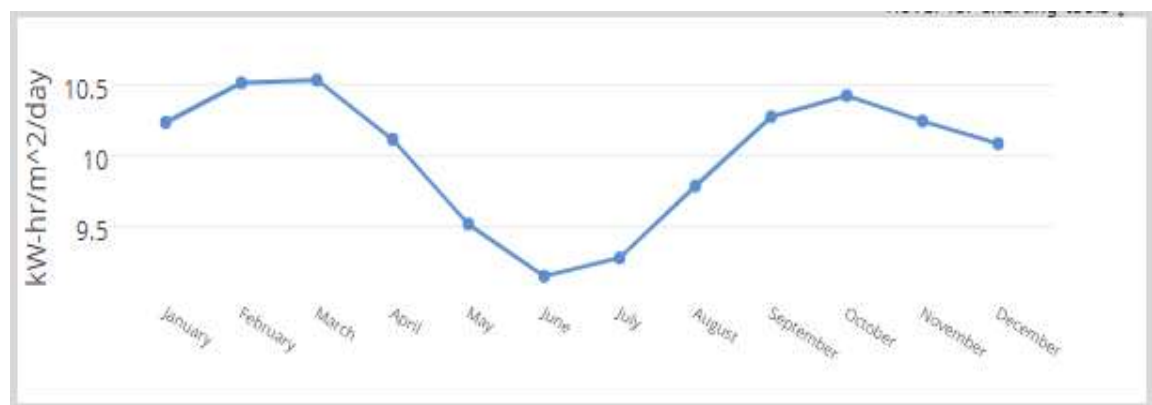
De acuerdo con los encuestados, el 20% creía que no es necesario aplicar un sistema para la desinfección del agua en la comunidad San Ramón debido a que este método no desinfecta gran cantidad de agua además que lo vieron como una pérdida de tiempo, mientras que el 80% afirmó que si estaría dispuesta a implementar el sistema después que se den a conocer los resultados de la eficiencia del método

## 4.2. RESULTADOS DE LOS CRITERIOS METEOROLÓGICOS.

**Tabla 2:** Tabla de medias de radiación solar en la comunidad San ramón en 30 años según la NASA.

Media mensual de los 30 años.	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	
kW Hrs/m2Día	10,24	10,52	10,54	10,12	9,52	9,15	
W/m2 Hrs	853,3	876,7	878,3	843,3	793,3	762,5	
	Julio	Agost	Septiemb	Octubr	Noviemb	Diciemb	P 30 Años
kW Hrs/m2 Día	9,28	9,79	10,28	10,43	10,25	10,09	10,2
W/m2 Hrs	773,3	815,8	856,7	869,2	854,2	908,3	850

**FUENTE:** (Visor de acceso a datos POWER, s. f.)



**Gráfico 8:** Radiación media mensual de 30 años en la zona.

**FUENTE:** (Visor de acceso a datos POWER, s. f.)



**Tabla 3:** Temperatura, Índice UV y Radiación solar de los días en lo que se aplicó el método SODIS

	8:00 AM		12:00 PM		15:00pm	
	26 Nov 2019	27 Nov 2019	26 Nov 2019	27 Nov 2019	26 Nov 2019	27 Nov 2019
<b>TEMPERATURA °C</b>	20	17	32	29	22	20
<b>INDICE UV</b>	5	2	12	10	5	3
<b>RADIACION SOLAR W/m2</b>	746,875	737,5	768,75	762,5	746,875	743,75

FUENTE: (Inamhi)

A partir de los datos obtenidos en la Tabla 2 se observó que estos datos guardan relación con lo que sostiene (Canteras et al., 1999) que con una radiación solar comprendida entre 510 y 830 W/m<sup>2</sup> es una radiación propicia para la eliminación mínima de 40% de microorganismos llegando a eliminar hasta en un 98% la bacteria patógena E.coli, la misma que ayudada del gráfico 8 demuestra que en el la comunidad de San Ramón se puede llevar a cabo este proyecto, todos los meses del año.

**Tabla 4:** Temperatura del agua de los tres sistemas en los días que se aplicó el método SODIS

	8:00 AM		12:00 PM		15:00pm	
	26 Nov 2019	27 Nov 2019	26 Nov 2019	27 Nov 2019	26 Nov 2019	27 Nov 2019
<b>TEMPERATURA °C AGUA PLANCHA DE ZINC</b>	21	17	43	41	37	34
<b>TEMPERATURA °C AGUA PLANCHA DE ALUMINIO</b>	20	17	36	34	29	28
<b>TEMPERATURA °C AGUA PLASTICO NEGRO</b>	20	17	39	38	36	34

FUENTE: (Santos &amp; Tirira, 2019)

Como se pudo apreciar en la tabla 4 en las mañanas las temperaturas no variaron a diferencia del medio día que la radiación es más directa y empezó a calentar los sistemas llegando así el sistema el zinc a obtener los mejores resultados con una temperatura de agua en botella de 43°C y 41°C a día seguido aunque estas temperaturas no son suficientes para la eliminación de los microorganismos están muy cerca de lo que afirma (Bermudes Peñafiel, 2015) que no necesariamente debe hervir para matar el 99.9% de los microorganismos, por lo tanto, el calentamiento del agua a 50-60°C durante una hora tiene el mismo efecto desinfectante.

**Tabla 5:** Absortividad de los materiales de los sistemas SODIS

MATERIAL	ABSORTIVIDAD
ALUMINIO	0,10
ZINC	0,55
PLÁSTICO NEGRO	0,97

FUENTE: (Arguello & Velasco, 2015), (Fernández, 1992)

### 4.3. RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO

De acuerdo con el análisis de la calidad física química y microbiológica del agua lluvia utilizando tres sistemas de tratamiento para la desinfección de agua San Ramón, se evaluó en el análisis físico químico los siguientes parámetros: pH, Temperatura, Color, conductividad, y sólidos totales así como en los análisis microbiológicos la presencia de: Bacterias, *Escherichia Coli*, Coliformes Totales, y Mesófilos Totales, se comparan los resultados obtenidos de cada indicador con relación a los criterios de calidad admisibles para la destinación al empleo humano y doméstico con las características para la calidad del agua para consumo.

#### 4.3.1. ANALISIS FISICOQUÍMICO DE LOS SISTEMAS.

##### 4.3.1.2. ANÁLISIS FISICO QUÍMICO DEL SISTEMA DE LÁMINA DE ZINC.

**Tabla 6:** Tabla de resultados del análisis fisicoquímico utilizando el sistema de lámina de zinc.

	M. Inicial	Zinc	Efectividad del sistema (%)	Variación	LMP (097-A)	L.M.P (NTE INEN 1108:2014)
pH	7,13	7,41	----	0,28	6—9	No registra
Turbidez (NTU)	0,8	0,37	46,25	0,43	100	5
Sólidos Totales (mg/l)	0,013	0	100	0,013	1000	No registra
Conductividad(uS/cm)	6,5	10,7	60,75	4,2	1500	No registra

FUENTE: (Santos & Tirira, 2019)

### 4.3.1.2. ANÁLISIS FISICOQUÍMICO DEL SISTEMA DE LÁMINA DE ALUMINIO

**Tabla 7:** Tabla de resultados del análisis fisicoquímico utilizando el sistema de lámina de aluminio.

	<b>M. Inicial</b>	<b>Aluminio</b>	<b>Efectividad del sistema (%)</b>	<b>Variación</b>	<b>LMP (097-A)</b>	<b>L.M.P (NTE INEN 1108:2014)</b>
<b>pH</b>	7,13	6,68	----	0,45	6—9	No registra
<b>Turbidez (NTU)</b>	0,8	0,29	36,25	0,51	100	5
<b>Sólidos Totales (mg/l)</b>	0,013	0	100	0,013	1000	No registra
<b>Conductividad(uS/cm)</b>	6,5	10,4	62,50	3,9	1500	No registra

FUENTE: (Santos & Tirira, 2019)

### 4.3.1.3. ANÁLISIS FISICOQUÍMICO DEL SISTEMA DE PLÁSTICO NEGRO

**Tabla 8:** Resultados del análisis microbiológico utilizando el sistema de la lámina de plástico negro.

	<b>M. Inicial</b>	<b>Plástico Negro</b>	<b>Efectividad del sistema (%)</b>	<b>Variación</b>	<b>LMP (097-A)</b>	<b>L.M.P (NTE INEN 1108:2014)</b>
<b>pH</b>	7,13	6,92	----	0,21	6—9	No registra
<b>Turbidez (NTU)</b>	0,8	0,34	42,5	0,46	100	5
<b>Sólidos Totales (mg/l)</b>	0,013	0,005	100	0,008	1000	No registra
<b>Conductividad(uS/cm)</b>	6,5	10,4	62,50	3,9	1500	No registra

FUENTE: (Santos & Tirira, 2019)

Como se pudo apreciar en las tablas 6, 7 y 8, los tres sistemas cumplen con los parámetros de los límites máximos permisibles, esto se debe a que en los tres sistemas las aguas tuvieron un pretratamiento con el filtro de arena los cuales llevaron a que se disminuya la carga de sólidos totales y de turbiedad en el proceso de filtrado.

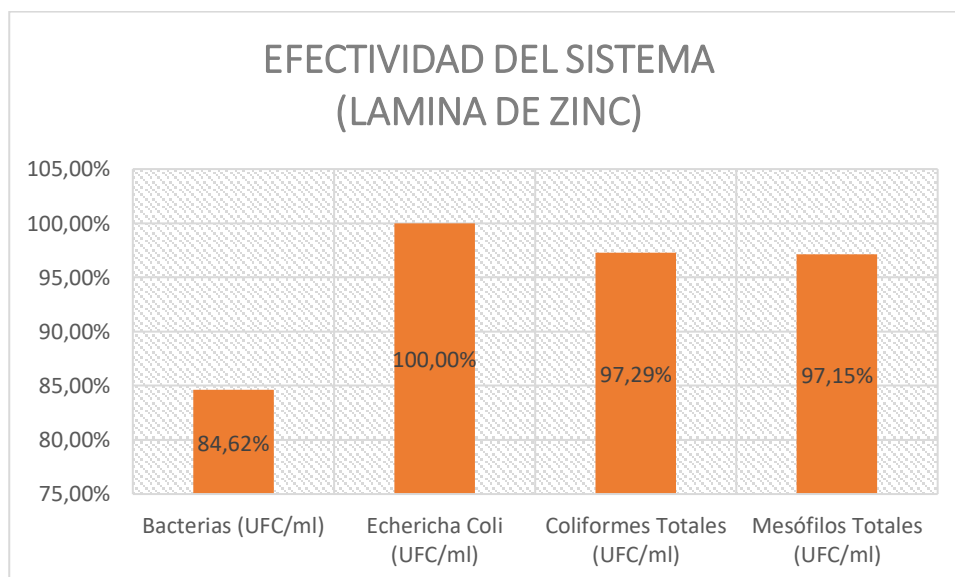
## 4.3.2 ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DE LOS SISTEMAS

### 4.3.2.1. ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DEL SISTEMA DE LÁMINA DE ZINC

**Tabla 9:** Tabla de resultados del análisis microbiológico utilizando el sistema de la lámina de Zinc.

	M. Inicial	Lámina de Zinc	Efectividad del Sistema (%)	Variación
<b>Bacterias (UFC/ml)</b>	520	80	84,62	440
<b>Escherichia Coli (UFC/ml)</b>	200	0	100,00	200
<b>Coliformes Totales (UFC/ml)</b>	39920	1080	97,29	38840
<b>Mesófilos Totales (UFC/ml)</b>	40640	1160	97,15	39480

FUENTE: (Santos & Tirira, 2019)



**Gráfico 9:** Efectividad del sistema de lámina de zinc en la eliminación de microorganismos.

FUENTE: (Santos & Tirira, 2019)

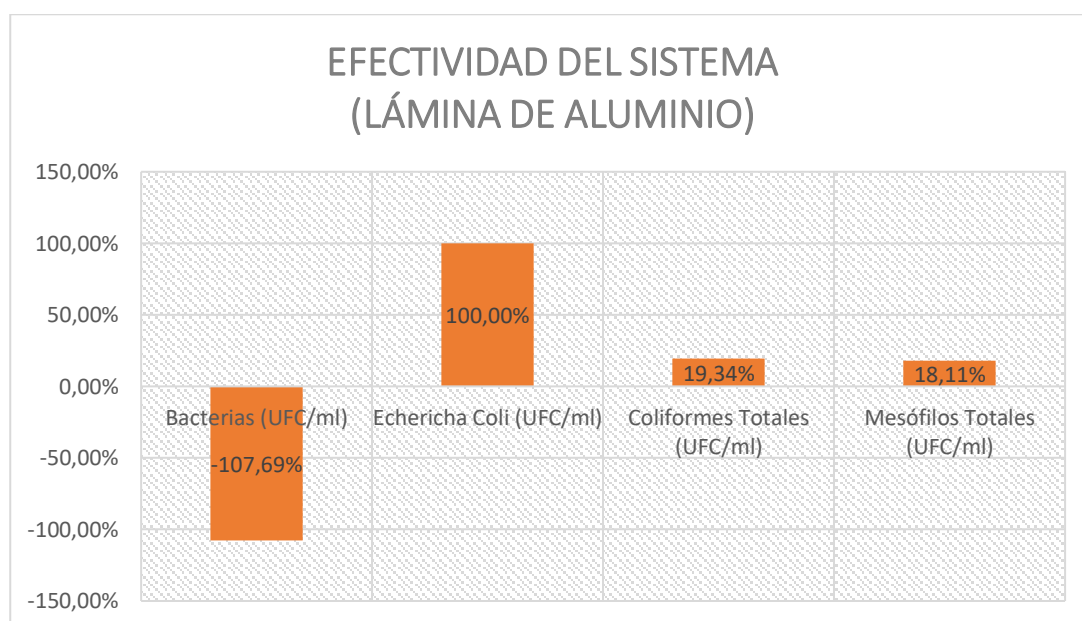
Los porcentajes de eliminación de microorganismos utilizando el sistema de láminas de zinc fue muy alto como se muestra en el gráfico 9, resaltando que la mayoría de los resultados fueron mayores al 80%.

### 4.3.2.2. ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DEL SISTEMA DE LÁMINA DE ALUMINIO

**Tabla 8:** Tabla de resultados del análisis microbiológico utilizando el sistema de la lámina de aluminio.

	M. Inicial	Lámina de Aluminio	Porcentaje de Remoción (%)	Variación
<b>Bacterias (UFC)</b>	520	1080	-107,69	-560
<b>Echericha Coli (UFC)</b>	200	0	100,00	200
<b>Coliformes Totales (UFC)</b>	39920	32200	19,34	7720
<b>Mesófilos Totales (UFC)</b>	<b>40640</b>	<b>33280</b>	<b>18,11</b>	<b>7360</b>

FUENTE: (Santos & Tirira, 2019)



**Gráfico 10:** Efectividad del sistema de lámina de aluminio en la eliminación de microorganismos.

FUENTE: (Santos & Tirira, 2019)

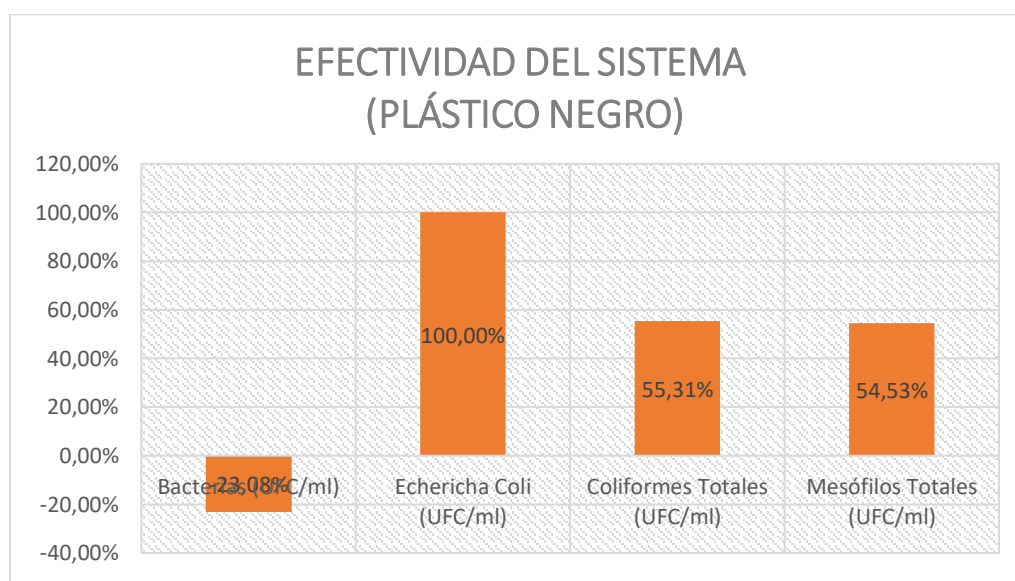
La efectividad del modelo SODIS en sistema de láminas de aluminio no tuvo efectividad como se muestra en la el gráfico 10 , puesto a que se genera un incremento de 107% de bacterias. Esto nos quizo decir que las bacterias encontraron un medio en cual duplicarse en el lapso de 48h

### 4.3.2.3. ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DEL SISTEMA DE PLÁSTICO NEGRO

**Tabla 9:** Tabla de resultados del análisis microbiológico utilizando el sistema de plástico negro.

	M. Inicial	Plástico Negro	Porcentaje de Remocion (%)	Variación
<b>Bacterias (UFC)</b>	520	640	-23,08	-120
<b>Echericha Coli (UFC)</b>	200	0	100,00	200
<b>Coliformes Totales (UFC)</b>	39920	17840	55,31	22080
<b>Mesófilis Totales (UFC)</b>	<b>40640</b>	<b>18480</b>	<b>54,53</b>	<b>22160</b>

FUENTE: (Santos & Tirira, 2019)

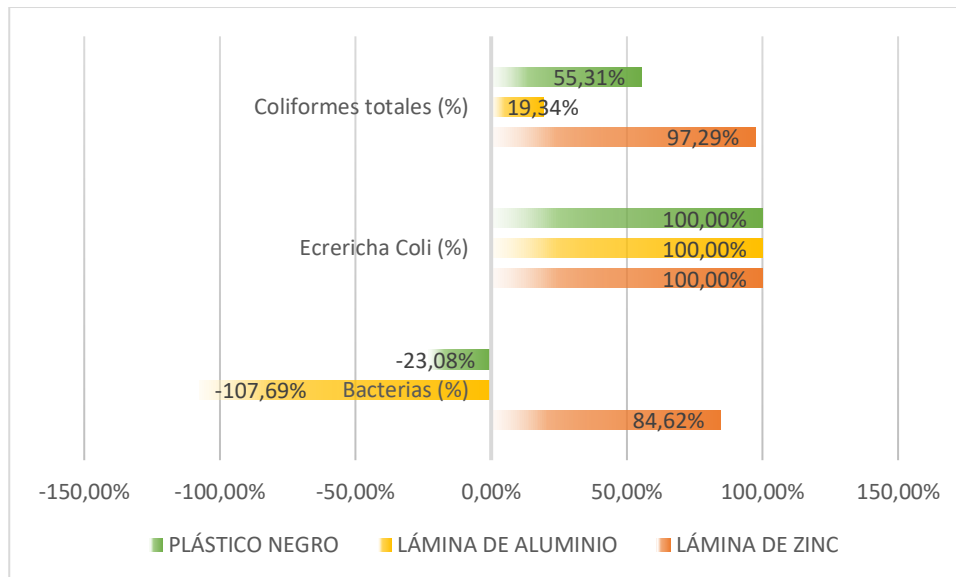


**Gráfico 11:** Efectividad del sistema plástico negro en la eliminación de microorganismos.

FUENTE: (Santos & Tirira, 2019)

La efectividad de este sistema se vio opacada por la incapacidad de este para la eliminación de bacterias como se observó en el gráfico 11 obteniendo porcentajes de eliminación de -23,08% siendo este también un medio de reproducción de bacterias en 48h, a pesar de obtener buenos resultados en la eliminación llegando a eliminar en un 100% de *Eschericha Coli* y un 54% de los coliformes totales observadas en la muestra de agua inicial como se pudo apreciar en la tabla 9.

#### 4.4 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.



**Gráfico 12:** Comparación de resultados de efectividad de los sistemas en el análisis microbiológico.

FUENTE: (Santos & Tirira, 2019)

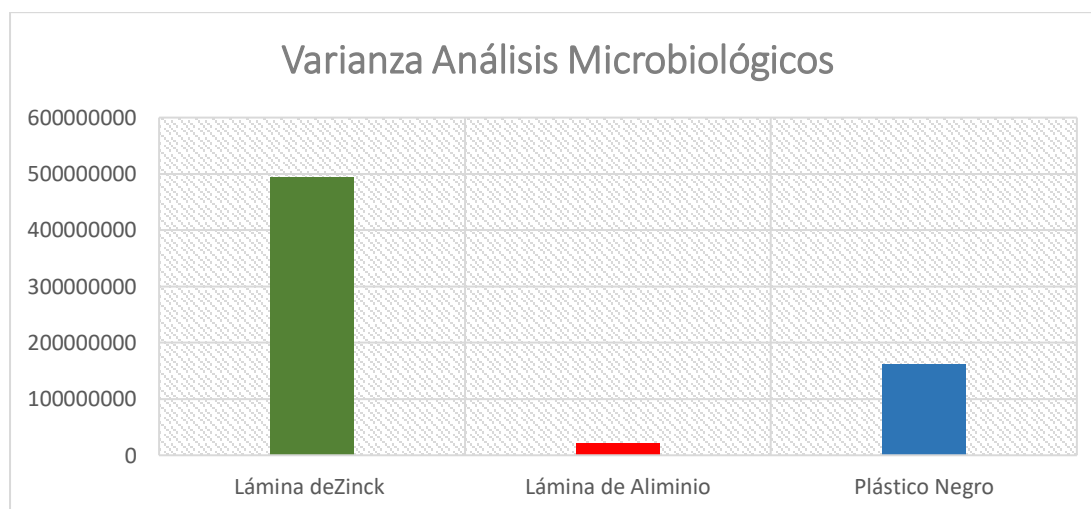
Como se observó en el gráfico 12, la efectividad de los tres sistemas en la eliminación de microorganismos estuvo marcada con una gran diferencia de superioridad del sistema implementado al método SODIS integrando láminas de zinc, que tuvo un porcentaje de eliminación de bacterias en un 84,62% a comparación de los otros dos sistemas que no lograron la eliminación de estas y al contrario sirvieron como medio de cultivo. En los tres sistemas la eliminación de *Escherichia Coli* fue satisfactoria con un 100% de efectividad, esta especie Bacteriana ha sido reportada en enfermedades infecciosas que involucran a los tejidos humanos. El contagio se lleva a cabo por medio de alimentos contaminados, agua y contacto personal, el principal hábitat de esta bacteria es la flora intestinal. En lo que se refiere a coliformes totales el plástico negro también tuvo un gran desempeño llegando a tener un 55.31% de eliminación, aunque muy por debajo del 97.29% obtenido por el sistema de láminas de zinc.

## 4.5 ANÁLISIS DE LA VARIANZA DE RESULTADOS.

**Tabla 10** Análisis de varianza de las medias de los tres sistemas.

ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
	101331160			946,31266		
Filas	0	2	506655800	3	0,00105562	19
				4,8815838		18,512820
Columnas	2613600	1	2613600	6	0,1577594	5
Error	1070800	2	535400			

**FUENTE:** (Santos & Tirira, 2019).



**Gráfico 13** Análisis de las varianzas de las medias de los tres sistemas.

**FUENTE:** (Santos & Tirira, 2019)

Después de analizar los datos de las dos replicas utilizadas para cada sistema por la prueba de ANOVA utilizando el programa de cálculo Excel, se pudo notar en la tabla 8 que el valor crítico para F es inferior a F concordando que las probabilidades son inferiores a 0,05 se pudo afirmar que la hipótesis alternativa es correcta además que existió una varianza de modas entre las réplicas de cada sistema, concordando así con la varianza de las medias observadas en el gráfico 14 en la cual los datos dieron como hipótesis alternativa la siguiente: Utilizando las láminas de zinc se obtuvo una mejor eliminación de microorganismos y las modas de sus réplicas siguieron siendo superiores a las de los demás sistemas.



## 4.6 DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.

A partir de los resultados obtenidos aceptamos la hipótesis general que establece que la aplicación de los sistemas de desinfección solar de agua (SODIS) es una herramienta útil para zonas rurales, y a su vez son simples y efectivos, estos resultados guardan relación con lo que sostiene (Infante et al., 2016) en “Evaluación del método “SODIS” en la desinfección del agua para uso doméstico en la comunidad de yanacoto, distrito de lurigancho-chosica” e (Islam et al., 2015) en “Effectiveness of solar disinfection (SODIS) in rural coastal Bangladesh” quienes señalan que el método SODIS es altamente efectivo en el uso de desinfección de agua en zonas rurales, estos (Santos & Tirira, 2019) expresan la eficiencia de SODIS en la eliminación de bacterias indicadoras y concentraciones de coliformes fecales y *E. coli*, ya que estas en las dos investigaciones se redujeron significativamente en las muestras de agua de estanques de lluvia de las cuales se tomaron las muestras iniciales y se aplicó el método, Islam afirma que las reducciones generales de coliformes fecales y *E. coli* fueron respectivamente del 89.7% y 95% mientras que Infante establece que en cuanto a los parámetros microbiológicos, SODIS redujo en un 100% la concentración de coliformes totales, ello es acorde con los resultados obtenidos en los tres sistemas de estudio de nuestra investigación.

Dado que SODIS es fácil de utilizar (de la Sala Monteros et al., 2018) en “Desinfección solar para abastecimiento de agua de consumo humano a nivel domiciliario” afirma que las familias en las zonas rurales un 60% prefiere salir al pueblo a comprar bidones de agua para el consumo, el otro por ciento prefiere desinfectar el agua por métodos como hervirla, teniendo una baja aceptación del proyecto en la zona de Pereira, al igual que (Islam et al., 2015), que afirma las razones de los pobladores se negaron a usarlo que fueron el 18% de la población fueron: la oposición al tratamiento en un (50%), dificultades de tratar la gran cantidad de agua requerida (39%) y la dificultad administrar el tiempo para el proceso de tratamiento (11%), similar a los resultados obtenidos en el levantamiento de línea base mediante la encuesta social en la cual un 20% de personas se negaron a implementar el sistema por cuestiones similares a la de los autores antes mencionados.

## CAPITULO V.

### 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 CONCLUSIONES.

- El método de Desinfección Solar de agua lluvia (SODIS), utilizando el sistema de filtro de arena y plancha de zinc, fue determinado como el más favorable para ser aplicado en la comunidad San Ramón debido a su eficacia para inactivar microorganismos causantes de enfermedades, principalmente Coliformes Fecales y *E.coli*.
- Se realizó una recolección de datos para línea base mediante una encuesta aplicada a la población, lo que determino que es favorable aplicar un sistema de desinfección de agua sencillo y accesible para los habitantes de la comunidad San Ramón.
- Los análisis del agua lluvia sin tratar de la comunidad de San Ramón mostraron una gran cantidad de microorganismos entre ellos la bacteria patógena *E.coli*, por tal motivo no cumplieron con los requisitos microbiológicos establecidos en las Normas de Agua Potable NTE INEN 1108 (2014)
- Después de haber aplicado los sistemas de desinfección en función al método SODIS, el agua evaluada por los análisis fisicoquímicos y microbiológicos presentó mejorías en su calidad, sorprendiendo la capacidad de eliminación de *E. Coli* por lo cual cumple con las normas de Agua Potable NTE INEN 1108 (2014).

#### 5.2. RECOMENDACIONES.

- Se recomienda a los pobladores de la comunidad que continúen aplicando el método SODIS, para disminuir los problemas y enfermedades, provocadas por el consumo de agua lluvia no tratada.
- Al cumplir con los objetivos planteados, se recomienda que el GADPR. 10 de agosto y la unidad de salud, formen campañas en la mejora de la calidad de vida de la comunidad para que se siga dando continuidad al proceso de filtración y la aplicación del sistema de láminas de zinc.

- Proponer al GADPR apoyo con los recursos necesarios para la aplicación de filtros ecológicos para la mejora del proceso de recolección de agua lluvia en esta y otras comunidades.
- Generalizar el método SODIS a otras comunidades y barrios aledaños para facilitar un mejor estilo de vida en las familias.

## CAPÍTULO VI

### 6. BIBLIOGRAFÍA

- Acuerdo-097*. (2015). <http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/05/Acuerdo-097.pdf>
- Alfárez, M. C. (2017). *KINETIC MODELLING OF THE ESCHERICHIA COLI INACTIVATION IN WATER BY SOLAR RADIATION: APPLICATIONS TO SODIS* [University of Almería].  
<https://www.educacion.gob.es/teseo/imprimirFicheroTesis.do?idFichero=Fb0oABYhUUK%3D>
- Arguello, D., & Velasco, F. (2015). *INVESTIGACIÓN, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN CALENTADOR SOLAR BIFACIAL CON CAPACIDAD DE CALENTAMIENTO DE AGUA DE 600 LITROS PARA EL LABORATORIO DE ENERGÍAS RENOVABLES* [Universidad de las Fuerzas Armadas].  
<http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/21000/11416/T-ESPE-049125.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Atlas Solar del Ecuador*. (s. f.). [por D. Alvarez]. Recuperado 5 de enero de 2020, de [https://www.academia.edu/20042023/Atlas\\_Solar\\_del\\_Ecuador](https://www.academia.edu/20042023/Atlas_Solar_del_Ecuador)
- Báez Ochoa, A. M., Crespo Linares, D. C., Corredor Rodríguez, J. L., & Barreto, A. (2017). *Renovar: Reutilización o reciclaje de las botellas de plástico*. Corporación Universitaria Minuto de Dios.
- Benavides, G., & Silvana, M. (2017). *Evaluación de la calidad de agua en sistemas familiares de geomembrana para almacenamiento de agua lluvia*.
- Bermudes Peñafiel, D. M. (2015). *Desinfección solar para abastecimiento de agua de consumo humano a nivel domiciliario en el sector de la Pereira, parroquia la Avanzada, cantón Santa Rosa, provincia de El Oro*.

- Bhavnani, D., Bayas, R. de los Á., Lopez, V. K., Zhang, L., Trueba, G., Foxman, B., Marrs, C., Cevallos, W., & Heisenberg, J. N. S. (2016). *Distribution of Enteroinvasive and Enterotoxigenic Escherichia coli across Space and Time in Northwestern Ecuador*. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4751959/>
- Bourgeois, A. L., Wierzba, T. F., & Walker, R. I. (2016). Status of vaccine research and development for enterotoxigenic Escherichia coli. *Vaccine*, 34(26), 2880-2886. <https://doi.org/10.1016/j.vaccine.2016.02.076>
- Bruno, L., & Vicente, V. (2018). *Las enfermedades por el consumo de aguas no tratadas en el desempeño escolar*. Universidad de Guayaquil. Facultad de Filosofía, Letras y Ciencias de la ....
- Canteras, J. C., Pérez, L., León, P., & Lorda, T. (1999). Efecto de la radiación luminosa en la desaparición de Escherichia coli (T90) en medio acuático. Estudio experimental. *Ingeniería del agua*, 6(3), 269-274.
- Carrillo P., I., Zambrano Ruilova, Á., Árias, V. H., & Endara, A. (1970). Promoción del método de purificación de agua para uso doméstico, en la comunidad de La Tola del GADIP de Cayambe. *Economía y Negocios*, 7(2), 47. <https://doi.org/10.29019/eyn.v7i2.174>
- Contreras Lozano, K. P., Mendoza, J., Aguas, Y., Salcedo Mendoza, G., Olivero Verbel, R., & Mendoza Ortega, G. P. (2015). El Nopal (Opuntia ficus-indica) como coagulante natural complementario en la clarificación de agua. *Producción+ Limpia*, 10(1), 40-50.
- da Silva, N. C., & Gomes, M. C. R. L. (2016). *Water treatment with SODIS for riverine Communities*.

- de la Sala Monteros, C. S., Espinoza, J., Campuzano, F., & Oyola, J. (2018). Desinfección solar para abastecimiento de agua de consumo humano a nivel domiciliario. *Conference Proceedings*, 2.
- Delgado, M. M., García, A. H., Hormigo, A. F., de la Torre, A. H., & Marante, R. A. (1992). Análisis microbiológico y fisicoquímico del agua de piscinas de la isla de Tenerife. *Revista de Sanidad e Higiene pública*, 66(1), 281-289.
- Fernández, P. (1992). PRINCIPIOS BÁSICOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR. En *INGENIERÍA TÉRMICA Y DE FLUIDOS*. Servicio de Publicaciones de la Escuela T. Superior de Ingenieros Industriales y de Telecomunicación.  
<http://files.pfernandezdiez.es/IngenieriaTermica/Teoria/PDFs/01.pdf>
- Ganfornina, Pinto. (2012, julio 6). *Medidas directas en aguas con técnicas electroanalíticas. Calibración del pH-metro y del conductímetro*. <http://hdl.handle.net/10498/14816>
- INAMHI Monitor UV. (s. f.). Recuperado 5 de enero de 2020, de <http://186.42.174.236/IndiceUV2/>
- Infante, H. C., Chumacero, V. F., & Huaranga, M. C. (2016). Evaluación del método “sodis” en la desinfección del agua para uso doméstico en la comunidad de yanacoto, distrito de lurigancho-chosica. *Revista de Investigación Ciencia, Tecnología y Desarrollo*, 2(2). <https://revistas.upeu.edu.pe/index.php/RICTD/article/view/451>
- Islam, M., Azad, A. K., Akber, M., Rahman, M., & Sadhu, I. (2015). Effectiveness of solar disinfection (SODIS) in rural coastal Bangladesh. *Journal of water and health*, 13(4), 1113-1122.
- Levy, K., Nelson, K. L., Hubbard, A., & Eisenberg, J. N. S. (2012). *Rethinking indicators of microbial drinking water quality for health studies in tropical developing countries: Case study in northern coastal Ecuador*. - PubMed—NCBI.  
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22403326>

- Mamani, E. J., Alcon, M., Alejo, T., García, F., Moscoso, G., Pérez, M., Pinto, M., Rendón, N., Revilla, F., & Salazar, G. (2018). Ph del agua potable que consumen estudiantes del segundo año de la Carrera de Medicina, Universidad Mayor de San Andres gestion 2017. *Cuadernos Hospital de Clínicas*, 59(2), 34-37.
- Marín, J. A. G., González, C. del V. V., & Mata, N. J. M. (2018). Evaluación de la calidad del agua superficial utilizando el índice de calidad del agua (ICA). Caso de estudio: Cuenca del Río Guarapiche, Monagas, Venezuela. *Anales Científicos*, 79, 111-119.
- McGuigan, K. G., Joyce, T. M., Conroy, R. M., Gillespie, J. B., & Elmore-Meegan, M. (1998). Solar disinfection of drinking water contained in transparent plastic bottles: Characterizing the bacterial inactivation process. *Journal of Applied Microbiology*, 84(6), 1138-1148. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2672.1998.00455.x>
- MINISTERIO DE SALUD PUBLICA. (2019). *ENFERMEDADES TRANSMITIDAS POR AGUA Y ALIMENTOS ECUADOR*. <https://www.salud.gob.ec/wp-content/uploads/2020/01/ETAS-SE-50.pdf>
- Molina-Vera, A., Pozo, M., & Serrano, J. C. (2018). *Agua, saneamiento e higiene: Medición de los ODS en Ecuador*. h2ostudio. [https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Bibliotecas/Libros/AGUA,\\_SANEAMIENTO\\_e\\_HIGIENE.pdf](https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Bibliotecas/Libros/AGUA,_SANEAMIENTO_e_HIGIENE.pdf)
- Morales, A. (2007). *Evaluación de cambios microbiológicos, pH, actividad de agua y color de tallarines instantáneos con vegetales y sabor a pollo bajo temperatura de deterioro acelerado*. Zamorano: Escuela Agrícola Panamericana-2012.
- NTE-INEN-1105-AGUAS.-MUESTREO-PARA-EXAMEN-MICROBIOLÓGICO.pdf*. (s. f.). Recuperado 12 de diciembre de 2019, de <http://www.trabajo.gob.ec/wp-content/uploads/2012/10/NTE-INEN-1105-AGUAS.-MUESTREO-PARA-EXAMEN-MICROBIOL%C3%93GICO.pdf>

*NTE-INEN-2169-AGUA.-CALIDAD-DEL-AGUA.-MUESTREO.-MANEJO-Y-*

*CONSERVACIÓN-DE-MUESTRAS.pdf*. (s. f.). Recuperado 12 de diciembre de 2019, de <http://www.trabajo.gob.ec/wp-content/uploads/2012/10/NTE-INEN-2169-AGUA.-CALIDAD-DEL-AGUA.-MUESTREO.-MANEJO-Y-CONSERVACION-DE-MUESTRAS.pdf>

*NTE-INEN-2176-AGUA.-CALIDAD-DEL-AGUA.-MUESTREO.-TÉCNICAS-DE-*

*MUESTREO.pdf*. (s. f.). Recuperado 3 de febrero de 2020, de <http://www.trabajo.gob.ec/wp-content/uploads/2012/10/NTE-INEN-2176-AGUA.-CALIDAD-DEL-AGUA.-MUESTREO.-TECNICAS-DE-MUESTREO.pdf>

OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS. (2012). *Turbidímetro portátil autónomo*. <https://digital.csic.es/bitstream/10261/60045/1/ES2383386A1.pdf>

OPS/OMS Ecuador. (2018, marzo 22). *OPS/OMS Ecuador—En el Día Mundial del Agua se buscan soluciones para el agua basadas en la naturaleza* | OPS/OMS. Pan American Health Organization / World Health Organization.

[https://www.paho.org/ecu/index.php?option=com\\_content&view=article&id=2006:en-el-dia-mundial-del-agua-se-buscan-soluciones-para-el-agua-basadas-en-la-naturaleza&Itemid=360](https://www.paho.org/ecu/index.php?option=com_content&view=article&id=2006:en-el-dia-mundial-del-agua-se-buscan-soluciones-para-el-agua-basadas-en-la-naturaleza&Itemid=360)

Organización Panamericana de la Salud. (2005). *MANUAL DE MANTENIMIENTO PARA EQUIPO DE LABORATORIO*. Nuevo Arte.

[http://www.exactas.unlp.edu.ar/uploads/docs/manual\\_de\\_mantenimiento.pdf](http://www.exactas.unlp.edu.ar/uploads/docs/manual_de_mantenimiento.pdf)


*PDOT-PARROQUIA-10-DE-AUGUSTO-2015-2019.pdf*. (s. f.). Recuperado 15 de octubre de 2019, de <https://odsterritorioecuador.ec/wp-content/uploads/2019/04/PDOT-PARROQUIA-10-DE-AUGUSTO-2015-2019.pdf>



- Sigler, W. A., & Bauder, J. (2017). Alcalinidad, pH y sólidos disueltos totales. *Recuperado de: [http://region8water.colostate.edu/PDFs/we\\_espanol/Alkalinity\\_pH\\_TDS](http://region8water.colostate.edu/PDFs/we_espanol/Alkalinity_pH_TDS)*, 202012-11.
- Tatiana, V. F., & Geovana, V. C. L. (2014). *CLASIFICACION DE LOS MICROORGANISMOS*. 5.
- Trenberth, K. E., & Stepaniak, D. P. (2004). The flow of energy through the earth's climate system. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 130(603), 2677-2701. <https://doi.org/10.1256/qj.04.83>
- UNICEF, WHO. (2017). *Safely managed drinking water—Thematic report on drinking water 2017*.
- Visor de acceso a datos POWER. (s. f.). Recuperado 27 de enero de 2020, de <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>
- W.E.F. American Public Health Association (APHA). (2017). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (23rd edition). American Water Works Association (AWWA).
- WHO media centre. (2016). *Drinking-water*. Drinking-Water. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>
- Zambrano, J., & Fabricio, E. (2018). *Análisis de la producción de marca de agua Dasani, envasado en botellas plásticas, contaminando el medio ambiente*. <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/12616>

# CAPÍTULO VII

## 7. ANEXOS

UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA VIDA INGENIERIA AMBIENTAL				
Fecha: _____	Encuesta N°: _____			
Nombre del encuestador: _____				
Preguntas:				
1. ¿Es usted nativo de la comunidad San Ramón?				
_____				
_____				
_____				
2. ¿Existe un sistema de distribución de agua en la comunidad?		<table border="1"><tr><td>Si</td><td>No</td></tr></table>	Si	No
Si	No			
3. ¿Cree usted que el abastecimiento de agua para consumo es un problema en la comunidad?				
4. ¿Posee usted un tanque de almacenamiento de agua Lluvia?				
5. ¿Ha contraído alguna enfermedad debido al consumo de agua?		<table border="1"><tr><td>Si</td><td>No</td></tr></table>	Si	No
Si	No			
6. ¿Conoce usted acerca del Método SODIS para la desinfección del agua?		<table border="1"><tr><td>Si</td><td>No</td></tr></table>	Si	No
Si	No			
7. ¿Estaría dispuesto a implementar el sistema de método SODIS en su hogar?		<table border="1"><tr><td>Si</td><td>No</td></tr></table>	Si	No
Si	No			
¿Por qué?				
_____				
_____				
_____				
Gracias por su participación.]				

Anexo 1: Encuesta social para los moradores de la comunidad.

FUENTE: (Santos & Tirira, 2019)



Anexo 2: Visualizador de datos de índice UV-inamhi

FUENTE: (INAMHI Monitor UV, s. f.)

```

-BEGIN HEADER-
NASA/POWER SRB/FLASHFlux/MERRA2/ 0.5 x 0.5 Degree Climatologies
22-year Additional Solar Parameter Monthly & Annual Climatologies (July 1983 - June 2005), 30-year Meteorological and Solar Monthly & Annual Climatologies (January 1984 - December 2013)
Location: Latitude -1.4217 Longitude -77.8297
Elevation from MERRA-2: Average for 1/2x1/2 degree lat/lon region = 1230.15 meters Site = na
Climate zone: na (reference Briggs et al: http://www.energycodes.gov)
Value for missing model data cannot be computed or out of model availability range: -999
Parameter(s):
DIFF_MIN SRB/FLASHFlux 1/2x1/2 Minimum Diffuse Radiation On A Horizontal Surface (kWhr/m²/day)
ALLSKY_TOA_SW_DWN SRB/FLASHFlux 1/2x1/2 Top-of-atmosphere Insolation (kWhr/m²/day)
PARAMETER JAN FEB MAR APR MAY JUN JUL AUG SEP OCT NOV DEC ANN
-END HEADER-
ALLSKY_TOA_SW_DWN 10.24 10.52 10.54 10.12 9.52 9.15 9.28 9.79 10.28 10.43 10.25 10.09 10.02
DIFF_MIN 2.17 2.29 2.33 2.21 2.03 1.93 1.97 2.11 2.28 2.25 2.18 2.10 2.15

```

Anexo 3: Datos obtenidos en los últimos 30 años de incidencia de radiación solar según el satélite de la NASA.

FUENTE: (Visor de acceso a datos POWER, s. f.)(Atlas Solar del Ecuador, s. f.)



Anexo 4: sistemas del método SODIS implantados en la comunidad

**FUENTE:** (Santos & Tirira, 2019)



Anexo 5: Transporte de las botellas para su posterior muestreo.

**FUENTE:** (Santos & Tirira, 2019)



Anexo 6: Muestras de agua en frascos ámbar listas para el análisis en el laboratorio.

**FUENTE:** (Santos & Tirira, 2019)



Anexo 7: Análisis microbiológico (siembra de microorganismos en cajas Petri)



Anexo 8: Análisis fisicoquímico en los laboratorios de la universidad (solidos totales)

FUENTE: (Santos & Tirira, 2019)



Anexo 9: Almacenamiento de muestras de agua tratada con SODIS.

**FUENTE:** (Santos & Tirira, 2019)



Anexo 10: Botellas después de haber sido expuestas al aire libre durante 48 h a que reciban radiación solar.

**FUENTE:** (Santos & Tirira, 2019)



Anexo 11: Análisis fisicoquímico de las muestras de agua tratadas con SODIS.

**FUENTE:** (Santos & Tirira, 2019)