



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Química

**EVALUACIÓN DEL MÉTODO SODIS EN FUENTES DE AGUA EN EL MUNICIPIO DE
CASILLAS, SANTA ROSA**

Ana Lucía León Bosque

Asesorado por el Ing. Andy Williams Alonzo Vásquez

Guatemala, octubre de 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EVALUACIÓN DEL MÉTODO SODIS EN FUENTES DE AGUA EN EL MUNICIPIO DE
CASILLAS, SANTA ROSA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

ANA LUCÍA LEÓN BOSQUE

ASESORADO POR EL ING. ANDY WILLIAMS ALONZO VÁSQUEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERA AMBIENTAL

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martinez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Vladimir Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIA	Ing. Hubo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADORA	Lic. Ingrid Lorena Benitez Pacheco
EXAMINADOR	Ing. Walter Arnoldo Bardales Espinoza
EXAMINADORA	María Alejandra Má Villatoro
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

EVALUACIÓN DEL MÉTODO SODIS EN FUENTES DE AGUA EN EL MUNICIPIO DE CASILLAS, SANTA ROSA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha 9 de julio del 2019.



Ana Lucía León Bosque

Guatemala 1 de octubre de 2020

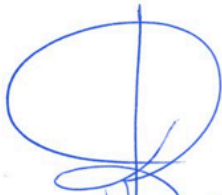
Ingeniero
Williams Guillermo Álvarez Mejía
DIRECTOR
Escuela Ingeniería Química
Presente.

Estimado Ingeniero Williams:

Le saludo cordialmente, deseándole éxitos en sus actividades. Por medio de la presente hago constar que he revisado y aprobado el Informe Final del trabajo de graduación titulado: "Evaluación del método SODIS en fuentes de agua en el municipio de Casillas, Santa Rosa", elaborado por la estudiante de la carrera de Ingeniería Ambiental, Ana Lucía León Bosque quien se identifica con el registro académico 2014-13205 y con el CUI 2947 05821 01 01.

Agradeciendo la atención a la presente, me suscribo de usted,

Atentamente,



ANDY WILLIAMS ALONZO VÁSQUEZ
M.Sc. INGENIERÍA SANITARIA
INGENIERO CIVIL
COLEGIADO 13.050

Andy Williams Alonzo Vásquez
ASESOR
Ingeniero Civil
Colegiado activo no. 13050



Guatemala, 09 de junio de 2021.
Ref. EIQ.TG-IF.021.2021.

Ingeniero
Williams Guillermo Álvarez Mejía
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero Álvarez:

Como consta en el registro de evaluación, correlativo **036-2019**, le informo que reunidos los Miembros de la Terna nombrada por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del:

INFORME FINAL

Solicitado por el estudiante universitario: **Ana Lucía León Bosque.**

Identificado con número de carné: **2947058210101.**

Identificado con registro académico: **201413205.**

Previo a optar al título de la carrera: **Ingeniería Ambiental.**

En la modalidad: **Informe Final, Seminario de Investigación.**

Siguiendo los procedimientos de revisión interna de la Escuela de Ingeniería Química, los Miembros de la Terna han procedido a **APROBARLO** con el siguiente título:

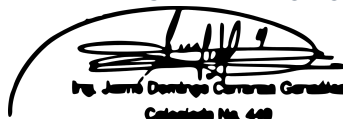
EVALUACIÓN DEL MÉTODO SODIS EN FUENTES DE AGUA DEL MUNICIPIO CASILLAS, SANTA ROSA

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por:

Andy Williams Alonzo Vásquez, profesional de la Ingeniería Civil

Habiendo encontrado el referido trabajo de graduación **SATISFACTORIO**, se autoriza al estudiante, proceder con los trámites requeridos de acuerdo a las normas y procedimientos establecidos por la Facultad para su autorización e impresión.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”



Ing. Jaime Domingo Carranza González
Colegiado No. 448

Jaime Domingo Carranza González
profesional de la Ingeniería Ambiental
COORDINADOR DE TERNA
Tribunal de Revisión
Trabajo de Graduación

C.c.: archivo



Guatemala, 13 de octubre de 2021
Ref. EIQ.205.2021

Aprobación del informe final del trabajo de graduación

Ingeniera
Aurelia Anabela Cordova Estrada
Decana
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Revisado el INFORME FINAL DEL TRABAJO DE GRADUACIÓN (TESIS), DENOMINADO **EVALUACIÓN DEL MÉTODO SODIS EN FUENTES DE AGUA DEL MUNICIPIO DE CASILLAS, SANTA ROSA** del(la) estudiante Ana Lucía León Bosque, se conceptúa que el documento presentado, reúne todas las condiciones de calidad en materia administrativa y académica (rigor, pertinencia, secuencia y coherencia metodológica), por lo tanto, se procede a la autorización del mismo, para que el(la) estudiante pueda optar al título de Ingeniería Ambiental.

“Id y Enseñad a Todos”

Ing. Williams G. Alvarez Mejia, M. Sc., M.U.I.E.

DIRECTOR

Escuela de Ingeniería Química



Cc. Archivo
WGAM/wgam



Agencia Centroamericana de Acreditación de
Programas de Arquitectura e de Ingeniería



Formando Ingenieros Químicos en Guatemala desde 1939



**NO SALGAS
QUÉDATE EN
CASA**

DTG. 501-2021

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al Trabajo de Graduación titulado: **EVALUACIÓN DEL MÉTODO SODIS EN FUENTES DE AGUA EN EL MUNICIPIO DE CASILLAS, SANTA ROSA**, presentado por la estudiante universitaria: **Ana Lucía León Bosque**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Inga. Anabela Cordova Estrada
Decana

Guatemala, octubre de 2021

AACE/asga

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por ser el pilar más importante de mi vida.
- Mis padres** Otto León y Rubiela Bosque, porque siempre me han brindado su apoyo en todos mis sueños, han sabido guiar mis pasos y me han dado consejos durante este recorrido.
- Mis tíos** Vilma León y Ricardo Hernández, por estar siempre presentes y brindarme su apoyo.
- Mis primos** Dania Hernández, Javier Hernández y Cristina Hernández, porque aparte de ser mi familia, me han brindado su amistad.
- Amigos** Jaqueline Hidalgo, por siempre brindarme tu apoyo, tanto en lo personal como lo académico y por estar siempre ahí.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala Por ser mi segunda casa y formarme como profesional.

Facultad de Ingeniería Por enseñarme los conocimientos para convertirme en Ingeniera.

Asesor Ing. Andy Williams Por compartirme todos sus conocimientos y guiarme académica y profesionalmente.

ÍNDICE GENERAL

LISTA DE SÍMBOLOS.....	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN	XIII
OBJETIVOS	XV
Hipótesis	XVI
INTRODUCCIÓN	XVII
1. ANTECEDENTES.....	1
2. JUSTIFICACIÓN.....	3
3. DETERMINACIÓN DEL PROBLEMA.....	7
3.1. Definición	7
3.2. Delimitación	7
4. MARCO TEÓRICO	9
4.1. Fuentes de agua	9
4.1.1. Subterránea	9
4.1.2. Manantiales.....	10
4.1.3. Pozos	10
4.1.4. Nacimientos	10
4.1.5. Superficiales	11
4.1.6. Ríos.....	11
4.1.7. Lagos	12

4.1.8.	Pluviales	12
4.2.	Origen de la contaminación del agua	12
4.2.1.	Natural	13
4.2.2.	Antropogénico.....	13
4.3.	Métodos de desinfección de agua en zonas rurales.....	14
4.3.1.	Cloración	15
4.3.2.	Filtración lenta	20
4.3.3.	Hervir.....	20
4.3.4.	Método solar SODIS.....	21
4.3.4.1.	Mecanismo de desinfección ultravioleta	23
4.3.4.2.	Radiación solar.....	24
4.3.4.3.	Luz ultravioleta (UV)	25
4.3.4.4.	Insolación solar en el municipio de Casillas	29
4.3.4.5.	Radiación solar en el municipio de Casillas	31
4.3.4.6.	Clima	32
4.3.4.7.	Comparación de datos con diversas investigaciones de aplicación del método SODIS.....	33
4.4.	Características físicas del agua potable	35
4.4.1.	Color	35
4.4.2.	Olor.....	35
4.4.3.	Sabor.....	36
4.4.4.	Turbiedad	36
4.4.5.	Potencial de hidrógeno (pH).....	37
4.4.6.	Evaluación de la situación sanitaria según la Organización Mundial de la Salud	38

4.4.7.	Total de sólidos disueltos (TDS)	38
4.4.8.	Sólidos sedimentables	38
4.5.	Características químicas del agua potable	39
4.5.1.	Cloro residual	39
4.5.2.	Cloruro	40
4.5.3.	Conductividad	40
4.5.4.	Dureza	41
4.6.	Bacteriológicas.....	41
4.6.1.	Coliformes totales	41
4.6.2.	Coliformes fecales.....	42
4.6.2.1.	Remoción de bacterias coliformes fecales.....	44
4.6.3.	Evaluación de la situación sanitaria según la Organización Mundial de la Salud	45
4.7.	SODIS en Guatemala	46
5.	DISEÑO METODOLÓGICO	49
5.1.	Variables.....	49
	Las variables para este trabajo de investigación se dividen en dependientes e independientes.	49
5.1.1.	Variables dependientes.....	49
5.1.2.	Variables independientes.....	50
5.2.	Medición de rayos UV	51
5.3.	Características del envase.....	52
5.4.	Delimitación del campo de estudio	53
5.5.	Recursos humanos disponibles	53
5.6.	Recursos materiales disponibles	54

5.6.1.	Reactivos para la determinación de coliformes según los métodos establecidos en COGUANOR 29 001.....	55
5.6.2.	Recipientes de recolección de muestras	55
5.7.	Toma de muestras.....	56
5.8.	Recolección y ordenamiento de la información	57
5.9.	Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información	60
5.10.	Análisis de los resultados	60
5.10.1.	Programas utilizados para el análisis de datos.....	60
6.	RESULTADOS	61
6.1.	Trabajo de campo.....	61
	CONCLUSIONES	89
	RECOMENDACIONES	91
	BIBLIOGRAFÍA.....	93
	APÉNDICES	99

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Rutas de transmisión de los patógenos.....	14
2.	Filtración lenta	20
3.	Procedimiento del método SODIS.....	23
4.	Comparación del espectro de la inactivación del <i>E. Coli</i> con el de absorción del ácido nucleico.....	24
5.	Longitud de onda.....	25
6.	Unidades de medida para radiación visible y ultravioleta	26
7.	Valores del UVI solar.....	28
8.	Valores del índice UV para diferentes lugares geográficos	28
9.	Niveles de insolación.....	30
10.	Radiación en el municipio de Casillas	31
11.	Resumen del clima	32
12.	Turbiedad	37
13.	Potencial de hidrógeno.....	38
14.	Ejemplos de puntuación de los riesgos en una inspección sanitaria según la OMS.....	45
15.	Ejemplo de esquema de clasificación y asignación de colores para los coliformes termotolerantes (fecales) o <i>E. Coli</i> en los abastecimientos de agua.....	46
16.	Aplicación UVIMate	51
17.	Ventajas de la botella PET	53
18.	Recipientes para la toma de muestras	57
19.	Municipio de Casillas.....	58

20.	Puntos de muestreo en departamento de Casillas, Santa Rosa	59
21.	Punto de muestreo n.º 1.....	62
22.	Toma de muestras en el punto de muestreo n.º 1.....	63
23.	Toma de muestras en el punto de muestro n.º 2.....	64
24.	Punto de muestreo n.º 2.....	65
25.	Toma de muestras en el punto de muestro n.º 2.....	66
26.	Punto de muestreo n.º 3.....	67
27.	Toma de muestras en el punto de muestreo n.º 3.....	68
28.	Muestras conservadas por el hielo.....	68
29.	Agitación de botellas	69
30.	Botellas expuestas a la radiación solar	70
31.	Radiación en Casillas.....	70
32.	Identificación de envases luego de la aplicación del método	71
33.	Porcentaje de remoción de coliformes fecales.....	82
34.	Porcentaje de remoción de coliformes totales.....	82
35.	Porcentaje de remoción fisicoquímicos de la aldea Llano Grande.....	83
36.	Porcentaje de remoción fisicoquímicos de la aldea El Izote.....	83
37.	Porcentaje de remoción fisicoquímicos de la aldea Llano Grande (2).....	84
38.	Radiación UV diaria tipo A, 2019	86
39.	Encuesta realizada a Mario Roberto Aguilar, del comité de agua.....	99
40.	Encuesta realizada a José Felix Hernández	101
41.	Encuesta realizada a Rosalio Martínez	103

TABLAS

I.	Si la concentración es de 0,5 % (5 000 mg/L)	16
II.	Si la concentración es de 1 % (10 000 mg/L)	17
III.	Si la concentración es de 5 % (50 000 mg/L)	18
IV.	Si la concentración es de 10 % (100 000 mg/L)	19
V.	Rayos ultravioleta	27
VI.	Comparación con otras investigaciones sobre el método SODIS	33
VII.	Métodos de los tubos múltiples de fermentación	43
VIII.	Métodos de las membranas de filtración	44
IX.	Botellas PET	52
X.	Información de Casillas	59
XI.	Parámetros bacteriológicos antes de la implementación del método ...	72
XII.	Parámetros bacteriológicos después de la implementación del método	73
XIII.	Parámetros fisicoquímicos antes de la implementación del método	74
XIV.	Parámetros fisicoquímicos después de la implementación del método.....	74
XV.	Comparación con la Norma NGO 29001 del examen bacteriológico después del método de la Aldea Llano Grande	75
XVI.	Comparación con la Norma NGO 29001 del examen bacteriológico después del método de la Aldea El Izote.....	75
XVII.	Comparación con la Norma NGO 29001 del examen bacteriológico después del método de la aldea El Izote (2).....	76
XVIII.	Comparación con la Norma NGO 29001 del examen fisicoquímico después del método de la aldea Llano Grande	76
XIX.	Comparación con la Norma NGO 29001 del examen fisicoquímico después del método de la aldea El Izote	77

XX.	Comparación con la Norma NGO 29001 del examen fisicoquímico después del método de la aldea El Izote (2)	78
XXI.	Clasificación bacteriológica según las Guías de agua potable de la OMS de las fuentes de agua antes del método	79
XXII.	Clasificación fisicoquímica según las Guías de agua potable de la OMS de las fuentes de agua antes del método	79
XXIII.	Clasificación bacteriológica según las Guías de agua potable de la OMS de las fuentes de agua después del método.....	81
XXIV.	Clasificación fisicoquímica según las Guías de agua potable de la OMS de las fuentes de agua después del método.....	81
XXV.	Porcentaje de remoción de coliformes totales.....	82
XXVI.	Grado de error de aceptación en base a 1,003 cal/cm ² *min de irradiación (López, R. 2011).....	87

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
Cm	Centímetros
°C	Grados centígrados
MI	Miligramos
Mg/L	Miligramo por litro
Nm	Nanómetros
N	Norte
O	Oeste
%	Porcentaje

GLOSARIO

ADN	Ácido desoxirribonucleico.
ARN	Ácido Ribonucleico.
INSIVUMEH	Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología.
PET	Tereftalato de polietileno.
PVC	Policloruro de vinilo.
UNT	Unidad nefelométrica de turbidez.
UV	Ultravioleta.

RESUMEN

El objetivo del trabajo es evaluar el método SODIS en las fuentes de agua que abastecen las aldeas de Llano Grande y el Izote del departamento de Santa Rosa, ya que el agua de consumo humano para estas comunidades no tiene tratamiento previo, lo cual provoca daños para la salud.

El método SODIS es aplicable para la desinfección del agua, utilizando los rayos del sol, estos por acción sinérgica de la radiación ultravioleta e infrarroja disminuyen en gran medida la carga microbiológica, volviéndola apta para el consumo humano.

El trabajo se dividió en tres etapas, en la primera etapa se establecieron los puntos de muestreo que fueron distribuidos en nacimientos de agua que abastecen a las comunidades. Se les realizó una prueba para verificar que las fuentes cumplieran con el parámetro de turbiedad que debe ser menor a 30 UNT, colocando la botella con agua sobre la tapita de la misma que tenía una señalización y se observó desde arriba hacia abajo, en un lugar con sombra para evitar la interferencia de la luz, como si se logró observar con claridad la señalización el agua si cumplía con el parámetro de turbiedad y se prosiguió a tomar las muestras que luego fueron transportadas al laboratorio.

En la segunda etapa se aplicó el método de SODIS en el municipio de Casillas y luego se llevaron las muestras obtenidas al laboratorio para realizar los exámenes microbiológicos y fisico-químicos que evaluaron los siguientes parámetros: aspecto, color, olor, turbiedad, potencial de Hidrogeno, conductividad eléctrica, solidos disueltos, calcio, nitritos, nitratos, manganeso,

cloruros, magnesio, sulfatos, hierro total, dureza total, hidróxidos, carbonatos, bicarbonatos, alcalinidad total, coliforme total y coliforme fecal.

En la tercera etapa se determinó que al analizar los resultados del laboratorio antes y después de la aplicación del método en comparación con la norma COGUANOR 29001 ¹ cumple con los límites bacteriológicos, más no con los límites fisicoquímicos.

¹ COMISIÓN GUATEMALTECA DE NORMAS MINISTERIO DE ECONOMÍA. *Norma Técnica Guatemala, COGUANOR NTG 29001.*

OBJETIVOS

General

Evaluar el método SODIS en fuentes de agua en el municipio de Casillas, Santa Rosa.

Específicos

1. Evaluar y seleccionar fuentes de agua desde el punto de información sanitaria y bacteriológica considerando la población dotada y la calidad bacteriológica.
2. Realizar una caracterización bacteriológica de la fuente de agua seleccionada en función de las tres fuentes con mayor población, la categorización por *coliformes fecales* y *E. Coli* en abastecimientos de agua.
3. Determinar el porcentaje de efectividad del método SODIS evaluando la remoción y las características bacteriológicas.
4. Verificar el cumplimiento de la norma NGO 29001 antes y después de la aplicación del método SODIS.

Hipótesis

Es posible lograr la potabilización del agua en el municipio de Casillas, Santa Rosa por el método SODIS.

INTRODUCCIÓN

En Guatemala a nivel nacional, tanto en el área rural como urbano, se cuenta con distintas fuentes que compensan el consumo de agua potable, sin embargo, la mayoría de estas son de difícil acceso o se encuentran contaminadas. Según los datos de la OMS del 2017, 5 176 personas han muerto por enfermedades infecciosas intestinales, la mayoría de ellos son niños de edades de uno a cuatro años.

Según Vásquez (2008), entre los virus más comunes transmitidos por el agua se señalan, virus de la hepatitis A y E, los enterovirus, los adenovirus y rotavirus, éste último una de las principales causas de la gastroenteritis infantil. Entre las bacterias más comunes están *Shigellea dysenteriae*, *Salmonella typhi*, *Salmonella spp.*, *Vibrio cholerae*, *Escherichia coli*.² Algunas de las enfermedades causadas por consumir agua contaminada están la diarrea, disentería, cólera, paludismo y esquistosomiasis.

El agua limpia es un requisito para el desarrollo de Guatemala y la carencia de este es producido por distintos factores como la pobreza, crecimiento poblacional, educación y marginación social. Se estima que en el país existen aproximadamente tres millones de personas sin acceso a sistemas adecuados de agua y seis millones no cuentan con servicios adecuados de saneamiento,³

² VÁSQUEZ, Luis. *Análisis de la situación de las enfermedades transmitidas por alimentos y agua*. Trabajo de titulación (Médico y Cirujano). Guatemala: Facultad de Ciencias Médicas, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2008. p. 13.

³ Presentación. *Política Nacional del sector de agua potable y saneamiento*. Consulta: 25 de marzo de 2020.

es por lo que, este trabajo busca dar una solución para poder solventar la falta de acceso y brindar un proceso fácil para la desinfección del agua.

El método de desinfección solar SODIS es una alternativa económica, ambientalmente viable y sencilla de aplicar. Este método se comenzó a aplicar luego de que el huracán Stan impactara en Guatemala y dejara condiciones precarias. En busca de soluciones viables para las condiciones de ese entonces fue implementado el método SODIS.

El trabajo tiene como finalidad la evaluación del método SODIS en fuentes de agua previamente clasificadas según la asignación de colores de la OMS para los *coliformes termotolerantes (fecales)* o *E. Coli* en los abastecimientos de agua en el municipio de Casillas del departamento de Santa Rosa, los cuales se evaluarán únicamente sean tipo B o C y poder establecer una alternativa viable para facilitar el acceso del agua potable a esta comunidad, evaluando distintas variantes en el método como, el tipo de botella, tiempo de exposición a los rayos del sol.

1. ANTECEDENTES

De acuerdo la Organización Mundial de la Salud (OMS) entre las primeras cinco causas de muertes a nivel mundial se encuentran las enfermedades diarreicas y son la segunda causa de muerte en niños menores de cinco años. Las enfermedades diarreicas son provocadas por ingerir alimentos o agua contaminados. La falta de tener una higiene eficiente a nivel mundial se debe a que el problema de no tener fácil acceso al agua, potable o no, se ha ido agravando con el tiempo por factores como la pobreza, educación y ubicación geográfica. En Guatemala, según los datos estadísticos de la OMS 2011-2012, el 70 % de las viviendas en el área urbana tienen acceso al agua entubada y drenajes, mientras que en el área rural solo el 30 % de las viviendas cuentan con estos servicios.

Según Neglyin Mendoza (2012), a nivel internacional, la eficacia del método SODIS ha sido evaluada en varios países en desarrollo como Bolivia, Cuba, India, Uzbekistan, Pakistan, India, Nepal, Sri Lanka, Indonesia, y Kenia. En estos estudios se ha reportado una eficacia por encima de 99,9 % a las 8 horas de exposición para la remoción de *coliformes fecales*, *E. faecalis* y *P. aeruginosa*. También ha sido reportada una inactivación de virus enteropatógenos y protozoarios como *crisporidium* y *giardia*, y una significativa reducción en la incidencia, duración y severidad de la diarrea en niños. ⁴

⁴ MENDOZA, Neglyin. *Impacto en la aplicación del método SODIS como alternativa para el control de enfermedades diarreicas en la comunidad Gracias a Dios, Municipio de Telica*. Trabajo de graduación de Médico Cirujano, Universidad Nacional Autónoma UNAM-LEON, Nicaragua, Facultad de Ciencias Médicas, 2012. p. 19.

A nivel nacional se estableció que la utilización del método SODIS puede implementarse únicamente en situaciones de desastres o emergencia, pero debido a la carencia económica de la población nacional y la facilidad de aplicación del método, se ha utilizado en diversas comunidades como en San Juan Sacatepéquez, Tacaná, Tajumulco, Sibinal y en la ciudad de Guatemala en áreas periurbanas.

Existen datos de la aplicación del método SODIS para la desinfección del agua en las distintas comunidades que demuestran que cumplen con los parámetros establecidos para poder ser de consumo humano, teniendo en cuenta que el método no corrige las condiciones fisicoquímicas del agua tratada, sino solamente la calidad microbiológica. Ejemplificando los resultados del método, el análisis de las muestras realizadas en San Juan Sacatepéquez, revelaron que los *coliformes totales* y los *conteos* de *E. Coli* tuvieron una reducción del 100 %. En las comunidades de Tajumulco, Sibinal, Tacaná los tanques de distribución almacenan agua categorizada adecuadamente como potable; en agua cruda proveniente de los vertederos de Acatán, Teocinte 12" y Canalitos de la planta potable Santa Luisa se cumple con la norma COGUANOR NG 29:001 para agua potable.

2. JUSTIFICACIÓN

En Guatemala existen numerosas comunidades que no tienen acceso al agua potable, lo que genera que estos mismos sustituyan este consumo mediante la extracción del recurso en aguas subterráneas y superficiales sin que estas hayan sido tratadas previo a su consumo. Esta deficiencia se debe a que los lugares donde se realizan estos procesos de potabilización se encuentran a distancias muy lejanas de donde habitan las comunidades o simplemente no existe un ente encargado de realizar este proceso.

A nivel nacional se han implementado distintos métodos para potabilizar el agua, pero la aplicación del método SODIS según el acuerdo Ministerial No. 1148-09 del Ministerio de Salud y Asistencia Social, establece que este puede implementarse en situaciones especiales, de emergencia o desastre. Aunque actualmente, este método es utilizado en áreas rurales de bajos recursos para la desinfección del agua, utilizando la acción sinérgica de la radiación ultravioleta e infraroja emitidas por el sol al incidir directamente sobre el agua, provoca la muerte de microorganismos patógenos.

En el municipio Casillas 21,1 % de las viviendas no cuentan con acceso a fuentes de abastecimiento de agua potable, lo que provoca que estas recurran al consumo de agua potable por medio de fuentes de agua natural y pozos, implicando enfermedades como diarrea, disentería, cólera, paludismo y esquistosomiasis. Según Hernández (2017),⁵ en su trabajo de titulación “Diseño

⁵ HERNÁNDEZ, Magda. *Diseño de tanque de captación y tratamiento de agua, Casillas, Santa Rosa*. Trabajo de graduación de Arquitectura, Universidad De San Carlos de Guatemala, Facultad de Arquitectura. Universidad De San Carlos de Guatemala, 2017. p. 11,12.

de tanque de captación y tratamiento de agua”, en el municipio de Casillas, en el casco urbano cuentan con un sistema de tanques de abastecimiento de agua potable que fue construido hace 50 años, el cual puede notarse un deterioro debido a la filtración, acumulación de moho y contaminación que produce el agua. También las personas entrevistadas para la realización de ese trabajo indicaron que para el invierno cuentan con el servicio de agua potable dos veces por semana y en la época seca minimiza a una vez por semana el suministro. Las poblaciones que se encuentran en el área rural cuentan con algunos tanques de almacenamiento de los cuales toman el agua que utilizan para sus actividades domésticas y para el consumo humano, los cuales tampoco tienen un proceso previo de potabilización.

La organización Catholic Relief Services en el año 2008 evaluó doce comunidades de Tacaná, Tajumulco y Sibinal del departamento de San Marcos en donde pudieron definir que, a nivel nacional en las áreas rurales, el agua se encuentra contaminada con el 87,5 % de heces fecales, pero el trabajo se vio afectado por la tormenta Stan y no lograron definir el porcentaje de efectividad de desinfección en el agua utilizando el método SODIS.

Se decidió realizar la evaluación del método en el municipio de Casillas del departamento de Santa Rosa ya que según el Sistema de Información Gerencial de Salud a nivel nación entre las primeras cinco causas de morbilidad se encuentra la diarrea y gastroenteritis, las cuales son provocadas por la falta de acceso al agua potable, ingerir alimentos y agua contaminada.⁶

⁶ Consejo Municipal de Desarrollo del Municipio de Casillas. Secretaria de Planificación y Programación de la Presidencia. Dirección de Planificación Territorial. *Plan de Desarrollo Casillas, Santa Rosa*. Guatemala: SEGEPLAN/DPT, 2010.

Las aldeas de Llano grande y el Izote fueron seleccionadas debido a que el lugar en donde se encuentran ubicadas las fuentes de abastecimiento fueron las más accesibles para la recolección de muestras y también debido a su cercanía con la ciudad capital que facilitó el transporte de las muestras, del área de estudio al laboratorio.

3. DETERMINACIÓN DEL PROBLEMA

3.1. Definición

Comunidades pertenecientes al área rural de Guatemala no tienen acceso al agua potable y las pocas que tienen acceso a esta no se realiza ningún tipo de tratamiento para potabilizarla y verificar que esta cumpla con los parámetros para ser de consumo humano. La práctica más utilizada por estas personas es tomar el agua de ríos, nacimientos y pozos, luego de la obtención, el agua se destina para el consumo humano y sus actividades domésticas como lavar platos, ropa y para riego de cultivos.

Según los datos proporcionados por el Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social, “morbilidad general municipios de Casillas y Santa Rosa, años 2016 al 2019”, en el año 2018 en el municipio de Casillas se atendieron 1 402 casos sobre diarrea y gastroenteritis, entre las causas de estas enfermedades está el consumo de agua contaminada.

3.2. Delimitación

El estudio tiene los siguientes alcances y límites:

- Geográfico: se realizó en las aldeas de Llano Grande y el Izote del municipio de Casillas del departamento de Santa Rosa.

- Social: la población que reside en el lugar en donde se llevó a cabo la investigación es de bajos recursos económicos y no realizan ningún tipo de tratamiento previo al agua de consumo humano.
- Temporal: se realizó durante julio a diciembre de 2019.

4. MARCO TEÓRICO

4.1. Fuentes de agua

La superficie terrestre está cubierta con 71 % de agua y está distribuida de distintas maneras. En los océanos se concentran el 96,5 % del agua, los casquetes polares, glaciares tienen 1,74 %, los acuíferos y los glaciares continentales suponen el 1,72 % y el valor restante de 0,04 % está distribuido entre lagos, humedad del suelo, atmósfera, embalses y ríos.⁷

A nivel mundial las personas se abastecen de agua, que es captada de fuentes naturales, la cual es sometida a distintos procesos de potabilización como la cloración, filtración, rayos solares, ebullición, osmosis inversa o la aplicación de ozono.

4.1.1. Subterránea

El agua subterránea es la que se encuentra bajo la superficie terrestre, la cual ha sido alimentada por infiltración. Esta agua puede ser obtenida por perforaciones, túneles o galerías de drenaje y de igual manera debe de ser tratada previo al consumo humano, ya que al estar en contacto directo con la tierra puede alterar sus propiedades de acidez, contener microorganismos, proporciones de sílice, disolventes clorados, entre otros.

⁷ Gobierno de El Salvador. *Fuentes de agua*. Actualización: marzo 13, 2015. <http://www.anda.gob.sv/calidad-del-agua/fuentes-de-agua/>. Consulta: 19 marzo 2019.

4.1.2. Manantiales

Los manantiales surgen cuando el agua proveniente de la precipitación se infiltra en un suelo impermeable, lo cual provoca que naturalmente llegue a un punto en el que se encuentra saturado, debido a que el suelo no puede absorber el agua y provoca que finalmente salga a la superficie. Los manantiales, debido a que su fuente de alimentación son las precipitaciones, pueden ser temporales o permanentes.

4.1.3. Pozos

Un pozo es un agujero, túnel vertical o una excavación que es perforado en la capa terrestre hasta encontrar alguna reserva de agua subterránea o petróleo y poder extraerlo de manera mecánica o manual. En las áreas rurales en Guatemala, donde existe la escasez de agua, usualmente la implementación de pozos es la mejor vía para suplir sus necesidades básicas como riego de agricultura, uso doméstico y consumo humano.

4.1.4. Nacimientos

Proviene de un brote de agua en la tierra o en las rocas, a ras del suelo o en cerros y montañas. Puede canalizarse con obras de arte para su posterior distribución con cajas derivadoras, rompe presión y almacenamiento. Se encuentran a la intemperie y son aprovechadas por su calidad microbiológica.

4.1.5. Superficiales

Las aguas superficiales son las aguas que circulan sobre la superficie del suelo y es producida por la escorrentía generada a partir de las precipitaciones o por el afloramiento de aguas subterráneas.⁸ Se pueden clasificar dos tipos de aguas superficiales: aguas lóxicas que se mueven en una misma dirección y las aguas léxicas que se encuentran estancadas.

4.1.6. Ríos

Son corrientes de agua que fluyen constantemente a causa de la gravedad desde las partes más altas hacia las bajas. Estos poseen un caudal determinado y desembocan en el mar, lagos o en otros ríos.

Los ríos principales en Guatemala se clasifican según las vertientes y el punto en donde desembocan, que se clasifican como: vertiente del Golfo de México, vertiente del Golfo de Honduras o del Mar Caribe y la vertiente del Pacífico.

Ríos de la vertiente del Golfo de México, vertiente del Golfo de Honduras y vertiente del Óceano Pacífico, respectivamente: La Pasión, Seleguá, Salinas, Cuilco, Hondo, Belice, Moho, Sartún, Dulce, Izabal, Motagua, Canales, Suchiate, Naranjo, Ocosito, Salamá, Icán, Nahualate, Madre Vieja, Coyolate, Acomé, Achiguate, María Linda, Aguacapa, Paso Hondo, Los Esclavos, Paz y Lempa.

⁸ ADASA. *Aguas superficiales*. <http://adasaproducts.com/aguas-superficiales/>. Consulta: 19 marzo 2019.

4.1.7. Lagos

Los lagos se forman en depresiones topográficas los cuales son causadas por movimientos geológicos o tectónicos, acción volcánica o los que son creados por el humano, como la construcción de una presa. Estos son generalmente de agua dulce, la cual fue suministrada por ríos, aguas freáticas o precipitaciones. Los lagos a diferencia de los ríos no poseen un movimiento continuo, el agua se mantiene estancada.

4.1.8. Pluviales

El agua pluvial es la que proviene de las lluvias y puede ser captada de diferentes maneras y con distintos prototipos para luego someterla a tratamientos para que posteriormente pueda ser utilizada para abastecer necesidades básicas como el riego de cultivo, actividades domésticas y de consumo humano.

4.2. Origen de la contaminación del agua

“Es la acumulación de una o más sustancias ajenas al agua que se han recolectado hasta tal magnitud que generan una gran cantidad de consecuencias; entre las cuales se incluye el desequilibrio en la vida de seres vivos como animales, plantas e incluso personas que son susceptibles a distintas enfermedades. Las causas de la contaminación del agua pueden ser naturales o antropogénicas”.⁹

⁹ Cumbre Pueblos. *Contaminación del agua: Qué es, causas, consecuencias y soluciones*. <https://cumbrepuebloscop20.org/medio-ambiente/contaminacion/agua/>. Consulta: 20 marzo 2019.

4.2.1. Natural

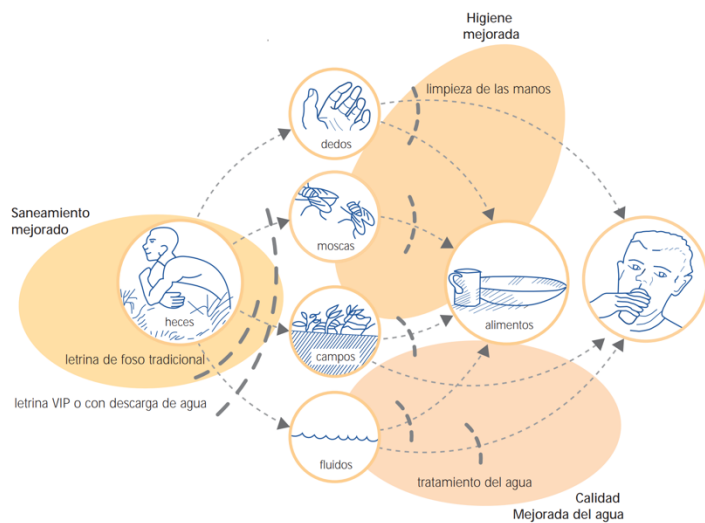
La contaminación del agua puede ser de manera natural, es decir, por eventos catastróficos o situaciones que el ser humano no puede controlar e intervenir como la arena causada por la erupción de un volcán, huracanes, el alto contenido de mercurio que existe en la corteza terrestre y estas provocan consecuencias negativas, ya que pueden provocar la desaparición de especies animales, enfermedades en los seres humanos debido al cambio natural del ecosistema.

4.2.2. Antropogénico

Antropogénico se refiere a las contaminaciones causadas por las actividades del ser humano que pueden clasificarse según sus fuentes puntuales y no puntuales.

Las puntuales se refiere a todas esas que se conoce la fuente de contaminación y que afectan distintas zonas del país por su rápida propagación en los cuerpos de agua. Entre estas fuentes se puede mencionar los vertidos domésticos, industriales y de petróleo, operaciones con residuos peligrosos, actividades de agricultura y ganadería.

Figura 1. **Rutas de transmisión de los patógenos**



Fuente: MEIERHOFER, Regula y WEGELIN, Martin. *Desinfección Solar del Agua, Guía de aplicación*.

https://www.sodis.ch/methode/anwendung/ausbildungsmaterial/dokumente_material/manual_s.pdf. Consulta: 3 de marzo de 2019.

4.3. **Métodos de desinfección de agua en zonas rurales**

Debido a que la contaminación del agua es un problema a nivel mundial toda el agua que sea captada y destinada al uso por el ser humano debe someterse a tratamientos para que puedan cumplir con las normas establecidas para el uso de este.

En las áreas urbanas las personas tienen fácil acceso al agua potable y esto se debe a que el pago del servicio de tratamiento del agua es económicamente viable en estas zonas que en las zonas rurales y es por esto que en estas áreas recurren a distintas operaciones de tratamiento para abastecer las necesidades básicas.

Para fines de este estudio nos enfocaremos en el método de desinfección solar, SODIS.

4.3.1. Cloración

Este método es efectivo ya que elimina grandes cantidades de microorganismos como bacterias y virus, hongos, algas y levaduras, además de que el tiempo de actuación es aproximadamente de 30 minutos. Los productos clorados pueden ser pastillas de cloro, lejía, entre otros.

“La hipótesis más aceptada sobre cómo actúa el cloro en conjunto con el agua se centra en las alteraciones químicas y bioquímicas sobre la membrana o pared celular y de las enzimas. Cuando se ha destruido esta barrera protectora, se acaban las funciones vitales de la célula y se produce su muerte”.¹⁰

Estas tablas de la guía técnica fueron generadas por el Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social, con el apoyo de la Organización Panamericana de la Salud/Organización Mundial de la Salud en donde establecen criterios básicos para el tratamiento y la desinfección del agua para consumo humano por medio de cloro:

¹⁰ Consultoría Ambiental, EDAR. *Cloración en tratamientos de aguas*. Actualización: abril 17, 2018. <https://www.tecpa.es/cloracion-tratamiento-aguas/>. Consulta: 25 marzo 2019.

Tabla I. **Si la concentración es de 0,5 % (5 000 mg/L)**

Volumen de agua para desinfectar	Cantidad de cloro líquido para agregar en tiempo normal	Cantidad de cloro líquido para agregar en emergencia
1 litro	4 gotas	8 gotas
2 litros	8 gotas	16 gotas
1 galón	15 gotas	30 gotas (1 ½ mililitros)
5 litros	20 gotas (1 mililitro)	40 gotas (2 mililitro)
10 litros	40 gotas (2 mililitros)	4 mililitros (½ tapita)
20 litros (5 galones)	4 mililitros (1/2 tapita)	8 mililitros (1 tapita)
100 litros (25 galones)	20 mililitros (2 ½ tapitas)	40 mililitros (5 tapitas)
200 litros (50 galones)	40 mililitros (5 tapitas)	80 mililitros (10 tapitas)
1 000 litros (250 galones)	200 mililitros (25 tapitas)	400 mililitros (50 tapitas)

Fuente: Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social. *Tratamiento y desinfección de agua para consumo humano por medio de cloro.*

<http://desastres.usac.edu.gt/documentos/docgt/pdf/spa/doc0214/doc0214.pdf>. Consulta: 10 de marzo de 2019.

Tabla II. **Si la concentración es de 1 % (10 000 mg/L)**

Volumen de agua para desinfectar	Cantidad de cloro líquido para agregar en tiempo normal	Cantidad de cloro líquido para agregar en emergencia
1 litro	2 gotas	4 gotas
2 litros	4 gotas	8 gotas
1 galón	8 gotas	15 gotas
5 litros	10 gotas	20 gotas (1 mililitro)
10 litros	20 gotas (1 mililitro)	40 gotas (2 mililitros)
20 litros (5 galones)	40 gotas (2 mililitros)	4 mililitros (1/2 tapita)
100 litros (25 galones)	10 mililitros (1 1/4 tapitas)	20 mililitros (2 1/2 tapitas)
200 litros (50 galones)	40 mililitros (2 1/2 tapitas)	40 mililitros (5 tapitas)
1 000 litros (250 galones)	100 mililitros (12 1/2 tapitas)	200 mililitros (25 tapitas)

Fuente: Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social. *Tratamiento y desinfección de agua para consumo humano por medio de cloro.*

<http://desastres.usac.edu.gt/documentos/docgt/pdf/spa/doc0214/doc0214.pdf>. Consulta: 10 de marzo de 2019.

Tabla III. **Si la concentración es de 5 % (50 000 mg/L)**

Volumen de agua a desinfectar	Cantidad de cloro líquido a agregar en tiempo normal	Cantidad de cloro líquido para agregar en emergencia
1 litro	1/2 gota	1 gota
2 litros	1 gota	1 1/2 gotas
1 galón	1 1/2 gotas	3 gotas
5 litros	2 gotas	4 gotas
10 litros	4 gotas	8 gotas
20 litros (5 galones)	8 gotas	16 gotas
100 litros (25 galones)	40 gotas (2 mililitros)	4 mililitros (1/2 tapita)
200 litros (50 galones)	4 mililitros (1/2 tapita)	8 mililitros (1 tapita)
1 000 litros (250 galones)	20 mililitros (2 1/2 tapitas)	40 mililitros (5 tapitas)

Fuente: Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social. *Tratamiento y desinfección de agua para consumo humano por medio de cloro.*

<http://desastres.usac.edu.gt/documentos/docgt/pdf/spa/doc0214/doc0214.pdf>. Consulta: 10 de marzo de 2019.

Tabla IV. **Si la concentración es de 10 % (100 000 mg/L)**

Volumen de agua a desinfectar	Cantidad de cloro líquido a agregar en tiempo normal	Cantidad de cloro líquido a agregar en emergencia
1 litro	---	---
2 litros	1/2 gota	1 gota
1 galón	1 gota	1 ½ gotas
5 litros	1 gota	2 gotas
10 litros	2 gotas	4 gotas
20 litros (5 galones)	4 gotas	8 gotas
100 litros (25 galones)	20 gotas (1 mililitros)	40 gotas (2 mililitros)
200 litros (50 galones)	40 mililitros (1 ¼ tapitas)	4 mililitros (1/2 tapita)
1 000 litros (250 galones)	10 mililitros (1 ¼ tapitas)	20 mililitros (2 ½ tapitas)

Fuente: Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social. *Tratamiento y desinfección de agua para consumo humano por medio de cloro.*

<http://desastres.usac.edu.gt/documentos/docgt/pdf/spa/doc0214/doc0214.pdf>. Consulta: 10 de marzo de 2019.

4.3.2. Filtración lenta

La filtración lenta es uno de los métodos más utilizados hoy en día, ya que se considera accesible y económico de realizar. Básicamente este método consiste en que el agua atraviese ciertas capas de material suelo con diferente granulometría para que finalmente se pueda obtener agua para consumo humano.

Figura 2. Filtración lenta



Fuente: *¿Qué es filtración lenta?* <https://solucionespracticas.org.pe/que-es-la-filtracion-lenta>.

Consulta: 6 de marzo de 2019.

4.3.3. Hervir

Este método se basa en someter el agua a que hierva a fuego fuerte para eliminar los microorganismos. Se deja hervir el agua y cuando ya esté hirviendo, se deja por unos cinco minutos más y se deja reposar hasta que esta enfríe y cuando ya está, se coloca en la botella de la que se tomará el agua y se agitará vigorosamente para oxigenarla.

4.3.4. Método solar SODIS

“La radiación solar es el grupo de radiaciones electromagnéticas provenientes del sol y estas llegan a la tierra a través de diferentes frecuencias, pero para el ojo humano es perceptible cierta cantidad y el resto está comprendida en ondas infrarrojas y ultravioletas. La potencia de incidencias de los rayos depende de varios factores, tales como: la hora del día, estos son más potentes durante los horarios de la mañana y antes del atardecer (10 a.m. y 4 p.m.); la estación del año, durante los meses de primavera y el verano estos son más intensos, un factor que por la inclinación de la tierra y la altitud, no afectan en gran medida cerca y en el Ecuador; altitud, llegan más rayos al suelo si las elevaciones son más altas; formación nubosa, a pesar que los rayos logran atravesar las nubes, un porcentaje de ellas se ve reflejado y no logran llegar a tierra; cierto porcentaje es absorbido por la capa de ozono, vapor o polvo. La luz solar tiene un impacto directo sobre los microorganismos, los rayos son absorbidos por la materia orgánica. Por otra parte, la radiación solar produce formas altamente reactivas del oxígeno, como radicales libres y peróxido de hidrógeno, los cuales a su vez eliminan a los microorganismos. A este proceso se le denomina “desinfección solar foto-oxidativa”. Los microbios expuestos a los subproductos reactivos del oxígeno son oxidados durante el tratamiento, se puede aumentar el nivel de oxígeno si se agita el agua dentro de la botella antes de llenarla por completo y exponerla a los rayos del sol, esto para favorecer la inactivación de los microorganismos. Es particularmente importante proceder a la aireación de aguas estancadas como las de lagunas, tanques de almacenamiento y pozos”.¹¹

El método SODIS es simple de aplicar siempre y cuando cumpla con los parámetros básicos para implementarlo, es decir, la turbidez del agua debe de ser menor a 30 UNT y la altura máxima del tirante de agua dentro de la botella no debe de superar los 10 cm, colocando la botella con orientación horizontal y se deben de utilizar botellas de plástico transparente hechas de teraftalato de polietileno (PET) o cloruro de polivinilo (PVC) con capacidad de 1 ½ o 2 litros, ya que estas no producen daños a la salud humana.

Procedimiento:

- Se debe de lavar adecuadamente la botella y su tapadera.
- Llenar $\frac{3}{4}$ de la botella con agua.

¹¹ MENDOZA, Neyling. *Impacto en la aplicación del método SODIS como alternativa para el control de enfermedades diarreicas en la comunidad Gracias a Dios, Municipio de Telica*. Trabajo de graduación de Médico y Cirujano. Universidad Nacional Autónoma UNAM-LEON Nicaragua, Facultad de Ciencias Médicas, 2012. p. 19.

- Agitar la botella durante 20 segundos, aproximadamente.
- Llenar la botella completamente y cerrarla.
- Colocar la botella sobre una superficie plana y en donde no exista sombra.
- Exponer la botella durante el día, por lo menos 6 horas y si son días nublados el tiempo debe de ser aumentado a 2 días.
- Esperar a que se enfríe el agua y está lista para su consumo.

Si se utiliza la misma botella para aplicar nuevamente el método, debe de ser lavada después y antes de cada uso, deben de cambiarse las botellas cada cierto tiempo, ya que al estar en contacto con los rayos del sol y la superficie en donde serán colocadas estas se degradan.

Figura 3. Procedimiento del método SODIS



Fuente: MEIERHOFER, Regula y WEGELIN, Martin. *Desinfección Solar del Agua, Guía de aplicación.*

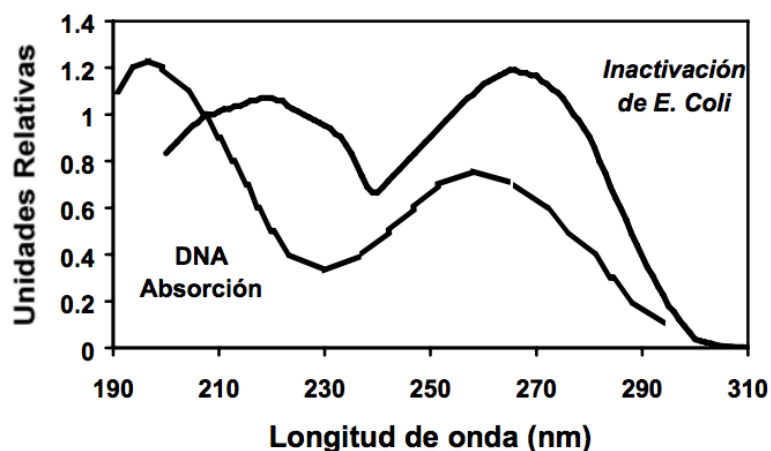
https://www.sodis.ch/methode/anwendung/ausbildungsmaterial/dokumente_material/manual_s.pdf. Consulta: 4 de marzo de 2019.

4.3.4.1. Mecanismo de desinfección ultravioleta

“Los microorganismos son inactivados por la luz ultravioleta como resultado del daño fotoquímico a sus ácidos nucleicos. La radiación UV es absorbida por los nucleótidos, los bloques constitutivos del ADN y ARN de la célula, según la longitud de onda, con los valores más altos cerca de 200 y 260 nm. La UV absorbida promueve la formación de enlaces entre nucleótidos adyacentes, con lo que se crean moléculas dobles o dímeros. Si bien la formación de dímeros de tiamina-tiamina son los más comunes, también suelen ocurrir dímeros de citosina-citosina, citosina-tiamina, y dimerización del uracilo. La formación de un número suficiente de dímeros dentro de un microbio impide que éste replique su ADN y ARN, lo que impide su reproducción. Debido a la dependencia de la longitud de onda para la absorción de UV por parte del ADN, la inactivación UV de los microbios también está en función de la longitud de onda. El espectro para el *E. Coli* alcanza su punto máximo en las longitudes de onda cercanas a 265 nm y 220 nm”.¹²

¹² H.B. WRIGHT y W. L. CAIRNS. *Luz ultravioleta*. Canadá: Trojan Technologies Inc. p. 6.

Figura 4. **Comparación del espectro de la inactivación del *E. Coli* con el de absorción del ácido nucleico**



Fuente: WRIGT y CAIRNS. *Luz ultravioleta*.

http://usam.salud.gob.sv/archivos/pdf/agua/LUZ_ULTRAVIOLETA.pdf. Consulta: 12 de julio de 2019.

4.3.4.2. Radiación solar

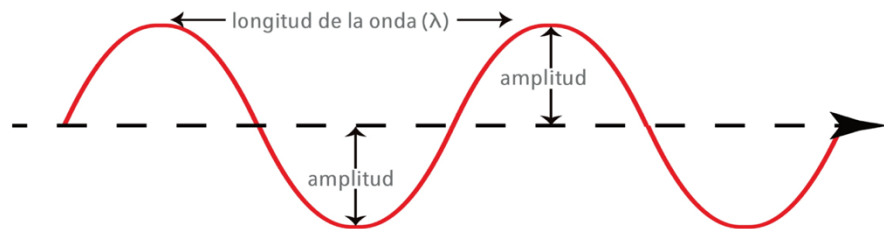
La radiación solar es el conjunto de radiaciones electromagnéticas emitidas por el sol, esta se distribuye desde el infrarrojo hasta el ultravioleta. No toda la radiación logra llegar hasta la tierra, puesto que las ondas ultravioletas más cortas son absorbidas por los gases que se encuentran en la atmósfera, fundamentalmente por el ozono.

En el Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología de Guatemala miden la radiación solar utilizando el actinógrafo.

Las ondas tienen características eléctricas y magnéticas, a las que pertenecen la amplitud, longitud de onda y frecuencia.

Las ondas con las longitudes más cortas poseen mayor frecuencia y a mayor frecuencia existe mayor energía. Las ondas con longitudes más cortas poseen niveles de energía que son dañinas para la salud.

Figura 5. **Longitud de onda**



Fuente: *Radiación solar*. <https://edu.phineal.com/lessons/la-radiacion-solar/>. Consulta: 4 de julio de 2019.

4.3.4.3. **Luz ultravioleta (UV)**

La luz ultravioleta es invisible para el ojo humano, este ocupa la porción del espectro electromagnético situada entre los rayos X y la luz visible, estos son emitidos por el sol. Las longitudes de ondas están comprendidas entre los 200 y los 300 nanómetros y estas tienen la peculiaridad de poder inactivar microorganismos como bacterias, virus y protozoos, evitando así su reproducción e infecciones.

Los microorganismos se desactivan mediante la luz UV porque estos afectan directamente a los ácidos nucleicos. Las siguientes unidades se utilizan para algunas bandas espectrales, como la visible y la ultravioleta:

Figura 6. **Unidades de medida para radiación visible y ultravioleta**

Unidad
1 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$
1 klux
1 W m^{-2}
1 klux
1 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$
1 klux
1 W m^{-2}
1 W^*h

Fuente: BENAVIDES, Oswaldo. Información técnica sobre la radiación ultravioleta, el índice UV y supepronostico.

<http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/022454/NotatecnicaIUVPaginaWEBfinal.pdf>. Consulta: 11 de julio de 2019.

Los tipos de radiaciones se dividen como rayos gamma, rayos X, rayos ultravioleta, visibles e infrarrojos. Los rayos ultravioleta se dividen en:

Tabla V. **Rayos ultravioleta**

Clase de radiación	Longitud de onda	Característica
Ultravioleta A (UVA)	320 – 400 nm	Alcanza la superficie terrestre con valores del orden de 50 W/m ² al medio día.
Ultravioleta B (UVB)	280 – 320 nm	Alcanza la superficie terrestre con valores inferiores a 2 W/m ² al medio día.
Ultravioleta C (UVC)	100 – 280 nm	No alcanzan la superficie terrestre.

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2018.

El índice UV (UVI) se clasifica en cinco clases de acuerdo con el valor y los efectos de la radiación UV.

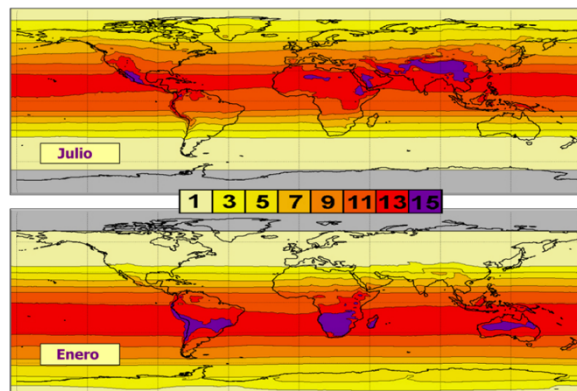
Figura 7. **Valores del UVI solar**

UVI	Grado	Irradiancia (Ibe) (W/m ²)
0-2	Bajo	< 0,075
3-5	Moderado	0,075-0,138
6-7	Alto	0,139-0,187
8-10	Muy alto	0,188-0,262
> 10	Extremo	> 0,262

Fuente: LORENTE, Jerónimo. *Radiación solar*.

<https://www.portalfarma.com/Profesionales/campanaspf/categorias/Documents/MAQUETACION%20MATERIAL%20FORMATIVO%20fotoproteccionfotproc2010.pdf>. Consulta: 12 de julio de 2019.

Figura 8. **Valores del índice UV para diferentes lugares geográficos**



Fuente: LORENTE, Jerónimo. *Radiación solar*.

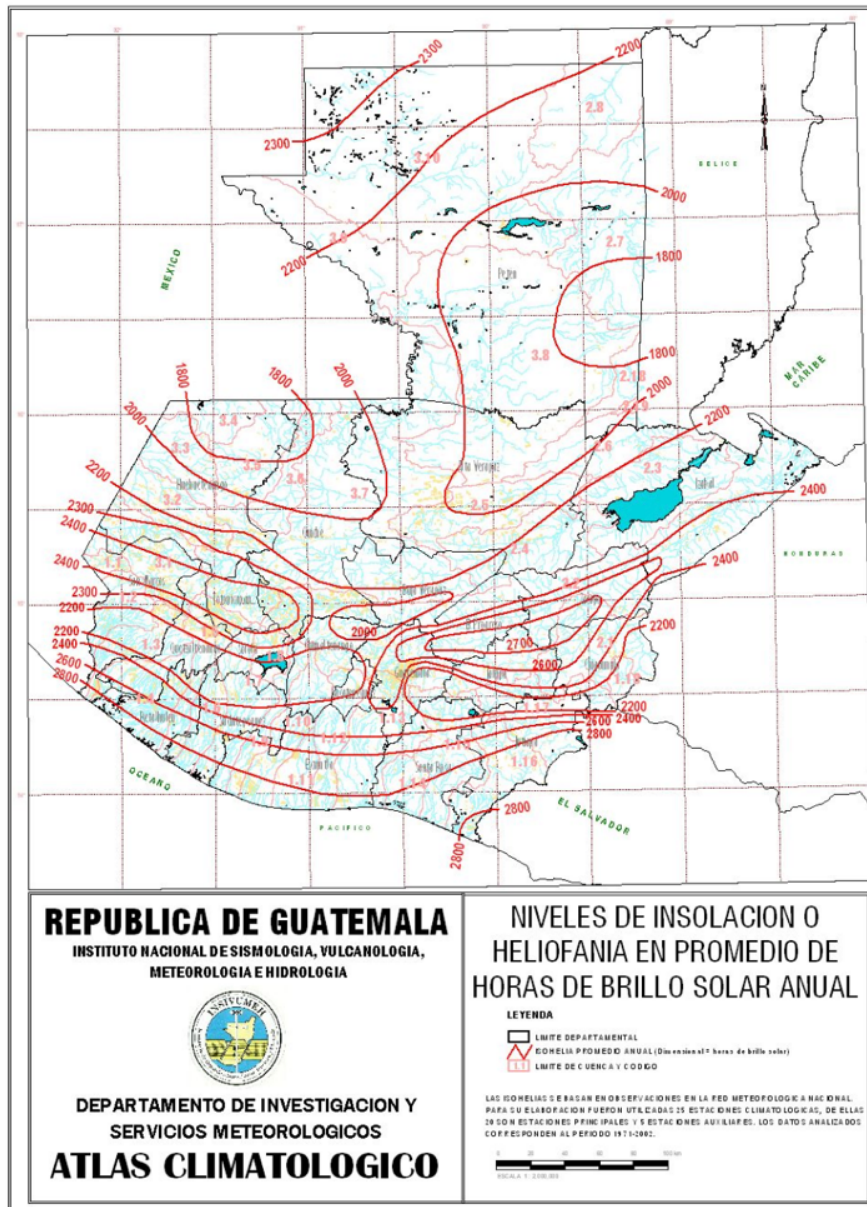
<https://www.portalfarma.com/Profesionales/campanaspf/categorias/Documents/MAQUETACION%20MATERIAL%20FORMATIVO%20fotoproteccionfotproc2010.pdf>. Consulta: 12 de julio de 2019.

4.3.4.4. Insolación solar en el municipio de Casillas

La insolación es la cantidad de radiación solar de la energía electromagnética incide en la superficie terrestre y la unidad más común en la que se expresa es de kWh/m²/día.

Según el INSIVUMEH y sus mapas generados sobre los niveles de insolación o heliofanía en promedio de horas de brillo solar anual en el municipio de Casillas y la región de estudio para este trabajo de investigación, se encuentran dentro de las 2 400 horas de brillo solar anual, es decir que en promedio al día existe insolación durante 6-8 h.

Figura 9. Niveles de insolación



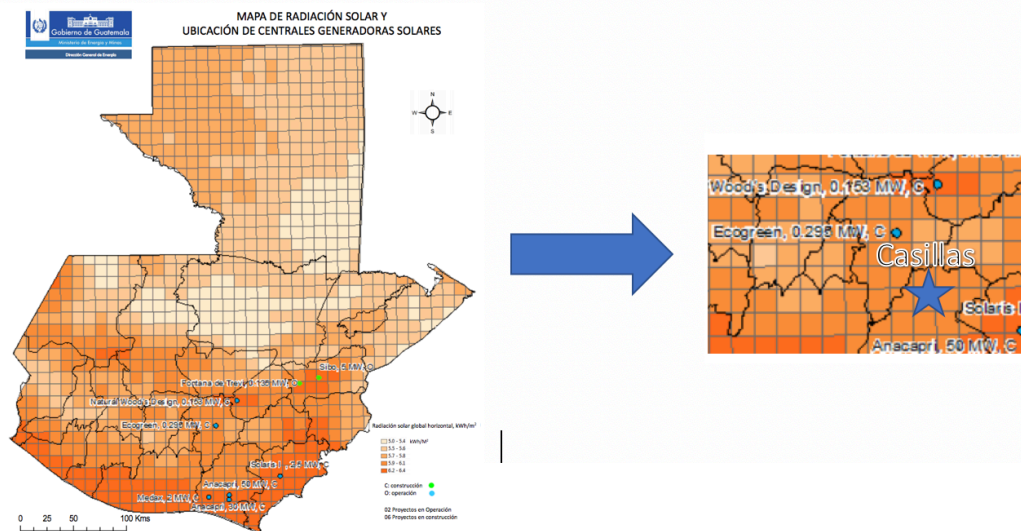
Fuente: INSIVUMEH. *Niveles de insolación o heliofania en promedio de horas de brillo solar anual.*

http://www.insivumeh.gob.gt/hidrologia/ATLAS_HIDROMETEOROLOGICO/Atlas_Climatologico/isohelias.jpg. Consulta: 12 de julio de 2019.

4.3.4.5. Radiación solar en el municipio de Casillas

Según los datos obtenidos del Ministerio de Energía y Minas (MEM) la radiación para el año 2014 en se encuentra en el rango de 5,9 a 6,1 kWh/m², definiéndolo, así como un promedio de 6 kWh/m².

Figura 10. Radiación en el municipio de Casillas



Fuente: MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS. *Mapa de radiación solar.*

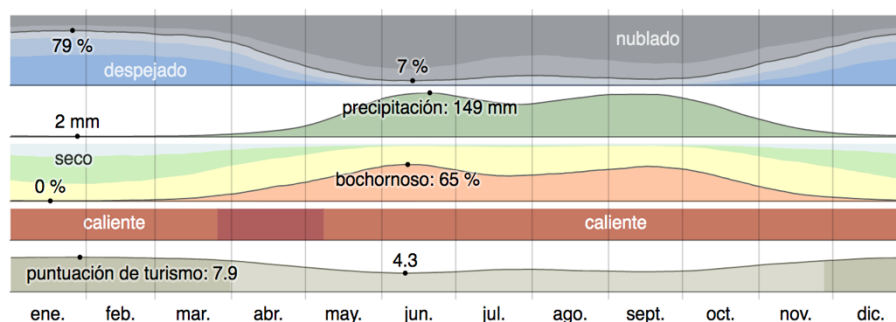
<http://www.mem.gob.gt/wp-content/uploads/2012/04/Mapa-solar.pdf>. Consulta: 4 de julio de 2019.

4.3.4.6. Clima

Los siguientes datos son un análisis estadístico de informes climatológicos históricos por hora que van desde el 1 de enero de 1980 al 31 de diciembre del 2016.

La temporada de lluvia es húmeda y nublada, la temporada seca es mayormente despejada y es caliente durante todo el año. Durante el transcurso del año, la temperatura generalmente varía de 15 °C a 30 °C y rara vez baja a menos de 13 °C o sube a más de 32 °C. ¹³

Figura 11. Resumen del clima



Fuente: <https://es.weatherspark.com/y/11670/Clima-promedio-en-Nueva-Santa-Rosa-Guatemala-durante-todo-el-a%C3%B1o>.

Consulta: 14 de marzo de 2019.

¹³ WEATHER, Spark. *El clima promedio en nueva Santa Rosa*. <https://es.weatherspark.com/y/11670/Clima-promedio-en-Nueva-Santa-Rosa-Guatemala-durante-todo-el-a%C3%B1o>. Consulta: 01 abril 2019.

4.3.4.7. Comparación de datos con diversas investigaciones de aplicación del método SODIS

A continuación, se muestra la tabla VI con información sobre distintas investigaciones alrededor del mundo del método SODIS, en donde se puede observar que la aplicación depende de la irradiación, tiempo de exposición y localidad. Donde se puede observar que algunas investigaciones no obtuvieron resultados positivos y otras sí.

Tabla VI. Comparación con otras investigaciones sobre el método SODIS

No.	Fuente	SODIS	Radiación Solar	Rayos UV	Tiempo de exposición*	Lugar	Fecha	Comentario
1	G. Ivonne, S. Rafael y S. Vincenzo.	Efectiva	X		2 días	Venezuela, La Guadalupe	agosto 2013	Utilizaron concentrador solar
2	O. Oscar	Inefectiva	2,200 J/km ² /día, media anual		No especificado	Guatemala. 12 comunidades de Tacaná, Tajumulco y Sibinal	Enero 2008	Tesis sin finalizar
3	Espinoza N., Marin C.	Efectiva	No especificado	X	6 hrs	Waslala, Nicaragua	2002-2003	Utilizaron bolsas negras para reflectar la luz en la botella
4	Gagliano, G.	Efectiva		X	6 hrs	Rio La Plata, Argentina	2002	Utilizaron el material auliminio para reflectar los rayos UV. Las muestras no mostraban microorganismos significantes desde el inicio
5	R. Patricia Pulcini	Inefectiva	X		48 hrs	Represa en Campina Grande, Paraíba, Brasil	marzo 2003	Presencia de mal tiempo en la implementación del método

Continuación de la Tabla VI.

6	G. Patricia, S. Eder y M. Dora	Efectiva		X	6hrs	Lima, Perú	marzo 2003	No se redujo el 100% de microorganismos, pero si los suficientes para normativa peruana de consumo humano
7	J. Feria., R. Alvarez y J. Rodríguez.	Efectiva		1825 W/m ²	18 hrs	Sucre, Colombia	febrero 2020	
8	S. Ramsey., M. Winston. y C. Ricardo	Efectiva		950 W/m ²	6hrs	Trinidad y Tobago	marzo 2003	Fue evaluado para agua de casa, tomado directamente de las llaves de agua
9	O. Oliva Carolina	Inefectiva	X	No especificado	48 hrs	Rio Tomebamba, Ecuador	julio 2011	Hubo parcialmente remoción de E. Coli y coliformes totales, pero no en su totalidad
10	L. Jose.	Efectiva		X	No especificado	Barranquilla, Colombia	2017	Realizaron varios procesos de filtración antes de implementar el metodo SODIS
11	L. Rafael.	Efectiva		X	1.003cal/(cm ² *min)	San Juan Sacatepéquez, Guatemala	jun-11	Se tomo esta tesis como base de comparación por la similitud de circunstancias de esta investigación

Fuente: elaboración propia, empleando Excel 2018.¹⁴

¹⁴ Las horas de exposición descritas en la tabla anterior, están basada en las horas efectivas expuestas al sol, sin tomar en cuenta las horas nocturnas.

4.4. Características físicas del agua potable

Desde un punto de vista físico, el agua potable puede clasificarse según sus propiedades.

4.4.1. Color

El agua potable es incolora. El color del agua es debido al contenido de materia orgánica, residuos clorados y minerales como hierro y manganeso aunque el verdadero color se debe a las partículas disueltas y las algas provocan en el agua un color verdoso, los desechos de cromato le dan color amarillento.

La presencia de color es, por tanto, indicador de calidad deficiente.

4.4.2. Olor

El agua potable carece de olor, son inodoras. Se puede dar el caso que el agua pueda oler, en tal caso, esto se puede deber a una serie de posibles motivos que, a continuación, se detallan:

- Productos químicos inestables.
- Materia orgánica en descomposición.
- Plancton (algas y protozoos).
- Bacterias.

Igualmente, el olor de un agua puede ser indicador de contaminación de la misma, bien sea por algún producto químico, o bien, por sufrir ésta un proceso de eutrofización.¹⁵

4.4.3. Sabor

El agua de consumo humano no debe presentar ningún sabor, ya que estos resultan desagradables para la mayoría de los consumidores, así que se establece que el agua potable no posee sabor alguno.

4.4.4. Turbiedad

La turbiedad es la pérdida de transparencia que posee el agua por el contenido de partículas en suspensión.

A pesar de que el agua se encuentre dentro de los parámetros químicos y microbiológicos para que sea de consumo humano si son turbias son rechazadas por el consumidor. Según la Organización Mundial para la Salud la turbidez no debe de superar las 5 UNT.

¹⁵ AMBIENTUM. *Características físicas y organolépticas*.
https://www.ambientum.com/enciclopedia_medioambiental/aguas/caracteristicas_fisicas_y_organolepticas.asp. Consulta: 26 marzo 2019.

Figura 12. **Turbiedad**



Fuente: Google imágenes. *Turbiedad del agua.*

https://www.google.com/search?q=turbiedad+del+agua&rlz=1C5CHFA_enGT800GT800&source=Inms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKEwj2-JuF-fjhAhVCXKwKHYS-AooQ_AUIDigB&biw=1440&bih=707#imgrc=aQgOethwo48djM

Consulta: 6 de marzo de 2019.

4.4.5. Potencial de hidrógeno (pH)

El potencial de hidrógeno (pH) indica la acidez o alcalinidad, la escala de medición que va del 0 al 14 es logarítmica por lo que cada cambio de la unidad del pH representa un cambio de diez veces. Las soluciones con un pH inferior a 7 se consideran como ácidos y las que están por encima del 7 se consideran como bases o alcalinos. Es considerado que para el agua potable con una temperatura de 25 °C el valor del pH debe ser neutro, es decir 7, ya que si se encuentra por debajo de este podría ser ácida y corrosiva y si se encuentra por arriba de este valor podría indicarse que el agua es alcalina.

Figura 13. **Potencial de hidrógeno**



Fuente: CARBOTECNIA. *pH del Agua*. <https://www.carbotecnia.info/encyclopedia/que-es-el-ph-del-agua/>. Consulta: 4 de julio de 2019.

4.4.7. Total de sólidos disueltos (TDS)

El total de sólidos disueltos son el número de miligramos del residuo que queda después de evaporar una muestra de agua que primeramente fue filtrada utilizando un filtro de fibra de vidrio con abertura de 1,5 micras. El agua es evaporada y al residuo se le aumenta a una temperatura de 180 °C y se representa como mg/L. El contenido de TDS puede estimarse midiendo la conductividad eléctrica ya que estos se ionizan y aumentan su conductividad, el agua potable posee un valor de conductividad eléctrica de 0.

4.4.8. Sólidos sedimentables

La materia sedimentable es definida como las partículas sólidas suspendidas contenidas en la muestra líquida se depositan en el fondo debido a la fuerza de gravedad, la cantidad que se sedimenta en una muestra puede ser expresada en función de su volumen (mL/L) o de una masa (mg/L), mediante volumetría y gravimetría respectivamente.

4.5. Características químicas del agua potable

Los múltiples compuestos químicos disueltos en el agua pueden ser de origen natural o industrial y serán benéficos o dañinos de acuerdo con su composición y concentración.¹⁶

4.5.1. Cloro residual

El agua que contiene cloro residual es habitualmente rechazado por el consumidor porque se puede percibir el sabor de este aunque no sea dañino para la salud, ya que el umbral de detección es de 0,5 ppm.

El proceso de cloración genera dos tipos de cloro residual libre y combinado, la detección de estos se realiza mediante:¹⁷

- Clorómetros. Test rápido colorimétrico cuantitativo. Con patrones estables entre 0 y 1 ppm de cloro residual. Método de la otolidina.
- Test rápido de cloro mediante juegos de reactivos con escala de colores. Contenidos de cloro entre 0,1 y 1,5 ppm.
- Método iodométrico para la determinación del contenido de cloro activo en concentraciones elevadas, superiores a 1 mg/l.

¹⁶ ORELLANA, Jorge. *Características del agua potable*. Actualización: 2005. https://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/civil/ing_sanitaria/Ingenieria_Sanitaria_A4_Capitulo_03_Caracteristicas_del_Agua_Potable.pdf. Consulta: 26 marzo 2019.

¹⁷ AMBIENTUM. *Determinación del cloro residual*. https://www.ambientum.com/enciclopedia_medioambiental/aguas/determinacion_del_cloro_residual.asp. Consulta: 26 marzo 2019.

- Determinación volumétrica mediante el reactivo N, N-dietil-p-fenilendiamonio, DPD. Adecuado para concentraciones de "cloro activo libre" entre 0,1 y 4 mg/l o ppm.
- Método colorimétrico de la ortotolidina para concentraciones entre 0,01 y 1 ppm de cloro libre residual.
- Método amperométrico.

4.5.2. Cloruro

En el agua potable, su presencia se debe al agregado de cloro en las plantas potabilizadoras como desinfectante. En altas concentraciones y en combinación con otras sales producen sabores desagradables.

Según la COGUANOR NGO 29 001:99 tiene un límite máximo aceptable de 100,00 mg/L y un límite permisible de 250 000 mg/L.

4.5.3. Conductividad

La conductividad del agua nos indica las concentraciones de iones disueltos que posee esta y según la COGUANOR NGO 29 001:99 el agua potable deberá de tener una conductividad de 100 $\mu\text{Sm/cm}$ a 750 $\mu\text{Sm/cm}$ a una temperatura de 25 °C.

4.5.4. Dureza

Se le denomina dureza a las concentraciones de compuestos minerales que posee el agua en distintas proporciones, estos en particular son las sales de magnesio y calcio. Se dice que es agua “dura” cuando posee cantidades elevadas de dichas sales y es agua “blanda” cuando contiene mínimas cantidades.

Según la COGUANOR NGO 29 001:99 ¹⁸ tiene un límite máximo aceptable de 100,00 mg/L y un límite permisible de 500 000 mg/L.

4.6. Bacteriológicas

La bacteria *Escherichia Coli* y el grupo coliforme en su conjunto, son los organismos más comunes utilizados como indicadores de la contaminación fecal. Las bacterias *Coliformes* son microorganismos de forma cilíndrica, capaces de fermentar la glucosa y la lactosa. Estos microorganismos son causantes de enfermedades de origen hídrico, que generan altos porcentajes de morbi-mortalidad en la población.

4.6.1. Coliformes totales

Son bacterias en forma de bacilos, aerobios y anaerobios facultativos, Gram negativos, no esporulados que fermentan la lactosa con producción de ácido y de gas.¹⁹ Se requiere de estos *coliformes* si no hay condiciones para cuantificar *coliformes fecales*.

¹⁸ Comisión Guatemalteca de Normas, Ministerio de Economía. *Norma Técnica Guatemalteca, COGUANOR NTG 29001*. p. 1-15.

¹⁹ Comisión Guatemalteca de Normas, Ministerio de Economía. *Norma Técnica Guatemalteca, COGUANOR NGO 29 001:99. Agua potable, especificaciones*. Guatemala, 1985. p. 1-15.

La presencia de *coliformes totales* debe interpretarse de acuerdo con el tipo de aguas: deben estar ausentes en 85 % de las muestras de aguas potables tratadas. En caso de estar presentes, su número no puede ser superior a 2-3 *coliformes*. Esta contaminación a pesar de ser baja, no puede ocurrir en tres muestras recolectadas en días consecutivos.

4.6.2. Coliformes fecales

Es un subgrupo de bacterias *coliformes totales* que se encuentra en grandes cantidades en los intestinos y excremento de los humanos y animales. Estos se han seleccionado como indicadores de contaminación fecal debido a su relación con el grupo *tifoide-paratifoide* y su alta concentración en diferentes tipos de muestras.

Estos son transmitidos al agua cuando las personas vierten sus desechos domésticos e industriales a los cuerpos de agua los cuales usualmente contienen materia orgánica y microorganismos de origen fecal.

El control de la calidad del agua de acuerdo a los *coliformes* se hace mediante dos métodos según COGUANOR NGO 29 001:99:

- Método de los tubos múltiples de fermentación:
 - Prueba de 15 tubos: se examinan 5 tubos con porciones de 10 mL, 5 tubos con porciones de 1 mL y 5 tubos con porciones de 0,1 mL, la ausencia de gas en todos los tubos se expresa como número más probable menor de 2,0 *coliformes* en 100 mL de agua, lo que se interpreta como que esa muestra aislada satisface la norma de calidad y el agua es adecuada para el consumo humano.

- Prueba de 9 tubos: se examinan 3 tubos con porciones de 10 mL, 3 tubos con porciones de 1 mL y 3 tubos con porciones de 0,1 mL, la ausencia de gas en todos los tubos se expresa como número más probable menor de 3,0 *coliformes* en 100 mL, lo cual se interpreta como indicador de que esa muestra aislada satisface la norma de calidad y el agua es adecuada para consumo humano.
- Método por la membrana de filtración: volumen a utilizar es de 100 ml. Se acepta como límite una colonia de *coliformes totales* y ausencia de *Escherichia coli* en 100 ml de agua. La ausencia de coliformes se interpreta como que esa muestra aislada satisface la norma de calidad y el agua es adecuada para consumo humano.

En la tabla VII se encuentran los límites que existen en el método de los tubos múltiples de fermentación.

Tabla VII. **Métodos de los tubos múltiples de fermentación**

Cuando se examinan porciones de 10 mL	No más del 10 % deben mostrar, en cualquier mes, la presencia del grupo coliforme
No se permitirá la presencia del grupo coliforme en tres o más porciones de 10 mL de una muestra normal.	<ul style="list-style-type: none"> • En dos muestras consecutivas En más de una muestra mensual, cuando se examinan mensualmente menos de 20 muestras • En más de 5 % de las muestras, cuando se examinan mensualmente más de 20 muestras.

Fuente: MEIERHOFER, Regula y WEGELIN, Martin. *Desinfección Solar del Agua, Guía de aplicación.*

https://www.sodis.ch/methode/anwendung/ausbildungsmaterial/dokumente_material/manual_s.pdf. Consulta: 17 de marzo de 2021.

Tabla VIII. **Métodos de las membranas de filtración**

La media aritmética de todas las muestras normales que se examinen en un mes no debe de exceder de:	Un microorganismo/ 100 mL
El número de colonias por muestra normal no a de exceder de 3/50 mL, 4/100 mL, 7/200 mL ó 13/500 mL.	<ul style="list-style-type: none"> • Dos muestras consecutivas • En más de una muestra mensual, cuando se examinan mensualmente menos de 20 muestras. • Más del 5 % de las muestras normales cuando se examinan mensualmente m

Fuente: MEIERHOFER, Regula y WEGELIN, Martin. Desinfección Solar del Agua, Guía de aplicación.

https://www.sodis.ch/methode/anwendung/ausbildungsmaterial/dokumente_material/manual_s.pdf. Consulta: 17 de marzo de 2019.

4.6.2.1. **Remoción de bacterias coliformes fecales**

Para calcular el porcentaje de remoción de bacterias se debe de utilizar la siguiente ecuación:

$$\% \text{ de remoción} = \frac{CCAM - CCDM}{CCAM} * 100$$

Donde:

% de remoción = Porcentaje de remoción *coliformes fecales*.

CCAM = Cantidad de *coliformes* antes del método SODIS.

CCDM = Cantidad de *coliformes* después del método SODIS.

4.6.3. Evaluación de la situación sanitaria según la Organización Mundial de la Salud

Para cada tipo de fuente o caudal de agua, la proporción o el porcentaje de puntos que se registrarán durante la inspección sanitaria devuelven resultados positivos conforme al riesgo de una puntuación del riesgo sanitario, se pueden asociar de una manera arbitraria a diferentes grados de riesgos, como lo establece la OMS en las siguientes tablas:

Figura 14. Ejemplos de puntuación de los riesgos en una inspección sanitaria según la OMS

Puntuación de los riesgos	Riesgo^a
0	Ningún riesgo observado
1-3	Poco riesgo
4-6	Riesgo mediano
7-10	Alto riesgo

Fuente: Organización Mundial de la Salud. *Guías para la calidad del agua potable, volumen 3*. <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/41985/9243545035-spa.pdf>. Consulta: 11 de julio de 2019.

Figura 15. Ejemplo de esquema de clasificación y asignación de colores para los coliformes termotolerantes (fecales) o E. Coli en los abastecimientos de agua

Recuento por 100 ml	Categoría y color asignado	Observaciones
0	A (azul)	De conformidad con las directrices de la OMS
1-10	B (verde)	Poco riesgo
10-100	C (amarillo)	Riesgo mediano
100-1000	D (anaranjado)	Alto riesgo
>1000	E (rojo)	Riesgo muy alto

Fuente: Organización Mundial de la Salud. *Guías para la calidad del agua potable, volumen 3*. <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/41985/9243545035-spa.pdf>. Consulta: 4 de julio de 2019.

4.7. SODIS en Guatemala

Como se ha mencionado anteriormente, la implementación del método SODIS en Guatemala, bajo un marco legal, puede aplicarse solamente en ocasiones de emergencia o desastre, pero se ha encontrado bibliografía en donde el método ha sido implementado como una solución accesible para que las comunidades puedan ingerir agua potable.

En el año 2002 el método fue implementado en los vertederos de Acatán, Teocinte 18” y Canalitos de la planta potabilizadora Santa Luisa y los resultados de este trabajo demuestran que la remoción de los *coliformes fecales* fue de un 97.5 % – 100 %, el color aparente tuvo un porcentaje de remoción del 80 % y todas las muestras de turbidez estuvieron por debajo de los 30 UTN.

En el año 2011 se implementó el método en comunidades de San Juan Sacatepéquez y los resultados indicaron que la mayoría de los microorganismos dañinos para la salud humana, se encuentran dentro de los parámetros establecidos en la norma COGUANOR NGO 29 001. Los conteos de *E. Coli* y de *coliformes totales* se redujeron el 100 % demostrando así que el método es efectivo.

5. DISEÑO METODOLÓGICO

5.1. Variables

Las variables para este trabajo de investigación se dividen en dependientes e independientes.

5.1.1. Variables dependientes

Las variables dependientes que se describen a continuación, se les llama así por que dependen de una serie de factores, de las variables independientes, para ser medibles.

- Cloro residual libre
- Cloruro
- Conductividad
- Dureza Total
- Potencial de Hidrógeno
- Solidos totales disueltos
- Sulfato

- Temperatura
- Aluminio
- Calcio
- Cinc
- Cobre
- Magnesio
- Turbiedad

5.1.2. Variables independientes

Las variables independientes que se describen a continuación, son las variables principales de esta investigación.

- Rayos del sol
- Descargas residuales
- Desechos solidos
- Solidos suspendidos

5.2. Medición de rayos UV

La toma de datos sobre rayos ultravioleta se realizó por medio de la aplicación para móviles UVMate, el cual muestra resultados de radiación de un lugar en específico y en tiempo real, tomando en cuenta los factores de temperatura y nubosidad. Los datos que muestra la aplicación son los índices de UV (figura n.º 7) los cuales también pueden ser interpretados como (W/m^2).

Figura 16. Aplicación UVMate



Fuente: APLICACIÓN UVMATE. Rayos UV. <https://uvmate.com/>. Consulta: 16 de julio de 2019.

5.3. Características del envase

Las botellas de PET (tereftalato de polietileno) son las más recomendables para aplicar este método ya que contienen menos aditivos que las botellas de PVC y para la efectividad del método la botella no debe de exceder una profundidad de 10 cm.

Estas deben de estar debidamente lavadas y secas antes de aplicar el método.

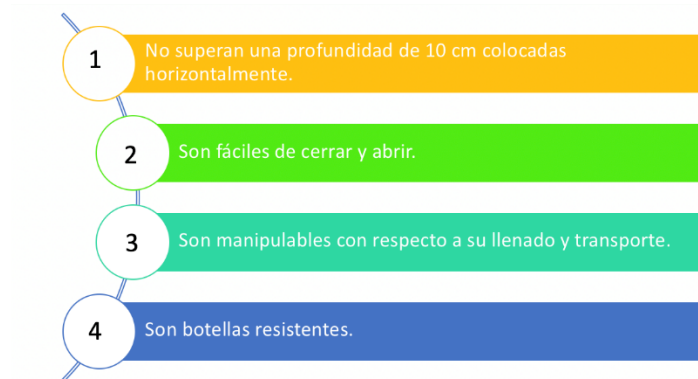
Tabla IX. **Botellas PET**

Botellas PET	
Ventajas	Poco peso
	Relativamente irrompible
	Transparente
	Sabor neutro
	Químicamente estable
Desventajas	Limitada resistencia térmica (deformación por encima de 65 °C)
	Rayaduras y otros efectos de envejecimiento

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2018.

Las botellas PET son prácticas para la implementación del método, dadas las siguientes ventajas:

Figura 17. **Ventajas de la botella PET**



Fuente: elaboración propia, empleado en Microsoft Word 2019.

5.4. Delimitación del campo de estudio

El campo de estudio es la evaluación del método SODIS en las aldeas de Llano Grande y El Izote del municipio de Casillas del Departamento de Santa Rosa, basándose en los parámetros establecidos por la COGUANOR NGO 29 001 para clasificar el agua como potable.

5.5. Recursos humanos disponibles

- Investigadora: Ana Lucía León Bosque
- Asesor: Ing. Andy Williams Alonzo Vásquez

- Municipalidad de Casillas.
- Centro de Salud del municipio de Casillas.
- Laboratorio de la Universidad de San Carlos de Guatemala para el análisis de muestras.
- Personas encargadas del recurso hídrico en las comunidades:
 - Rosalio Martínez
 - Mario Roberto Aguilar
 - José Feliz Hernández

5.6. Recursos materiales disponibles

- Computadora
- Software SIG
- Vehículo
- Combustible
- Cámara fotográfica

5.6.1. Reactivos para la determinación de coliformes según los métodos establecidos en COGUANOR 29 001

- Caldo *Lauril Triptosa*
- Caldo *Bilis Verde Brillante*
- Caldo *Escherichia coli*

5.6.2. Recipientes de recolección de muestras

Según COGUANOR NGO 29 005 los envases de recolección de agua para consumo humano deberán ser de material inocuo que no altere las características físicas, químicas, microbiológicas y sensoriales del producto y deberán de estar debidamente selladas. Los envases pueden ser de cualquiera de los materiales siguientes:

Material retornable:

- Vidrio
- Policarbonato
- Polietilenteraftalato (PET)

Material no retornable:

- Polietilenteraftalato (PET)

- Plásticos de polietileno de alta o baja densidad de grado alimenticio
- Poli (cloruro de vinilo) (PVC) grado alimenticio
- Otros materiales poliméricos de grado alimenticio

5.7. Toma de muestras

El primer muestreo se realizó para conocer las características de las fuentes de abastecimiento de las comunidades y se realizó un segundo muestreo después de la implementación del método SODIS para poder conocer su efectividad.

La toma de muestras que fueron llevadas al laboratorio para realizarles el análisis fisicoquímico y microbiológico fue ejecutado de la siguiente manera:

- Los recipientes brindados en el laboratorio se enjuagaron varias veces en la fuente de agua, antes de la toma de muestras, tanto los recipientes para el análisis microbiológico como el fisicoquímico.
- Para el análisis microbiológico se utilizaron recipientes de vidrio de boca ancha y tapones de rosca esterilizados con capacidad de 250 ml, se llenaron dejando un espacio de aire de 2,5 cm entre la tapa del recipiente y la muestra de agua y luego se les colocó la cubierta de papel.
- Para el análisis fisicoquímico se utilizaron recipientes de plástico con capacidad de medio galón y fueron llenados completamente.

- Al terminar la toma de muestras los recipientes se identificaron debidamente: Nombre de quien tomó la muestra, lugar donde se realizó la toma de muestra, fecha, hora y coordenadas del lugar.
- Ambos recipientes fueron colocados en una hielera con un contenido de hielo de ($< 7\text{ }^{\circ}\text{C}$) y se transportaron al laboratorio para su análisis.

Figura 18. **Recipientes para la toma de muestras**



Fuente: elaboración propia, empleando móvil Iphone 10.

5.8. Recolección y ordenamiento de la información

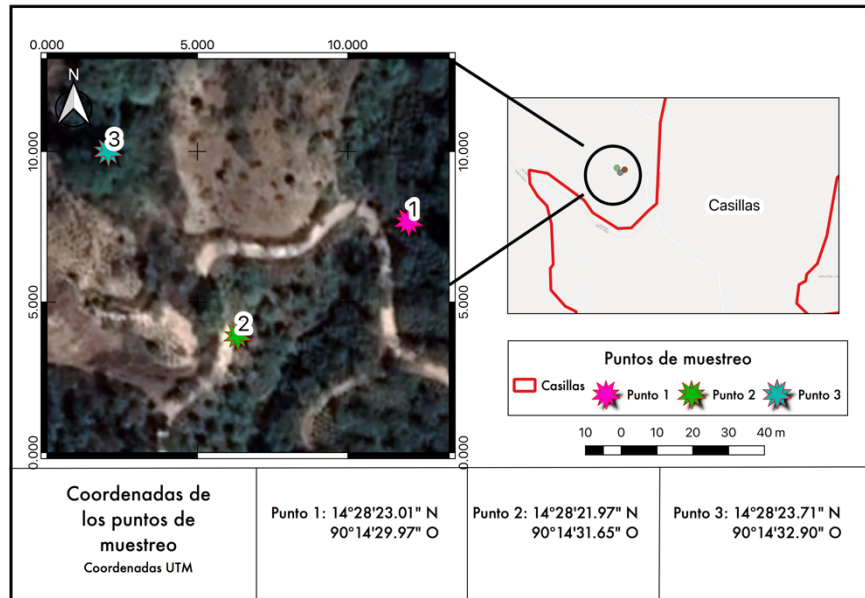
La toma de muestras se realizó en las aldeas de Llano Grande y El Izote, pertenecientes al municipio de Casillas del departamento de Santa Rosa, Guatemala.

Figura 19. **Municipio de Casillas**



Fuente: elaboración propia, empleando QGIS.

Figura 20. **Puntos de muestreo en departamento de Casillas, Santa Rosa**



Fuente: elaboración propia, empleando QGIS.

Tabla X. **Información de Casillas**

Caudal (L/seg)	Aldea	Porcentaje de población que cubre el caudal
4.17	Llano Grande	29,88 %
6.3	El Izote 1	50,19 %
2.22	El Izote 2	19,93 %

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word 2019. Información brindada por la municipalidad de Casillas.

5.9. Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información

El material que respalda la metodología implementada en la recolección de muestras fue registrado mediante fotografías.

Los datos obtenidos mediante los análisis de laboratorio de la primera y segunda etapa del trabajo fueron ordenados y tabulados.

Las entrevistas realizadas fueron llenadas debidamente y anexadas.

5.10. Análisis de los resultados

Los datos de las condiciones de las fuentes de abastecimiento de las Aldeas fueron procesadas por análisis de laboratorio en donde se evaluaron sus parámetros conforme al cumplimiento de la COGUANOR 29001. La ubicación de los puntos de muestreo, datos de población y enfermedades a nivel nacional fueron analizados mediante un sistema de información geográfica.

5.10.1. Programas utilizados para el análisis de datos

Los programas utilizados fueron:

- QGIS 2.18.22
- QGIS 3.8
- Microsoft Word 2016
- Microsoft Excel 2016

6. RESULTADOS

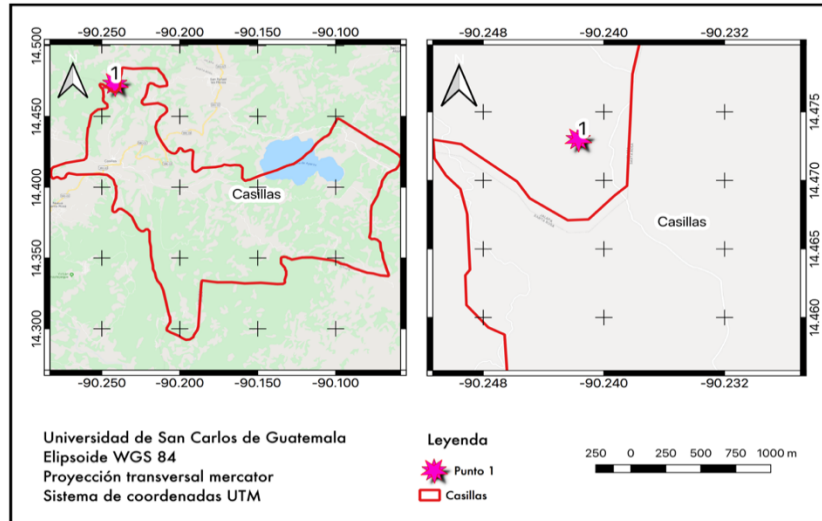
Los resultados de este trabajo son evaluados mediante un análisis estadístico descriptivo que compara los parámetros establecidos en la COGUANOR 29001 para conocer la calidad del agua que utilizan las aldeas como consumo humano antes y después de la implementación del método SODIS, con el fin de brindarles una opción económicamente viable, fácil de implementar y reducir la contaminación del lugar donde habitan por los desechos acumulados de botellas PET.

6.1. Trabajo de campo

Se coordinó en conjunto con la municipalidad, el centro de salud de Casillas y los encargados del tema hídrico Mario Roberto Aguilar, José Félix Hernández y Rosalio Martínez de las aldeas de Llano Grande y El Izote respectivamente, la realización de una visita de campo para la toma de muestras luego de una entrevista para conocer la situación actual del tipo y metodología implementada para el abastecimiento de agua para las comunidades. Las entrevistas realizadas evidenciaron que en ninguna de las aldeas se realiza algún método de desinfección del agua, se prosiguió entonces a la toma de muestras.

El primer punto establecido para la toma de muestras está ubicado como en la siguiente figura se muestra:

Figura 21. Punto de muestreo n.º 1



Fuente: elaboración propia, empleando QGIS.

En este punto el agua que provenía del nacimiento de agua era conducido por una tubería de PVC que se encontraba resguardada por una estructura de mampostería construida hace más de 20 años y conducía el agua directamente hacia la comunidad de la aldea Llano Grande mediante tuberías de PVC. Antes de tomar las muestras se limpió la tubería utilizando algodón con alcohol y se prosiguió a lavar la botella PET con la misma agua del nacimiento, desechando el agua después del lavado en un lugar apartado de la fuente de abastecimiento, se repitió este procedimiento tres veces luego se llenó y fue cerrada la botella. El mismo procedimiento de llenado y lavado de la botella PET se le realizó al envase para el examen fisicoquímico. El envase de vidrio esterilizado para el examen bacteriológico se destapó por primera vez en la toma de muestra y se llenó dejando un espacio entre la tapadera y el agua de por lo menos 2,5 cm, se tapó debidamente y se colocó de inmediato en hielo.

Figura 22. Toma de muestras en el punto de muestreo n.º 1



Fuente: Oficina de Planificación Municipal, Municipalidad de Guatemala.

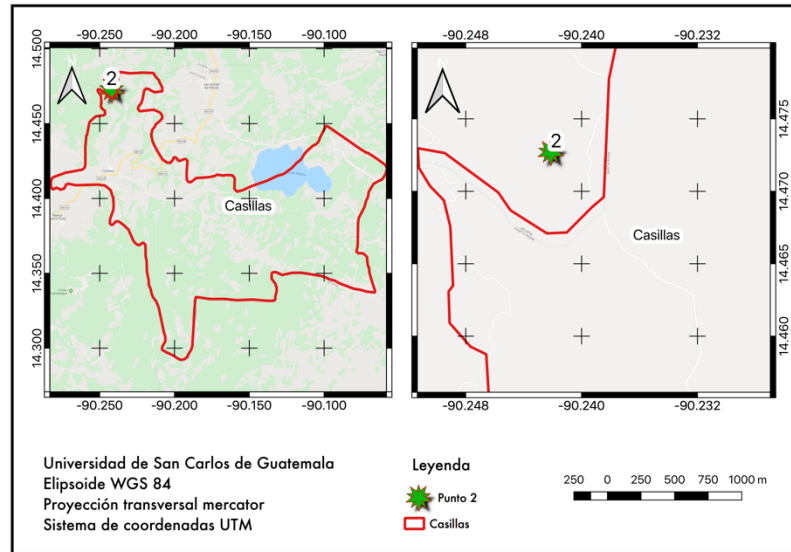
Figura 23. **Toma de muestras en el punto de muestro n.º 2**



Fuente: Oficina de Planificación Municipal, Municipalidad de Guatemala.

El segundo punto establecido para la toma de muestras está ubicado como en la siguiente figura se muestra:

Figura 24. Punto de muestreo n.º 2



Fuente: elaboración propia, empleando QGIS.

De igual manera que en el punto uno, el agua que provenía de la fuente era conducida a través de una tubería de PVC hacia la estructura de mampostería en donde se acumula para que sea transportada por efectos de la gravedad a través de una tubería de PVC hacia la comunidad de la aldea El Izote. Para la toma de muestras se limpió el área de la tubería utilizando algodón con alcohol, los envases de PET y el del examen fisicoquímico se enjuagaron con el agua de la fuente tres veces y se desechó el agua sucia en un lugar apartado a la fuente seguido de eso se prosiguió a tomar la muestras llenando los envases y para la muestra del examen bacteriológico se destapó el envase de vidrio y se tomó la muestra dejando un espacio de 2,5 cm entre la tapadera y el agua e inmediatamente se colocó la muestra en hielo.

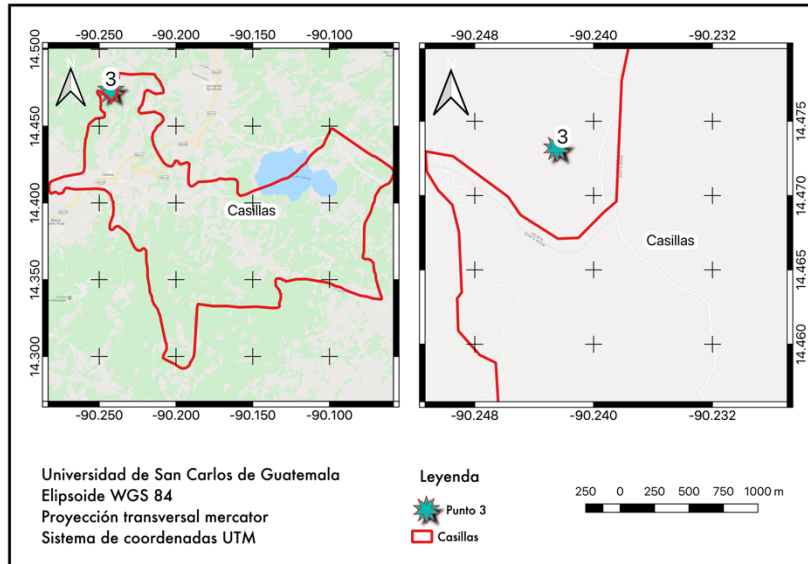
Figura 25. **Toma de muestras en el punto de muestro n.º 2**



Fuente: Oficina de Planificación Municipal, Municipalidad de Guatemala.

El tercer punto establecido para la toma de muestras que se encuentra ubicado como en la siguiente figura se muestra, fue el punto más alejado del centro de Casillas, de los tres evaluados.

Figura 26. Punto de muestreo n.º 3



Fuente: elaboración propia, empleando QGIS.

Cuando se llegó al punto de muestreo y observamos la estructura de mampostería notamos que el agua que se encontraba estancada ahí podría poseer alguna clase contaminación y decidimos realizar la toma de muestra directamente de una de las tuberías que conduce el agua por efecto de gravedad hacia la aldea de Llano Grande. La tubería se limpió utilizando algodón con alcohol y se prosiguió a enjuagar los envases PET y del examen fisicoquímico tres veces, desechando el agua en un área apartada para que no influyera con el agua proveniente de la fuente, luego de eso se llenaron ambos envases. Para la toma de muestra del examen bacteriológico se destapó por primera vez el envase y se tomó la muestra, dejando un espacio de por lo menos 2,5 entre la tapadera y el agua e inmediatamente se colocó en hielo.

Figura 27. **Toma de muestras en el punto de muestreo n.º 3**



Fuente: Oficina de Planificación Municipal, Municipalidad de Guatemala.

Figura 28. **Muestras conservadas por el hielo**



Fuente: Oficina de Planificación Municipal, Municipalidad de Guatemala.

Al obtener todas las muestras necesarias regresamos al centro del municipio a la terraza del mercado a las 10:30 a.m. en donde se identificaron los envases concordantes al lugar donde había sido tomada la muestra, se agitaron por 20 segundos, se colocaron los envases de manera horizontal y se dejaron expuestos al sol durante 6 horas.

Figura 29. **Agitación de botellas**



Fuente: Oficina de Planificación Municipal, Municipalidad de Guatemala.

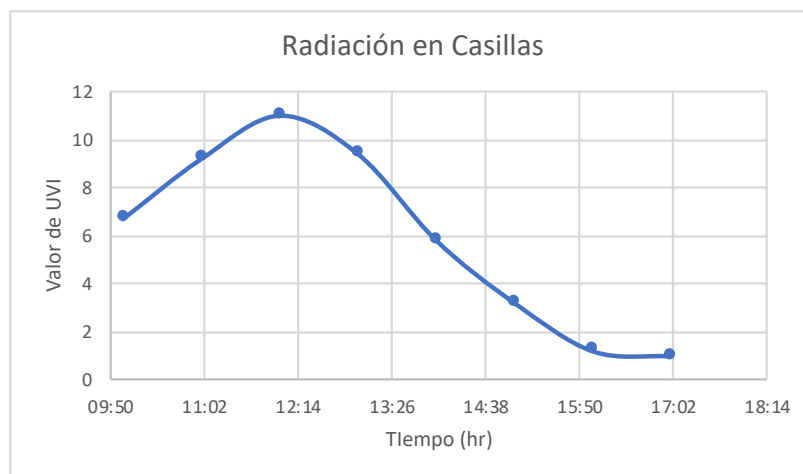
Figura 30. **Botellas expuestas a la radiación solar**



Fuente: Oficina de Planificación Municipal, Municipalidad de Guatemala.

Utilizando la aplicación UVIMate se controló la radiación de casillas y el comportamiento captado por esta aplicación se representa en la siguiente gráfica:

Figura 31. **Radiación en Casillas**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2018.

Se puede observar que durante las horas sol en el municipio de Casillas se presenta mayor radiación durante las 11:00, 12:00 y 13:00 horas, con valores de 9,2, 11 y 9,4 respectivamente, clasificándose en el color rojo de grado muy alto en la escala de UVI solar. Luego de su exposición al sol, el agua se colocó en los envases respectivos para los exámenes de laboratorio fisicoquímico y bacteriológico, cada uno de los envases fue identificado y colocado en hielo para ser transportados a la ciudad de Guatemala.

Figura 32. **Identificación de envases luego de la aplicación del método**



Fuente: Oficina de Planificación Municipal, Municipalidad de Guatemala.

Las muestras fueron trasladadas a la ciudad de Guatemala en donde fueron colocadas en la refrigeradora para mantener su temperatura. Al día siguiente fueron llevadas al laboratorio para la realización del análisis de cada una de las muestras y estos fueron los resultados:

Tabla XI. **Parámetros bacteriológicos antes de la implementación del método SODIS**

Examen bacteriológico antes del método	
Aldea Llano Grande	
Prueba	Resultado
Aspecto	Clara
Color	Inodora
Número más probable/100cm ³ . coliformes totales	> 1 600
Número más probable/100cm ³ . coliformes fecales	140
Aldea el Izote	
Prueba	Resultado
Aspecto	Clara
Color	Inodora
Número más probable/100cm ³ . Grupo Coli	110
Número más probable/100cm ³ . Grupo Aerogenes	4,5
Aldea El Izote (2)	
Prueba	Resultado
Aspecto	Clara
Color	Inodora
Número más probable/100cm ³ . Grupo Coli	220
Número más probable/100cm ³ . Grupo Aerogenes	34

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2018.

Tabla XII. **Parámetros bacteriológicos después de la implementación del método SODIS**

Examen bacteriológico después del método	
Aldea Llano Grande	
Prueba	Resultado
Aspecto	Clara
Color	Inodora
Número más probable/100cm ³ . Grupo Coli	11
Número más probable/100cm ³ . Grupo Aerogenes	4,5
Aldea el Izote	
Prueba	Resultado
Aspecto	Clara
Color	Inodora
Número más probable/100cm ³ . Grupo Coli	11
Número más probable/100cm ³ . Grupo Aerogenes	4,5
Aldea El Izote (2)	
Prueba	Resultado
Aspecto	Clara
Color	Inodora
Número más probable/100cm ³ . Grupo Coli	7,8
Número más probable/100cm ³ . Grupo Aerogenes	< 1,8

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2018.

Tabla XIII. **Parámetros fisicoquímicos antes de la implementación del método SODIS**

Examen fisicoquímico antes del método								
Aldea Llano Grande			Aldea El Izote			Aldea El Izote (2)		
Características físicas	Prueba	Resultado	Características físicas	Prueba	Resultado	Características físicas	Prueba	Resultado
	Aspecto	Clara		Aspecto	Clara		Aspecto	Clara
	Color (unidades)	43		Color (unidades)	1		Color (unidades)	35
	Turbiedad (UNT)	8,34		Turbiedad (UNT)	1,53		Turbiedad (UNT)	6,58
	Olor	Inodora		Olor	Inodora		Olor	Inodora
	pH	5,7		pH	5,77		pH	6,34
	Conductividad eléctrica (µmhos/cm)	51,20		Conductividad eléctrica (µmhos/cm)	70,20		Conductividad eléctrica (µmhos/cm)	113,10
	Sólidos disueltos (mg/L)	27		Sólidos disueltos (mg/L)	37		Sólidos disueltos (mg/L)	60
Características químicas	Calcio (mg/L)	8,02	Características químicas	Calcio (mg/L)	9,62	Características químicas	Calcio (mg/L)	12,02
	Nitritos (mg/L)	0,033		Nitritos (mg/L)	0,02		Nitritos (mg/L)	0,027
	Nitratos (mg/L)	16		Nitratos (mg/L)	10,90		Nitratos (mg/L)	12,60
	Cloro residual (mg/L)			Cloro residual (mg/L)			Cloro residual (mg/L)	
	Manganeso (mg/L)	0,028		Manganeso (mg/L)	0,031		Manganeso (mg/L)	0,013
	Cloruros (mg/L)	12,5		Cloruros (mg/L)	12,50		Cloruros (mg/L)	13
	Magnesio (mg/L)	7,3		Magnesio (mg/L)	13,64		Magnesio (mg/L)	7,30
	Sulfatos (mg/L)	3		Sulfatos (mg/L)	3		Sulfatos (mg/L)	5
	Hierro total (mg/L)	0,19		Hierro total (mg/L)	0,05		Hierro total (mg/L)	0,13
	Dureza total (mg/L)	50		Dureza total (mg/L)	80		Dureza total (mg/L)	60

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2018.

Tabla XIV. **Parámetros fisicoquímicos después de la implementación del método SODIS**

Examen fisicoquímico después del método								
Aldea Llano Grande			Aldea El Izote			Aldea El Izote (2)		
Características físicas	Prueba	Resultado	Características físicas	Prueba	Resultado	Características físicas	Prueba	Resultado
	Aspecto	Clara		Aspecto	Clara		Aspecto	Clara
	Color (unidades)	38		Color (unidades)	5		Color (unidades)	48
	Turbiedad (UNT)	8,52		Turbiedad (UNT)	1,41		Turbiedad (UNT)	9,25
	Olor	Inodora		Olor	Inodora		Olor	Inodora
	pH	5,21		pH	5,68		pH	6,33
	Conductividad eléctrica (µmhos/cm)	57,30		Conductividad eléctrica (µmhos/cm)	50,80		Conductividad eléctrica (µmhos/cm)	104
	Sólidos disueltos (mg/L)	30		Sólidos disueltos (mg/L)	27		Sólidos disueltos (mg/L)	55
Características químicas	Calcio (mg/L)	10,42	Características químicas	Calcio (mg/L)	4,81	Características químicas	Calcio (mg/L)	8,02
	Nitritos (mg/L)	0,028		Nitritos (mg/L)	0,013		Nitritos (mg/L)	0,028
	Nitratos (mg/L)	13,10		Nitratos (mg/L)	12,60		Nitratos (mg/L)	10,5
	Cloro residual (mg/L)			Cloro residual (mg/L)			Cloro residual (mg/L)	
	Manganeso (mg/L)	0,01		Manganeso (mg/L)	0,009		Manganeso (mg/L)	0,009
	Cloruros (mg/L)	10		Cloruros (mg/L)	10		Cloruros (mg/L)	12
	Magnesio (mg/L)	0,01		Magnesio (mg/L)	4,38		Magnesio (mg/L)	3,89
	Sulfatos (mg/L)	2		Sulfatos (mg/L)	1		Sulfatos (mg/L)	5
	Hierro total (mg/L)	0,21		Hierro total (mg/L)	0,06		Hierro total (mg/L)	0,14
	Dureza total (mg/L)	24		Dureza total (mg/L)	30		Dureza total (mg/L)	36

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2018.

Estos resultados fueron comparados con los parámetros de los límites máximos permisibles de la Norma NGO 29001²⁰, ya que cualquier valor por encima de estos causan daños a la salud humana. Se pueden observar las comparaciones de los parámetros en las siguientes tablas:

Tabla XV. Comparación con la Norma NGO 29001 del examen bacteriológico después del método de la aldea Llano Grande

Bacteriológicos aldea Llano Grande después del método			
Parámetros	Norma NGO 29001 (LMP)	Laboratorio	Cumple
Aspecto	N/A	Clara	N/A
Color	No rechazable	Inodora	Sí
Numero más probable/100 cm³. Coliformes totales	No debe de ser detectables en 100 mL de agua	11	No
Numero más probable/100 cm³. Coliformes fecales	N/A	4,5	N/A

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2018.

Tabla XVI. Comparación con la Norma NGO 29001 del examen bacteriológico después del método de la aldea El Izote

Bacteriológicos aldea El Izote después del método			
Parámetros	Norma NGO 29001 (LMP)	Laboratorio	Cumple
Aspecto	N/A	Clara	N/A
Color	No rechazable	Inodora	Sí
Numero más probable/100 cm³. Coliformes totales	No debe de ser detectables en 100 mL de agua	11	No
Numero más probable/100 cm³. Coliformes fecales	N/A	4,5	N/A

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2018.

²⁰ Comisión Guatemalteca de Normas, Ministerio de Economía. *Norma Técnica Guatemalteca, COGUANOR NTG 29001.*

Tabla XVII. **Comparación con la Norma NGO 29001 del examen bacteriológico después del método de la aldea El Izote (2)**

Bacteriológicos aldea El Izote (2) después del método			
Parámetros	Norma NGO 29001 (LMP)	Laboratorio	Cumple
Aspecto	N/A	Clara	N/A
Color	No rechazable	Inodora	Sí
Numero más probable/100 cm³. Coliformes totales	No debe de ser detectables en 100 mL de agua	7,8	No
Numero más probable/100 cm³. Coliformes fecales	N/A	< 1,8	N/A

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2018.

Tabla XVIII. **Comparación con la Norma NGO 29001 del examen fisicoquímico después del método de la aldea Llano Grande**

Fisicoquímico aldea Llano Grande después del método			
Parámetros	Norma NGO 29001 (LMP)	Laboratorio	Cumple
Color (unidades)	35	38	No
Turbiedad (UNT)	15	8,52	Sí
Olor	No rechazable	Inodora	Sí
pH	6,5-8,5	5,21	No
Conductividad eléctrica (µmhos/cm)	< 1 500	57,3	Sí
Solidos disueltos (mg/L)	1 000	30	Sí
Calcio (mg/L)	150	10,42	Sí
Nitritos (mg/L)	1	0,028	Sí
Nitratos (mg/L)	10	13,1	No
Manganeso (mg/L)	0,5	0,01	Sí
Cloruros (mg/L)	250	10	Sí
Magnesio (mg/L)	100	0,01	Sí
Sulfatos (mg/L)	250	2	Sí
Hierro total (mg/L)	1	0,21	Sí
Dureza total (mg/L)	500	24	Sí

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2018.

Tabla XIX. **Comparación con la Norma NGO 29001 del examen físicoquímico después del método de la aldea El Izote**

Físicoquímico aldea El Izote después del método			
Parámetros	Norma NGO 29001 (LMP)	Laboratorio	Cumple
Color (unidades)	35	5	Sí
Turbiedad (UNT)	15	1,41	Sí
Olor	No rechazable	Inodora	Sí
pH	6,5-8,5	5,68	Sí
Conductividad eléctrica (µmhos/cm)	< 1 500	50,8	Sí
Sólidos disueltos (mg/L)	1 000	27	Sí
Calcio (mg/L)	150	4,81	Sí
Nitritos (mg/L)	1	0,013	Sí
Nitratos (mg/L)	10	12,6	No
Manganeso (mg/L)	0,5	0,009	Sí
Cloruros (mg/L)	250	10	Sí
Magnesio (mg/L)	100	4,38	Sí
Sulfatos (mg/L)	250	1	Sí
Hierro total (mg/L)	1	0,06	Sí
Dureza total (mg/L)	500	30	Sí

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2018.

Tabla XX. **Comparación con la Norma NGO 29001 del examen fisicoquímico después del método de la aldea El Izote (2)**

Fisicoquímico aldea El Izote (2) después del método			
Parámetros	Norma NGO 29001 (LMP)	Laboratorio	Cumple
Color (unidades)	35	48	Sí
Turbiedad (UNT)	15	9,25	Sí
Olor	No rechazable	Inodora	Sí
pH	6,5-8,5	6,33	No
Conductividad eléctrica (μmhos/cm)	< 1 500	104	Sí
Solidos disueltos (mg/L)	1 000	55	Sí
Calcio (mg/L)	150	8,02	Sí
Nitritos (mg/L)	1	0,028	Sí
Nitratos (mg/L)	10	10,5	No
Manganeso (mg/L)	0,5	0,009	Sí
Cloruros (mg/L)	250	12	Sí
Magnesio (mg/L)	100	3,89	Sí
Sulfatos (mg/L)	250	5	Sí
Hierro total (mg/L)	1	0,14	Sí
Dureza total (mg/L)	500	36	Sí

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2018.

Según la norma NGO 29001 los parámetros evaluados de las fuentes de agua antes de que se les aplicara el método SODIS se encuentran en las siguientes clasificaciones:

Tabla XXI. **Clasificación bacteriológica según las Guías de agua potable de la OMS de las fuentes de agua antes del método**

Examen bacteriológico antes del método	
Fuente	Clasificación
Aldea Llano Grande	II
Aldea El Izote	I
Aldea El Izote (2)	I

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2018

Tabla XXII. **Clasificación fisicoquímica según las guías de agua potable de la OMS de las fuentes de agua antes del método**

Examen fisicoquímico antes del método	
Fuente	Cumple con la norma
Aldea Llano Grande	Sí
Aldea El Izote	Sí
Aldea El Izote (2)	Sí

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2018.

Según la clasificación bacteriológica de la fuente de agua antes de la aplicación del método en la aldea Llano Grande es enmarcada como clasificación II por la guía para calidad del agua potable de la OMS, volumen 3, figuras 14 y 15, lo que significa que la calidad bacteriológica de la fuente requiere un tratamiento de los que habitualmente son empleados (coagulación, filtración, desinfección) según normas de calidad para las fuentes de agua de las Normas Internacionales para el Agua Potable, de la Organización Mundial de la Salud

(OMS). La clasificación bacteriológica de las fuentes de agua antes de la aplicación del método en la aldea El Izote son enmarcadas como clasificación I, lo que significa que la calidad bacteriológica requiere únicamente un tratamiento simple de desinfección según normas de calidad para las fuentes de agua de las Normas Internacionales para el Agua Potable, de la Organización Mundial de la Salud (OMS), siendo estas fuentes aptas para la implementación del método. Según el recuento por 100 ml de *coliformes fecales*, antes de la aplicación del método, en las fuentes por la guía para calidad del agua potable de la OMS, volumen 3, figuras 14 y 15, se pueden clasificar de la siguiente manera:

- Aldea Llano Grande: categoría D (anaranjada), alto riesgo.
- Aldea El Izote: categoría C (amarillo), riesgo mediano.
- Aldea El Izote: categoría D (anaranjada), alto riesgo.

Según la clasificación fisicoquímica de las fuentes de agua antes de la aplicación del método en las aldeas Llano Grande y El Izote la calidad física y química cumplen con a norma NGO 29001, lo que hace que el agua con estas propiedades sea apta para el consumo humano sin causar daños a la salud.

Tabla XXIII. **Clasificación bacteriológica según las guías de agua potable de la OMS de las fuentes de agua después del método**

Examen bacteriológico después del método	
Fuente	Clasificación
Aldea Llano Grande	I
Aldea El Izote	I
Aldea El Izote (2)	II

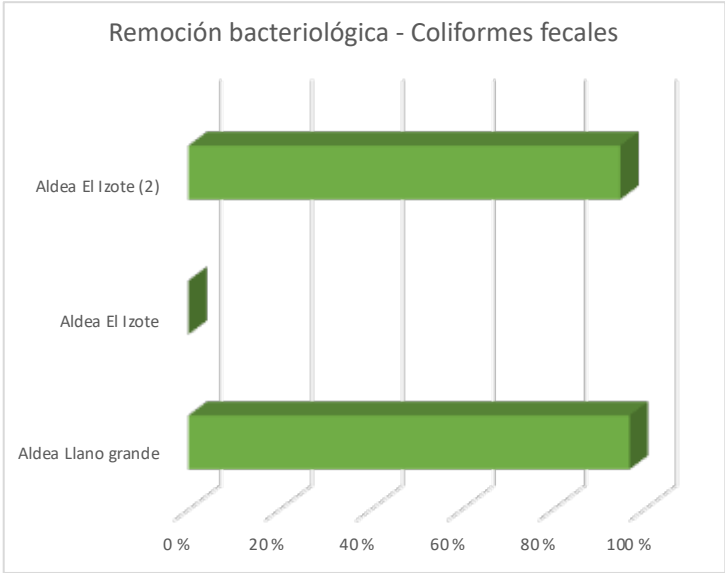
Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2018.

Tabla XXIV. **Clasificación fisicoquímica según las guías de agua potable de la OMS de las fuentes de agua después del método**

Examen fisicoquímico después del método	
Fuente	Cumple con la norma
Aldea Llano Grande	Sí
Aldea El Izote	Sí
Aldea El Izote (2)	Sí

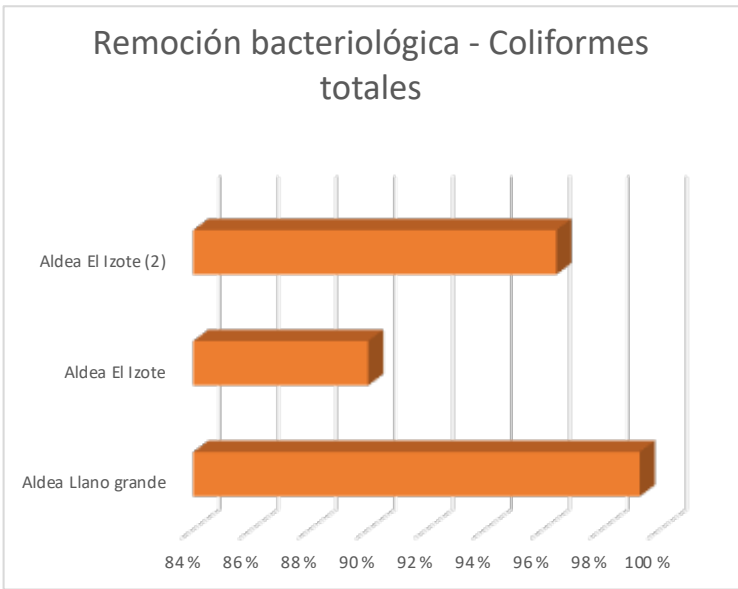
Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2018.

Figura 33. **Porcentaje de remoción de coliformes fecales**



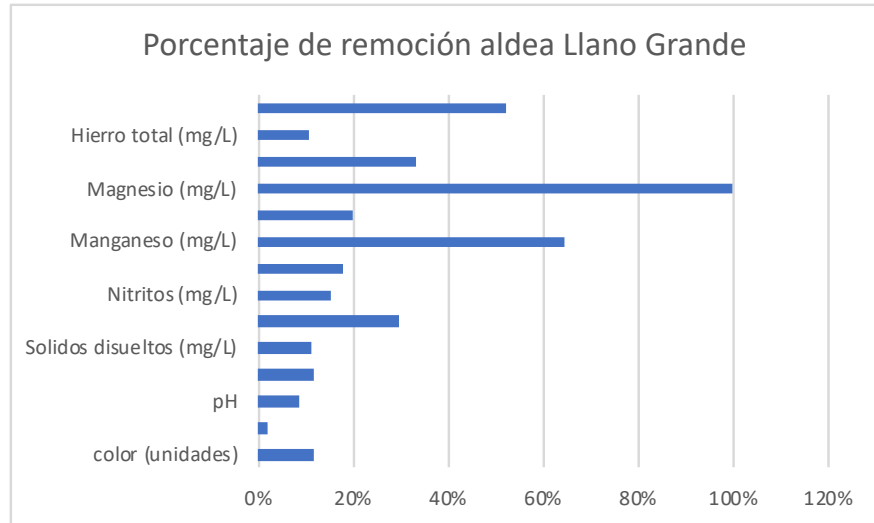
Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2018.

Figura 34. **Porcentaje de remoción de coliformes totales**



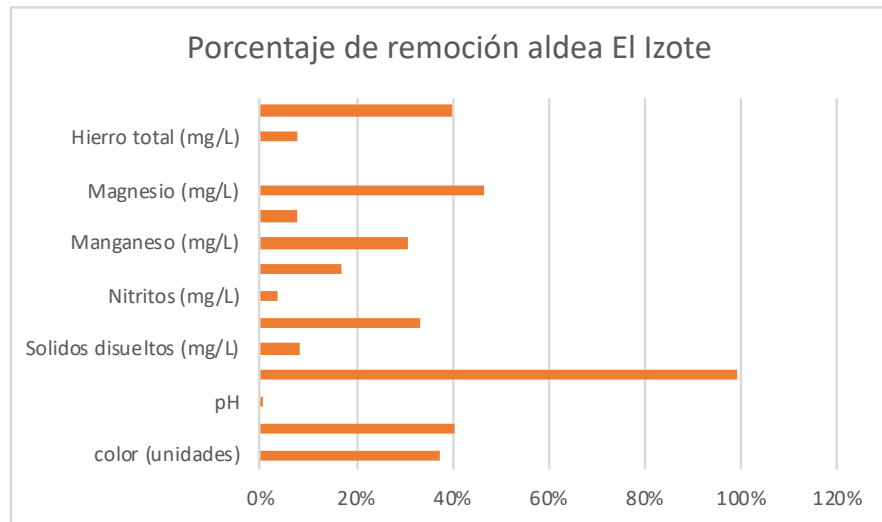
Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2018.

Figura 35. **Porcentaje de remoción fisicoquímicos de la aldea Llano Grande**



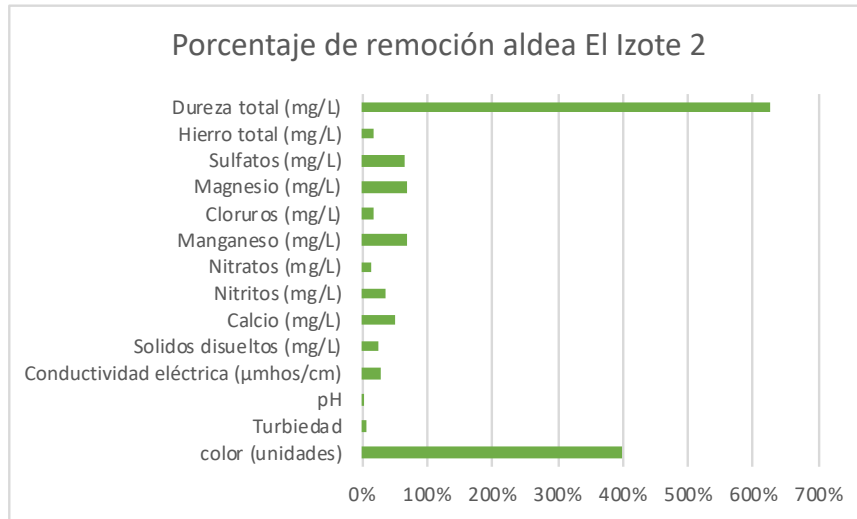
Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2018.

Figura 36. **Porcentaje de remoción fisicoquímicos de la aldea El Izote**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2018.

Figura 37. **Porcentaje de remoción fisicoquímicos de la aldea El Izote (2)**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2018.

Según la clasificación bacteriológica de la fuente de agua después de la aplicación del método en la aldea Llano Grande y la primera fuente que abastece la aldea El Izote, ambas son enmarcadas como clasificación I, lo que significa que requieren un tratamiento de desinfección y la segunda fuente que abastece la aldea El Izote es enmarcada como clasificación II lo que significa que la calidad bacteriológica de la fuente requiere un tratamiento de los que habitualmente son empleados (coagulación, filtración, desinfección) según normas de calidad para las fuentes de agua de las Normas Internacionales para el Agua Potable, de la Organización Mundial de la Salud (OMS).

Utilizando los datos de las tablas IX y X se calculan los porcentajes de remoción de *coliformes fecales* y *totales*, los cuales son reflejados en la figura 33 y 34, donde se puede observar que el mayor porcentaje de remoción se obtuvo

en la muestra de la Aldea Llano Grande con un 97 % y 99 %, seguido de la segunda fuente de abastecimiento de la Aldea el Izote (2) con un 95 % y 96 %, por último, la primera fuente de abastecimiento de la Aldea El Izote con 0 % y 90 %, respectivamente.

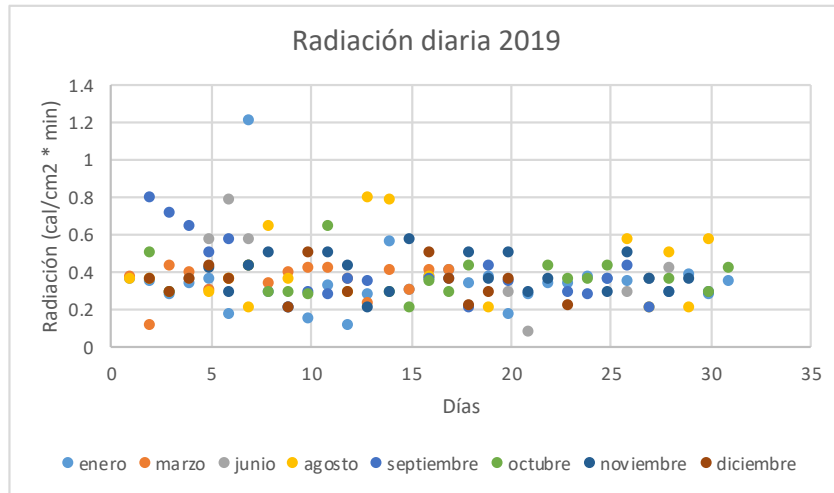
Según el recuento por 100ml de *coliformes fecales*, después de la aplicación del método, en las fuentes por la guía para calidad del agua potable volumen 3, figuras 14 y 15, se pueden clasificar de la siguiente manera:

- Aldea Llano Grande: categoría B (verde), poco riesgo.
- Aldea El Izote: categoría B (verde), poco riesgo.
- Aldea El Izote (2): categoría B (verde), poco riesgo.

Utilizando los datos de las tablas XI y XII se calculan los porcentajes de remoción fisicoquímicos, donde se puede observar que en la aldea Llano Grande y la aldea El Izote (2) el valor del porcentaje de remoción más alto es del magnesio con un 99,86 % y 46,71, respectivamente. En la primera fuente de abastecimiento de la Aldea El Izote el valor más alto obtenido es el del manganeso con un 70,97 %.

Según la clasificación fisicoquímica de las fuentes de agua a pesar de que no en todos los parámetros evaluados hubo una disminución significativa ya que el método se utiliza para fines de desinfección, si cumplen con el límite máximo permisible establecido por la norma NGO 29001

Figura 38. Radiación UV diaria tipo A, 2019



Fuente: elaboración propia, Ploteo de radiación UV diaria tipo A, datos brindados por INSIVUMEH.

Como se puede apreciar en la figura 38 que se muestra la radiación UV diaria tipo A 2019 no están ploteados los meses de febrero, abril, mayo y junio por falta de información de parte de INSIVUMEH, además los datos presentados no se presentó la irradiación en la cual si ha sido efectivo el método en Guatemala.

Tabla XXV. **Grado de error de aceptación en base a 1,003 cal/cm²*min de irradiación (López, R. 2011)**

Mes	Error de aceptación
Enero	65,97%
Febrero	No hay datos
Marzo	64,41%
Abril	No hay datos
Mayo	No hay datos
Junio	60,00%
Julio	No hay datos
Agosto	58,35%
Septiembre	60,62%
Octubre	63,47%
Noviembre	69,79%
Diciembre	66,07%

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2018.

En la tabla XXV grado de error de aceptación en base a $1,003 \frac{\text{cal}}{\text{cm}^2 \cdot \text{min}}$ de irradiación de los meses que disponían de datos brindados por INSIVUMEH oscilan entre 58,35 % - 66,07 % lo cual indica que, durante el año 2019 en Casillas, Santa Rosa la aplicación del método SODIS, en promedio anual, está un 62,46 % lejano a que pueda ser factible su aplicación para la desinfección del agua, por lo menos para este periodo anual. No se descarta la posibilidad de poder aplicar el método en otra localización realizando más muestreos y exponerlos a la radiación UV por un tiempo más extenso.

Tomando en cuenta todos los factores anteriormente descritos y principalmente la distancia entre la estación de INSIVUMEH y Casillas de 61,8 km por carretera y en línea recta 36 km, deberá entonces poder aplicarse el

método en una localización que posea una estación que cumpla con el valor de $1,003 \frac{cal}{cm^2 * min}$.

Este trabajo de investigación queda a disposición de que puedan continuar o aplicar este método a nivel nacional basándose en las limitaciones de este trabajo para obtener los mejores resultados.

CONCLUSIONES

1. El método SODIS se llevó a cabo en el municipio de Casillas, Santa Rosa, localizado con las coordenadas 14°25'02"N y 90°14'39"O y se realizó un muestreo simple el 5 de noviembre de 2019 en tres fuentes de agua diferentes con un tiempo de exposición a los rayos UV de 7 h con 30 min. Los resultados de laboratorio bacteriológico mostraron con una radiación de $0,42 \frac{cal}{cm^2 * min}$, demuestran que el método no cumple con el límite mínimo permisible de la norma COGUANOR 29 001.
2. La evaluación de las fuentes de aguas seleccionadas desde el punto de información sanitaria y bacteriológica no cumplían con la norma COGUANOR 29 001 para el consumo humano y las tres fuentes con mayor población fueron: El Izote 1 con 4 030 habitantes, aldea Llano Grande con 2 400 habitantes y El Izote 2 con 1 600 habitantes.
3. Los valores remoción obtenidos después de la implementación del método SODIS para la aldea Llano Grande con *coliformes fecales* 97 % y *coliformes totales* 99 %, aldea El Izote (2) con *coliformes fecales* 95 % y *coliformes fecales* 96 % y aldea Izote con *coliformes fecales* 0 % y 90 %.
4. Para las fuentes de abastecimiento de las aldeas Llano Grande, El Izote y El Izote (2) los valores obtenidos en el análisis de laboratorio del estudio bacteriológico, tanto para antes de la aplicación del método como para después, no cumplen con la norma COGUANOR 29 001.

RECOMENDACIONES

1. Asegurar de la existencia de una estación meteorológica en el mismo lugar de evaluación para poder obtener datos de radiación tipo UV.
2. Realizar a lo largo de todo el año el estudio con diferentes exposiciones de radiación UV, para poder corroborar que días son efectivos el método SODIS.

BIBLIOGRAFÍA

1. ADASA. Aguas superficiales. [en línea]. <<http://adasaproducts.com/aguas-superficiales/>>. [Consulta: 19 marzo 2019].
2. AMBIENTUM. *Características físicas y organolépticas*. [en línea]. <https://www.ambientum.com/enciclopedia_medioambiental/aguas/caracteristicas_fisicas_y_organolepticas.asp>. [Consulta: 26 marzo 2019].
3. AMBIENTUM. *Determinación del cloro residual*. [en línea]. <https://www.ambientum.com/enciclopedia_medioambiental/aguas/determinacion_del_cloro_residual.asp>. [Consulta: 26 marzo 2019].
4. AMERICAN CANCER SOCIETY. *¿Qué es la radiación ultravioleta (UV)?* [en línea]. Actualización: abril 17, 2017. <<https://www.cancer.org/es/cancer/cancer-de-piel/prevencion-y-deteccion-temprana/que-es-la-radiacion-de-luz-ultravioleta.html>>. [Consulta: 12 marzo 2019].

5. ARTIOLA, J. y RAMÍREZ, M. *Solventes Clorados Contaminantes en los Acuíferos de Arizona*. [en línea]. Actualización: agosto 2006. <https://superfund.arizona.edu/sites/superfund.arizona.edu/files/photosfiles/10_24_07_pt_i_solventesclorados.pdf> [Consulta: 16 marzo 2019].
6. BENAVIDES BALLESTEROS, Henry Oswaldo. *Información técnica sobre la radiación ultravioleta, el índice UV y su pronóstico*. [en línea]. Actualización: febrero 2010. <<http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/022454/NotatecnicaUVPaginaWEBfinal.pdf>>. [Consulta: 11 julio 2019].
7. COGUANOR NGO 29 001:99. *Agua potable, especificaciones*. Guatemala, 1985. 15 p.
8. CONSEJO MUNICIPAL DE DESARROLLO DEL MUNICIPIO DE CASILLAS. SECRETARIA DE PLANIFICACION Y PROGRAMACIÓN DE LA PRESIDENCIA. DIRECCIÓN DE PLANIFICACIÓN TERRITORIAL. *Plan de Desarrollo Casillas, Santa Rosa*. Guatemala: SEGEPLAN/DPT, 2010. 87 p.
9. CONSULTORIA AMBIENTAL, EDAR. *Cloración en tratamientos de aguas*. [en línea]. Actualización: abril 17, 2018. <<https://www.tecpa.es/cloracion-tratamiento-aguas/>>. [Consulta: 25 marzo 2019].

10. CUMBRE PUEBLOS. *Contaminación del agua: Qué es, causas, consecuencias y soluciones.* [en línea]. <<https://cumbrepuebloscop20.org/medioambiente/contaminacion/agua/>>. [Consulta: 20 marzo 2019].
11. GOBIERNO DE GUATEMALA. Política Nacional del sector de agua potable y saneamiento. 22 p.
12. GOBIERNO DE EL SALVADOR. *Fuentes de agua.* [en línea]. Actualización: marzo 13, 2015. <<http://www.anda.gob.sv/calidad-del-agua/fuentes-de-agua/>>. [Consulta: 19 marzo 2019].
13. HERNÁNDEZ CHOC, Magda Dinora. *Diseño de tanque de captación y tratamiento de agua, Casillas, Santa Rosa.* Guatemala. Trabajo de graduación de Arquitectura. Universidad De San Carlos de Guatemala, Facultad de Arquitectura. 2017, 140 p.
14. INSIVUMEH. *Niveles de insolación o heliofania en promedio de horas de brillo solar anual.* [en línea]. Actualización: 2002. <http://www.insivumeh.gob.gt/hidrologia/ATLAS_HIDROMETEOROLOGICO/Atlas_Climatologico/isohelias.jpg>. [Consulta: 12 julio 2019].
15. MENDOZA HERNÁNDEZ, Neyling Vanessa. *Impacto en la aplicación del método SODIS como alternativa para el control de enfermedades diarreicas en la comunidad Gracias a Dios, municipio de Telica.* Trabajo de graduación de Médico y Cirujano. León, Universidad Nacional Autónoma UNAM-LEON, España, Facultad de Ciencias Médicas, 2012. 79 p.

16. MINISTERIO DE AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES. *Evaluación Ambiental Inicial*. [en línea]. Actualización: 2019. <http://www.marn.gob.gt/paginas/Evaluacin_Ambiental_Inicial>. [Consulta: 4 julio 2019].
17. MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS GUATEMALA. *Energía Solar en Guatemala*. [en línea]. Actualización: 23 de mayo 2018. <<http://www.mem.gob.gt/wpcontent/uploads/2018/07/Energ%C3%ADa-Solar-en-Guatemala.pdf>>. [Consulta: 4 julio 2019].
18. LORENTE, Jerónimo. *Radiación solar*. [en línea]. Actualización: 23 de mayo 2013. <<https://www.portalfarma.com/Profesionales/campanaspf/categorias/Documents/MAQUETACION%20MATERIAL%20FORMATIVO%20fotoproteccionfotproc2010.pdf>>. [Consulta: 12 julio 2019].
19. ORDOÑEZ GÁLVEZ, Juan Julio. *Cartilla técnica: aguas subterráneas-acuíferos*. [en línea]. Actualización: 2011. <https://www.gwp.org/globalassets/global/gwpsam_files/publicaciones/variros/aguas_subterranneas.pdf>. [Consulta: 14 marzo 2019].
20. ORELLANA, Jorge A. *Características del agua potable*. [en línea]. Actualización: 2005. <https://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/civil/ing_sanitaria/ingenieria_Sanitaria_A4_Capitulo_03_Caracteristicas_del_Agua_Potable.pdf>. [Consulta: 26 marzo 2019].

21. ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD. *Guías para la calidad del agua potable*. [en línea]. Actualización: 2006. <https://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3_es_full_lowres.pdf>. [Consulta: 26 marzo 2019].
22. ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD. *Agua y saneamiento*. [en línea]. Actualización: 2013. <https://www.paho.org/gut/index.php?option=com_content&view=article&id=789:agua-y-saneamiento&Itemid=405>. [Consulta: 12 marzo 2019].
23. ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD. *Las 10 principales de defunción*. [en línea]. Actualización: 2019. <<https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/the-top-10-causes-of-death>>. [Consulta: 10 marzo 2019].
24. ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD. *Enfermedades diarreicas*. [en línea]. Actualización: 2019. <<https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/diarrhoealdisease>>. [Consulta: 10 marzo 2019].
25. ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD. *Guías para la calidad del agua potable, volumen 3*. [en línea]. Actualización: 1998. <<https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/41985/9243545035-spa.pdf>>. [Consulta: 4 julio 2019].
26. ORTIZ GUZMAN, Oscar F. *Línea base de calidad de agua del método sodis en doce comunidades de Tacaná, Tajumulco y Sibinal*. [en línea]. Actualización: 2008.

<http://eris.ingenieria.usac.edu.gt/tesis_is.html>. [Consulta: 13 julio 2019].

27. SEVERICHE A., CASTILLO E. Y ACEVEDO L. *Manual de métodos analíticos para la determinación de parámetros fisicoquímicos básicos en aguas*. Actualización: 2013. <<http://www.eumed.net/librosgratis/2013a/1326/1326.pdf>>. 101 p. [Consulta: 16 julio 2019].
28. TROJAN UV WATER CONFIDENCE. *Introducción a la desinfección por UV*. [en línea]. Actualización: 2019. <<https://www.trojanuv.com/es/uv-basics?acceptCookies=1>>. [Consulta: 14 marzo 2019].
29. UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA. *Evaluación de la capacidad de remoción de bacterias coliformes fecales y demanda bioquímica de oxígeno de la planta de tratamiento de aguas residuales "La Totorá"*. [en línea]. Actualización: 2008. <<http://www.scielo.org.pe/pdf/ecol/v7n1-2/a20v7n1-2.pdf>>. [Consulta: 11 julio 2019].

APÉNDICES

Apéndice 1. Encuesta realizada a Mario Roberto Aguilar, del comité de agua

Fecha:	5 de noviembre del 2019
Comunidad:	Aldea Llano Grande

I. IDENTIFICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS SOCIALES

1. ¿Cuál es su nombre? Mario Roberto Aguilar
2. ¿Cuántos años tiene? 59
3. ¿Cuántas personas viven con usted? 8 personas
4. ¿Cuánto tiempo tiene viviendo en esa casa? Desde que nació
5. ¿Cuál es su ocupación principal?
 - a) () Ama de casa
 - b) () Agricultora
 - c) () Obrera
 - d) () Trabajadora artesanal
 - e) (X) Otro. Especificar: Fontanero
6. ¿Hasta que grado aprobó usted en la escuela?
 - a) () Ninguno
 - b) (X) Primaria
 - c) () Secundaria

Continuación del apéndice 1.

- d) () Diversificado
- e) () Carrera técnica

II. AGUA POTABLE

7. ¿De dónde proviene el agua que utilizan? Nacimiento de agua

8. ¿A qué distancia se encuentra la fuente donde recolectan el agua? No sé con exactitud, pero desde el tanque donde la almacenamos.

9. ¿Cómo desinfectan el agua que utilizan para beber?

- a) (X) La cloran
- b) () La hierven
- c) () La desinfectan con luz solar (SODIS)
- d) () La filtran
- e) () Ninguno
- f) () Otro. Especificar _____

10. ¿Usan algún tipo de recipiente para almacenar el agua que beben?

- a) (X) Si. Tipo de recipiente: Un tanque.
- b) () No

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. **Encuesta realizada a José Felix Hernández**

Fecha:	5 de noviembre del 2019
Comunidad:	Aldea El Izote, primer punto de muestreo

II. IDENTIFICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS SOCIALES

1. ¿Cuál es su nombre? José Felix Hernández
2. ¿Cuántos años tiene? 48 años
3. ¿Cuántas personas viven con usted? 13 personas
4. ¿Cuánto tiempo tiene viviendo en esa casa? 29 años
5. ¿Cuál es su ocupación principal?
 - a) () Ama de casa
 - b) (X) Agricultora
 - c) () Obrera
 - d) () Trabajadora artesanal
 - e) () Otro. Especificar:
6. ¿Hasta que grado aprobó usted en la escuela?
 - a) () Ninguno
 - b) (X) Primaria
 - c) () Secundaria
 - d) () Diversificado
 - e) () Carrera técnica

Continuación del apéndice 2.

II. AGUA POTABLE

7. ¿De dónde proviene el agua que utilizan? Nacimiento de agua

8. ¿A qué distancia se encuentra la fuente donde recolectan el agua? Desde el tanque donde almacenamos el agua

9. ¿Cómo desinfectan el agua que utilizan para beber?

- a) La cloran
- b) La hierven
- c) La desinfectan con luz solar (SODIS)
- d) La filtran
- e) Ninguno
- f) Otro. Especificar _____

10. ¿Usan algún tipo de recipiente para almacenar el agua que beben?

- a) Si. Tipo de recipiente: Tanque de almacenamiento
- b) No

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. **Encuesta realizada a Rosalio Martínez**

Fecha:	5 de noviembre del 2019
Comunidad:	Aldea El izote segundo punto de muestreo

III. IDENTIFICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS SOCIALES

1. ¿Cuál es su nombre? Rosalio Martínez
2. ¿Cuántos años tiene? 40 años
3. ¿Cuántas personas viven con usted? 5 personas
4. ¿Cuánto tiempo tiene viviendo en esa casa? Desde siempre
5. ¿Cuál es su ocupación principal?
 - a) () Ama de casa
 - b) (X) Agricultora
 - c) () Obrera
 - d) () Trabajadora artesanal
 - e) ()Otro. Especificar _____

1. ¿Hasta que grado aprobó usted en la escuela?
 - a) () Ninguno
 - b) (X) Primaria
 - c) () Secundaria
 - d) () Diversificado
 - e) () Carrera técnica

Continuación del apéndice 3.

II. AGUA POTABLE

7. ¿De dónde proviene el agua que utilizan? Nacimiento de agua

8. ¿A qué distancia se encuentra la fuente donde recolectan el agua? Desde el tanque de almacenamiento

9. ¿Cómo desinfectan el agua que utilizan para beber?

- a) () La cloran
- b) () La hierven
- c) () La desinfectan con luz solar (SODIS)
- d) () La filtran
- e) (X) Ninguno
- f) () Otro. Especificar:

10. ¿Usan algún tipo de recipiente para almacenar el agua que beben?

- a) (X) Si. Tipo de recipiente: Tanque de almacenamiento
- b) () No

Fuente: elaboración propia.