



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Estudios de Postgrado
Maestría en Energía y Ambiente

**PROPUESTA DE UN SISTEMA DE APROVECHAMIENTO DE AGUA DE LLUVIA PARA USO
POTABLE EN EL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN ACASAGUASTLÁN, EL PROGRESO DE
LA REGIÓN SEMIÁRIDA DE GUATEMALA**

Inga. Miriam Alejandra Sabán Ramírez
Asesorado por el Dr. José Antonio Rosal Chicas

Guatemala, mayo de 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**PROPUESTA DE UN SISTEMA DE APROVECHAMIENTO DE AGUA DE LLUVIA PARA USO
POTABLE EN EL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN ACASAGUASTLÁN, EL PROGRESO DE
LA REGIÓN SEMIÁRIDA DE GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

INGA. MIRIAM ALEJANDRA SABÁN RAMÍREZ
ASESORADO POR EL DR. JOSÉ ANTONIO ROSAL CHICAS

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

MAESTRA EN ENERGÍA Y AMBIENTE

GUATEMALA, MAYO DE 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Armando Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Mtro. Ing. Edgar Darío Álvarez Cotí
EXAMINADOR	Mtro. Ing. Juan Carlos Fuentes Montepeque
EXAMINADOR	Mtro. Ing. César Ariel Villela Rodas
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:

**PROPUESTA DE UN SISTEMA DE APROVECHAMIENTO DE AGUA DE LLUVIA PARA USO
POTABLE EN EL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN ACASAGUASTLÁN, EL PROGRESO DE
LA REGIÓN SEMIÁRIDA DE GUATEMALA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado con fecha 21 de octubre de 2020.

Inga. Miriam Alejandra Sabán Ramírez

Decanato
Facultad de Ingeniería
24189101- 24189102
secretariadecanato@ingenieria.usac.edu.gt

LNG.DECANATO.OI.358.2022

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 Estudios de Posgrado, al Trabajo de Graduación titulado: **PROPUESTA DE UN SISTEMA DE APROVECHAMIENTO DE AGUA DE LLUVIA PARA USO POTABLE EN EL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN ACASAGUASTLÁN, EL PROGRESO DE LA REGIÓN SEMIÁRIDA DE GUATEMALA**, presentado por: **Miriam Alejandra Sabán Ramírez**, que pertenece al programa de Maestría en artes en Energía y ambiente después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, **autoriza la impresión del mismo.**

IMPRÍMASE:



inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada

Decana

Guatemala, mayo de 2022

AACE/gaoc



Guatemala, mayo de 2022

LNG.EEP.OI.358.2022

En mi calidad de Director de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del asesor, verificar la aprobación del Coordinador de Maestría y la aprobación del Área de Lingüística al trabajo de graduación titulado:

"PROPUESTA DE UN SISTEMA DE APROVECHAMIENTO DE AGUA DE LLUVIA PARA USO POTABLE EN EL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN ACASAGUASTLÁN, EL PROGRESO DE LA REGIÓN SEMIÁRIDA DE GUATEMALA"

presentado por **Miriam Alejandra Sabán Ramírez** correspondiente al programa de **Maestría en artes en Energía y ambiente** ; apruebo y autorizo el mismo.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"

Mtro. Ing. Edgar Darío Álvarez Colí

Director

**Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería**





Guatemala, 18 Octubre 2021

Como coordinador de la **Maestría en Artes en Energía y Ambiente** doy el aval correspondiente para la aprobación del Trabajo de Graduación titulado: **“PROPUESTA DE UN SISTEMA DE APROVECHAMIENTO DE AGUA DE LLUVIA PARA USO POTABLE EN EL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN ACASAGUASTLÁN, EL PROGRESO DE LA REGIÓN SEMIÁRIDA DE GUATEMALA”** presentado por la Ingeniera **Miriam Alejandra Sabán Ramírez** quien se identifica con carné **201404148**.

Atentamente,

“Id y Enseñad a Todos”

Mtro. Ing. Juan Carlos Fuentes Montepeque
Coordinador de Maestría
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería



Guatemala, 13 octubre 2021.

Ingeniero M.Sc.
Edgar Álvarez Cotí
Director
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería USAC
Ciudad Universitaria, Zona 12

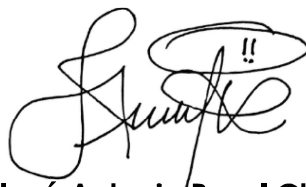
Distinguido Ingeniero Álvarez:

Atentamente me dirijo a usted para hacer de su conocimiento que como asesor del trabajo de graduación del estudiante Miriam Alejandra Sabán Ramírez, Carné número 201404148, cuyo título es "**PROPUESTA DE UN SISTEMA DE APROVECHAMIENTO DE AGUA DE LLUVIA PARA USO POTABLE EN EL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN ACASAGUASTLÁN, EL PROGRESO DE LA REGIÓN SEMIÁRIDA DE GUATEMALA**", para optar al grado académico de Maestro en Energía y Ambiente, he procedido a la revisión del INFORME FINAL y del ARTÍCULO.

En tal sentido, en calidad de asesor doy mi anuencia y aprobación para que la estudiante Sabán Ramírez, continúe con los trámites correspondientes.

Sin otro particular, me es grato suscribirme de usted.

Atentamente,



Dr. José Antonio Rosal Chicas.
Ph.D. Ciencias de la Investigación
Asesor

José Antonio Rosal Ph.D.
Doctor en Ciencias de la Investigación
Maestro en Energía y Ambiente
Ingeniero Químico Industrial
Colegiado 1837

ACTO QUE DEDICO A:

Mis padres

Miriam Ramírez Mauro de Sabán y Hugo Sabán Sinay por amarme, bendecirme y apoyarme incondicionalmente en cada peldaño que escaló, por incentivarme siempre a ser una mejor persona, además por enseñarme que debo realizar con pasión todo cuanto realice. Agradezco por tantos consejos y palabras que guiaron mi vida, por ser los pilares y formarme por el camino del bien, por ser promotores de mis sueños, gracias por confiar y creer en mí, gracias por demostrarme que, con esfuerzo, disciplina y trabajo, puedo lograr todo lo que me proponga. Este triunfo es para ustedes.

Mi hermano

Javier Coronado Ramírez por darme tu amor, además de ser un apoyo incondicional, aconsejarme, comprenderme, cuidarme, y sobre todo que quieres lo mejor para mí.

Mi abuela

María Elena Mauro (q. d. e. p.) por demostrarme que es el verdadero amor, por preocuparse por mí, guardo en mi vida sus cuidados en todo momento, sé que me cuida desde el cielo y sé que está orgullosa de este nuevo logro, la llevo en mi corazón mi querido amor por siempre.

Mis amigos

Siendo compañeros de carrera académica profesional en los buenos y malos momentos, pero, sobre todo, ese incondicional apoyo que nunca faltó. En especial a Francisco Girón, Eduardo González, Justo Estrada, Cesar Díaz, Pablo García.

AGRADECIMIENTOS A:

Dios

Por ser mi guía en este trayecto llamado vida, por brindarme la sabiduría y entendimiento para lograr mis sueños, porque esta meta académica se me fue posible gracias a Él, toda la honra y gloria para mi creador.

Escuela de Estudios Postgrado

Por brindarme los programas, ampliando mis conocimiento y forjando una profesional de bien para Guatemala.

Mi asesor

Dr. José Antonio Rosal Chicas, por su amistad, apoyo incondicional y en especial por haberme guiado durante la elaboración de este trabajo de graduación.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS.....	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN.....	XV
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	XVII
OBJETIVOS.....	XIX
HIPÓTESIS.....	XXI
RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO.....	XXIII
INTRODUCCIÓN.....	XXV
1. MARCO TEÓRICO	1
1.1. Antecedentes de la investigación	1
1.2. Agua potable	5
1.2.1. Usos	7
1.2.2. Consumos	9
1.2.3. Dotación	10
1.2.4. Técnicas de potabilización	11
1.2.4.1. Hervir el agua	11
1.2.4.2. Desinfección química	12
1.2.4.3. Yodo	12
1.2.4.4. Cloro	12
1.2.4.5. Otros métodos	13
1.2.5. Calidad del agua	14
1.2.6. Normativa del agua potable	15

1.2.6.1.	Características físicas y organolépticas del agua para el consumo humano	15
1.2.6.2.	Características químicas	16
1.2.6.3.	Características microbiológicas	21
1.2.6.4.	Aspectos radiológicos	21
1.3.	Precipitación pluvial	23
1.3.1.	Descripción	23
1.3.2.	Precipitación en zonas semiáridas	27
1.3.3.	Estación meteorológica	29
1.3.4.	Equipos de medición	31
1.3.4.1.	Pluviómetros mecánicos	31
1.3.4.2.	Pluviómetro de sifón	32
1.3.5.	Estaciones meteorológicas del área de estudio	32
1.4.	Sistemas de captación de agua de lluvia	35
1.4.1.	Casos de estudio (modelos)	35
1.4.1.1.	Caso 1: Diseño de un sistema de recolección de agua de lluvia pluvial para uso sanitario caso de estudio Instituto Tecnológico de Mérida.....	36
1.4.1.2.	Caso 2: Guía de diseño para captación del agua de lluvia	43
2.	DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN	51
2.1	Estudio de la captación	51
2.1.1.	Información pluviométrica	51
2.1.2.	Precipitación promedio mensual	53
2.2.	Diseño y construcción del modelo de captación de agua de lluvia	55

2.2.1.	Bases del diseño	55
2.2.2.	Criterios del diseño	55
2.2.2.1.	Determinación de la demanda	56
2.2.2.2.	Oferta de agua durante el mes	58
2.2.2.3.	Volumen del tanque	63
2.3.	Análisis de la calidad del agua	65
2.4.	Evaluación del beneficio de la implementación de la propuesta	66
2.4.1.	Análisis de implementación	68
2.4.1.1.	Instalación del sistema	68
2.4.2.	Incidencia de la propuesta.....	70
3.	PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	73
3.1.	Situación meteorológica	73
3.2.	Componentes del diseño de captación de agua de lluvia.....	74
3.3.	Beneficio de la propuesta	86
CONCLUSIONES		87
RECOMENDACIONES.....		89
REFERENCIAS		91
APÉNDICE.....		97
ANEXO		99

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Porcentaje total del agua en el mundo	5
2.	Cobertura de servicio del recurso hídrico potable a nivel nacional, urbana y rural (período de estudio 2000, 2006 y 2011).....	9
3.	Cobertura de servicio de saneamiento a nivel nacional, urbano y rural (período de estudio 2000, 2006 y 2011).....	10
4.	Regiones climáticas de Guatemala	24
5.	Anormalidad de la lluvia anual en milímetros a nivel local, tomando como base el período de 1981 - 2000, comparado con el tiempo de evaluación 2001 – 2016	27
6.	Tendencia de la precipitación en la ciudad de Guatemala, durante los años 1961 a 2017	28
7.	Pluviómetro mecánico	31
8.	Pluviómetro de sifón	32
9.	Ejemplificación de los diseños de captación de agua de lluvia	36
10.	Filtro desarenador.....	42
11.	Componentes del sistema de captación.....	44
12.	Canaletas de recolección	45
13.	Interceptor de primeras aguas	47
14.	Vivienda familiar	68
15.	Instalación de canal.....	69
16.	Conexión de canal de conducción al tanque de almacenamiento	69
17.	Instalación del tanque de almacenamiento de agua	70

18.	Precipitación promedio acumulado mensual – anual (años de estudio 2010 – 2020)	74
19.	Demanda mensual (años de estudio 2010 – 2020).....	76
20.	Oferta mensual (años de estudio 2010 – 2020)	78
21.	Demanda mensual acumulada (años de estudio 2010 – 2020)	80
22.	Oferta mensual acumulada (años de estudio 2010 – 2020).....	82
23.	Volumen del tanque mensual (años de estudio 2010 – 2020)	84

TABLAS

I.	Balance hídrico nacional	7
II.	Actividades según su uso.....	8
III.	Características físicas y organolépticas que debe de tener el agua para el consumo humano.....	16
IV.	Características químicas que debe tener el agua para consumo humano.....	16
V.	Relación de las sustancias inorgánicas cuya presencia en el agua es significativa para la salud	17
VI.	Substancias plaguicidas cuya presencia en el agua es significativa para la salud.....	18
VII.	Substancias orgánicas cuya presencia en el agua es significativa para la salud.....	20
VIII.	Valores guía para la verificación de la calidad microbiológica del agua.....	21
IX.	Valores guías para los aspectos radiológicos en agua	22
X.	Radionúclidos indicadores de radiación y sus valores guía en agua	22
XI.	Denotaciones de las estrategias para el uso conveniente del agua conforme a la situación climática	25

XII.	Estaciones climáticas INSIVUMEH	33
XIII.	Estaciones meteorológicas de la región semiárida	34
XIV.	Coeficiente de escurrimiento según área drenada	39
XV.	Coeficiente de escurrimiento según el material	46
XVI.	Dotación de agua potable	48
XVII.	Datos consolidados de la precipitación mensual de la estación de Acasaguastlán del período del año 2010 - 2020	52
XVIII.	Precipitación promedio mensual de la estación de Acasaguastlán del período del año 2010 – 2020.....	54
XIX.	Aspectos de las bases del diseño	55
XX.	Criterios del diseño.....	56
XXI.	Demanda mensual de los años de estudio 2010 - 2020	57
XXII.	Oferta mensual de los años de estudio 2010 - 2020	59
XXIII.	Demanda acumulada de los años de estudio 2010 - 2020	61
XXIV.	Oferta acumulada de los años de estudio 2010 - 2020	62
XXV.	Volumen del tanque de los años de estudio 2010 - 2020.....	64
XXVI.	Resultado del análisis de potabilidad en agua	65
XXVII.	Resultado del análisis microbiológico del agua	66
XXVIII.	Impacto económico del sistema de captación de agua de lluvia	67
XXIX.	Impacto ambiental del sistema de captación de agua de lluvia.....	67
XXX.	Precipitación promedio mensual de la estación de Acasaguastlán del período del año 2010 - 2020	73
XXXI.	Demanda mensual de los años de estudio 2010 - 2020	75
XXXII.	Oferta mensual de los años de estudio 2010 - 2020	77
XXXIII.	Acumulado de la demanda mensual de los años de estudio 2010 – 2020.	79
XXXIV.	Acumulado de la oferta al mes	81
XXXV.	Volumen del tanque mensual.....	83
XXXVI.	Resultados del análisis de potabilidad del agua	85

XXXVII.	Resultados del análisis microbiológico del agua	86
---------	---	----

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
Ac	Área de captación
Ce	Coeficiente de escorrentía
Di	Demanda mensual
d	Diámetro
Dot	Dotación
H	Horas
HP	<i>Horse Power</i>
Km	Kilómetro
L / hab / día	Litros por habitante por día
L / m²	Litros por metro cuadrado
m²	Metro cuadrado
m³	Metro cúbico
m³ / s	Metro cúbico por segundo
mm	Milímetros
Nd	Número de días al mes
Nu	Número de usuarios
Ai	Oferta de agua en el mes
Ppi	Precipitación promedio mensual
plg	Pulgadas
S/O	Sin observador

GLOSARIO

Agua pluvial	Es agua de lluvia que no es absorbida por el suelo, sino que escurre de edificios, calles, estacionamientos y otras superficies, se recolectan en alcantarillado y fluyen a colectores pluviales y al sistema de drenaje pluvial de la ciudad.
Agua potable	Agua potable o agua apta para el consumo humano se denomina al agua que puede ser consumida sin restricción para beber o preparar alimentos.
Captación de agua	Es cualquier tipo de ingenio para la recolección y el almacenamiento de agua de lluvia, y cuya viabilidad técnica y económica depende de la pluviosidad de la zona de captación y del uso que se le dé al agua recogida.
COGUANOR	Comisión Guatemalteca de Normas.
Demanda hídrica	La demanda de agua corresponde a la cantidad o volumen de agua usado por los sectores económicos y la población.
Dotación	Cantidad de agua asignada a cada habitante para satisfacer sus necesidades personales en un día medio anual.

Estación meteorológica	Es una instalación destinada a medir y registrar regularmente, diversas variables meteorológicas.
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
Gestión ambiental	Se denomina gestión del medio ambiente al conjunto de diligencias conducentes al manejo integral del sistema ambiental.
INSIVUMEH	Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología.
MSPAS	Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social.
Oferta hídrica	Corresponde al volumen disponible de agua para satisfacer la demanda generada por las actividades sociales y económicas del hombre.
ONU	Organización de las Naciones Unidas.
OPS	Organización Panamericana de la Salud.
Potabilización	Es un proceso que se lleva a cabo sobre cualquier agua para transformarla en agua potable y de esta manera hacerla absolutamente apta para el consumo humano.

Precipitación pluvial	Está constituida por toda el agua, que de una manera u otra forma, es depositada en la superficie terrestre, por la condensación del vapor de agua contenido en el aire atmosférico.
Recarga hídrica	Es definida como la capacidad que tiene una zona territorial para capturar el agua proveniente de la precipitación, o la cantidad de esa misma agua capturada por una extensión territorial.
Región semiárida	Son unidades geográficas y ecológicas donde predominan condiciones de sequedad extrema y cobertura vegetal reducida o casi ausente.
SGCCC	Sistema Guatemalteco de Ciencias del Cambio Climático.
Sustentabilidad	Es la habilidad de lograr una prosperidad económica sostenida en el tiempo protegiendo al mismo tiempo los sistemas naturales del planeta y proveyendo una alta calidad de vida para las personas.
Tratamiento de agua	Es el conjunto de operaciones unitarias de tipo físico, químico, fisicoquímico o biológico cuya finalidad es la eliminación o reducción de la contaminación o las características no deseables de las aguas, bien sean naturales, de abastecimiento, de proceso o residuales.

UNEPAR

Unidad Ejecutora del Programa de Acueductos
Rurales.

RESUMEN

El trabajo presenta una propuesta de captación de agua de lluvia debido a la problemática de disponibilidad y abastecimiento de agua en Guatemala, por inexistencia de un servicio regular que no existe. Es por ello que se propone un método en el cual se coleccionará de agua lluvia y que esta será de utilidad a la población de la región donde la condición climática no favorece al suministro correcto del servicio, además es importante conocer que no es necesario realizar modificaciones estructurales para la instalación de dicha propuesta, dado que es adaptable a los techos de las viviendas existentes. Este proyecto es de beneficio para la población de la región semiárida del municipio de San Agustín Acasaguastlán, El Progreso, teniendo como alternativa la propuesta de captación del suministro de agua para usos básicos, este sistema contribuirá agua en época seca siendo una opción para suplir las necesidades en un tiempo establecido.

Se especifica los usos, consumos y técnicas de potabilización que se pueden realizar para la obtención de agua potable, por medio de la captación del agua de lluvia, además, se muestra investigaciones realizadas de los sistemas de captación ya existentes e implementados en otros países y en Guatemala, donde muestra los criterios de diseño hasta la ejecución del mismo.

Para la implementación del sistema se inicia con el estudio meteorológico de la región que muestra la precipitación anual en un tiempo estimado de 10 años, y que son de utilidad para la instalación del sistema, ya que con ellos se determina el volumen que requiere el tanque y está en función del área de captación, con ello se procede a la toma de datos, análisis de datos obtenidos, elaboración del diseño y construcción del modelo.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En Guatemala, se enfrentan problemas con el agua, ya que en muchos hogares no se cuenta con un servicio regular de tan vital líquido, es por ello por lo que muchas personas se ven en la necesidad de guardarla en depósitos o recipientes para su uso diario, no obstante, lo hacen de una manera inadecuada.

Debido a la inexistencia de propuestas de aprovechamiento de agua de lluvia, no cuentan con algún proyecto que almacene el agua para eventos en caso de contingencia por suspensión del suministro por cualquiera que sea la razón, corte del recurso, daño en la red o inexistencia de este, pues los contenedores o tanques municipales no sean lo suficientes para subsidiar a la población.

Al no contar con proyectos que sean sustentables en los cuales se dé un manejo adecuado se generan problemas de salud relacionados con el agua, afectando principalmente a la población pobre, esto quiere decir que una buena parte de la población está expuesta al riesgo de enfermedades infecciosas a causa de la falta de calidad del suministro de agua de manera que incrementa la vulnerabilidad de las condiciones de vida de la comunidad.

La disminución de la disponibilidad del recurso hídrico afecta en diferentes aspectos, cambiando la calidad de vida de las personas donde afecta directamente en la producción de alimentos, calidad en salud y uso adecuado de los recursos naturales.

Esto lleva a plantear la pregunta principal de este estudio: ¿Cómo hacer una propuesta para implementar un sistema de aprovechamiento de agua de lluvia

para uso potable en el municipio de San Agustín Acasaguastlán, El Progreso de la región semiárida de Guatemala?

Para responder a esta interrogante se deberán contestar las siguientes preguntas auxiliares:

- ¿Cuál es la situación meteorológica para la implementación de un sistema de captación de agua de lluvia?
- ¿Qué tecnologías existen para proyectos colectores de agua de lluvia?
- ¿Cuáles son los componentes del diseño de captación de agua de lluvia apto para las necesidades de la región?
- ¿Cuánto beneficio brindará a la población la implementación de dicha propuesta?

OBJETIVOS

General

Proponer de un sistema de aprovechamiento de agua de lluvia para uso potable en el municipio de San Agustín Acasaguastlán, El Progreso de la región semiárida de Guatemala.

Específicos

- Identificar la situación meteorológica para implementar un sistema de captación de agua de lluvia.
- Definir los componentes del diseño de captación de agua de lluvia apto para las necesidades de la región.
- Demostrar el beneficio de la implementación de la propuesta del sistema de agua de lluvia.

HIPÓTESIS

El estudio es de tipo cuantitativo-descriptivo, por lo tanto, no se plantean hipótesis de investigación.

RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO

El presente estudio es de tipo cuantitativo descriptivo, se especifican variables y características propuestas de un método, mediante el análisis de datos, que en función de la precipitación pluvial obtenida se podrá aprovechar en un sistema de captación de agua de lluvia para uso potable.

A continuación, se detallan los aspectos importantes de la propuesta:

Esta investigación da inicio con la obtención de la Información pluviométrica del área de influencia del proyecto donde se estudió la precipitación del área, identificando la estación meteorológica más cercana, para el mismo se requirió de un historial mínimo de 10 años de data, esta información fue proporcionada por el Departamento de Investigación y Servicios Climatológicos del INSIVUMEH.

De la información que se obtuvo se clasificó de acuerdo con los eventos climáticos y las frecuencias en los que estos ocurren, las precipitaciones de los años de estudios muestran valores en los que ciertos meses se cuenta una recarga hídrica mayor, a partir del mes con el que se cuente la mayor precipitación se realiza el diseño. Se clasificó según el año y el dato mensual de la precipitación que mostró la estación meteorológica.

A partir de los datos obtenidos en la precipitación mensual de los años de estudio, se obtuvo un valor promedio mensual, este se expresa en mm/mes que fue captado en la superficie del techo.

Seguidamente con los datos ya obtenidos se procedió a la implementación de la propuesta del modelo de captación de agua, teniendo como bases del diseño: la precipitación de la región, tipo de material de la superficie en la cual se captó, además del número de personas que se beneficiaron y la demanda. Y como criterios del diseño se establecieron parámetros para el cálculo del volumen del tanque de almacenamiento que se detallan seguidamente: el número de usuarios, coeficiente de escorrentía, dotación de agua y el área de captación.

Tomando en cuenta lo anterior se determinó la demanda que se calcula a partir de la dotación que se asumió por habitante para satisfacer las necesidades de la vivienda y que será beneficiada en los meses. Así mismo, se calculó la oferta de agua, que se realizó por los datos promedios obtenidos mensuales y estudio de la precipitación, además del coeficiente de escorrentía del material del cual es el techo.

En función de los valores de la oferta y demanda mensual, se estimó el mayor acumulado de todos los meses y con dichos datos se estimó la diferencia de los acumulados de todos los meses de la oferta y la demanda.

Para la obtención del volumen del tanque se usó la metodología tanto mensual como anual, que para la mensual se requirió el dato del volumen de agua captada en el mes y el volumen de agua demandada por los usuarios durante el mes, esto haciendo en todos los meses de los años de estudio, para que se tomará el valor máximo y mínimo; así se obtuvo el volumen del tanque en cuanto a la oferta del agua anual.

INTRODUCCIÓN

La propuesta de captación de agua de lluvia parte por la falta de disponibilidad de agua que en ciertas regiones de Guatemala existe, esto se da por no contar con un servicio regular, corte del suministro por falta del recurso, daño en la red de distribución, inexistencia de pozos o bien pozos contaminados, además de no contar con proyectos de captación adaptables a las diferentes regiones climáticas. Esto da pauta a que ciertas personas cosechan en depósitos artesanales para su uso diario, sin embargo, las prácticas que utilizan son inadecuadas, lo cual genera problemas a la salud afectando principalmente a la población vulnerable de bajos recursos por la falta de potabilización del recurso hídrico.

Es por ello que se propone un sistema de captación de agua de lluvia donde la población de la región puede implementar el modelo con modificaciones no costosas, este proyecto es de fácil instalación y no generará una modificación a la estructura existente, dado que es adaptable al techo que tenga la vivienda y únicamente se debe de hacer un análisis del escurrimiento del agua para captarla y que como producto se obtendrá agua almacenada en un depósito para uso de diversos servicios básicos.

El proyecto de cosecha de agua de lluvia está beneficiando a la población de la región semiárida del municipio de San Agustín Acasaguastlán, El Progreso, este sistema es una propuesta de almacenamiento de agua y como alternativa de suministro de agua para usos básicos, el colector se abastecerá en los tiempos de lluvia y asimismo aportará agua en época seca siendo una opción para suplir las necesidades en un tiempo establecido.

Para que el proyecto sea viable se implementó un método para la colección del recurso hídrico, donde parte del análisis de la precipitación de la región, posterior al estudio de los datos se realizó la metodología de las diversas fases que se contempla dentro de la propuesta.

En el capítulo 1, se detalla los usos, consumos y técnicas de potabilización que se pueden implementar para la generación de agua potable por medio de la captación del agua de lluvia, así como los parámetros que se establecen dentro de la normativa aplicable NTG COGUANOR 29001. En el capítulo 2, se describe la precipitación obtenida en las zonas semiáridas, así como las estaciones meteorológicas y los equipos que se usan para la toma de datos. En el capítulo 3, se muestra el estudio de los sistemas de captación ya existentes, desde sus componentes hasta la implementación.

En el capítulo 4, se inicia con el estudio de la captación de la región del área de influencia donde procede a la toma de datos, elaboración del diseño y construcción del modelo a partir de un consolidado de los casos mencionados en el capítulo anterior. Para que finalmente en el capítulo 5 se presente en análisis de los datos obtenidos y se realice una presentación y discusión de resultados.

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes de la investigación

En Guatemala se han realizado estudios en cuanto al tema de aprovechamiento de agua de lluvia para usos potables. A continuación, algunos que aportan datos importantes:

En la tesis *Diseño de un sistema de captación de agua de lluvia por medio de aljibe para el área rural de la aldea Xayá, municipio de Santa Lucía Cotzumalguapa, departamento de Escuintla, Guatemala*, de Barillas (2018), comenta que los sistemas alternos para la captación del recurso del agua de lluvia son de ayuda para la población en donde el sistema que les provee el servicio de abastecimiento de agua es mínimo o no existe, la realización del diseño por medio de aljibes, se inició por medio de la recopilación de información de un pluviómetro en la poblado, midiendo datos para el análisis, esto se realizó con el fin de conocer las variaciones de agua máximas y mínimas que tendrá el diseño.

Para deducir el suministro de agua para una familia se utilizaron los datos del INFOM y del INE. Se realizó una visita para conocer la tipología de los techos de las viviendas y con ello realizar un diseño más preciso en cuanto a las necesidades. Asimismo, debido al desarrollo de nuevos materiales ha permitido que la recolección sea segura y eficaz siendo un proyecto competitivo y accesible en paralelo con otros sistemas.

El uso de PVC hace más fácil la elaboración de los sistemas de recolección de agua de lluvia en asimilación con los que se utilizaban en los años pasados, siendo más complejos.

En otros países se han encontrado investigaciones que se hace referencia a continuación.

En la publicación *Biojardineras y cosecha de agua de lluvia reservorios y sistemas de purificación*, de Gómez (2016), se explica que obtener agua es complejo, pero debido a la escasez se hace conciencia en la creación de nuevos proyectos de cosechadores de agua por medio de la escorrentía, para diversos usos, donde se toma en cuenta costos básicos para instalar en un hogar dicho sistema.

Considerando un tanque plástico de 5.00 litros con un costo de \$ 777.25, esto es en base al volumen requerido en la vivienda, posteriormente de la toma de agua al clorador se instala una cámara con un costo de \$ 105.53, donde también se agrega una pastilla comprimida de cloro al 65 % de costo \$ 23.58, como consiguiente se instala una bomba hidroneumática con un valor de \$ 330.11 y por último la fase de filtración de los sólidos suspendidos que tiene un costo de \$ 93.57, como siguiente paso es la distribución del agua pasando por la lámpara de luz ultravioleta siendo la desinfección final que genera un costo de \$ 672.04.

En la tesis *Propuesta de un sistema de aprovechamiento de agua de lluvia, como alternativa para el ahorro del agua potable, en la institución educativa María Auxiliadora de Caldas, Antioquia*, de Palacio (2010), se describe un diseño como aprovechamiento del recurso lluvia, siendo una opción para el uso en la descarga de servicio sanitario, lavado en áreas comunes, entre otros, para ello se

consideró los siguientes detalles: Conocer el volumen de agua disponible en el área de estudio, comparación del ahorro del agua con la implementación de la propuesta y valoración de la construcción del diseño propuesto. Para lo que se obtuvieron resultados positivos siendo viable el proyecto.

En la revista Luna Azul *Diagnóstico del sistema de aprovechamiento del agua de lluvia en el Consejo Comunitario de la Comunidad Negra de los Lagos, Buenaventura*, Montaña (2016), consistió en la viabilidad de utilizar el agua de lluvia en la comunidad donde principalmente se identificó la tipología de los techos, para definir el método de recolección y conducción, así como el depósito del almacenamiento del recurso.

Posterior a ello se realizó los análisis microbiológicos y fisicoquímicos para determinar la calidad del agua y con ello conocer si se cumple la normativa ambiental. Además, se efectuó un análisis estadístico para los resultados y con ello establecer la correlación y la varianza del estudio.

En el artículo *Aprovechamiento del agua de lluvia para usos múltiples en los bajos submeridionales y áreas de influencia*, Basán, Sánchez, Tosolini, Tejerina, y Jordan, (2016), se ve como potencial la reutilización del agua de lluvia para abastecer los servicios básicos, de manera que podría satisfacer la demanda que requiere los diferentes usos.

Esto tiene como objetivo principal el uso del agua de manera eficiente y con tecnologías sustentables que se ajusten al área de estudio, considerando que esta debe cumplir con la normativa de calidad del agua para ser utilizada según sea la demanda.

El método consiste en analizar la cantidad de lluvia anual en milímetros, tipo y superficie del techo, demanda, así como el diseño óptimo de los canales y bajadas de agua, y el tratamiento a implementar.

En la revista *Captación de agua de lluvia en cobertura de viviendas rurales para consumo humano en la comunidad de Vilca Maquera, Puno-Perú*. Calli, Coaquira y Calsín (2016), dicho estudio considera la captación del recurso lluvia como suministro para el consumo humano, esto conlleva el método de captación, conducción, almacenamiento y distribución de este. Se realizaron alrededor de 100 encuestas a un número aproximado de 210 viviendas, en el año 2013 se hizo un estudio de la demanda del recurso por familia, a partir de la precipitación se obtuvo datos, además se consideró las especificaciones técnicas y los recursos con los que cuenta la comunidad de tipo rural.

Los resultados obtenidos muestran un promedio de cuatro personas por familia generando un volumen de 75 m^3 , cubriendo 120 m^2 y consumiendo aproximadamente 25 m^3 en un período de diciembre a marzo y la otra parte se acumula en un tanque. En los meses de lluvia se cuenta con un aproximado de 722 milímetros de agua, donde se propuso una canal rectangular de 0.016 m^2 y una bomba para distribuir el agua con potencia de 0.5 HP.

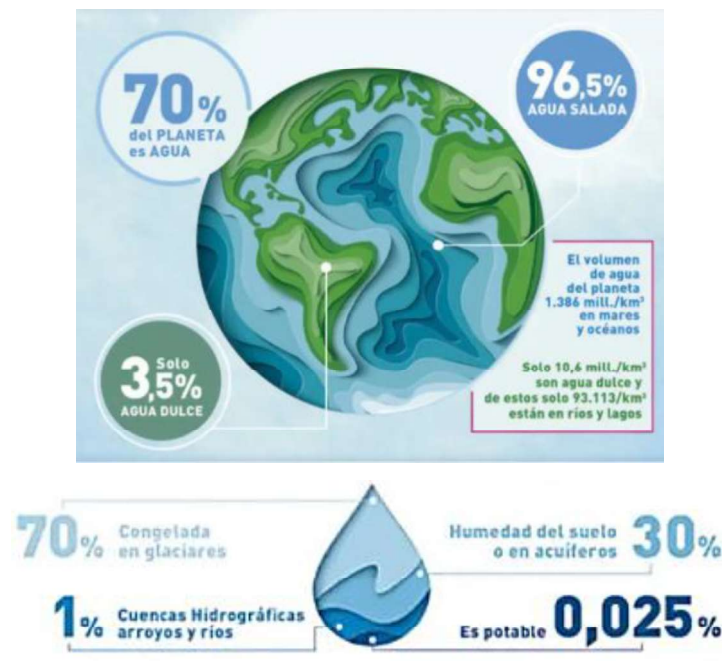
Dicho estudio concluye que en un área de 120 m^2 tiene la capacidad de suministrar los servicios básicos de la población, asimismo, los parámetros establecidos de calidad se encuentran dentro de los niveles admisibles en la normativa de calidad ambiental.

1.2. Agua potable

Se le conoce como agua potable al agua que se puede consumir o ingerir sin que genere algún riesgo a la salud humana, esta no debe de tener sustancias que provoquen perjuicios o enfermedades (OMS, 2019).

Se cuenta con un aproximado de 97 % de agua salada y un restante del 3 % de agua dulce, que esta se encuentra en diferentes formas. Así que de ese porcentaje de agua dulce disponible el 90 % está en la Antártida, en forma de casquetes polares, el 0.5 % está en depósitos subterráneos en acuíferos y el 0.01 % en lagos y ríos (CBN, 2019).

Figura 1. Porcentaje total del agua en el mundo



Fuente: Agua (2018). *¿Sabías que solo el 0,025% del agua de la Tierra es potable?* Consultado el 31 de julio de 2020. Recuperado de <https://www.iagua.es/noticias/fundacion-aquae/sabias-que-solo-0025-agua-tierra-es-potable-infografia-fundacion-aquae>.

Datos afirman que el 0.007 % existente del agua dulce es potable y conforme transcurre el tiempo se reduce dicho porcentaje debido a la contaminación.

Al año se produce apropiadamente 97 mil millones de m³ del recurso hídrico, no obstante, solo se aprovecha un 10 % a nivel nacional.

Según una encuesta realizada de condiciones de vida a nivel nacional, un 70 % de la población guatemalteca cuenta con servicios básicos como distribución de agua entubada y sistema de drenaje en el área urbana, al contrario del área rural el 30 % cuenta con los servicios básicos.

Se estableció que Guatemala aproximadamente cuenta con 23,500 millones de m³ de agua, para lo que se cuenta con un caudal real de 70,000 millones de m³. De los usos más significativos se sabe que se cuenta con una demanda de 7,000 millones de m³ aproximadamente; del cual solo se usa el 10 % (CNB, 2019).

Sin embargo, se cuenta con dos grandes problemas a nivel nacional:

- Se cuenta con suficiente agua, pero no es de fácil acceso.
- La problemática de la contaminación por aguas residuales viene en un 55 % aproximadamente, esto es de acuerdo con el balance hídrico.

Tabla I. **Balance hídrico nacional**

Balance hídrico	Volumen anual (millones de metros cúbicos)	
	2005	2005
Oferta bruta superficial	55,679	53,365
Oferta bruta subterránea	29,312	40,024
Oferta bruta total	84,911	93,388
Caudal ecológico	21,248	23,347
Reducción por contaminación	33,996	37,355
Caudal neto disponible	29,747	32,686
Usos del agua		
Doméstico	284	326
Riego	2,200	1,886
Industria	850	929
Hidroeléctricas	2,883	4,511
Excedentes	23,530	23,034

Fuente: Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente (IARNA), Universidad Rafael Landívar (URL) y Asociación Instituto de Incidencia Ambiental (IIA). (2006). *Perfil Ambiental de Guatemala: tendencias y reflexiones sobre la gestión ambiental*.

Esto muestra una llamada de atención a ser consciente con el uso adecuado del recurso hídrico, además es limitado y no toda la población tiene acceso, lo que provoca pobreza, enfermedades y falta de interés en la vida.

La ONU confirma que la falta de este recurso afecta a un 40 % de la población mundial.

1.2.1. Usos

Se presentan estadísticas según su uso de los años 2006 al 2010 de las diferentes actividades, para el período de 2007, 2009 y 2010 se habría usado más de 20.000 millones de m³, para el año 2010 se emplearon casi 8,000 millones

m³ en la industria y agroindustria, lo que llevó a representar aproximadamente un 38 % del agua utilizada y un 32 % para la agricultura, ganadería, caza y silvicultura lo que equivale aproximadamente a 6,500 millones de m³. Otra actividad importante es el suministro de electricidad por medio del caudal hidráulico, lo cual estima aproximadamente un 25 % equivalente a 5,000 millones de m³ de agua (CBN, 2019).

Tabla II. **Actividades según su uso**

Actividades económicas y de consumo	Año				
	2006	2007	2008	2009	2010
Agricultura, ganadería, caza y silvicultura	5,042.00	5,490.10	6,003.62	6,252.08	6,496.56
Pesca	427.06	535.24	527.52	511.90	514.62
Explotación de minas y canteras	6.13	6.93	6.22	6.34	6.19
Industrias manufactureras (incluye agroindustria)	7,473.39	8,185.24	8,826.74	7,604.04	7,643.17
Suministro de electricidad, gas y agua	4,765.13	5,184.56	5,516.04	5,110.16	5,057.33
Construcción	93.17	104.36	102.94	87.29	76.26
Comercio al por mayor y menor	51.33	44.36	44.94	47.27	48.22
Servicios	52.33	51.71	59.30	68.16	69.85
Hogares	422.93	433.51	444.35	455.45	461.68
Total	18,333.48	20,036.00	21,001.66	20,142.69	20,373.88

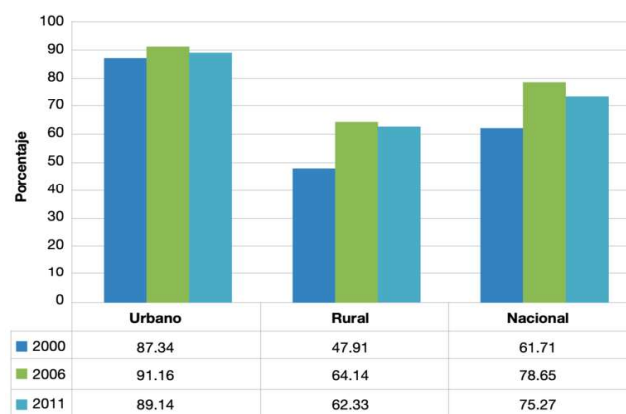
Fuente: Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente (IARNA) y Universidad Rafael Landívar (URL) (2010-2012). *Perfil Ambiental de Guatemala: Vulnerabilidad local y creciente construcción de riesgo.*

1.2.2. Consumos

En Guatemala más de la mitad no cuenta con el recurso en los hogares, y la otra mitad un aproximado del 60 % no cuentan con un tratamiento previo para el consumo. Debido a la falta de tratamiento en los años de 2000 a 2007 murieron un aproximado de 200 mil personas (CBN, 2019).

El hecho de que el agua este entubada no significa que esté potable, de los 19,000 programas de vigilancia de suministros de agua que tiene el Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social para el año de 2008, más de la mitad no cuentan con los parámetros adecuados para que sea potable y más del 25 % muestra contaminación por medio de bacterias (CBN, 2019).

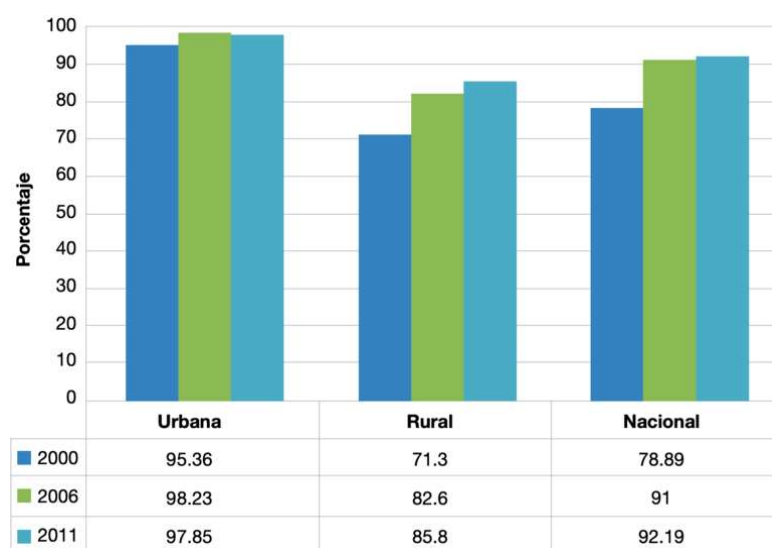
Figura 2. **Cobertura de servicio del recurso hídrico potable a nivel nacional, urbana y rural (período de estudio 2000, 2006 y 2011)**



Fuente: Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente (IARNA) y Universidad Rafael Landívar (URL) (2010-2012). *Perfil Ambiental de Guatemala: Vulnerabilidad local y creciente construcción de riesgo.*

En la siguiente gráfica se muestra la cobertura de saneamiento de servicios, en este caso a nivel urbano fue constante y se mantuvo, pero para el área rural y nacional muestra un leve descenso sin embargo se presentó una ligera mejora.

Figura 3. **Cobertura de servicio de saneamiento a nivel nacional, urbano y rural (período de estudio 2000, 2006 y 2011)**



Fuente: Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente (IARNA) y Universidad Rafael Landívar (URL) (2010-2012). *Perfil Ambiental de Guatemala: Vulnerabilidad local y creciente construcción de riesgo.*

1.2.3. Dotación

La dotación del agua es la cantidad que es asignada en un día a cada persona para su uso. Se conoce como los litros por habitante por día (L / hab / día).

La dotación está en función del clima, número de habitantes y su uso; de manera que se estimó un número para evitar fugas y hacer del recurso un uso racional. Dicho valor varía del lugar y la región, la tabla XVI considera los valores (Herrera, 2005).

1.2.4. Técnicas de potabilización

Existen diferentes formas para garantizar la calidad del agua, de las cuales están la ebullición del recurso, desinfectar químicamente, métodos de filtración, entre otros métodos que se pueden combinar (AMSE, 2020).

Para elegir un método esto está en función del factor al cual se requiere la potabilización, dentro de las que se detalla pro y contras.

1.2.4.1. Hervir el agua

Es una forma muy vigorosa para eliminar los pequeños organismos que son los que provocan las enfermedades, para asegurar la potabilidad se debe hervir a una temperatura de (100 °C), se sabe que llegó al punto de ebullición cuando empiece a hervir y luego dejar enfriar, se puede hervir a una temperatura menor, pero esto no garantiza que evitará que se eliminen completamente los microorganismos (AMSE, 2020).

Al hervir el agua y no mantenerla en un lugar donde no se contamine, esto no quiere decir que tenga una posible contaminación nuevamente.

1.2.4.2. Desinfección química

Este método resiste a pequeños organismos como *Cryptosporidium*, *Cyclospora*, *Toxoplasma*, entre otros. Ciertos desinfectantes usados para el tratamiento son halógenos, yodo y el cloro (AMSE, 2020).

Después de un tratamiento de cloro o yodo, se tiene que filtrar para mejorar el sabor.

1.2.4.3. Yodo

El uso del yodo es preferible debido a las siguientes ventajas:

- Uso fácil.
- Su activación es menor que la del cloro en las sustancias orgánicas.
- Protege contra protozoos y sus formas quísticas, lo que es útil en regiones tropicales.
- El riesgo del yodo es bajo, sin embargo, se debe de aplicar con las dosis recomendadas.

1.2.4.4. Cloro

Este químico es usado en diferentes formas para la desinfección, resultando útil al momento de combinarlos con otro tipo de métodos (filtración, calor, entre otros), tiene la ventaja de ser de acceso fácil en diferentes presentaciones (AMSE, 2020).

Se detallan las formas en las que puede ser tratado el agua:

- Con lejía (Hipoclorito Sódico al 5 %), se recomienda una dosis de 4 gotas/litro, aunque existen diferentes presentaciones que con ella traen sus instrucciones de uso, esta debe ser apta para la cloración del agua que se beberá.
- La pastilla de dicloroisocianurato de sodio, la dosis varía en las instrucciones que el fabricante presente, según sea su concentración.

También se puede encontrar otro compuesto de cloro que cuente con la eficacia para la potabilización del recurso.

1.2.4.5. Otros métodos

Existen varios métodos para el tratamiento del agua, pero no todos son tan fiables como los que se detallaron anteriormente, aun así, se detallan porque en ocasiones pueden llegar a ser de utilidad (AMSE, 2020).

Se especifican algunos a continuación:

- Dióxido de cloro (ClO_2): este método es eficiente cuando se trata una pequeña cantidad, este tipo de comprimido genera cloro al momento de su uso.
- La luz ultravioleta (UV): el efecto provocado puede acabar con varios microorganismos que se localizan en el agua, esto influye en la dosis y tiempo que se exponga, este método requiere que el agua sea clara ya que las partículas en suspensión, puede formar una barrera que protegerá a los organismos en contra de la luz ultravioleta.

1.2.5. Calidad del agua

Es complicado presentar ese dato, debido a que el término es relativo y depende del uso que se le dará y la calidad está en función al mismo uso. Con estas consideraciones, se puede decir que el agua está contaminada cuando tiene cambios que perjudican el uso real.

Sin embargo, se considera agua potable, cuando cumple los límites establecidos por las normas internacionales de calidad agua para el consumo humano (OPS, 2005).

La comisión guatemalteca de normalización cuenta con una norma para la calidad del agua de consumo humano, los requisitos están establecidos en la Norma Técnica Guatemalteca NTG 29001, Agua para consumo humano (agua potable).

De acuerdo al Plan Nacional de Agua y Saneamiento del Ministerio de Salud 2015, un 40 % de los análisis realizados para comprobar el cloro residual en el agua cumplen con la norma nacional para el año 2014 y en 2013 menos del 40 % del agua potable de consumo recibió tratamientos previos para el área urbana, esto es debido a que la mayoría de veces se obtiene el agua directamente de cuerpos naturales de agua que no cuentan con tratamiento alguno y contienen microorganismos que pone en peligro la salud de los habitantes (MSPAS, 2012).

1.2.6. Normativa del agua potable

Guatemala cuenta con la norma técnica guatemalteca NTG 29001, dicha norma tiene por objetivo establecer las especificaciones que caracterizan la potabilidad del agua para el consumo humano.

La normativa cuenta características y especificaciones que se deben cumplir para que el agua sea para el adecuado consumo humano, dichas características se muestran a continuación:

1.2.6.1. Características físicas y organolépticas del agua para el consumo humano

En la tabla III, se muestran las especificaciones de las tipologías físicas y organolépticas, asimismo, se detallan los límites máximos aceptables y los límites máximos permisibles.

Tabla III. **Características físicas y organolépticas que debe de tener el agua para el consumo humano**

Características	LMA	LMP
Color	5,0 u	35,0 u (a)
Olor	No rechazable	No rechazable
Turbiedad	5,0 UNT	15,0 UNT (b)
Conductividad eléctrica	750 μ S/cm	1500 μ S/cm (d)
Potencial de hidrógeno	7,0 – 7,5	6,5 – 8.5 (c) (d)
Sólidos totales disueltos	500,0 mg/L	1000,0 mg/L
(a) Unidades de color en la escala de platino – cobalto		
(b) Unidades nefelométricas de turbiedad (UNT)		
(c) En unidades de pH		
(d) Límites establecidos a una temperatura de 25°C		

Fuente: Ministerio de Economía (2010). *Comisión Guatemalteca de Normas (COGUANOR) NTG 29001 Agua para Consumo humano (agua potable). Especificaciones.*

1.2.6.2. Características químicas

En la tabla IV, se detallan las características químicas que debe cumplir el agua potable, así como los límites máximos aceptables y los límites máximos permisibles.

Tabla IV. **Características químicas que debe tener el agua para consumo humano**

Características	LMA (mg/L)	LMP (mg/L)
Cloro residual libre (a)	0,5	1,0
Cloruro (Cl)	100,0	250,0
Dureza Total (CaCO ₃)	100,0	500,0
Sulfato (SO ₄)	100,0	250,0
Aluminio (Al)	0,050	0,100
Calcio (Ca)	75,0	150,0

Continuación tabla IV.

Cinc (Zn)	3,0	70,0
Cobre (Cu)	0,050	1,500
Magnesio (Mg)	50,0	100,0
Manganeso total (Mn)	0,1	0,4
Hierro total (Fe) (b)	0,3	---

- (a) El Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social será el ente encargado de indicar los límites mínimos y máximos de cloro residual libre según sea necesario o en caso de emergencia.
- (b) No se incluye el LMP porque la OMS establece que no es un riesgo para la salud del consumidor a las concentraciones normales en el agua para consumo humano, sin embargo, el gusto y apariencia del agua pueden verse afectados a concentraciones superiores al LMA.

Fuente: Ministerio de Economía (2010). *Comisión Guatemalteca de Normas (COGUANOR) NTG 29001 Agua para Consumo humano (agua potable). Especificaciones.*

En la tabla V, se detallan las sustancias inorgánicas (metales) que se encuentran en el agua y el límite máximo permisible (COGUANOR NTG 29001-2010).

Tabla V. Relación de las sustancias inorgánicas cuya presencia en el agua es significativa para la salud

Características	LMP (mg/L)
Arsénico (As)	0,010
Bario (Ba)	0,70
Boro (B)	0,30
Cadmio (Cd)	0,003
Cianuro (CN*)	0,070
Cromo total (Cr)	0,050
Fluoruro (F*)	1,50
Mercurio total (Hg)	0,001

Continuación tabla V.

Plomo (Pb)	0,010
Selenio (Se)	0,010
Nitrato (NO ₃)	50,0
Nitrito (NO ₂)	3,0

Fuente: Ministerio de Economía (2010). *Comisión Guatemalteca de Normas (COGUANOR) NTG 29001 Agua para Consumo humano (agua potable). Especificaciones.*

En la tabla VI, se nombran algunas sustancias plaguicidas que se pueden localizar en el agua, asimismo se presentan los valores límites que ya no son permitidos, sin embargo, se agregan por la permanencia del uso por el ambiente:

Tabla VI. **Substancias plaguicidas cuya presencia en el agua es significativa para la salud**

Grupo	LMP (µg/L)
Compuestos organoclorados	
Aldrín y Dieldrín	0,03
Clordano	0,20
Clorotolurón	30,0
DDT y sus metabitos	1,00
Endrín	0,60
Lindano	2,00
Metoxicloro	20,0
Pentaclorofenol	9,00
Ácidos fenoxi	
2,4 – D	30,0
2,4 – DB	90,0
2,4,5 – T	9,00
Mecoprop	10,0
Dicloroprop	100,0
MCPA	2,00

Continuación tabla VI.

Fumigantes	
1,2 – Dicloropropano	40,0
1,3 – Dicloropropeno	20,0
DBCP (1,2 – Dibromo – 3– cloropropano)	1,00
Triazinas	
Atrazina	2,00
Simazina	2,00
Acetanilidas	
Alacloro	20,0
Metolacloro	10,0
Carbamatos	
Aldicarb y sus metabolitos	10,0
Carbofurán	7,00
Isoproturón	9,00
Molinato	6,00
Pendimetalina	20,0
Amidas	
Di (etil – hexil) ftalato	8,00
Trifluralín	20,0
Organofosforados	
Carbofurán	7,00
Clorpirifós	30,0
Dimetoato	6,00

Fuente: Ministerio de Economía (2010). *Comisión Guatemalteca de Normas (COGUANOR)*
NTG 29001 Agua para Consumo humano (agua potable). Especificaciones.

En la tabla VII, se presentan las sustancias orgánicas que se pueden encontrar en el agua y que son dañinas para la salud, así mismo, se muestran los límites máximos permisibles.

Tabla VII. Substancias orgánicas cuya presencia en el agua es significativa para la salud

Compuesto	LMP (µg/L)
Ácido edético (EDTA) (4)	600,0
Ácido nitrilo triacético	200,0
Benceno	10,0 (1)
Cloruro de vinilo	0,3 (1)
o-diclorobenceno	1000,0 (2)
p-diclorobenceno	300,0 (2)
1,2 – dicloroetano	30,0 (1)
1,1 – dicloroetano	30,0
1,2 – dicloroetano	50,0
cis- 1,2 – dicloropropano	50,0
trans- 1,2 – dicloropropano	50,0
Diclorometano	20,0
1,2 – dicloropropano	40,0 (3)
Di (2-etilhexil) ftalato	8,0
1,4 – dioxano	50,0 (1)
Estireno	20,0 (2)
Etilbenceno	300,0 (2)
Hexaclorobutadieno	0,6
Pentaclorofenol	9,0 (1)(3)
Tetracloruro de carbono	4,0
Tetracloroetano	40,0
Tolueno	700,0 (2)
Tricloroetano	20,0 (3)
Xileno	500,0 (2)

- (1) El valor de referencia de las sustancias que se consideran cancerígenas es la concentración en el agua asociada con un límite de riesgo adicional de cáncer durante toda la vida de 10^{-5} (un caso adicional de cáncer por cada 100,000 personas que ingieren agua de bebida con una concentración de la sustancia igual al valor de referencia durante 70 años). Las concentraciones asociadas con límites superiores estimados de riesgo adicional de cáncer de 10^{-4} y 10^{-6} pueden calcularse multiplicando y dividiendo, respectivamente, el valor de referencia por 10.
- (2) Concentraciones de la sustancia iguales o superiores al valor de referencia basado en criterios de salud pueden afectar la apariencia, gusto u olor del agua, dando lugar a reclamos por parte de los consumidores.
- (3) El valor de referencia provisional, dado que hay evidencia de que la sustancia es peligrosa, pero existe escasa información disponible relativa a sus efectos sobre la salud.
- (4) Aplica al ácido libre.

Fuente: Ministerio de Economía (2010). *Comisión Guatemalteca de Normas (COGUANOR) NTG 29001 Agua para Consumo humano (agua potable). Especificaciones.*

1.2.6.3. Características microbiológicas

En la tabla VIII, se detallan los microorganismos y el límite máximo permisible que especifica la calidad microbiológica del agua.

Tabla VIII. **Valores guía para la verificación de la calidad microbiológica del agua**

Microorganismos	Límite Máximo Permisible
Agua para consumo directo Coliformes totales y E. coli	No deben ser detectables en 100 mL de agua.
Agua tratada que entra al sistema de distribución Coliformes totales y E. coli	No deben ser detectables en 100 mL de agua.
Agua tratada en el sistema de distribución Coliformes totales y E. coli	No deben ser detectables en 100 mL de agua.

Fuente: Ministerio de Economía (2010). *Comisión Guatemalteca de Normas (COGUANOR) NTG 29001 Agua para Consumo humano (agua potable). Especificaciones.*

1.2.6.4. Aspectos radiológicos

En la tabla IX, se muestran las características de los aspectos radiológicos del agua con el valor máximo aceptable y las observaciones de dichos valores.

Tabla IX. **Valores guías para los aspectos radiológicos en agua**

Características	Valor Máximo Aceptable	Observaciones
Radioactividad alfa total	0,10 Bq/L (1)	Si se sobrepasa el valor límite, es necesario un análisis más detallado de los radionúclidos.
Radioactividad beta total	1,0 Bq/L	

(1) Bq es Bequerel que es la unidad radiométrica utilizada para medir la actividad de una fuente. Se simboliza por Bq y es equivalente a 1 desintegración / segundo.

Fuente: *Ministerio de Economía (2010). Comisión Guatemalteca de Normas (COGUANOR) NTG 29001 Agua para Consumo humano (agua potable). Especificaciones.*

En la tabla X, se presentan los indicadores de radiación que se pueden encontrar en el agua, así como los límites que son permitidos.

Tabla X. **Radionúclidos indicadores de radiación y sus valores guía en agua**

Radiación	Indicador	Límites
Alfa artificial	Americio 241	0,1 Bequerel/L
Beta artificial	Estroncio 90	1,0 Bequerel/L
Gamma artificial	Cesio 137	No definido

Fuente: *Ministerio de Economía (2010). Comisión Guatemalteca de Normas (COGUANOR) NTG 29001 Agua para Consumo humano (agua potable). Especificaciones.*

Para la realización del análisis fisicoquímico, microbiológico, así como los valores radiológicos se debe recurrir a los métodos que se determinan en *Standard Methods for the Analysis of Water and Wastewater*, APHA, en su última

edición, mientras que las normas guatemaltecas no las hayan actualizado (COGUANOR, NTG 29001-2010).

1.3. Precipitación pluvial

Seguidamente se detallan puntos específicos de la precipitación pluvial en Guatemala, estaciones e instrumentos meteorológicos.

1.3.1. Descripción

La precipitación pluvial está constituida por toda el agua, que, de una manera u otra forma, es depositada en la superficie terrestre, por la condensación del vapor de agua contenido en el aire atmosférico (Mejía, 2012).

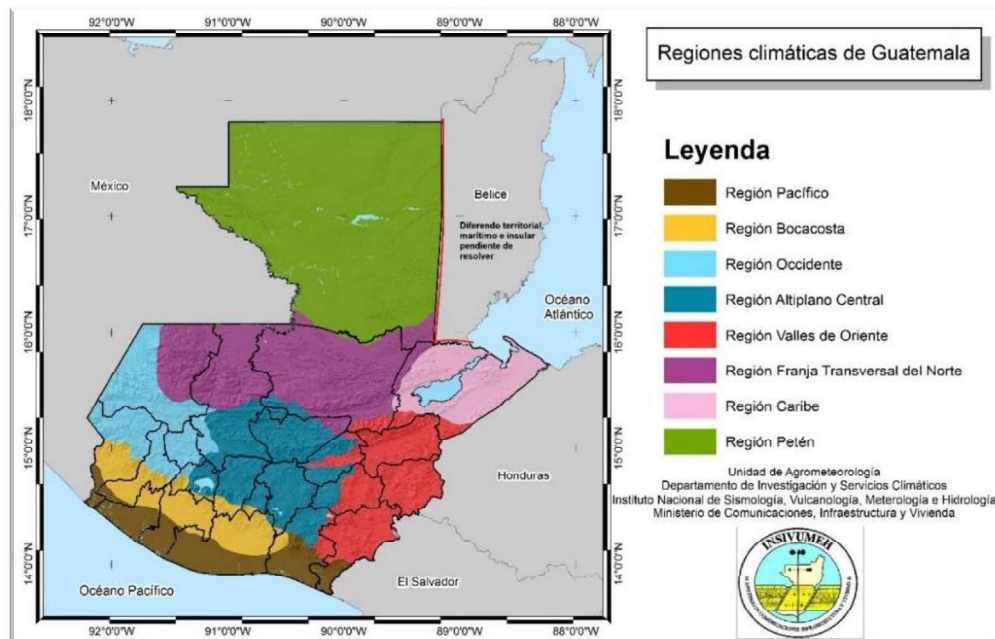
Las estaciones que se marcan en Guatemala son: época de lluvia comprendida entre los meses de mayo a octubre y la época seca de noviembre a abril.

Guatemala está dividida en ocho regiones y cada una de ella tiene sus características climáticas que lo definen por su vegetación, tipo de suelo, topografía y geología, siendo las siguientes:

- Región caribe
- Región de los valles de oriente
- Región de occidente
- Región de boca costa
- Región pacífico
- Región del altiplano central
- Región franja transversal del norte

- Región norte

Figura 4. **Regiones climáticas de Guatemala**



Fuente: INSIVUMEH. (s.f.). *Variabilidad y cambio climático en Guatemala*.

A continuación, se presenta una generalidad de las características y condiciones climáticas en factor lluvia, así como las condiciones ambientales y las estrategias para el buen manejo del recurso hídrico según la situación climática:

Tabla XI. Denotaciones de las estrategias para el uso conveniente del agua conforme a la situación climática

Condición climática	Características	Ambiente dominante	Estrategia de manejo del agua
Muy húmeda y húmeda (más de 1.200 mm de precipitación anual)	Precipitación abundante. Dominan excedentes hídricos casi todo el tiempo sin déficit severo o prolongado. Pueden ocurrir períodos de déficit cortos (veranillos o estacionales)	• Suelos profundos y meteorizados. • Percolación profunda y lixiviación de nutrientes. • Vegetación abundante. • Disponibilidad de fuentes de agua. • Napa freática profunda, en terrenos de altitud, y alta, en terrenos de llanura (donde pueden existir mal drenaje o exceso de agua).	• Mantener infiltración elevada en el suelo. • Prevención y control de la escorrentía dado el riesgo alto de erosión hídrica. • Técnicas para evitar la evaporación del agua del suelo y aumentar el almacenaje. • Drenaje puede ser necesario en terrenos llanos. • Baja necesidad de almacenar artificialmente el agua para utilización posterior.
Subhúmeda (800 a 1.200 mm de precipitación anual)	Precipitación superior a la evapotranspiración en parte del año e inferior en otros meses (déficit estacional más común y severo, régimen de precipitación puede ser muy errático).	• Suelos profundos y meteorizados. • Vegetación menos abundante, • Disponibilidad estacional y más escasa de fuentes de agua. • Alternancia de profundidad de la napa freática puede ser grande localmente.	• Mantener infiltración elevada en el suelo. • Prevención y control de la escorrentía, dado el riesgo alto de erosión hídrica en el período húmedo. • Son recomendables técnicas para captar y almacenar agua en el período húmedo para uso en el período seco.

Continuación tabla XI.

Semiárida (200 a 800 mm de precipitación anual)	Precipitación inferior a evapotranspiración durante gran parte del año. Déficit puede alcanzar casi todo el año.	• Suelos poco profundos y poco meteorizados. • Salinidad frecuente. • Vegetación pobre y característica de regiones con déficit hídrico. • Fuentes de agua escasas. • El agua puede ser de mala calidad para uso doméstico y agropecuario.	• Mantener infiltración elevada en el suelo en los meses lluviosos. • Control de la escorrentía, dado el riesgo alto de erosión hídrica en los meses lluviosos. • Técnicas para evitar la evaporación del agua del suelo y aumentar el almacenaje. • Es indispensable aplicar técnicas para captar y almacenar agua en el período húmedo.
Árida (menos de 200 mm de precipitación anual)	Precipitación baja. Déficit todo el año.	• Suelos pocos meteorizados. • Salinidad frecuente. • Vegetación casi inexistente. • Fuentes de agua son muy escasas y localizadas. • Agua puede ser de mala calidad para uso doméstico y agropecuario.	• Prioridad absoluta para consumo humano. • Mantener hábitos y actividades productivas que dependen el mínimo del agua.

Fuente: FAO. (2013). *Captación y almacenamiento de agua de lluvia (Opciones técnicas para la agricultura familiar en América Latina y el Caribe)*.

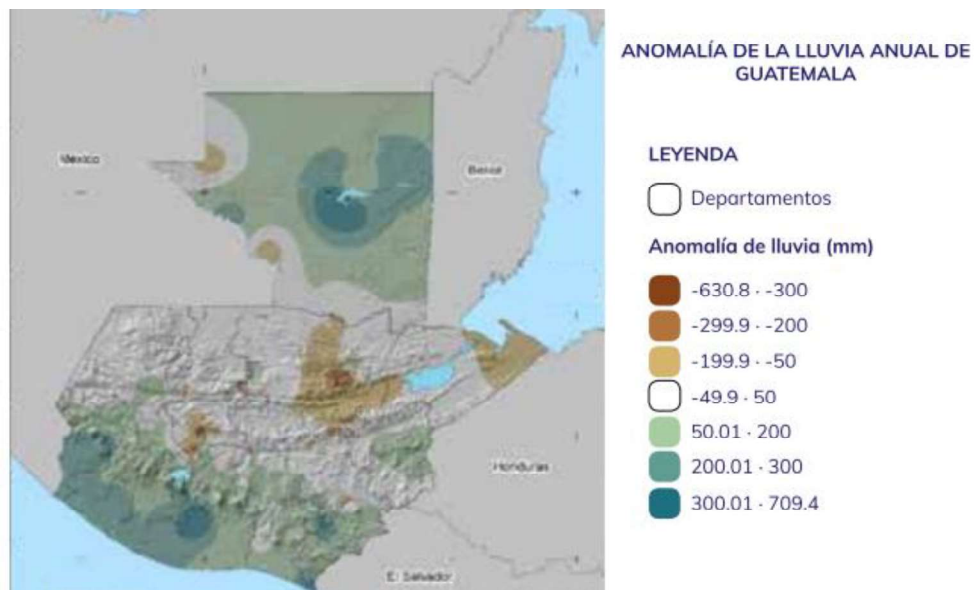
Los números que se muestran de la precipitación en la tabla XI pueden variar sutilmente, de acuerdo con el autor o el método de clasificación que se utilice.

1.3.2. Precipitación en zonas semiáridas

A nivel nacional el promedio de lluvia desde el año de 1981 se ha intensificado en 55 mm, para el año de 1981 al 200 el promedio aproximado de lluvia fue de 1755 mm, en tanto para los años de 2001 a 2016 la media anual fue aproximadamente de 1800 mm (SGCCC, 2019).

Al calcular la variación de la descarga hídrica, se presentó un aumento de lluvia en un 62 % en la fase de evaluación, donde se muestra un 43 % de diferencia al promedio de la estación 1981 al 2000; se presentó una disminución de la lluvia anual del 28 %, entre -1 y -30 del promedio de las estaciones.

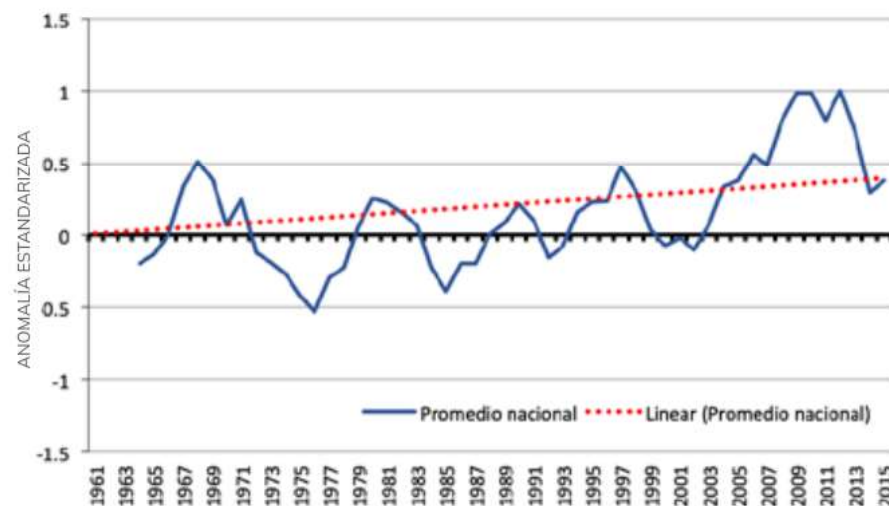
Figura 5. **Anormalidad de la lluvia anual en milímetros a nivel local, tomando como base el período de 1981 - 2000, comparado con el tiempo de evaluación 2001 - 2016**



Fuente: Bardales, Castañón, y Herrera (2019). *Clima de Guatemala, tendencias observadas e índices de cambio climático.*

Al observar el historial de la precipitación pluvial muestra que en el período de 1960 a 2016, se muestran variaciones debido a los cambios del clima, en la siguiente figura se observa un promedio de aumento del 3 %, donde en los años 90 se puede percibir un incremento racional, ya que en los años que no son habitualmente húmedos, las irregularidades pueden llegar aproximadamente a un 9 % (Herrera y Pineda, 2002).

Figura 6. **Tendencia de la precipitación en la ciudad de Guatemala, durante los años 1961 a 2017**



Fuente: Bardales, Castañón, y Herrera (2019). *Clima de Guatemala, tendencias observadas e índices de cambio climático*.

La línea azul continua muestra datos promedio de la precipitación nacional, mientras que la línea roja punteada presenta la linealidad a la que tiende la precipitación.

Es de importancia que las regiones que presentan menor humedad y son semiáridas, se encuentran en el oriente, un segmento de la cuenca del Río

Motagua, parte de Baja Verapaz, Huehuetenango y Quiché, el noreste de Petén y parte de la franja del pacífico (Herrera, 2007).

La región semiárida de Guatemala está comprendida por ciertos departamentos como los son: Zacapa, El Progreso, Chiquimula y Jalapa, se conoce por la falta de la recarga hídrica debido a estar situados en la zona donde menos llueve. Esto se debe a las diversas condiciones que presenta la Sierra de las Minas provocando la falta de humedad, filtrando solo el aire cálido (INSIVUMEH, 1990).

Se caracteriza por tener la menor cantidad de datos registrados y con un bajo promedio pluviométrico de 700 a 1400 mm de lluvia anual, sin embargo, actualmente ha presentado un incremento anual de 175 a 200 mm en la región (SGCCC, 2019).

1.3.3. Estación meteorológica

Es una instalación destinada a medir y registrar regularmente diversas variables meteorológicas, que recopila datos de distintas variables atmosféricas utilizadas en el ámbito de la meteorología, debe de cumplir con especificaciones que se detallan a continuación.

El terreno en cual se colocará el dispositivo debe de ser plano y libre de obstáculos, y las obstrucciones que se encuentren deben de encontrarse a una distancia y altura sobre el suelo, no excediendo de los 10 grados, debe de estar despejado el horizonte al este y oeste y el dispositivo estará rodeado por una malla de metal.

Dentro de la instrumentación se encuentran las siguiente:

- Pluviómetro
- Pluviógrafo
- Higrógrafo
- Termohigrógrafo
- Termómetro de máxima
- Termómetro de mínima
- Termógrafo
- Aspiropsicrómetro
- Geotermómetros
- Heliógrafo
- Actinógrafo
- Evaporímetro de Piché
- Tanque de evaporación
- Anemocinemógrafo
- Barógrafo

Se describen las variables que pueden medir los diferentes equipos de una estación meteorológica:

- Precipitación
- Humedad relativa
- Temperatura
- Brillo solar
- Radiación solar
- Evaporación
- Viento
- Presión atmosférica
- Nivel UV
- Medición de la altura de las nubes

1.3.4. Equipos de medición

La precipitación se mide en milímetros de agua, esto quiere decir, la cantidad de agua o altura de lámina que se capta en una superficie plana. En cuanto a la relación dicho de otra manera por un milímetro de agua esto es equivalente a un litro de agua de lluvia por m^2 .

Básicamente se clasifican en dos categorías de instrumentos que se presentan a continuación:

1.3.4.1. Pluviómetros mecánicos

Este es un pluviómetro tradicional, se divide en tres secciones las cuales son: receptora, retención y la colectora.

Figura 7. **Pluviómetro mecánico**

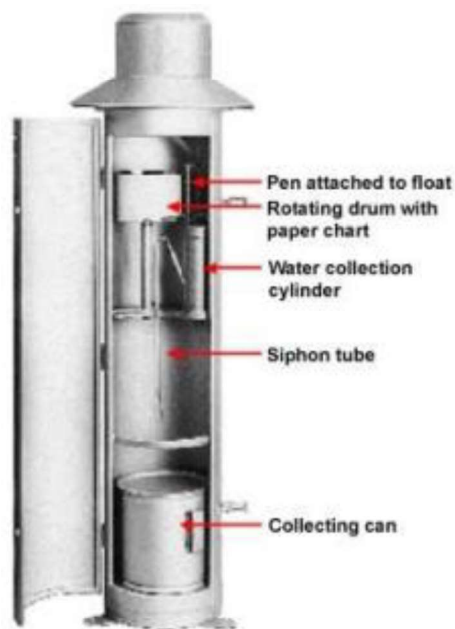


Fuente: Renom (2011). *Principios básicos de las mediciones atmosféricas. Pluviometría.*

1.3.4.2. Pluviómetro de sifón

En este tipo de pluviómetro en la parte interna cuenta con un recipiente el que marca una columna de agua que, al vaciarse por el efecto de sifonado, el agua de lluvia que es colectada por un embudo se pasa a un recipiente colector, cuando este se llena, se vacía el recipiente del sifón y se traslada a otro recipiente colector.

Figura 8. Pluviómetro de sifón



Fuente: Renom (2011). *Principios básicos de las mediciones atmosféricas. Pluviometría.*

1.3.5. Estaciones meteorológicas del área de estudio

Dentro de la red climatológica de Guatemala, el Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología INSIVUMEH, cuenta con

una red de 37 estaciones que cumplen con las especificaciones para los diversos estudios climáticos.

Seguidamente, se enumeran las estaciones.

Tabla XII. **Estaciones climáticas INSIVUMEH**

No.	Estación	Registro (años)
1	Puerto Barrios, Izabal	43
2	Camotán, Chiquimula	43
3	Asunción Mita, Jutiapa	43
4	San Jerónimo, Baja Verapaz	43
5	INSIVUMEH, Guatemala	43
6	San Martín Jilotepeque, Chimaltenango	43
7	Chuitinamit, Sacapulas, El Quiché	43
8	Nebaj, El Quiché	43
9	Huehuetenango	43
10	Camantulul, Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla	43
11	Quesada, Jutiapa	43
12	Cobán, Alta Verapaz	42
13	La Unión, Zacapa	42
14	La Ceibita, Monjas, Jalapa	42
15	Pasabién, Zacapa	42
16	Labor Ovalle, Quetzaltenango	42
17	Esquipulas	41
18	La Fragua, Estanzuela, Zacapa	41
19	Sabana Grande	41
20	Flores Aeropuerto, Flores, Petén	40
21	Las Vegas, Livingston, Izabal	40
22	Potrero Carrillo, Jalapa	40
23	San Pedro Ayampuc, Guatemala	40
24	Suiza Contenta, San Lucas Sacatepéquez, Sacatepéquez	40
25	San Marcos	40
26	Todos Santos, Huehuetenango	40
27	San José Aeropuerto, Puerto San José, Escuintla	40
28	Santa María Cahabón, Cahabón, Alta Verapaz	39
29	Santa Cruz Balanyá, Chimaltenango	39

Continuación tabla XII.

30	Santiago Atitlán, Sololá	39
31	Chinique, Quiché	39
32	Montúfar, Jutiapa	38
33	San Agustín Chixoy, Chisec, Alta Verapaz	36
34	Retalhuleu Aeropuerto	34
35	Cubulco, Alta Verapaz	33
36	Alameda ICTA, Chimaltenango	33
37	Quiché Chixoy, Chicamán, Quiché	30

Fuente: INSIVUMEH. (s.f.). *Variabilidad y cambio climático en Guatemala*.

El análisis de este trabajo se delimitó en la región semiárida de Guatemala es por ello por lo que seguidamente se detallan las estaciones que muestran variaciones climáticas en esta zona del país.

Tabla XIII. **Estaciones meteorológicas de la región semiárida**

Departamento	Estación
Baja Verapaz	Cubulco
	San Jerónimo
Chiquimula	Esquipulas
	Camotán
El Progreso	Morazán
Jalapa	La Ceibita
	Potrero Carrillo
Jutiapa	Asunción Mita
	Montúfar
Zacapa	La Fragua
	La Unión
	Pasabién

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

1.4. Sistemas de captación de agua de lluvia

A continuación, se detallan modelos de casos de estudio en los que se ha implementado sistemas de captación de agua de lluvia según el área de influencia y tipo de vivienda.

1.4.1. Casos de estudio (modelos)

La lluvia que sea captada por medio de los techos de las viviendas u otro tipo de construcción existente puede ser destinada para el uso potable, así como para los servicios básicos, en vista de las características que presenta (Brito *et. al.*, 2007).

Dependiendo del tipo de techo se contará con un volumen mayor de escorrentía, casi similar al de la lluvia, por la altura e inclinación que presenta es de fácil captación y almacenamiento, donde posteriormente se conduce por canales y una tubería que se dirigirá a la estructura o tanque de almacenamiento, que por lo general son (cisternas, estanques, entre otros), para posteriormente ser usada.

Figura 9. **Ejemplificación de los diseños de captación de agua de lluvia**



Fuente: FAO. (2013). *Captación y almacenamiento de agua de lluvia (Opciones técnicas para la agricultura familiar en América Latina y el Caribe)*.

1.4.1.1. Caso 1: Diseño de un sistema de recolección de agua de lluvia pluvial para uso sanitario caso de estudio Instituto Tecnológico de Mérida

Para iniciar dicho estudio es importante realizar un estudio previo de las precipitaciones ocurridas en la zona en un período de 5 años, al obtener los datos es importante clasificarlo de acuerdo con los eventos climáticos ocurridos y frecuencia en la que se dieron, ya que a partir de ellos se tendrán meses en los cuales este proyecto podrá suministrar y a partir de ellos se procede al diseño del sistema para el edificio de estudio.

Es importante saber que los gastos de funcionamiento de captación se obtendrán con el Método Racional Americano, además se debe de contar con un plano de techos para conocer la geometría de la azotea del edificio y con el

analizar los componentes para el funcionamiento, operación y mantenimiento. Para ello se debe de tomar en cuenta los siguientes puntos.

- Lugar para establecer el proyecto
- Determinar la demanda de agua para los sanitarios
- Diseño del sistema de conducción
- Dimensionamiento del sistema de almacenamiento
- Diseño del tratamiento del agua de lluvia captada
- Viabilidad del proyecto

Al evaluar la viabilidad se observa que si se cuenta con un historial el cual muestra información completa de las diferentes variables que se requieren para el estudio. Para lo cual se dio seguimiento a los eventos frecuentes de precipitación agrupándolos y conociendo la intensidad de estos.

Se generó una tabla de las frecuencias de precipitación que se acumuló en mm, en un factor tiempo de cada 10 minutos, en el período de 5 años de estudio.

Por lo cual la data demuestra que el proyecto puede funcionar en un lapso de 6 meses del año considerando las lluvias comunes o de baja intensidad, ya que estas mismas lluvias se captarán en el mismo depósito.

- Sistema de captación de agua pluvial
 - Intensidad de la lluvia del diseño

En esta parte se estudia la geometría de la cuenca (edificio en estudio), y el techo del edificio se compone de dos aguas con una pendiente del 0.22 % en la

parte delantera y en la parte de atrás con una de 2.8 %, el edificio cuenta con 20 puntos de desfogue.

- Tiempo de concentración

Iniciando las etapas de la obtención de datos, se analiza el tiempo de concentración del agua por medio del cálculo de Kirpich con la siguiente ecuación:

$$T_c = 0.02 * \frac{L^{0.79}}{S^{0.385}} \quad (\text{Ec. 2})$$

Donde:

T_c = tiempo de concentración (horas)

L = longitud del curso de agua más largo (km)

S = pendiente promedio del cauce principal (m / m)

- Intensidad de lluvia

Se obtiene a partir de los datos del tiempo de concentración y tiempo de retorno que tendrá el proyecto.

$$i = \frac{221.09067 * T_r^{0.79}}{d^{0.680599}} \quad (\text{Ec. 3})$$

Donde:

i = intensidad

T_r = tiempo de retorno (años)

d = Duración de la lluvia equivalente al tiempo de concentración de la cuenca (minutos)

- Gasto de diseño

Para ello es necesario conocer la geometría de la cuenca, asimismo, se sabe que cuando llueve existen pérdidas de lluvia, por diferentes razones como: salpicaduras, evaporación, infiltración para lo cual se le atribuye un porcentaje de desperdicio de la escurrentía. Es por ello por lo que se cuenta con la siguiente tabla.

Tabla XIV. **Coefficiente de escurrimiento según área drenada**

Tipo de área drenada	Coeficiente de escurrimiento	
	Mínimo	Máximo
Zonas comerciales		
Zona comercial	0.75	0.95
Zonas mercantiles	0.70	0.90
Vecindarios	0.50	0.70
Zonas Residenciales		
Unifamiliares	0.30	0.50
Multifamiliares, espaciados	0.40	0.60
Multifamiliares, compactos	0.60	0.75
Semiurbanos	0.25	0.40
Casas habitación	0.50	0.70
Zonas Industriales		
Espaciado	0.50	0.80
Compacto	0.60	0.90
Cementerios y parques	0.10	0.25
Campos de juego	0.20	0.35
Patios de ferrocarril y terrenos sin construir	0.20	0.40
Zonas suburbanas	0.10	0.30

Continuación tabla XIV.

Calles		
Asfaltadas	0.70	0.95
De concreto hidráulico	0.80	0.95

Fuente: Fundación ICA. (2014). *10 soluciones para el manejo sustentable del agua. Península de Yucatán.*

▪ Determinación del Caudal

Para el diseño de considerar la determinación del gasto del techo del edificio estudiado, Identificando los caudales por medio de la ecuación del método racional.

$$Q = 278 \times C \times I \times A \quad (\text{Ec. 4})$$

Donde:

Q = Caudal del agua (litros / segundo)

C = coeficiente de escorrentía

I = Intensidad de precipitaciones (mm / h)

A = Área tributaria (km²)

- Dimensionamiento del sistema
 - Colección y conducción

En esta fase se refiere al conjunto de canales, tuberías que tienen por objeto recolectar el agua de lluvia, para posteriormente dirigirla al interceptor y al depósito de almacenamiento.

El material que se utilizará será de PVC colocando mallas que detengan las partículas y los sólidos en suspensión, con el fin de que no obstruya el flujo que tendrá la tubería. Los canales están en función del caudal que se obtiene de la ecuación 4.

- Canales

Para obtener el dimensionamiento del medio canal se determinará por medio de la ecuación de Manning que se presenta a continuación:

$$Q = \frac{1}{n} * (AR^{\frac{2}{3}} * \sqrt{S}) \quad (\text{Ec. 5})$$

Donde:

Q = Caudal al gasto (m^3 / s)

n = Rugosidad del material (PVC)

A = Área del techo (m^2)

R = Radio hidráulico (m)

S = Pendiente (m / m)

- Bajadas de agua

Se emplea la ecuación de Hunter y con ello se puede determinar el diámetro que tendrá la capacidad de desfogar el agua que se acumule en la canal:

$$Q = 1.75 * r^{\frac{5}{3}} * d^{\frac{8}{3}} \quad (\text{Ec. 6})$$

Donde:

Q = Caudal al gasto (m^3 / s)

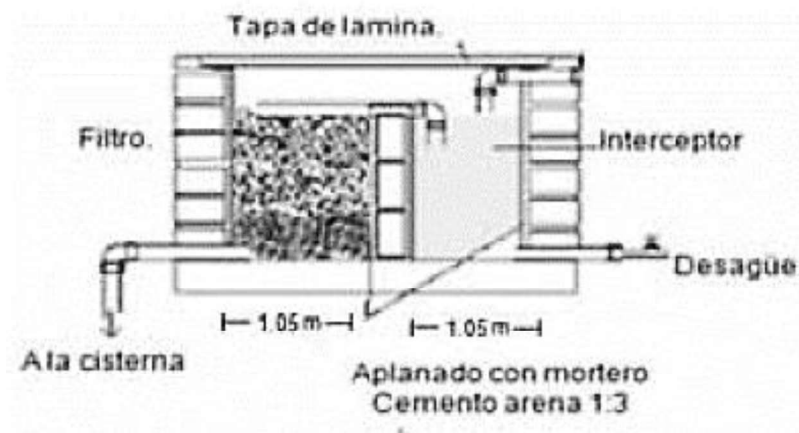
r = Relación área-anillo-agua (0.33)

d = Diámetro (plg)

- Interceptor o filtro desarenador

Posterior a la baja de agua, se encuentra una caja que conduce el agua por una serie de filtros, la primera realiza un lavado del área donde remueve las impurezas de los sólidos que se encuentran en el área de captación esta fase es también conocida como descarga de primeras aguas, la segunda se encarga de filtrar de modo que se reduzca la contaminación del agua que será almacenada. Se muestra una figura a continuación, donde se detalla el dispositivo.

Figura 10. **Filtro desarenador**



Fuente: Fundación ICA. (2014). *10 soluciones para el manejo sustentable del agua. Península de Yucatán.*

- Almacenamiento

Las dimensiones se obtienen de la tabla que se obtuvo del cálculo de las frecuencias de precipitación que se acumuló en mm, donde la dimensión de dicho tanque puede solventar las necesidades del edificio en un período de seis meses.

Para la distribución se necesitará de una bomba de capacidad de 1 HP que impulsara el agua de la cisterna hacia los tinacos ya existentes que se encuentran en el techo del edificio de estudio, para que posteriormente se distribuya el agua por medio de gravedad.

1.4.1.2. Caso 2: Guía de diseño para captación del agua de lluvia

- Descripción del sistema de agua de lluvia

El sistema de recolección de agua debe estar compuesto con las siguientes características:

- Captación
- Recolección y conducción
- Interceptor de lluvias
- Almacenamiento
- Tratamiento

En la figura siguiente se observa el modelo óptimo para el sistema:

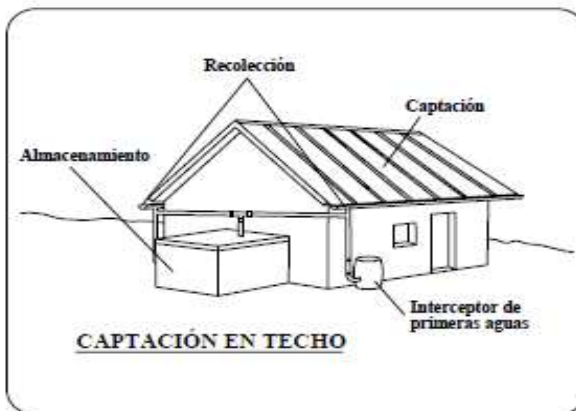
- Área de captación

Está formado por el área del techo, el mismo debe de tener pendiente y una superficie adecuada que sea factible el cauce del agua a través del diseño de recolección que conducirá el agua.

Sin embargo, el material que se emplea en los techos puede variar desde una lámina metálica, tejas de arcilla o una losa de concreto, entre otros., donde el coeficiente de escorrentía variará para el caso en que se implemente dicha propuesta.

Es fundamental que el módulo que se encargará de captar el agua se encuentre en condiciones óptimas libres de partículas que contaminen el afluente, esto con el fin de que la conducción sea más sencilla.

Figura 11. **Componentes del sistema de captación**

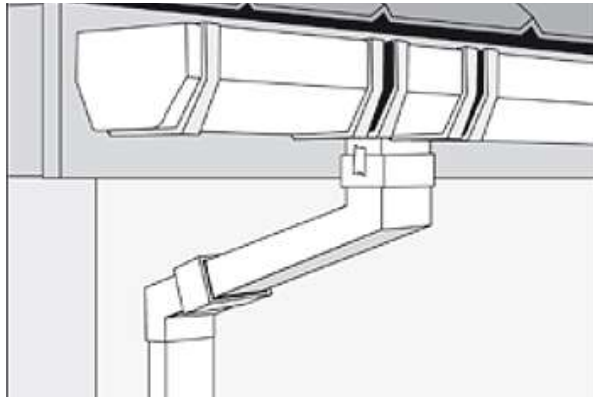


Fuente: OPS. (2004). *Guía de diseño para captación del agua de lluvia*.

- **Recolección**

Esta fase está conformada por canaletas que se encuentran al final de los bordes del techo, donde su función es conducir el agua del techo hacia los canales. Si en dado caso no existieran canaletas se pueden adaptar los canales de recolección, donde dichos canales deben de contar con una pendiente para conducirse hacia el depósito de almacenamiento, además se instalará en la canaleta una malla como filtro de las partículas y sólidos que se encuentren en el techo.

Figura 12. **Canaletas de recolección**



Fuente: OPS. (2004). *Guía de diseño para captación del agua de lluvia.*

Además, se cuenta con los coeficientes de escurrimiento según el material que está diseñado el techo, seguidamente se muestra la tabla XV.

Tabla XV. **Coefficiente de escorrentía según el material**

Tipo de superficie	Coefficiente
Lámina plástica	0.90
Mortero (cemento y arena)	0.88
Techos de hormigón	0.95
Tejas de arcilla recocida	0.75
Asfalto	0.88
Áreas cultivadas	0.08 – 0.41
Suelo arcilloso	0.25
Suelo arenoso	0.20
Pastos	0.12 – 0.62

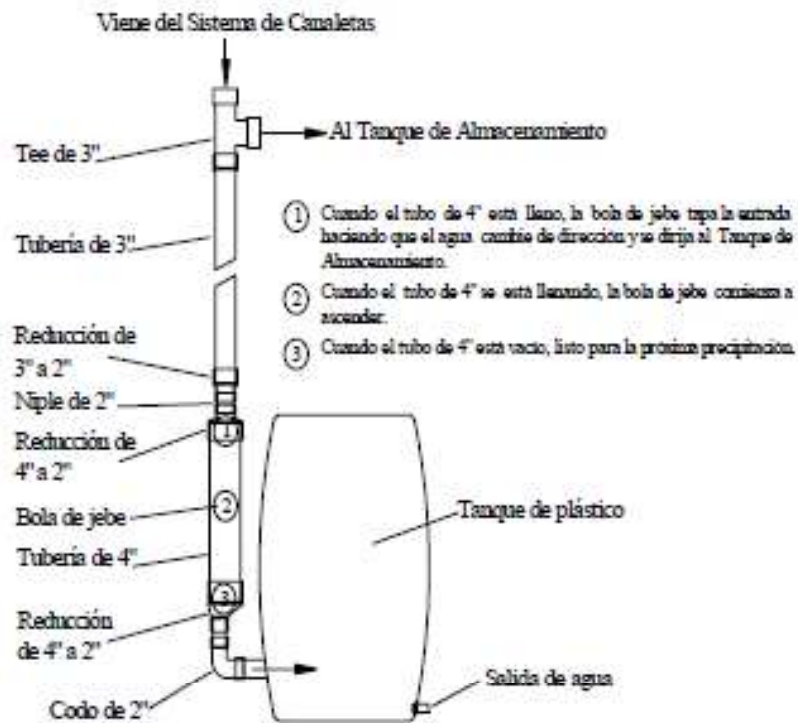
Fuente: Collet, Ayassa, Cortadi y Cánovas (2015). *Recuperación de las aguas de lluvia*.

- **Interceptor de lluvias**

Este dispositivo tiene como función desviar las primeras lluvias debido a que las primeras lluvias servirán para limpiar la superficie del techo y canales que contiene partículas que contaminan el tanque de captación.

Para el diseño del interceptor se considera que para limpiar el techo se requiere aproximadamente de 1 litro de agua por m² de techo (OPS, 2004).

Figura 13. **Interceptor de primeras aguas**



Fuente: OPS. (2004). *Guía de diseño para captación del agua de lluvia.*

- **Almacenamiento**

El tanque de almacenamiento puede variar en cuanto a tamaño y está en función del agua que precipite en el área, es posible que en época de lluvia existan altos volúmenes de agua, es por ello por lo que se debe de asegurar el abastecimiento ideal que abastecerá por una temporada a la vivienda.

Los tipos de tanque que se pueden emplear están en función de sus especificaciones técnicas para la cual sean requeridos, por lo que depende del volumen de agua.

- Tratamiento

El agua que llega al tanque no es de consumo humano, sin embargo, se puede usar en servicios domésticos: como lavar ropa, limpieza de interiores, riego de jardines, descarga del servicio sanitario, entre otros.

Para poder ser de uso potable se debe de pasar por una fase de filtración donde se purificará y una vez pasado este proceso de potabilización, el agua es de consumo humano.

El tratamiento puede realizarse por medio de técnicas de potabilización mencionadas en el inciso 1.2.4.

Además, la dotación es necesaria ya que es la cantidad de agua que se le es asignada a una persona para el consumo diario y es expresada en litros por habitante por día (L / hab / día).

Datos de la Unidad Ejecutora del Programa de Acueductos Rurales (UNEPAR), para diseños de proyectos de agua potable la dotación mínima es la siguiente:

Tabla XVI. **Dotación de agua potable**

Tipo de zona	Clima	Dotación (L / hab / día)	Tipo de conexión
Rural		40 – 60	Llena cántaros
	Frío	60 – 90	Predial
	Cálido	90 – 120	Predial

Continuación tabla XVI.

Urbana	Frío	120 – 150	Domiciliar
	Cálido	150 - 200	Domiciliar
Metropolitana		200 - 300	Domiciliar

Fuente: Herrera (2005). *Diseño del sistema de abastecimiento de agua potable, aldea Sanguayabá Municipio de Palencia, Guatemala.*

2. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. Estudio de la captación

Seguidamente se hace mención de cómo se inició el estudio de captación:

2.1.1. Información pluviométrica

Inicialmente se llevó a cabo una investigación de la precipitación en zonas semiáridas, donde se conoce que la misma es inferior a la evapotranspiración durante la mayor parte del año obteniendo un rango de 200 a 800 mm de precipitación anual (FAO, 2013).

De las estaciones climáticas que cuenta el Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología INSIVUMEH, se depuro con el fin de consolidar las estaciones que se ubican en la región semiárida de Guatemala. Las estaciones de la región semiárida están conformadas como se muestra en la tabla XIII. Tomando como departamento de estudio El Progreso y la Estación más cercana al Municipio de San Agustín Acasaguastlán.

Los datos de la estación climática de San Agustín Acasaguastlán se obtuvieron mediante un documento de parte del INSIVUMEH, dicho archivo contaba con los siguientes datos:

- Temperatura máxima
- Temperatura mínima
- Temperatura media

- Lluvia media
- Brillo solar total
- Radiación media
- Evaporación tanque total
- Evaporación piche total
- Nubosidad media
- Viento predominante
- Velocidad viento media
- Humedad relativa media
- Presión atmosférica media
- Temperatura suelo

Para el estudio de esta investigación el dato de interés es el de lluvia media, se obtuvo los datos tomados por el observador, para lo cual la precipitación se consolidó en el período de estudio del año 2010 – 2020 por mes y se obtuvo la tabla siguiente.

Tabla XVII. Datos consolidados de precipitación mensual de la estación de Acasaguastlán del período del año 2010 – 2020

PRECIPITACIÓN ESTACIÓN ACASAGUASTLÁN 2010 - 2020													
ESTACION	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
ACA SA GUA STLÁN	2010	S/O	S/O	S/O	S/O	S/O	S/O	S/O	197.00	191.50	12.50	S/O	S/O
ACA SA GUA STLÁN	2011	1.00	8.70	12.40	33.00	199.40	85.90	123.70	115.90	117.80	112.10	36.10	0.00
ACA SA GUA STLÁN	2012	0.50	S/O	0.00	11.40	181.40	185.80	16.30	219.30	72.20	122.70	5.60	10.80
ACA SA GUA STLÁN	2013	0.00	1.60	15.30	47.30	96.50	115.00	S/O	S/O	S/O	168.20	20.60	S/O
ACA SA GUA STLÁN	2014	S/O	S/O	S/O	S/O	S/O	25.60	32.10	70.60	131.20	182.80	15.50	0.30
ACA SA GUA STLÁN	2015	0.00	0.20	9.20	0.00	8.30	66.90	11.80	12.60	167.10	101.90	206.10	S/O
ACA SA GUA STLÁN	2016	7.00	6.30	9.70	24.50	21.10	75.60	18.00	111.30	127.90	37.70	6.00	1.70
ACA SA GUA STLÁN	2017	0.00	0.00	0.30	17.50	142.30	196.20	S/O	178.90	200.50	106.00	1.60	0.00
ACA SA GUA STLÁN	2018	0.60	1.40	4.80	13.50	252.50	86.40	4.30	37.90	57.90	120.10	7.80	0.00
ACA SA GUA STLÁN	2019	0.00	0.10	0.00	33.80	221.40	141.80	4.50	40.80	S/O	118.20	2.90	S/O
ACA SA GUA STLÁN	2020	3.40	S/O	S/O	S/O	S/O	S/O	S/O	S/O	S/O	S/O	S/O	S/O

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Los datos obtenidos de la suma total de la precipitación diaria durante el mes sirvieron para las bases y los criterios de diseño de la propuesta.

2.1.2. Precipitación promedio mensual

Los datos que se obtuvieron de la estación meteorológica se consolidaron en una tabla, dado que las estaciones climáticas proporcionan los datos en los días y meses del año.

Se determinó en función de la relación de los datos de la precipitación mensual de los años de estudio, obteniendo un valor promedio mensual, este se expresa en mm/mes.

Mediante la siguiente ecuación:

$$P_{pi} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} P_i}{n} \quad (\text{Ec. 7})$$

Donde:

n = valor numérico de años evaluados

P_i = valor numérico de la precipitación mensual en el mes i (mm)

P_{pi} = precipitación promedio mensual del mes i de todos los años evaluados (mm / mes).

Al sustituir los datos de la ecuación 7, con los valores de la tabla XVIII se obtiene lo siguiente:

Corrida número 1 (enero):

$$Ppi = \frac{1.00 + 0.50 + 7.00 + 0.60 + 3.40 + 0.0 + S/O}{10}$$

$$Ppi = 1.39 \text{ mm/mes}$$

Corrida número 2 (febrero):

$$Ppi = \frac{8.70 + 1.60 + 0.20 + 6.30 + 1.40 + 0.10 + 0.0 + S/O}{10}$$

$$Ppi = 2.61 \text{ mm/mes}$$

De esta manera se realizará la misma metodología para todos los meses, obteniendo un consolidado de los datos en la siguiente tabla:

Tabla XVIII. Precipitación promedio mensual de la estación de Acasaguastlán del período del año 2010 – 2020

PRECIPITACIÓN ESTACIÓN ACASAGUASTLÁN 2010 - 2020													
ESTACION	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
ACASAGUASTLÁN	2010	S/O	S/O	S/O	S/O	S/O	S/O	S/O	197.00	191.50	12.50	S/O	S/O
ACASAGUASTLÁN	2011	1.00	8.70	12.40	33.00	199.40	85.90	123.70	115.90	117.80	112.10	36.10	0.00
ACASAGUASTLÁN	2012	0.50	S/O	0.00	11.40	181.40	185.80	16.30	219.30	72.20	122.70	5.60	10.80
ACASAGUASTLÁN	2013	0.00	1.60	15.30	47.30	96.50	115.00	S/O	S/O	S/O	168.20	20.60	S/O
ACASAGUASTLÁN	2014	S/O	S/O	S/O	S/O	S/O	25.60	32.10	70.60	131.20	182.80	15.50	0.30
ACASAGUASTLÁN	2015	0.00	0.20	9.20	0.00	8.30	66.90	11.80	12.60	167.10	101.90	206.10	S/O
ACASAGUASTLÁN	2016	7.00	6.30	9.70	24.50	21.10	75.60	18.00	111.30	127.90	37.70	6.00	1.70
ACASAGUASTLÁN	2017	0.00	0.00	0.30	17.50	142.30	196.20	S/O	178.90	200.50	106.00	1.60	0.00
ACASAGUASTLÁN	2018	0.60	1.40	4.80	13.50	252.50	86.40	4.30	37.90	57.90	120.10	7.80	0.00
ACASAGUASTLÁN	2019	0.00	0.10	0.00	33.80	221.40	141.80	4.50	40.80	S/O	118.20	2.90	S/O
ACASAGUASTLÁN	2020	3.40	S/O	S/O	S/O	S/O	S/O	S/O	S/O	S/O	S/O	S/O	S/O
Promedio precipitación mensual =		1.39	2.61	6.46	22.63	140.36	108.80	30.10	109.37	133.26	108.22	33.58	2.13

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

2.2. Diseño y construcción del modelo de captación de agua de lluvia

A continuación, se describe cómo se llevaron a cabo las bases y criterios del diseño para la ejecución de la propuesta de captación de agua de lluvia.

2.2.1. Bases del diseño

La metodología implementada en el modelo partió de la propuesta donde se consideró la precipitación de la región, estudio de la vivienda, beneficiados además de la oferta y demanda que requiere el proyecto.

En la tabla siguiente se detallan los aspectos del proyecto:

Tabla XIX. **Aspectos de las bases del diseño**

Aspectos	Datos
Precipitación de la zona	Obtenidos en la tabla XVIII
Tipo de material de la superficie receptora	Lámina
Número de personas beneficiadas	5 personas
Demanda de agua	Varía según el mes

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

2.2.2. Criterios del diseño

Dentro de los parámetros para la implementación de la propuesta se recopilaron y obtuvieron los siguientes datos.

Tabla XX. **Criterios del diseño**

Criterios	Datos
Número de usuarios	5 personas
Coefficiente de esorrentía	0.90
Dotación de agua	90 (L / hab / día)
Área de captación	24.6 m ²

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

2.2.2.1. Determinación de la demanda

Para la obtención del dato de la demanda se partió de la dotación que se asumió de la tabla XVI. Dotación de agua potable, dado que está en función de las necesidades de la vivienda.

Implementando la ecuación 8 que está determinada de la siguiente manera:

$$Di = \frac{Nu \times Nd \times Dot}{1000} \quad (\text{Ec. 8})$$

Donde:

Nu = número de usuarios que se benefician del sistema (persona).

Nd = número de días del mes analizado (días).

Dot = dotación (L / hab / día).

Di = demanda mensual (m³)

Se realizaron las corridas de todos los meses y de los años de estudio:

Corrida número 1 (enero):

$$Di = \frac{5 \times 31 \times 90}{1000}$$

$$Di = 14.0 \text{ m}^3$$

Corrida número 2 (febrero):

$$Di = \frac{5 \times 28 \times 90}{1000}$$

$$Di = 12.6 \text{ m}^3$$

Seguidamente en la tabla se detalla la demanda de todos los meses de los años de estudio.

Tabla XXI. **Demanda mensual de los años de estudio 2010 - 2020**

MES	USUARIO (personas)	DÍAS	DOTACIÓN (l/hab/día)	DEMANDA MENSUAL (m³)
ENERO	5	31	90.0	13.95
FEBRERO	5	28	90.0	12.60
MARZO	5	31	90.0	13.95
ABRIL	5	30	90.0	13.50
MAYO	5	31	90.0	13.95
JUNIO	5	30	90.0	13.50
JULIO	5	31	90.0	13.95
AGOSTO	5	31	90.0	13.95
SEPTIEMBRE	5	30	90.0	13.50
OCTUBRE	5	31	90.0	13.95
NOVIEMBRE	5	30	90.0	13.50
DICIEMBRE	5	31	90.0	13.95

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

2.2.2.2. Oferta de agua durante el mes

La oferta de agua durante el mes se obtuvo del análisis de precipitación de lluvia, coeficiente de escorrentía que en este caso es 0.90 por ser lámina, además del área de captación.

Se determina mediante la siguiente ecuación:

$$Ai = \frac{Ppi \times Ce \times Ac}{1000} \quad (\text{Ec. 9})$$

Donde:

Ppi = precipitación promedio mensual (L / m²)

Ce = coeficiente de escorrentía

Ac = área de captación (m²)

Ai = oferta de agua en el mes i (m³)

Se realizaron las corridas con los datos obtenidos de la tabla XIX. Precipitación promedio mensual de la estación de Acasaguastlán del período del año 2010 – 2020 y de la tabla XVI. Datos del coeficiente de escorrentía, además del dato del área de captación que es de 24.6 m².

Corrida número 1 (enero):

$$Ai = \frac{1.39 \times 0.90 \times 24.60}{1000}$$

$$Ai = 0.03 \text{ m}^3$$

Corrida número 2 (febrero):

$$Ai = \frac{2.61 \times 0.90 \times 24.60}{1000}$$

$$Ai = 0.06 \text{ m}^3$$

Seguidamente en la tabla se detalla la oferta de todos los meses de los años de estudio.

Tabla XXII. **Oferta mensual de los años de estudio 2010-2020**

MES	PRECIPITACIÓN (mm = l/m ²)	COEFICIENTE ESCORRENTIA	ÁREA DE CAPTACIÓN (m ²)	OFERTA MENSUAL (m ³)
ENERO	1.39	0.90	24.60	0.03
FEBRERO	2.61	0.90	24.60	0.06
MARZO	6.46	0.90	24.60	0.14
ABRIL	22.63	0.90	24.60	0.50
MAYO	140.36	0.90	24.60	3.11
JUNIO	108.80	0.90	24.60	2.41
JULIO	30.10	0.90	24.60	0.67
AGOSTO	109.37	0.90	24.60	2.42
SEPTIEMBRE	133.26	0.90	24.60	2.95
OCTUBRE	108.22	0.90	24.60	2.40
NOVIEMBRE	33.58	0.90	24.60	0.74
DICIEMBRE	2.13	0.90	24.60	0.05

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Al obtener los datos de la oferta y demanda de lluvia, se fija el mayor acumulado de ambos y con ello se procedió a realizar la diferencia de datos de estudio de todos los meses.

Se obtuvo el acumulado de la oferta y demanda por medio de la siguiente ecuación:

$$Aai = Aa_{(i-1)} + \frac{Ppi \times Ce \times Ac}{1000} \quad (\text{Ec. 10})$$

$$Dai = Da_{(i-1)} + \frac{Nu \times Ndi \times Ddi}{1000} \quad (\text{Ec. 11})$$

Donde:

Ppi = precipitación promedio mensual (L / m²)

Ce = coeficiente de escorrentía

Ac = área de captación (m²)

Nu = número de usuarios que se benefician del sistema (persona).

Nd = número de días del mes analizado (días).

Dot = dotación (L / hab / día).

Aai = oferta de agua acumulada al mes “i” (m³)

Dai = demanda mensual acumulada al mes “i” (m³)

Al implementar la ecuación 11 de la demanda acumulada se obtuvo los siguientes datos por las corridas:

Corrida número 1 (enero):

$$Dai = 13.95 + 0$$

$$Dai = 13.95 \text{ m}^3$$

Corrida número 2 (febrero):

$$Dai = 13.95 + \frac{5 \times 28 \times 90.00}{1000}$$

$$Dai = 26.55 \text{ m}^3$$

Seguidamente se muestra la tabla de los acumulados de la demanda:

Tabla XXIII. **Demanda acumulada de los años de estudio 2010 - 2020**

MES	USUARIO (personas)	DÍAS	DOTACIÓN (l/hab/día)	DEMANDA MENSUAL (m³)	DEMANDA ACUMULADA (m³)
ENERO	5	31	90.0	13.95	13.95
FEBRERO	5	28	90.0	12.60	26.55
MARZO	5	31	90.0	13.95	40.50
ABRIL	5	30	90.0	13.50	54.00
MAYO	5	31	90.0	13.95	67.95
JUNIO	5	30	90.0	13.50	81.45
JULIO	5	31	90.0	13.95	95.40
AGOSTO	5	31	90.0	13.95	109.35
SEPTIEMBRE	5	30	90.0	13.50	122.85
OCTUBRE	5	31	90.0	13.95	136.80
NOVIEMBRE	5	30	90.0	13.50	150.30
DICIEMBRE	5	31	90.0	13.95	164.25

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Y por medio de la ecuación 10 se determinó la oferta de agua acumulada, se ejemplifica las siguientes corridas.

Corrida número 1 (enero):

$$A_{ai} = 0.031 + 0$$

$$A_{ai} = 0.031 \text{ m}^3$$

Corrida número 2 (febrero):

$$A_{ai} = 0.031 + \frac{2.61 \times 0.90 \times 24.60}{1000}$$

$$A_{ai} = 0.089 \text{ m}^3$$

Tabla XXIV. Oferta acumulada de los años de estudio 2010 - 2020

MES	PRECIPITACIÓN (mm =l/m²)	COEFICIENTE ESCORRENTIA	ÁREA DE CAPTACIÓN (m²)	OFERTA MENSUAL (m³)	OFERTA ACUMULADA (m³)
ENERO	1.39	0.90	24.60	0.031	0.031
FEBRERO	2.61	0.90	24.60	0.058	0.089
MARZO	6.46	0.90	24.60	0.143	0.232
ABRIL	22.63	0.90	24.60	0.501	0.733
MAYO	140.36	0.90	24.60	3.108	3.840
JUNIO	108.80	0.90	24.60	2.409	6.249
JULIO	30.10	0.90	24.60	0.666	6.915
AGOSTO	109.37	0.90	24.60	2.421	9.337
SEPTIEMBRE	133.26	0.90	24.60	2.950	12.287
OCTUBRE	108.22	0.90	24.60	2.396	14.683
NOVIEMBRE	33.58	0.90	24.60	0.743	15.427
DICIEMBRE	2.13	0.90	24.60	0.047	15.474

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

2.2.2.3. Volumen del tanque

La metodología que se implementó en el cálculo del volumen del tanque se dividió en dos; el mensual y el anual.

Para la determinación del tanque mensual, se llevó a cabo por medio de la siguiente ecuación, que es la diferencia del volumen que se captó durante el mes y el volumen de agua que demandan los usuarios durante el mes.

$$Vi = Ai - Di \quad (\text{Ec. 12})$$

Donde:

Vi = volumen del tanque de almacenamiento necesario para el mes i (m^3).

Ai = volumen de agua se captó en el mes i (m^3).

Di = volumen de agua demandada por los usuarios para el mes i (m^3).

Al implementar la ecuación 12, nos resultó lo siguiente:

Corrida número 1 (enero):

$$Vi \text{ enero} = 13.95 - 0.03$$

$$Vi \text{ enero} = 13.92 \text{ m}^3$$

Corrida número 2 (febrero):

$$Vi \text{ febrero} = 12.60 - 0.06$$

$$Vi_{\text{febrero}} = 12.54 \text{ m}^3$$

A continuación, se detalla el volumen del tanque según el mes.

Tabla XXV. **Volumen del tanque de los años de estudio 2010 - 2020**

MES	DEMANDA MENSUAL (m³)	OFERTA MENSUAL (m³)	VOLUMEN TANQUE (m³)
ENERO	0.03	13.95	13.92
FEBRERO	0.06	12.60	12.54
MARZO	0.14	13.95	13.81
ABRIL	0.50	13.50	13.00
MAYO	3.11	13.95	10.84
JUNIO	2.41	13.50	11.09
JULIO	0.67	13.95	13.28
AGOSTO	2.42	13.95	11.53
SEPTIEMBRE	2.95	13.50	10.55
OCTUBRE	2.40	13.95	11.55
NOVIEMBRE	0.74	13.50	12.76
DICIEMBRE	0.05	13.95	13.90

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Para la determinación del volumen del tanque anual se implementó la ecuación 13, donde es la diferencia del valor máximo y mínimo para identificar el volumen del tanque según la oferta anual.

$$V_{ia} = V_{i(max)} - V_{i(min)} \quad (\text{Ec. 13})$$

Donde:

$V_{i(max)}$ = volumen máximo del tanque mensual necesario (m³).

$V_{i(min)}$ = volumen mínimo del tanque mensual necesario (m^3).

V_{ia} = volumen del tanque ideal anual (m^3).

Al implementar la ecuación 13, se obtuvo un valor teórico de la dimensión del tanque dada con el siguiente valor:

$$V_{ia} = 13.92 - 10.55$$

$$V_{ia} = 3.37 m^3$$

2.3. Análisis de la calidad del agua

Con el fin de determinar la potabilidad del agua se llevó a cabo la toma de las muestras de agua por medio del análisis de fisicoquímico y microbiológico, Ambos análisis fueron realizados en laboratorios de la Universidad de San Carlos de Guatemala de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia.

Seguidamente se muestra los datos obtenidos del análisis de determinación de potabilidad de agua.

Tabla XXVI. Resultados del análisis de potabilidad en agua

Parámetros evaluados	Unidades	Valor	LMP
pH		7.65	6.50 - 8.50
Conductividad	$\mu S/cm$	174.50	50 - 750
Turbidez	UNT	2.61	15
Sólidos totales	mg/L	177.00	1000
Alcalinidad Total	mg/L $CaCO_3$	105.35	-
Sulfatos	mg/L SO_4^{-2}	4.21	250
Dureza Total	mg/L $CaCO_3$	72.00	500

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

A partir de los datos obtenidos del análisis de la muestra de potabilidad se puede y de acuerdo a los LMP incluidos en la Norma Técnica COGUANOR NGO 29001, la muestra analizada es apta para consumo humano.

Seguidamente se muestra, el análisis microbiológico realizado a la muestra.

Tabla XXVII. **Resultados del análisis microbiológico del agua**

Análisis	Unidades	Resultado	Valor de referencia
Coliformes Totales	NMP/100 mL	23	< 1.8 NMP/100 mL
Coliformes Fecales	NMP/100 mL	13	< 1.8 NMP/100 mL
Escherichia coli	NMP/100 mL	4.5	< 1.8 NMP/100 mL

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

2.4. Evaluación del beneficio de la implementación de la propuesta

La propuesta del sistema de captación de agua de lluvia es una de las soluciones y que es viable económicamente para la implementación, siendo una técnica factible y además siendo de fácil instalación en cualquier tipo de estructura existente, además que se puede adaptar no importando la condición climática y social de la región.

Para realizar la evaluación se detalla seguidamente una serie de tablas en la cual se enlista diversos beneficios económicos, ambientales y sociales de la aplicación del mismo.

Tabla XXVIII. **Impacto económico del sistema de captación de agua de lluvia**

Impacto	Análisis
Individual	Evitar gasto de compra de agua, por el tiempo establecido
	Reducir problemática de salud por condiciones de saneamiento e higiene.
	Acceso continuo al recurso hídrico.
	Inversión inicial para la instalación del proyecto es relativamente baja.
Colectivo	Preservación de los recursos hidrogeológicos.
	Ahorro de energía, ya que el proyecto funciona por medio de la gravedad y con una toma directa de agua.
	En cuanto a la inversión de una red de distribución, el mantenimiento y reparación, económicamente es menor.

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

La idea principal es que el proyecto sea sustentable, eficiente y económico, es por ello que se detallan ciertos impactos que generará el proyecto al implementarlo.

Tabla XXIX. **Impacto ambiental del sistema de captación de agua de lluvia**

Impacto	Análisis
Ambiental	Reducción de la escorrentía dado que cierta cantidad de precipitación ya no será infiltrada sino captada.
	El proyecto técnicamente es viable, eficaz y eficiente; ya que se consideró que la implementación del sistema funciona por gravedad y que se aprovechara según el área destinada para la captación.
	Es importante mencionar que la lluvia se captó y almaceno cerca del proyecto donde será de utilidad, lo que hace que la distribución del recurso sea compleja.
	La implementación de sistemas de captación de agua de lluvia despertará el interés ya que genera conciencia en los beneficiarios y por ende en los que rodean el proyecto, mediante la conservación de los recursos naturales.

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

2.4.1. Análisis de implementación

Mediante el proceso del análisis se pudo observar que la elaboración de dicha propuesta es de fácil desarrollo por lo que cualquier familia de la población en general puede ser de uso, únicamente verificar el tipo de región, clima y superficie.

2.4.1.1. Instalación del sistema

A continuación, se detalla el procedimiento de la instalación del sistema de captación de agua de lluvia.

La figura 14, muestra la fachada de la vivienda familiar en la que se instaló el sistema de captación de agua de lluvia. Previo a la instalación se realizó una limpieza de la superficie del área que coleccionará el agua.

Figura 14. Vivienda familiar



Fuente: [Fotografía de Miriam Alejandra Sabán Ramírez]. (San Agustín Acasaguastlán, El Progreso. 2021). Colección particular. Guatemala.

A continuación, en la figura 15 se muestra cómo se inició se llevó a cabo la instalación del canal en la lámina.

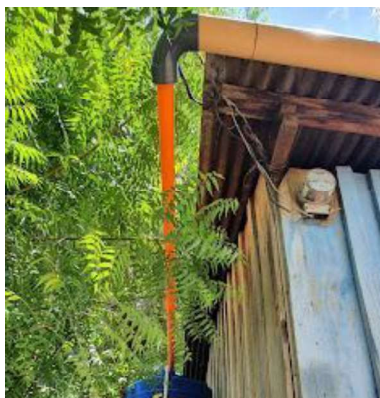
Figura 15. Instalación de canal



Fuente: [Fotografía de Miriam Alejandra Sabán Ramírez]. (San Agustín Acasaguastlán, El Progreso. 2021). Colección particular. Guatemala.

En la figura 16, se muestra cómo se llevó a cabo la unión de la canal hacia el tanque de almacenamiento.

Figura 16. Conexión de canal de conducción al tanque de almacenamiento



Fuente: [Fotografía de Miriam Alejandra Sabán Ramírez]. (San Agustín Acasaguastlán, El Progreso. 2021). Colección particular. Guatemala.

En la figura 17, se muestra como quedó el tinaco sobre una superficie de madera la cual está fundida en las cuatro bases que sostienen el mismo, además se muestra que en el mismo se dejó una toma de agua y un rebalse.

Figura 17. **Instalación del tanque de almacenamiento de agua**



Fuente: [Fotografía de Miriam Alejandra Sabán Ramírez]. (San Agustín Acasaguastlán, El Progreso. 2021). Colección particular. Guatemala.

2.4.2. Incidencia de la propuesta

Dentro de los aspectos positivos se mencionan los siguientes:

- Abastecimiento de agua en época seca
- Recurso hídrico para riego de plantas

- Uso de agua para el desfogue del servicio sanitario
- Provisión de recurso para uso potable.

3. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

3.1. Situación meteorológica

De los datos analizados de la estación climática en la tabla XVIII. Precipitación promedio mensual de la estación de Acasaguastlán del período del año 2010 – 2020, muestra cierta irregularidad en ciertos datos que no se cuenta por la falta del observador, a pesar de ello, se puede observar que los meses de lluvia incrementa en mayo con 140.36 m³ a octubre con 108.22 m³.

Seguidamente se muestran los resultados obtenidos:

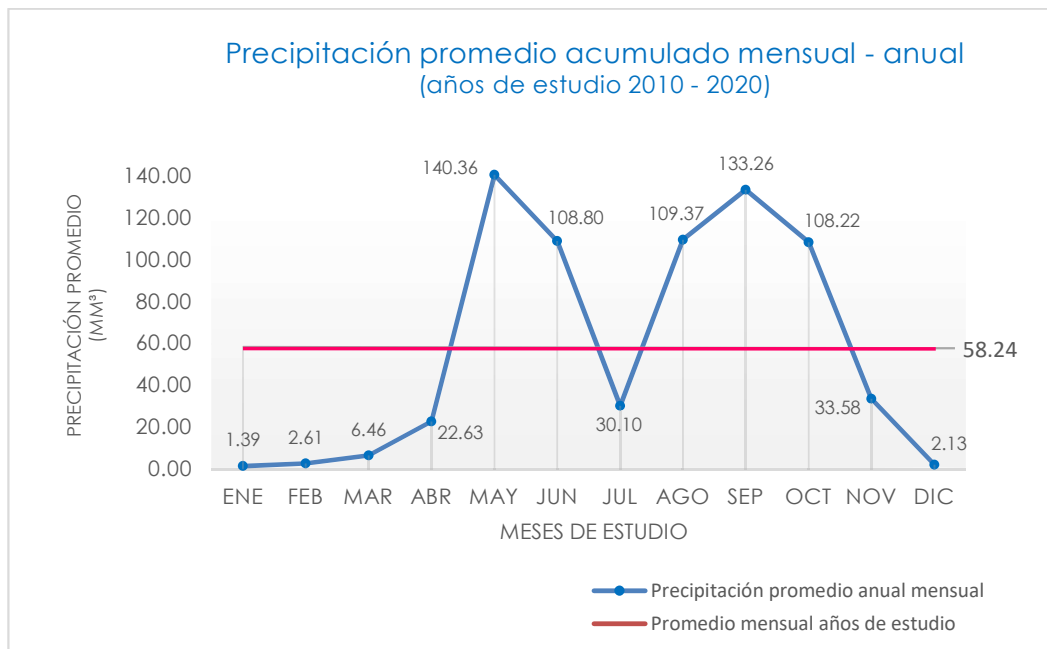
Tabla XXX. **Precipitación promedio mensual de la estación de Acasaguastlán del período del año 2010 - 2020**

MES	PRECIPITACIÓN PROMEDIO MENSUAL (mm)
ENERO	1.39
FEBRERO	2.61
MARZO	6.46
ABRIL	22.63
MAYO	140.36
JUNIO	108.80
JULIO	30.10
AGOSTO	109.37
SEPTIEMBRE	133.26
OCTUBRE	108.22
NOVIEMBRE	33.58
DICIEMBRE	2.13

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

En la gráfica siguiente se puede verificar el incremento a partir del mes de mayo a octubre, sin embargo, el promedio de los meses de lluvia es de 58.24 m³ para la región de San Agustín Acasaguastlán, reflejando los meses que se podrá tener provecho del recurso para los diversos usos.

Figura 18. Precipitación promedio acumulado mensual – anual (años de estudio 2010 – 2020)



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

3.2. Componentes del diseño de captación de agua de lluvia

De los criterios del diseño se determinó que la demanda por habitante en m³ promedio mensual, este dato está en función del número de habitantes beneficiados por el proyecto que son 5 personas, el número de días del mes analizado siendo de 29, 30 y 31 días dependiendo del mes y la dotación del agua potable se usó de 90 L / hab / día; que esté en función del tipo de zona siendo

rural, el clima cálido y tipo de conexión predial; los datos mensuales de detallan seguidamente:

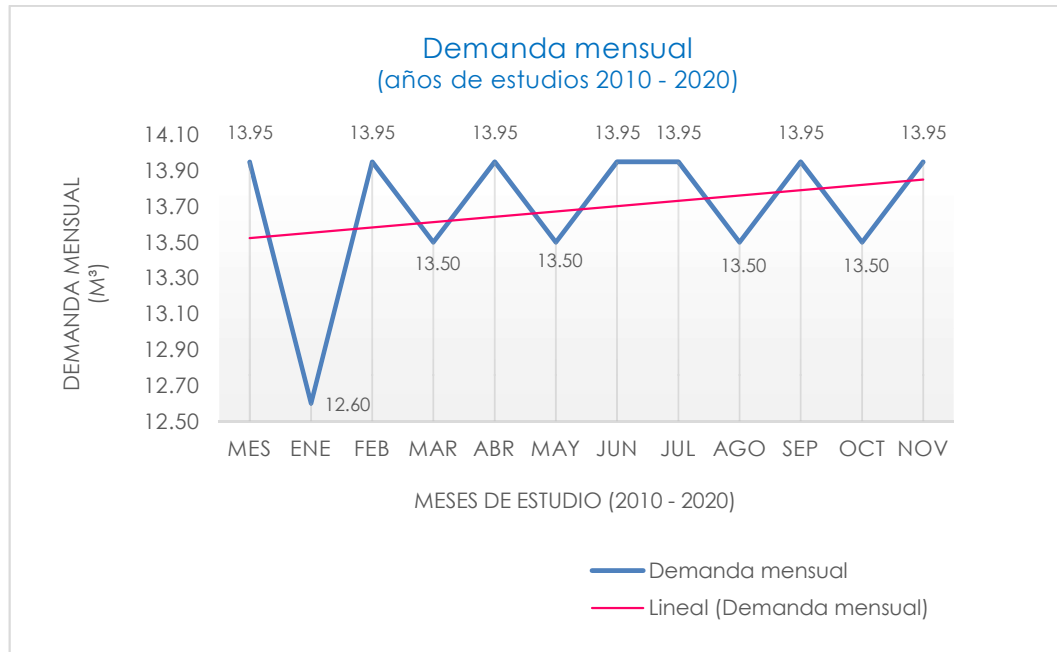
Tabla XXXI. Demanda mensual de los años de estudio 2010 - 2020

MES	DEMANDA MENSUAL (m³)
ENE	13.95
FEB	12.60
MAR	13.95
ABR	13.50
MAY	13.95
JUN	13.50
JUL	13.95
AGO	13.95
SEP	13.50
OCT	13.95
NOV	13.50
DIC	13.95

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

La demanda varía en dos datos que está en función de los meses del año y estos son relativamente constantes de 29, 30 y 31 días, además de los miembros que habitan en la vivienda y la dotación que para la región de 90 L/ hab/ día esto se ve reflejado en la siguiente figura.

Figura 19. **Demanda mensual (años de estudio 2010 – 2020)**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Además, se determinó que la oferta dada en m³, donde se puede observar que la mayor oferta de agua en los años de estudio se encuentra en los meses de mayo a octubre los datos mensuales de detallan seguidamente:

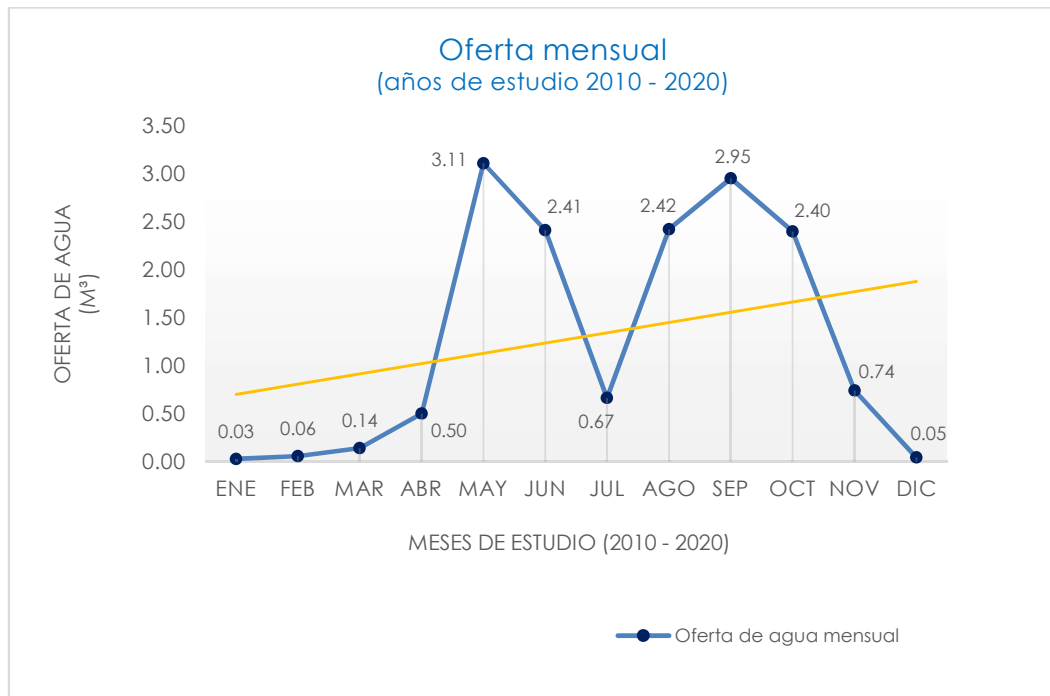
Tabla XXXII. **Oferta mensual de los años de estudio 2010 - 2020**

MES	OFERTA MENSUAL (m³)
ENE	0.03
FEB	0.06
MAR	0.14
ABR	0.50
MAY	3.11
JUN	2.41
JUL	0.67
AGO	2.42
SEP	2.95
OCT	2.40
NOV	0.74
DIC	0.05

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

En la siguiente gráfica se puede observar la oferta de lluvia que se da a partir del mes de mayo con 3.11 m³ a octubre con 2.40 m³, por lo que en esos meses son los de mayor oferta de lluvia para el proyecto.

Figura 20. **Oferta mensual (años de estudio 2010 – 2020)**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

A continuación, se muestra una proyección de lo que es el acumulado de la demanda mensual que la vivienda utilizará durante el año.

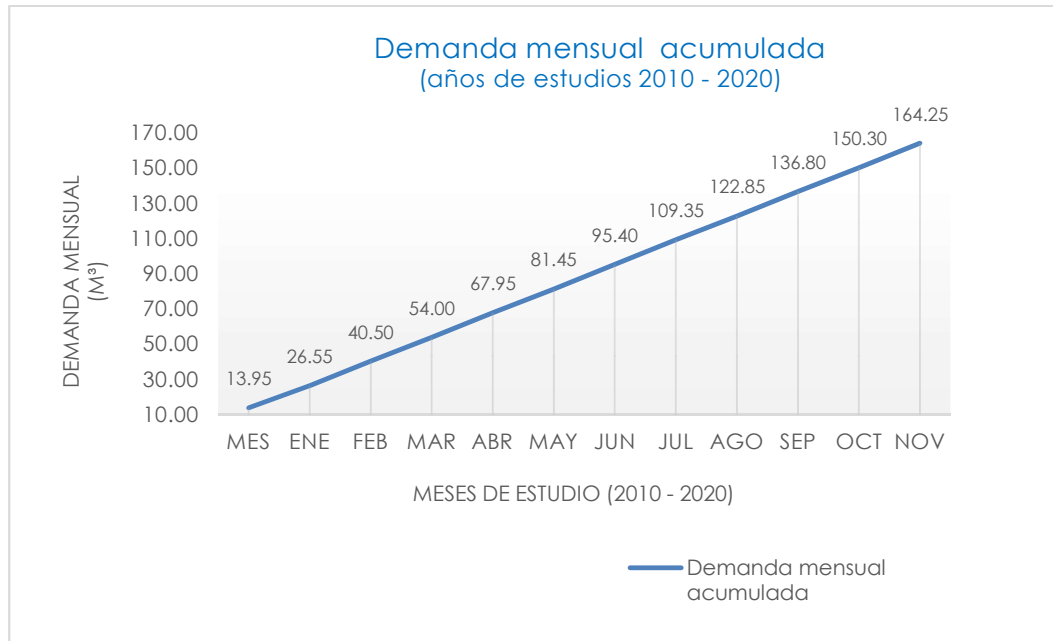
**Tabla XXXIII. Acumulado de la demanda mensual de los años de estudio
2010 - 2020**

MES	DEMANDA MENSUAL (m ³)	DEMANDA ACUMULADA (m ³)
ENE	13.95	13.95
FEB	12.60	26.55
MAR	13.95	40.50
ABR	13.50	54.00
MAY	13.95	67.95
JUN	13.50	81.45
JUL	13.95	95.40
AGO	13.95	109.35
SEP	13.50	122.85
OCT	13.95	136.80
NOV	13.50	150.30
DIC	13.95	164.25

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

El incremento de la demanda se refleja mensualmente de una manera exponencialmente positiva, por los consumos que se dan en el mes.

Figura 21. **Demanda mensual acumulada (años de estudio 2010 – 2020)**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Asimismo, de la diferencia de la oferta mensual, se estimó el mayor acumulado y con ello la diferencia en m³.

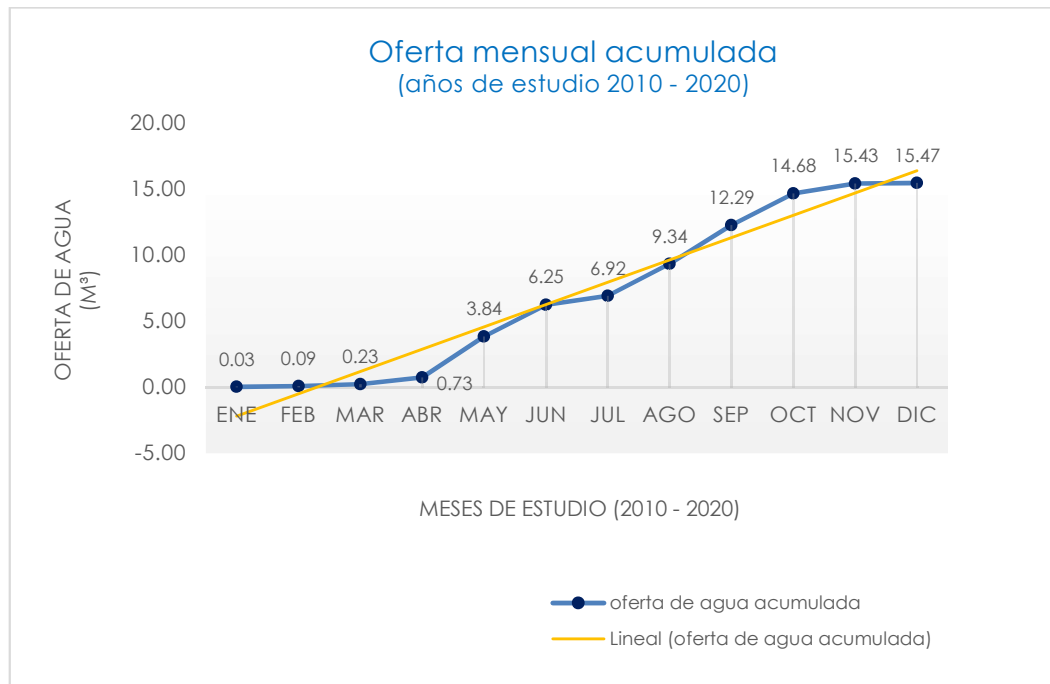
Tabla XXXIV. **Acumulado de la oferta al mes**

MES	OFERTA MENSUAL (m³)	OFERTA ACUMULADA (m³)
ENE	0.03	0.03
FEB	0.06	0.09
MAR	0.14	0.23
ABR	0.50	0.73
MAY	3.11	3.84
JUN	2.41	6.25
JUL	0.67	6.92
AGO	2.42	9.34
SEP	2.95	12.29
OCT	2.40	14.68
NOV	0.74	15.43
DIC	0.05	15.47

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

El acumulado de la oferta viene dado por la cantidad de agua que se obtendrá en el mes acumulándose para el uso de los servicios.

Figura 22. **Oferta mensual acumulada (años de estudio 2010 – 2020)**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Del análisis de los datos acumulados obtenidos de la demanda y oferta, se obtuvo el valor del tanque ideal para las necesidades de la vivienda, obteniendo lo siguiente.

Tabla XXXV. **Volumen del tanque mensual**

MES	VOLUMEN TANQUE (m³)
ENERO	13.92
FEBRERO	12.54
MARZO	13.81
ABRIL	13.00
MAYO	10.84
JUNIO	11.09
JULIO	13.28
AGOSTO	11.53
SEPTIEMBRE	10.55
OCTUBRE	11.55
NOVIEMBRE	12.76
DICIEMBRE	13.90

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

En la siguiente gráfica se muestran los datos que se requieren para el cálculo del tanque anual, estos están comprendidos en el mes de enero 143.92 m³ y septiembre 10.55 m³.

Figura 23. **Volumen del tanque mensual (años de estudio 2010 – 2020)**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Y a partir de la tabla y gráfica anterior se determinó el volumen del tanque anual, de la diferencia del dato mayor y menor.

$$V_{ia} = 13.92 - 10.55$$

$$V_{ia} = 3.37 \text{ m}^3$$

El volumen del tanque ideal para almacenar el recurso y abastecer agua durante todo el año es de 3.37 m³. Sin embargo, cabe mencionar que para el proyecto se instaló un tinaco con la capacidad de 0.75 m³ que fue de utilidad para 3 meses después de que concluyó el último mes de lluvia.

A continuación, se detallan los resultados del análisis de potabilidad del agua según lo establecido bajo la norma COGUANOR NGO 29001, asimismo, se detalla el cumplimiento de cada uno de los parámetros analizados.

Tabla XXXVI. **Resultados del análisis de potabilidad del agua**

Parámetros evaluados	Unidades	Valor	LMP	CUMPLE
pH		7.65	6.50 - 8.50	SI
Conductividad	μS/cm	174.50	50 - 750	SI
Turbidez	UNT	2.61	15	SI
Sólidos totales	mg/L	177.00	1000	SI
Alcalinidad Total	mg/L CaCO ₃	105.35	-	
Sulfatos	mg/L SO ₄ ⁻²	4.21	250	SI
Dureza Total	mg/L CaCO ₃	72.00	500	SI

Fuente: elaboración propia con los datos proporcionados por el Laboratorio Químico (2021).

Informe de análisis de potabilidad del agua.

Dicho análisis muestra que cada uno de los parámetros evaluados cumple con los parámetros establecidos según la Norma Técnica COGUANOR NGO 29001, por lo que la muestra es apta para el consumo humano. Sin embargo, cabe mencionar que se debe mantener en condiciones óptimas el proyecto para que se mantenga en los límites de potabilidad.

El muestreo realizado para el cumplimiento de los parámetros establecidos según el análisis microbiológico se detalla en la siguiente tabla:

Tabla XXXVII. **Resultados del análisis microbiológico del agua**

Análisis	Unidades	Resultado	Valor de referencia	CUMPLE
Coliformes Totales	NMP/100 mL	23	< 1.8 NMP/100 mL	NO
Coliformes Fecales	NMP/100 mL	13	< 1.8 NMP/100 mL	NO
Escherichia coli	NMP/100 mL	4.5	< 1.8 NMP/100 mL	NO

Fuente: elaboración propia con los datos proporcionados por el Laboratorio de Control Microbiológico de Alimentos (2021). *Informe Microbiológico del Agua*.

La muestra realizada en el laboratorio NO cumple con los criterios de calidad recomendados en la Norma Técnica COGUANOR NGO 29001 de Agua Potable, Especificaciones. Por lo que se considera sanitariamente no segura para el consumo humano.

3.3. Beneficio de la propuesta

La propuesta del proyecto benefició a la familia, dado que se implementó un tinaco de 0.75 m³ que captó el agua y que esta misma está siendo de sustento, para uso de diversas actividades dentro de la vivienda.

CONCLUSIONES

1. Se propuso un sistema de captación de agua de lluvia para uso potable y de servicios básicos en el municipio de San Agustín Acasaguastlán, El Progreso, con el fin de aprovechar el recurso hídrico que es escaso ya que la región pertenece a la zona semiárida de Guatemala, este proyecto se llevó a cabo en la misma estructura existente de la vivienda, donde se ajustó el sistema para la captación de agua de lluvia.
2. Se identificó la situación meteorológica de la región, donde se observó una oferta en los meses de lluvia donde el dato mayor se encuentra en el mes de mayo con 3.11 m^3 y el mes de octubre con 2.40 m^3 ; siendo estos los meses en los cuales se pudo captar el agua para los diversos usos propuestos. Además, se identificó que la estación meteorológica mostró irregularidades por la falta de datos para el estudio, dado que las estaciones requieren de un observador diario para la toma de datos.
3. Para dicho proyecto se definió los componentes del diseño por medio de un estudio previo de diversas propuestas estudiadas y con ellas se determinó la forma más viable para las necesidades de la región, contemplando que el número de usuarios beneficiados es de 5 personas, la oferta de agua obtenida por medio del área de captación y la demanda que requiere los habitantes de la vivienda en la que se implementó la propuesta que en promedio es 13.95 m^3 , y posteriormente se llevó a cabo la toma de muestra de la calidad de agua captada en el sistema para sugerir el método de potabilización.

4. El beneficio obtenido por la implementación fue positivo dado que la instalación del sistema funcionó de forma óptima, captando agua que posteriormente se condujo por un canal hacia el tanque de almacenamiento y que este recurso es de utilidad para los servicios básicos de la familia. Para el proyecto se usó un tanque de 0.75 m³ que cubrió las necesidades por un tiempo de 3 meses posterior al finalizar el mes de octubre.

RECOMENDACIONES

1. Implementar el sistema en cualquier región de Guatemala, no importando la condición climática, es decir, si es muy húmeda mayor a 1,200 mm de precipitación anual o bien árida, siendo menor a 200 mm de precipitación anual, dado que lo que se requiere para su funcionamiento es un área de captación, además de verificar cómo se llevará a cabo la instalación de los materiales que conducirá el agua hacia el área donde se coleccionará y distribuirá. Siguiendo los pasos que se muestran en la propuesta para la obtención de los resultados requeridos para el proyecto.
2. Realizar una investigación adecuada sobre clima requiere como mínimo 10 años del historial de datos de la situación meteorológica de la precipitación de la región en estudio, con el fin de poder analizar de una mejor manera los datos proporcionados por la estación climática. Sin embargo, es importante hacer mención que la mayoría de las estaciones meteorológicas en Guatemala aún funcionan de forma convencional, es decir, con instrumentos análogos que deberían de ser medidos 3 veces al día por un observador 6:00 h 12:00 h y 20:00 h, si este no se encuentra en la estación no se medirá el dato, por lo que los datos proporcionados en el día serán irregulares. Para un mejor control y recepción de datos por parte del servidor se sugiere la densificación de la red y adaptación de estaciones automáticas, ya que estas permiten que la resolución de datos se pueda especificar según lo requerido.

3. Conocer los componentes de diseño que se detallan en el trabajo, ya que esta propuesta fue dada por medio de un método sencillo, únicamente se debe de modificar los datos del criterio que están en función del mismo, para que este se adapte a las necesidades de la vivienda que está dado por el número de personas, dentro de los criterios importantes a determinar es el coeficiente de escurrimiento que varía según el material de la superficie estos datos se muestra en la tabla XV. Además, de identificar la dotación del agua potable que está en función del tipo de zona en la que se encuentra el proyecto esta puede ser rural, urbana o metropolitana; así como el clima frío o cálido y el tipo de conexión; y la superficie que será el área de captación. También cabe mencionar las propuestas de métodos para potabilizar el agua, que se mencionan en el inciso 1.2.4., es necesario destacar que una de las recomendaciones importantes a seguir para que la captación sea de una forma óptima; debe de realizarse limpieza en la superficie que captará el agua para evitar la obstrucción en la tubería, realizar un lavado interno del depósito que colectará el agua con el fin de evitar la acumulación de partículas que contaminaran el agua.
4. Cumplir con lo requerido del sistema, esto quiere decir que es apto y de utilidad para captar, almacenar y distribuir agua para la vivienda, esta propuesta se puede implementar en cualquier vivienda o proyecto que lo amerite, con el fin de obtener el recurso hídrico para los diversos usos básicos que se le quiera dar, para un tiempo establecido o para lo que sea requerido, siendo de utilidad como insumo vital y que es escaso en la región de El Progreso.

REFERENCIAS

1. Asociación de Médicos de Sanidad Exterior (2020). *Métodos de potabilización del agua*. España: Autor. Recuperado de <https://www.amse.es/informacion-salud-y-viajes/recom-generales/273-potabilizacion-del-agua>.
2. Bardales, W., Castañón, C., y Herrera, J. (2019). *Clima de Guatemala, tendencias observadas e índices de cambio climático*. Guatemala: Editorial Universitaria UVG.
3. Barillas, J. (2018). *Diseño de un sistema de captación de agua lluvia por medio de aljibe para el área rural de la aldea Xayá, municipio de Santa Lucía Cotzumalguapa, Departamento de Escuintla, Guatemala* (Tesis de licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala.
4. Basán, M., Sánchez, L., Tosolini, R., Tejerina, F. y Jordan, P. (2016). *Aprovechamiento del agua de lluvia para usos múltiples en los Bajos submeridionales y áreas de influencia*. Argentina: Autor.
5. Calli, M., Coaquira, E., Calsín, J. (febrero, 2016). Captación de agua de lluvia en cobertura de viviendas rurales para consumo humano en la Comunidad de Vilca Maquera, Puno-Perú. *Revista Investigaciones Altoandinas*, 18(3), 365-373.

6. Currículo Nacional Base Guatemala (2019). *Recursos hídricos y principales usos del agua en Guatemala*. Guatemala: Autor. Recuperado de https://cnbguatemala.org/wiki/Manual_de_Educaci%C3%B3n_Ambiental_del_Recurso_H%C3%ADrico_en_Guatemala/Recursos_h%C3%ADricos_y_principales_usos_del_agua_en_Guatemala.
7. Fundación Aquae (s.f.) *¿Cuánta agua potable hay en la Tierra?* [Mensaje en un blog]. Recuperado de <https://www.fundacionaquae.org/cuanta-agua-en-la-tierra/>.
8. Fundación ICA (2014). *10 soluciones para el manejo sustentable del agua. Península de Yucatán*. México: Autor.
9. Global Water Partnership, Central America. (2015) *Situación de los Recursos Hídricos en Centroamérica, Guatemala*. Guatemala: Autor. Recuperado de https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-cam_files/srh_guatemala_2016.pdf.
10. Gómez, W. (2016). *Biojardineras y Cosecha de agua de lluvia (Reservorios y sistema de purificación)*. Costa Rica: Autor.
11. Herrera, A. (2005). *Diseño del sistema de abastecimiento de agua potable, aldea Sanguayabá Municipio de Palencia, Guatemala* (Tesis de licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.

12. Herrera, I., y Brown, O. (marzo, 2011). Propuesta de una metodología para la estimación de áreas de recarga hídrica en Guatemala. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 20(4), 48-52.
13. Herrera, J., y Pineda, D. (2002). *Variabilidad climática en Guatemala*. Guatemala: Autor.
14. Iagua (02 de agosto, 2018) *¿Sabías que solo el 0,025% del agua de la Tierra es potable?* [Mensaje en un blog]. Recuperado de <https://www.iagua.es/noticias/fundacion-aquae/sabias-que-solo-0025-agua-tierra-es-potable-infografia-fundacion-aquae>.
15. Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente, Universidad Rafael Landívar y Asociación Instituto de Incidencia Ambiental (2006). *Perfil Ambiental de Guatemala: tendencias y reflexiones sobre la gestión ambiental*. Guatemala: Autor.
16. Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente, y Universidad Rafael Landívar (2010-2012). *Perfil Ambiental de Guatemala: Vulnerabilidad local y creciente construcción de riesgo*. Guatemala: Autor.
17. Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (s.f.). *Los componentes de una estación meteorológica*. Guatemala, Autor.
18. Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (s.f.). *Variabilidad y cambio climático en Guatemala*. Guatemala: Autor.

19. Laboratorio de control microbiológico de alimentos (2021). *Informe de análisis microbiológico*. Guatemala: Autor.
20. Laboratorio Químico (2021). *Informe de análisis de potabilidad del agua*. Guatemala: Autor.
21. Mejía, J. (2012). *Hidrología Aplicada*. Lima, Perú: Universidad Nacional Agraria La Molina.
22. Ministerio de Economía (2010) *Comisión Guatemalteca de Normas (COGUANOR) NTG 29001 Agua para Consumo humano (agua potable). Especificaciones*. Guatemala: Autor.
23. Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social. (2012) *Diagnóstico Nacional de Salud*. Guatemala: Autor.
24. Montaña, N. (marzo, 2016). Diagnóstico del sistema de aprovechamiento del agua lluvia en el Consejo Comunitario de la Comunidad Negra de Los Lagos, Buenaventura. *Revista Luna Azul*, (43), 29-55.
25. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2013). *Captación y almacenamiento de agua de lluvia (Opciones técnicas para la agricultura familiar en América Latina y el Caribe)*. Santiago, Chile: Maval Ltda.
26. Organización Mundial de la Salud. (2019). *Agua*. España: Autor. Recuperado de <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>.

27. Organización Panamericana de la Salud. (s.f.) *Agua y saneamiento*. España: Autor.
28. Palacio, N. (enero, 2010). Propuesta de un sistema de aprovechamiento de agua lluvia, como alternativa para el ahorro de agua potable, en la institución educativa María Auxiliadora de Caldas, Antioquia. *Gestión y Ambiente*, 13(2),25-39.
29. Renom, M. (2011). Principios básicos de las mediciones atmosféricas. Pluviometría. Uruguay: Universidad de la República. Recuperado de http://meteo.fisica.edu.uy/Materias/PBMA/PBMA_teotico/Bolilla6-PLUVIOMETRIA.pdf.

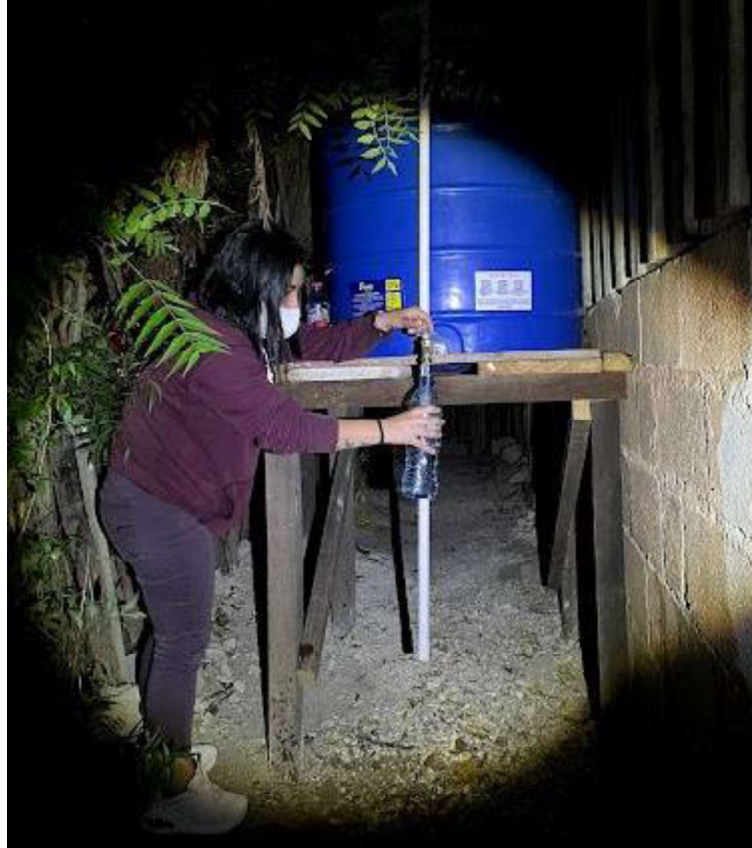
APÉNDICE

Apéndice 1. **Proyecto instalado**



Fuente: [Fotografía de Miriam Alejandra Sabán Ramírez]. (San Agustín Acasaguastlán, El Progreso. 2021). Colección particular. Guatemala.

Apéndice 2. Toma de muestra para análisis de agua



Fuente: [Fotografía de Miriam Alejandra Sabán Ramírez]. (San Agustín Acasaguastlán, El Progreso. 2021). Colección particular. Guatemala.

ANEXOS

Anexo 1. Resultado del análisis de potabilidad del agua


USAC
 TRICENTENARIA
Universidad del Sur de Colombia

ESCUELA DE QUÍMICA UNIDAD DE ANÁLISIS INSTRUMENTAL EDIFICIO T-13, CIUDAD UNIVERSITARIA, ZONA 12 TELÉFONO: 24189412		INFORME DE ANÁLISIS DE LABORATORIO QUÍMICO	
Nombre común o comercial de la muestra:		No de código / Marca del remitente:	
Agua de chorro			
No de registro:	2110093	Empresa / Institución:	Alejandra Sabán Ramírez
		Remitente / Solicitante:	Alejandra Sabán Ramírez
Fecha de recepción:	Muestra recibida por:	Tipo de recipiente:	peso neto:
4/10/2021	Elsandra Hernandez		
DETERMINACIONES SOLICITADAS:			
Determinación de potabilidad en agua			
Parametros evaluados	Unidades	Valor	LMP*
pH		7.65	6.50 - 8.50
Conductividad	µS/cm.	174.5	50 - 750
Turbidez	UNT	2.61	15.00
Sólidos totales	mg/L	177	1,000
Alcalinidad Total	mg/L CaCO ₃	105.35	---
Sulfatos	mg/L SO ₄ ⁻²	4.21	250
Dureza Total	mg/L CaCO ₃	72.00	500
* LMP= Límite máximo permisible según norma COGUANOR NGO 29 001. De acuerdo a los LPM incluidos en la Norma Técnica COGUANOR NGO 29 001 la muestra analizada es apta para consumo humano.			
Fecha:	Analista(s):	Ref. Registro Análisis:	Costo total:
18/10/2021	LO	CUADERNO UAI	Q125.00
	Recibido nombre:	Firma:	Fecha:



Fuente: Laboratorio Químico (2021). *Informe de análisis de potabilidad del agua.*

Anexo 2. Resultado del análisis de microbiología del agua



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala



Escuela de Ingeniería
FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



Laboratorio de Control
Microbiología de Alimentos

Ref: LCA 0590201
Guatemala, 10 Octubre 2021

Ing. Celso
Agencia Sábán Ramírez
Progreso

Excmo. Ing. Sábán Ramírez
Por este medio se le informa de los resultados microbiológicos en las muestras de agua ingresada al laboratorio el día 4 de
Octubre del año en curso. Obteniendo los siguientes resultados:

DATOS GENERALES:

FECHA	09/10/2021	UBICACIÓN	San Agustín Acabajucal, El Progreso	UNIDAD	EXTERNO
No. de expediente	-	FUENTE DE MUESTRA	Se tomó de un charco que está desahucando de un tanque Riego 199063061	HORA DE CAPTACIÓN	8:15 de la mañana
No. de ingreso	183	MES	OCTUBRE	METODO	SUMARIO MAS PROBABLE
Contaminación de Clase residual	-	Rango aceptable**	0.3 a 0.5 mg/L	Determinación de pH	-
				Rango aceptable**	6.8 a 7.3

RESULTADOS DE TIRA DE MULTIPARAMETROS QUIMICOS DEL AGUA (Se indica que se toma al momento de la toma de muestra)

CLORO TOTAL	-	ALCALINIDAD TOTAL	-	DUREZA TOTAL	-	CLORO LIBRE	-	pH	-
									
Rango aceptable**	0.5 mg/L (0.5 mg/L)	Rango aceptable**	100 a 150 mg/L (100 a 150 mg/L)	Rango aceptable**	100 a 150 mg/L (100 a 150 mg/L)	Rango aceptable**	0.5 mg/L (0.5 mg/L)	Rango aceptable**	6.8 a 7.3

RESULTADO DE ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DE AGUA

Análisis	Resultado	Dimensionales	Valor de referencia Según Norma COGUANOR NGD 29-001-99
COLIFORMES TOTALES	20	NMP/100 mL	<1.8 NMP / 100 mL
COLIFORMES FECALES	10	NMP/100 mL	<1.8 NMP / 100 mL
Enterobacterias	4.5	NMP/100 mL	<1.8 NMP / 100 mL

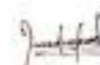
Conclusión

La muestra analizada en el laboratorio **NO** satisface con los criterios de calidad recomendados en la norma COGUANOR NGD 29-001 Agua Potable. Especificaciones. Por lo que se considera **SANITARIAMENTE NO SEGURO PARA CONSUMO HUMANO**. Se observó - de *Pseudomonas* spp en la muestra.

* Método de Referencia: APHA-1995-1997. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 18 ed. 1998.
 ** Norma ISO 15843-1:2003. Sumario más probable por cada 100 unidades. Norma ISO 15843-1:2003.
 *** Norma ISO 15843-1:2003. Sumario más probable por cada 100 unidades. Norma ISO 15843-1:2003.
 **** No hay en Guatemala una norma que indique los parámetros de cloro total y cloro libre en agua, los parámetros de cloro se refieren a los que se determinan en el método utilizado.
 Sin otro particular.
 Asentado;



Dr. M. B. González
Jefe de Laboratorio de Control Microbiológico de Alimentos
Programa de EDC
Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia
Universidad de San Carlos de Guatemala



Dr. A. J. Díaz
Profesor Asociado
Laboratorio Microbiológico de Alimentos
Programa de EDC
Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia

Cc. Archivo:
 USAC: Laboratorio de Control Microbiológico de Alimentos / Anexo de 5-127 / Laboral de Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia
 Correo: [Email address]
 UGUA: [Email address]

Fuente: Laboratorio de control microbiológico de alimentos (2021). *Informe de análisis microbiológico.*