



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

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE LA 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**

Miriam Alejandra Saban Ramirez

Asesorado por el MA. Ing. José Antonio Rosal Chicas

Guatemala, junio de 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE LA 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

MIRIAM ALEJANDRA SABAN RAMIREZ
ASESORADO POR EL MA. ING. JOSÉ ANTONIO ROSAL CHICAS

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERA CIVIL

GUATEMALA, JUNIO DE 2021

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. Christian Moisés de la Cruz Leal |
| VOCAL V | Br. Kevin Armando Cruz Lorente |
| SECRETARIO | Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez |

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

| | |
|------------|---------------------------------------|
| DECANO | Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco |
| EXAMINADOR | Ing. Darío Francisco Lucas Mazariegos |
| EXAMINADOR | Ing. Claudio César Castañón Contreras |
| EXAMINADOR | Ing. Wuillian Ricardo Yon Chavarría |
| SECRETARIA | Inga. Lesbia Magalí Herrera López |

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:

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE LA 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.

Miriam Alejandra Saban Ramirez

Ref. EEPFI-0262-2021
Guatemala, 18 de febrero de 2021

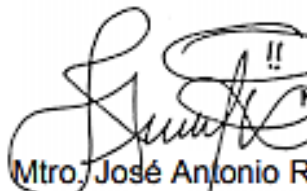
Director
Armando Fuentes Roca
Escuela de Ingeniería Civil
Presente.



Estimado Mtro. Fuentes:

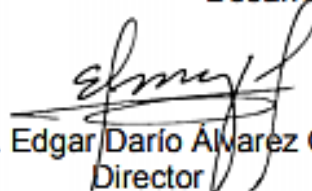

Reciba un cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado. El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado y aprobado el **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN: PROPUESTA DE UN SISTEMA DE APROVECHAMIENTO DE AGUA DE LLUVIA PARA USO POTABLE EN EL MUNICIPIO DE SAN AGUSTÍN ACASAGUASTLÁN, EL PROGRESO DE LA REGIÓN SEMIÁRIDA DE GUATEMALA**, presentado por el estudiante **Miriam Alejandra Sabán Ramírez** carné número **201404148**, quien optó por la modalidad del "PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO". Previo a culminar sus estudios en la Maestría en Artes en Energía y Ambiente.

Y habiendo cumplido y aprobado con los requisitos establecidos en el normativo de este Proceso de Graduación en el Punto 6.2, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Décimo, Inciso 10.2 del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011, firmo y sello la presente para el trámite correspondiente de graduación de Pregrado.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"

JOSÉ ANTONIO ROSAL
INGENIERO QUÍMICO INDUSTRIAL
MAESTRO EN ENERGÍA Y AMBIENTE
COLEGIADO NO. 1837
Mtro. José Antonio Rosal Chicas
Asesor



Mtro. Juan Carlos Fuentes Montepeque
Coordinador de Área
Desarrollo Socio-Ambiental y Energético



Mtro. Edgar Darío Álvarez Cotí
Director
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería




EEP-EIC-002-2021

El Director de la Escuela de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el visto bueno del Coordinador y Director de la Escuela de Estudios de Postgrado, del Diseño de Investigación en la modalidad Estudios de Pregrado y Postgrado titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE LA 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 estudiante universitaria Miriam Alejandra Sabán Ramírez, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingeniería en esta modalidad.

ID Y ENSEÑAD A TODOS



Mtro. Armando Fuentes Roc
Director
Escuela de Ingeniería Civil



Guatemala, febrero de 2021



DTG. 246.2021.

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE LA 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 el estudiante universitario: **Miriam Alejandra Saban Ramirez**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



ing. Arabela Cordova Estrada
Decana



Guatemala, junio de 2021

AACE/asga

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 escalo, por incentivarme siempre a ser mejor persona, enseñarme que debo realizar con pasión todo cuanto lleve a cabo. Agradezco por tantos consejos y palabras que guiaron mi vida, por ser mis pilares y formarme por el camino del bien, por ser promotores de mis sueños, gracias por confiar y creer en mí, hoy se hace realidad el tan anhelado sueño, gracias por demostrarme que, con esfuerzo, disciplina y trabajo, puedo lograr todo lo que me proponga.

Mi hermano

Javier Coronado Ramírez por demostrarme tu amor, además de ser quien me apoya, aconseja, comprende, cuida, y quiere lo mejor para mí.

Mi abuela

María Elena Mauro (q. e. p. d) 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 logro, la llevo en mi corazón mi querido amor por siempre.

Mi tío

Carlos Alberto Ramírez Mauro por sus consejos, por estar al pendiente del avance y desarrollo de este logro, además por creer siempre en mí. Hoy se hace realidad aquello que tanto deseabas.

Mis amigos

Siendo compañeros de carrera académica, en los buenos y malos momentos, pero sobre todo, ese incondicional apoyo que nunca faltó. En especial a Gustavo Ortiz, Kevin Zamora, Antonio Méndez, Daniel Pérez, Gustavo Álvarez, Gabriela Hernández, Daniel Rodas, Gabriela Micheo, Estuardo Ramírez, Francisco Girón, Eduardo González, Justo Estrada, Cesar Díaz.

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 se me fue posible gracias a Él toda la honra y gloria para mi creador.

**Universidad de San
Carlos de Guatemala**

Por ser mi casa de estudio y mi segundo hogar, dándome el orgullo de ser una sancarlista de corazón.

Facultad de Ingeniería

Por brindarme los programas y personas que hicieron posible mi formación académica, engrandeciendo mi conocimiento en sus aulas, para forjar un profesional de bien para Guatemala.

Mi asesor

Mtro. Ing. José Antonio Rosal Chicas, por su amistad, consejos 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 |
| | |
| 1. INTRODUCCIÓN | 1 |
| | |
| 2. ANTECEDENTES | 3 |
| | |
| 3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA..... | 7 |
| | |
| 4. JUSTIFICACIÓN | 9 |
| | |
| 5. OBJETIVOS..... | 11 |
| 5.1. General..... | 11 |
| 5.2. Específicos | 11 |
| | |
| 6. NECESIDADES POR CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN | 13 |
| | |
| 7. MARCO TEÓRICO..... | 15 |
| 7.1. Agua potable | 15 |
| 7.1.1. Usos | 18 |
| 7.1.2. Consumos..... | 19 |
| 7.1.3. Dotación..... | 21 |
| 7.1.4. Técnicas de potabilización | 22 |

| | | | |
|------|----------|---|----|
| | 7.1.4.1. | Hervir el agua | 22 |
| | 7.1.4.2. | Desinfección química..... | 23 |
| | 7.1.4.3. | Yodo..... | 23 |
| | 7.1.4.4. | Cloro..... | 24 |
| | 7.1.4.5. | Otros métodos | 24 |
| | 7.1.5. | Calidad del agua..... | 25 |
| | 7.1.6. | Normativa del agua potable..... | 26 |
| | 7.1.6.1. | Características físicas y organolépticas del agua para el consumo humano | 26 |
| | 7.1.6.2. | Características químicas..... | 27 |
| | 7.1.6.3. | Características microbiológicas | 32 |
| | 7.1.6.4. | Aspectos radiológicos | 32 |
| 7.2. | | Precipitación pluvial..... | 34 |
| | 7.2.1. | Descripción..... | 34 |
| | 7.2.2. | Precipitación en zonas semiáridas | 37 |
| | 7.2.3. | Estación meteorológica | 40 |
| | 7.2.4. | Equipos de medición | 41 |
| | 7.2.4.1. | Pluviómetros mecánicos | 42 |
| | 7.2.4.2. | Pluviómetro de sifón | 42 |
| | 7.2.4.3. | Pluviómetro de cangilómetros..... | 43 |
| | 7.2.5. | Estaciones meteorológicas del área de estudio..... | 44 |
| 7.3. | | Sistemas de captación de agua de lluvia..... | 46 |
| | 7.3.1. | Casos de estudio (modelos) | 46 |
| | 7.3.1.1. | CASO 1: Diseño de un sistema de recolección de agua de lluvia pluvial para uso sanitario caso de estudio Instituto Tecnológico de Mérida (Fundación ICA, 2014)..... | 48 |

| | | |
|----------|--|----|
| 7.3.1.2. | CASO 2: Guía de Diseño para captación del agua de lluvia (OPS, 2004)..... | 54 |
| 8. | PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS..... | 61 |
| 9. | METODOLOGÍA | 65 |
| 9.1. | Tipo de estudio | 65 |
| 9.1.1. | Definición de variables | 65 |
| 9.2. | Fases del estudio..... | 67 |
| 9.2.1. | Fase 1: exploración bibliográfica | 67 |
| 9.2.2. | Fase 2: estudio de la captación..... | 67 |
| 9.2.3. | Fase 3: diseño y construcción del modelo de captación de agua de lluvia..... | 70 |
| 9.2.4. | Fase 4: análisis de datos obtenidos | 79 |
| 9.2.5. | Fase 5: presentación y discusión de resultados | 79 |
| 10. | TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN..... | 81 |
| 11. | CRONOGRAMA..... | 83 |
| 12. | FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO | 85 |
| 13. | REFERENCIAS..... | 87 |
| 14. | APÉNDICES | 93 |
| 15. | ANEXOS | 95 |

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

| | | |
|-----|--|----|
| 1. | Porcentaje total del agua en el mundo | 16 |
| 2. | Gráfica de la cobertura de servicio del recurso hídrico potable a nivel nacional, urbana y rural (periodo de estudio 2000, 2006 y 2011) | 20 |
| 3. | Gráfica de la cobertura de servicio de saneamiento a nivel nacional, urbano y rural (periodo de estudio 2000, 2006 y 2011) | 21 |
| 4. | Regiones climáticas de guatemala | 35 |
| 5. | Anormalidad de la lluvia anual en milímetros a nivel local, tomando como base el periodo de 1981-2000, comparado con el tiempo de evaluación 2001-2016 | 38 |
| 6. | Tendencia de la precipitación en la ciudad de guatemala, durante los años 1961 a 2017 | 39 |
| 7. | Pluviómetro mecánico | 42 |
| 8. | Pluviómetro de sifón..... | 43 |
| 9. | Pluviómetro de cangilómetro | 44 |
| 10. | Ejemplificación de los diseños de captación de agua de lluvia | 47 |
| 11. | Filtro desarenador | 54 |
| 12. | Componentes del sistema de captación | 56 |
| 13. | Canaletas de recolección | 57 |
| 14. | Interceptor de primeras aguas..... | 58 |

TABLAS

| | | |
|--------|--|----|
| I. | Balance hídrico nacional..... | 17 |
| II. | Actividades según su uso | 19 |
| III. | Dotaciones..... | 22 |
| IV. | Características físicas y organolépticas que debe de tener el agua para el consumo humano | 27 |
| V. | Características químicas que debe tener el agua para consumo humano..... | 28 |
| VI. | Relación de las sustancias inorgánicas cuya presencia en el agua es significativa para la salud..... | 29 |
| VII. | Substancias plaguicidas cuya presencia en el agua es significativa para la salud..... | 30 |
| VIII. | Substancias orgánicas cuya presencia en el agua es significativa para la salud | 31 |
| IX. | Valores guía para la verificación de la calidad microbiológica del agua..... | 32 |
| X. | Valores guías para los aspectos radiológicos en agua..... | 33 |
| XI. | Radionúclidos indicadores de radiación y sus valores guía en agua..... | 33 |
| XII. | Denotaciones de las estrategias para el uso conveniente del agua conforme a la situación climática | 36 |
| XIII. | Estaciones climáticas insivumeh..... | 45 |
| XIV. | Estaciones meteorológicas de la región semiarida | 46 |
| XV. | Coeficiente de escurrimiento según área drenada | 51 |
| XVI. | Coeficiente de escorrentía según el material | 57 |
| XVII. | Dotación de agua potable | 60 |
| XVIII. | Definiciones de variables | 65 |
| XIX. | Ejemplo de datos de la precipitación de la estación de acasaguastlán del periodo del año 2006 - 2018 | 68 |

| | | |
|--------|---|----|
| XX. | Consolidado de la precipitación promedio mensual obtenido | 70 |
| XXI. | Consolidado de la demanda mensual | 72 |
| XXII. | Consolidado de la oferta de lluvia mensual | 74 |
| XXIII. | Consolidado de la demanda acumulada al mes | 75 |
| XXIV. | Consolidado de la oferta acumulada al mes | 76 |
| XXV. | Volumen del tanque mensual | 78 |
| XXVI. | Cronograma de actividades por fase | 83 |
| XXVII. | Recursos por usar..... | 85 |

LISTA DE SÍMBOLOS

| Símbolo | Significado |
|--------------------------|--------------------------------|
| Ac | Área de captación |
| Ce | Coefficiente de escorrentía |
| Di | Demanda mensual |
| d | Diámetro |
| Dot | Dotación |
| l / hab / día | Litros por habitante por día |
| l / m² | litros por metro cuadrado |
| m² | Metro cuadrado |
| m³ | Metro cúbicos |
| 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 |
| pulg | Pulgadas |
| tc | Tiempo de concentración |

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 alcantarillas 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. |
| CBN | Christian Broadcasting Network |
| 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 un aparato que recopila datos de distintas variables atmosféricas que se utilizan en el ámbito de la meteorología. |
| 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 | Es la recarga que tienen los acuíferos y la evapotranspiración debido a la pérdida en el sistema hídrico. |
| 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 | El clima semiárido suele situarse en zonas intermedias o de transición entre los desiertos y regiones con clima más húmedo; presentando precipitaciones escasas o irregulares. |
| Saneamiento | El término también hace referencia al mantenimiento de buenas condiciones de higiene gracias a servicios como la recogida de basura y la evacuación de aguas residuales. |
| SGCCC | Sistema Guatemalteco de Ciencias del Cambio Climático. |

| | |
|----------------------------|---|
| Sustentable | Es en realidad un proceso que tiene por objetivo encontrar el equilibrio entre el medio ambiente y el uso de los recursos naturales. |
| 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 expone una propuesta debido a la problemática de disponibilidad de agua en Guatemala, por inexistencia de un servicio regular. Se propone un método colector de agua lluvia que será de utilidad a la población de la región donde no es necesario modificaciones estructurales para la instalación de dicho proyecto, dado que es adaptable a los techos de las viviendas existentes de la región. Dicho proyecto beneficiará a la población de la región semiárida del municipio de San Agustín Acasaguastlán, El Progreso, teniendo como alternativa la propuesta de 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 producción de agua potable por medio de la captación del agua de lluvia, además, se muestra un análisis de los sistemas de captación ya existentes, desde sus elementos hasta la implementación.

La implementación del sistema inicia con el estudio meteorológico de la captación del área de influencia donde se procede a la toma de datos, análisis de datos obtenidos, elaboración del diseño y construcción del modelo.

1. INTRODUCCIÓN

Debido a la falta de disponibilidad de agua que enfrenta ciertas regiones de Guatemala, por no contar con un servicio regular, corte del suministro, daño en la red, inexistencia de pozos o proyectos de captación adaptables a la región. Esto da pauta a que ciertas personas cosechen en depósitos 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.

Se propone un sistema colector de agua pluvial donde la población de la región podrá implementar con modificaciones no costosas dicho proyecto será de fácil acceso y no generará una modificación a la estructura, dado que es adaptable a los techos de las viviendas. Como producto se obtendrá agua almacenada en un depósito para uso de servicios básicos.

Dicho proyecto beneficiará a la población de la región semiárida del municipio de San Agustín Acasaguastlán, El Progreso, dado que contarán con una propuesta como alternativa de suministro de agua para usos básicos, dicho sistema aportará agua en época seca siendo una opción para suplir las necesidades en un tiempo establecido.

El método que se implementará para la colección del recurso hídrico parte del análisis de la precipitación de la región, posterior a ellos se realiza 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. 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 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.

2. ANTECEDENTES

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 Lucia 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 utilizó 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 para 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 consciencia 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 taque 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: a) conocer el volumen de agua disponible en el área de estudio, b) comparación del ahorro del agua con la implementación de la propuesta y c) valoración de la construcción del diseño propuesto. Para lo que se obtuvieron resultados positivos siendo viable el proyecto.

En la revista Luna Azul *Diagnostico del sistema de aprovechamiento del agua de lluvia en el Consejo Comunitario de la Comunidad Negra de los Lagos, Buenaventura*, (Montaño, 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, M., Sánchez, L., Tosolini, R., Tejerina, F., y Jordan, P., (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, M., Coaquira, E, y Calsín, J., (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 realizó 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 m³, cubriendo 120 m² y consumiendo aproximadamente 25 m³ en un periodo 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 m² y una bomba para distribuir el agua con potencia de 0.5 Hp. Dicho estudio concluye que en un área de 120 m² 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.

3. 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 a las necesidades de la región?
- ¿Cuánto beneficio brindara a la población la implementación de dicha propuesta?

4. JUSTIFICACIÓN

La realización de la presente investigación se justifica en la línea de investigación de gestión y tratamiento de agua del área de gestión ambiental de la Maestría de Energía y Ambiente.

El colector de agua pluvial es un sistema que contribuye a la sociedad por medio del almacenamiento y ahorro de agua. Al momento de hacer falta dicho recurso este sistema se emplea con ciertas modificaciones que no son costosas. Como producto se obtendrá un colector en el que se almacenará el agua para servicios básicos de las viviendas supliendo las necesidades de la población.

Para realizar dicha captación se debe realizar un análisis hidráulico para su distribución, llevando consigo lo necesario para el uso y optimización del agua captada; siguiendo una serie de fases dentro de la metodología, donde se construye un modelo físico el cual capta y filtra el agua mejorando sus condiciones para el uso potable.

Al implementar dicho proyecto beneficiará a los habitantes del municipio de San Agustín Acasaguastlán, El Progreso; que contarán con una alternativa para tener agua potable en los días secos, dicho sistema será un complemento para el abastecimiento del recurso que podrá suplir las necesidades en un tiempo establecido.

De manera que dicho proyecto será un aporte de técnico de las diferentes formas de purificación de agua e implementación en los hogares de los habitantes.

5. OBJETIVOS

5.1. 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.

5.2. 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 a las necesidades de la región.
- Demostrar el beneficio de la implementación de la propuesta del sistema de agua de lluvia.

6. NECESIDADES POR CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN

Actualmente no se cuenta con algún tipo de tecnología de captación de agua de lluvia la cual pueda adaptarse a una vivienda existente, en la región semiárida de Guatemala, específicamente en el departamento de San Agustín Acasaguastlán, El Progreso, es por ello que con esta propuesta se podrá cubrir una parte del suministro del recurso hídrico.

Para que el proyecto se lleve a cabo, se debe de trabajar con insumos de fácil acceso y adaptación a una vivienda ya existente, de manera que con un ajuste de materiales de construcción (tubos de PVC, canaletas, tinaco y una técnica de potabilización) en la vivienda se podrá captar y conducir el agua a un tanque de abastecimiento este se puede determinar mediante el área de captación del techo de la vivienda, este recurso se podrá suministrar para usos potables y no potables dentro de la vivienda, brindado un aporte como alternativa de almacenamiento de agua temporal para el abastecimiento de las necesidades de cada vivienda.

Al no contar con el recurso hídrico, este puede ocasionar enfermedades y falta del uso de servicios básicos dentro de la vivienda, de manera que contar con una opción alterna a la falta de agua como lo es una fuente de abastecimiento por medio de la lluvia captada vendrá a disminuir el problema de la falta de agua en la región.

De manera que contar con un método que es de fácil acceso, bajo costo y aplicación simple, se puede implementar en cada vivienda que así lo requiera como una alternativa que suplirá las necesidades básicas del uso del recurso.

7. MARCO TEÓRICO

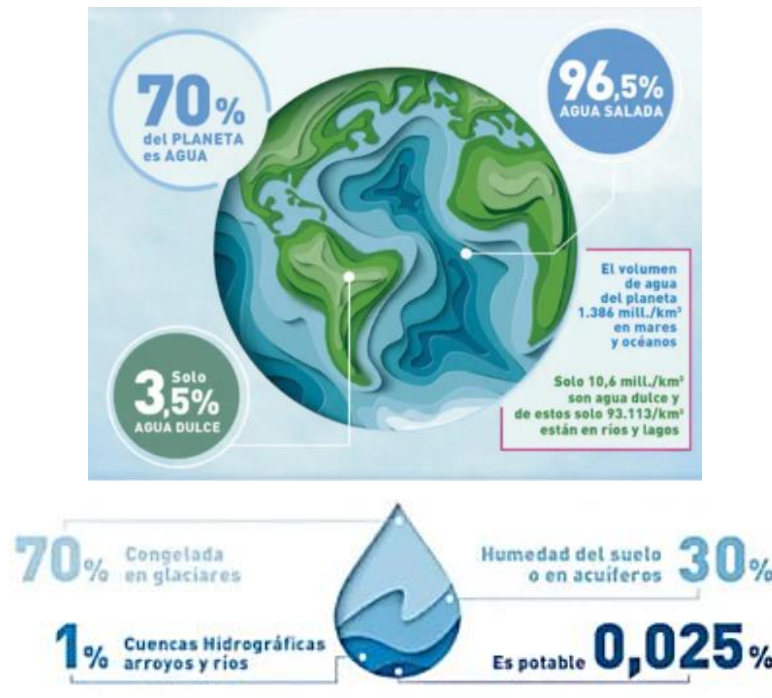
7.1. Agua potable

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).

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 (Aqua Fundación, s.f.).

Figura 1. **Porcentaje total del agua en el mundo**



Fuente: Iagua (2018) *¿Sabías que solo el 0,025% del agua de la Tierra es potable?*

Recuperado de: <https://www.iagua.es/noticias/fundacion-aquae/sabias-que-solo-0025-agua-tierra-es-potable-infografia-fundacion-aquae>

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

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 (OPS, s.f.).

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 acceso fácil.
- La problemática de la contaminación por aguas residuales viene en un 55 % aproximadamente, esto es de acuerdo con el balance hídrico (IARNA, 2006).

Tabla I. **Balance hídrico nacional**

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

7.1.1. Usos

Se presentan estadísticas según su uso de los años 2006 al 2010 de las diferentes actividades, para el periodo 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 llevo 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 |
| <i>Agricultura, ganadería, caza y silvicultura</i> | 5,042.00 | 5,490.10 | 6,003.62 | 6,252.08 | 6,496.56 |
| <i>Pesca</i> | 427.06 | 535.24 | 527.52 | 511.90 | 514.62 |
| <i>Explotación de minas y canteras</i> | 6.13 | 6.93 | 6.22 | 6.34 | 6.19 |
| <i>Industrias manufactureras (incluye agroindustria)</i> | 7,473.39 | 8,185.24 | 8,826.74 | 7,604.04 | 7,643.17 |
| <i>Suministro de electricidad, gas y agua</i> | 4,765.13 | 5,184.56 | 5,516.04 | 5,110.16 | 5,057.33 |
| <i>Construcción</i> | 93.17 | 104.36 | 102.94 | 87.29 | 76.26 |
| <i>Comercio al por mayor y menor</i> | 51.33 | 44.36 | 44.94 | 47.27 | 48.22 |
| <i>Servicios</i> | 52.33 | 51.71 | 59.30 | 68.16 | 69.85 |
| <i>Hogares</i> | 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 |

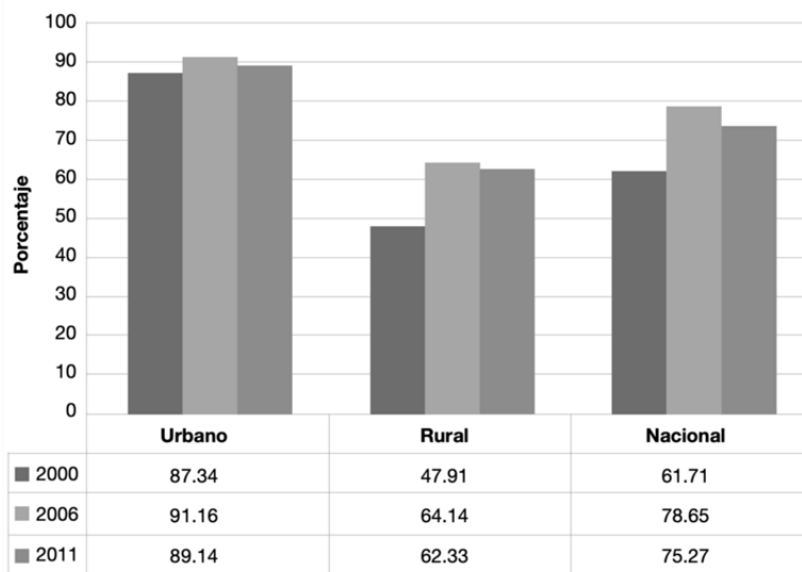
Fuente: Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente (IARNA). Universidad Rafael Landívar (URL) (2010-2012). *Perfil Ambiental de Guatemala: Vulnerabilidad local y creciente construcción de riesgo.*

7.1.2. Consumos

En Guatemala más 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 este 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).

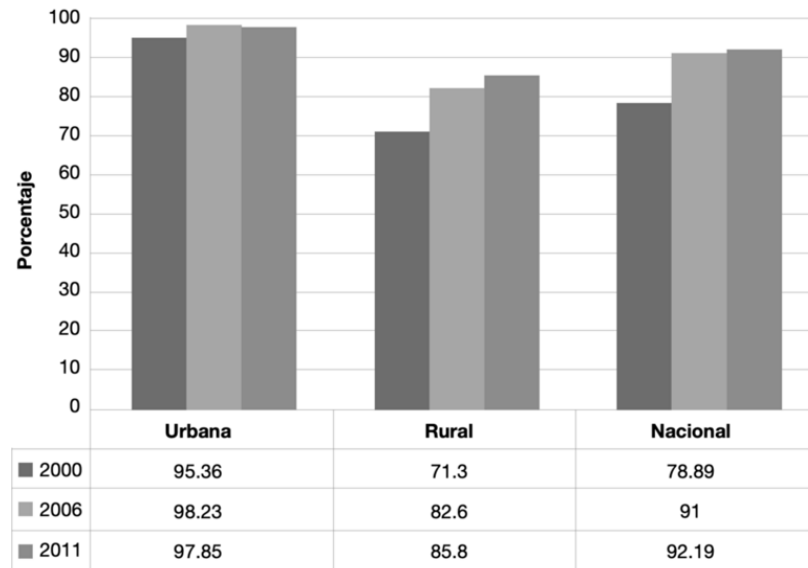
Figura 2. **Gráfica de la cobertura de servicio del recurso hídrico potable a nivel nacional, urbana y rural (periodo de estudio 2000, 2006 y 2011)**



Fuente: Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente (IARNA). 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. **Gráfica de la cobertura de servicio de saneamiento a nivel nacional, urbano y rural (periodo de estudio 2000, 2006 y 2011)**



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

7.1.3. 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 varia del lugar y la región, la siguiente tabla considera los valores. (Chiquin, 2009)

Tabla III. **Dotaciones**

| Habitantes | Dotación |
|-------------------|-------------------------|
| Área urbana | 100 – 250 l / hab / día |
| Área rural | 60 – 120 l / hab / día |
| Llena cántaros | 30 – 60 l / hab / día |

Fuente: Chiquin. (2009). *Diseño de sistema de abastecimiento de agua potable del área urbana, del municipio de San Pablo Tamahú, Departamento de Alta Verapaz.*

7.1.4. Técnicas de potabilización

Existen diferentes formas para garantizar la calidad del agua, de las cuales están a 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 los pro y contras:

7.1.4.1. 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 luego al punto de ebullición cuando empieza a hervir y luego dejar enfriar, se puede hervir a una temperatura menor, pero esto no garantiza que evitara 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.

7.1.4.2. 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.

7.1.4.3. 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.

7.1.4.4. 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 varia 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.

7.1.4.5. 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 (ClO₂): este método es eficiente cuando se trata una pequeña cantidad, este tipo de comprimido generan 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.

7.1.5. 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).

7.1.6. 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:

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

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

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

| Características | LMA | LMP |
|----------------------------------|----------------|---------------------|
| <i>Color</i> | 5,0 u | 35,0 u (a) |
| <i>Olor</i> | No rechazable | No rechazable |
| <i>Turbiedad</i> | 5,0 UNT | 15,0 UNT (b) |
| <i>Conductividad eléctrica</i> | 750 μ S/cm | 1500 μ S/cm (d) |
| <i>Potencial de hidrógeno</i> | 7,0 – 7,5 | 6,5 – 8.5 (c) (d) |
| <i>Sólidos totales disueltos</i> | 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 p H*
 (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.*

7.1.6.2. Características químicas

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

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

| Características | LMA (mg/L) | LMP (mg/L) |
|--|-------------------|-------------------|
| <i>Cloro residual libre (a)</i> | 0,5 | 1,0 |
| <i>Cloruro (Cl)</i> | 100,0 | 250,0 |
| <i>Dureza Total (CaCO₃)</i> | 100,0 | 500,0 |
| <i>Sulfato (SO₄)</i> | 100,0 | 250,0 |
| <i>Aluminio (Al)</i> | 0,050 | 0,100 |
| <i>Calcio (Ca)</i> | 75,0 | 150,0 |
| <i>Cinc (Zn)</i> | 3,0 | 70,0 |
| <i>Cobre (Cu)</i> | 0,050 | 1,500 |
| <i>Magnesio (Mg)</i> | 50,0 | 100,0 |
| <i>Manganeso total (Mn)</i> | 0,1 | 0,4 |
| <i>Hierro total (Fe) (b)</i> | 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 VI, se detallan las sustancias inorgánicas (metales) que se encuentran en el agua y el límite máximo permisible (COGUANOR NTG 29001-2010).

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

| Características | LMP (mg/L) |
|---------------------------------|-------------------|
| <i>Arsénico (As)</i> | 0,010 |
| <i>Bario (Ba)</i> | 0,70 |
| <i>Boro (B)</i> | 0,30 |
| <i>Cadmio (Cd)</i> | 0,003 |
| <i>Cianuro (CN*)</i> | 0,070 |
| <i>Cromo total (Cr)</i> | 0,050 |
| <i>Fluoruro (F*)</i> | 1,50 |
| <i>Mercurio total (Hg)</i> | 0,001 |
| <i>Plomo (Pb)</i> | 0,010 |
| <i>Selenio (Se)</i> | 0,010 |
| <i>Nitrato (NO₃)</i> | 50,0 |
| <i>Nitrito (NO₂)</i> | 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 VII. **Substancias plaguicidas cuya presencia en el agua es significativa para la salud**

| Grupo | LMP (µg/L) |
|---|-------------------|
| <u>Compuestos organoclorados</u> | |
| 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 |
| <u>Ácidos fenoxi</u> | |
| 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 |
| <u>Fumigantes</u> | |
| 1,2 – Dicloropropano | 40,0 |
| 1,3 – Dicloropropeno | 20,0 |
| DBCP (1,2 – Dibromo – 3– cloropropano) | 1,00 |
| <u>Triazinas</u> | |
| Atrazina | 2,00 |
| Simazina | 2,00 |
| <u>Acetanilidas</u> | |
| Alacloro | 20,0 |
| Metolacloro | 10,0 |
| <u>Carbamatos</u> | |
| Aldicarb y sus metabolitos | 10,0 |
| Carbofurán | 7,00 |
| Isoproturón | 9,00 |
| Molinato | 6,00 |
| Pendimetalina | 20,0 |
| <u>Amidas</u> | |
| Di (etil – hexil) ftalato | 8,00 |
| Trifluralín | 20,0 |
| <u>Organofosforados</u> | |
| 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 VIII, se presentan las sustancias orgánicas que se pueden encontrar en el agua y que son dañidas para la salud, así mismo se muestran los límites máximos permisibles.

Tabla VIII. **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) |
| <i>o</i> -diclorobenceno | 1000,0 (2) |
| <i>p</i> -diclorobenceno | 300,0 (2) |
| 1,2 – dicloroetano | 30,0 (1) |
| 1,1 – dicloroetano | 30,0 |
| 1,2 – dicloroetano | 50,0 |
| <i>cis</i> - 1,2 – dicloropropano | 50,0 |
| <i>trans</i> - 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.*

7.1.6.3. Características microbiológicas

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

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

| <i>Microorganismos</i> | <i>Límite Máximo Permisible</i> |
|---|--|
| Agua para consumo directo <i>Coliformes totales y E. coli</i> | No deben ser detectables en 100 m L de agua. |
| Agua tratada que entra al sistema de distribución <i>Coliformes totales y E. coli</i> | No deben ser detectables en 100 m L de agua. |
| Agua tratada en el sistema de distribución <i>Coliformes totales y E. coli</i> | No deben ser detectables en 100 m L de agua. |

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

7.1.6.4. Aspectos radiológicos

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

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

| Características | Valor Máximo Aceptable | Observaciones |
|----------------------------------|-------------------------------|---|
| <i>Radioactividad alfa total</i> | 0,10 Bq/L (1) | Si se sobrepasa el valor límite, es necesario un análisis más detallado de los radionúclidos. |
| <i>Radioactividad beta total</i> | 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 XI, se presentan los indicadores de radiación que se pueden encontrar en el agua, así como los límites que son permitidos.

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

| Radiación | Indicador | Límites |
|-------------------------|------------------|----------------|
| <i>Alfa artificial</i> | Americio 241 | 0,1 Bequerel/L |
| <i>Beta artificial</i> | Estroncio 90 | 1,0 Bequerel/L |
| <i>Gamma artificial</i> | 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).

7.2. Precipitación pluvial

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

7.2.1. Descripción

La precipitación pluvial es la recarga que tienen los acuíferos y la evapotranspiración debido a la pérdida en el sistema hídrico. Este método sirve para determinar la evapotranspiración fue el de Hargreaves (Herrera, 2002).

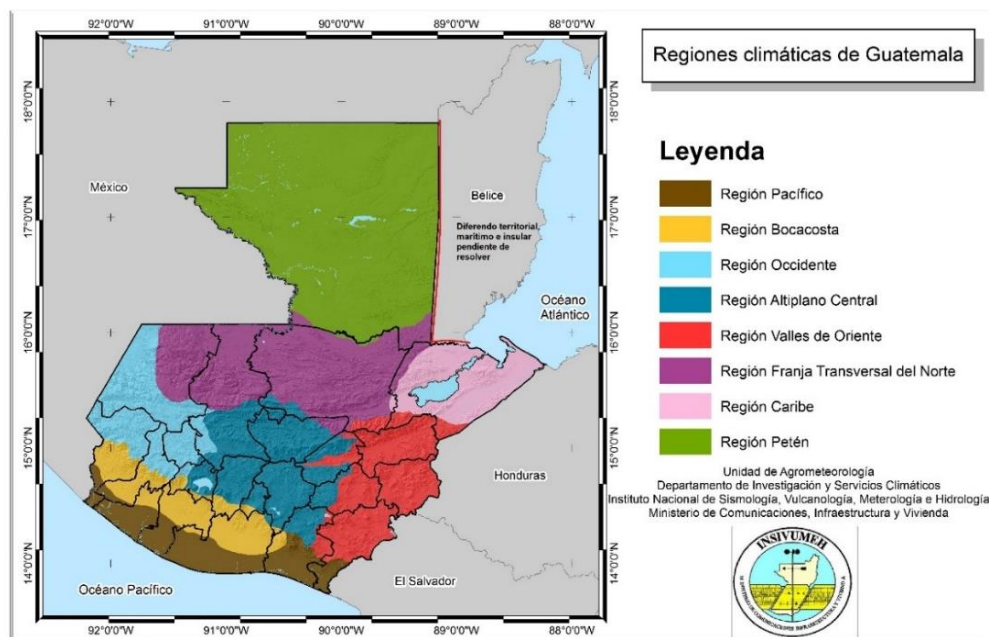
Las estaciones que se marca en Guatemala son: época de lluvia comprendida entre los meses de mayo a octubre y la época seca de noviembre a abril.

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 XII. 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) | <ul style="list-style-type: none"> 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). | <ul style="list-style-type: none"> Mantener infiltración elevado 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). | <ul style="list-style-type: none"> 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. | <ul style="list-style-type: none"> Mantener infiltración elevada en el suelo. Prevención y control de la escorrentía, dado el riesgo alto de erosión hídrica en el periodo húmedo. Son recomendables técnicas para captar y almacenar agua en el periodo húmedo para uso en el periodo seco. |
| Semiárida (200 a 800 mm de precipitación anual) | Precipitación inferior a evapotranspiración durante gran parte del año. Déficit puede alcanzar casi todo el año. | <ul style="list-style-type: none"> Suelos poco profundos y poco meteorizados. Salinidad frecuente. Vegetación pobre y característica de regiones con déficit hídrico. Fuentes de agua escasas. Agua puede ser de mala calidad para uso doméstico y agropecuario. | <ul style="list-style-type: none"> 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 periodo húmedo. |

Continuación de la tabla XII.

| | | |
|--|---|---|
| <p>Árida (menos de 200 mm de precipitación anual)</p> | <p>Precipitación baja. Déficit todo el año.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Suelos meteorizados. pocos • Salinidad frecuente. • Vegetación casi inexistente. • Fuentes de agua son muy escasas y localizadas. • Agua puede ser de mala calidad para uso doméstico y agropecuario. | <ul style="list-style-type: none"> • Prioridad absoluta para consumo humano. Mantener hábitos y actividades productivas que dependan el mínimo del agua. |
|--|---|---|

Los numero 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.

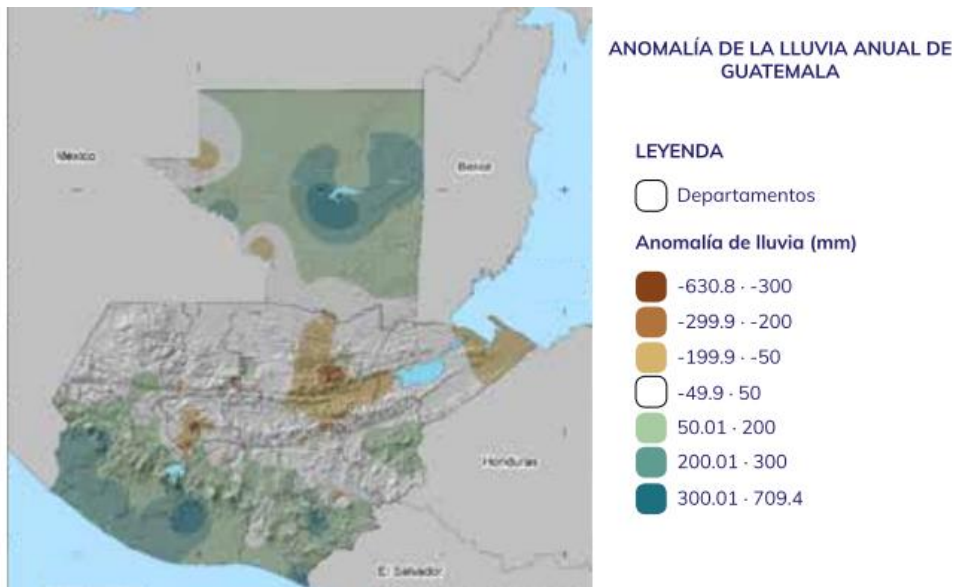
Fuente: FAO. (2013). *Captación y almacenamiento de agua de lluvia (Opciones técnicas para la agricultura familiar en América Latina y el Caribe)*.

7.2.2. 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.

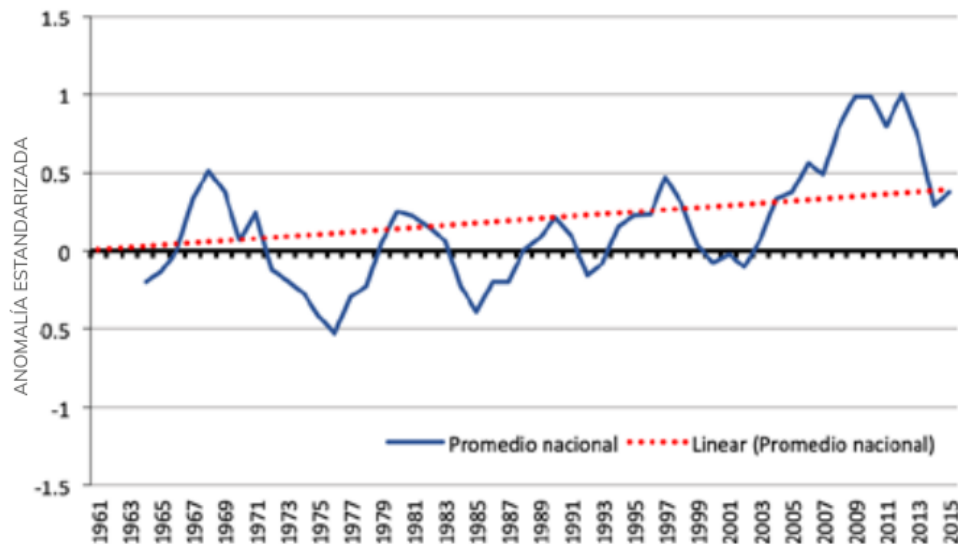
Figura 5. **Anormalidad de la lluvia anual en milímetros a nivel local, tomando como base el periodo de 1981 - 2000, comparado con el tiempo de evaluación 2001 - 2016**



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

Al observar el historial de la precipitación pluvial muestra que en el periodo 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; INSIVUMEH, 2018b).

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



Fuente: Bardales, W., Castañón, C., y Herrera, J. (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, filtrándose 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).

7.2.3. Estación meteorológica

Es un aparato que recopila datos de distintas variables atmosféricas que se utilizan 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 del horizonte al Este y Oeste y el dispositivo estará rodeado por una malla de metal (INSIVUMEH, s.f.).

Dentro de la instrumentación se encuentra la siguiente:

- Pluviómetro
- Pluviógrafo
- Higrógrafo
- Termohigrógrafo
- Termómetro de máxima
- Termómetro de mínima

- Termógrafo
- Aspiropsicrómetro
- Geotermómetros
- Heliografo
- Actinógrafo
- Evaporimetro de piche
- Tanque de evaporación
- Anemocinemógrafo
- Barógrafo

Se describen las variables que puede 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

7.2.4. 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

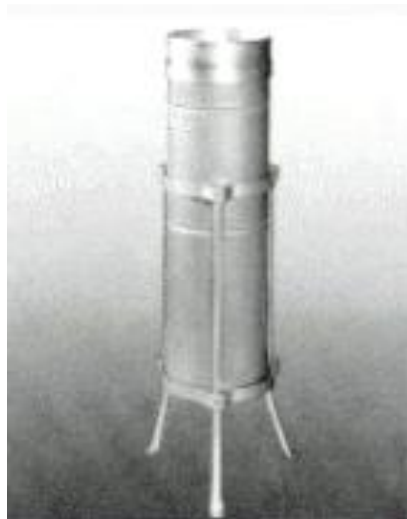
cuanto a la relación dicho de otra manera por un milímetro de agua esto es equivalente a un litro de agua de lluvia por m².

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

7.2.4.1. Pluviómetros mecánicos

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

Figura 7. **Pluviómetro mecánico**



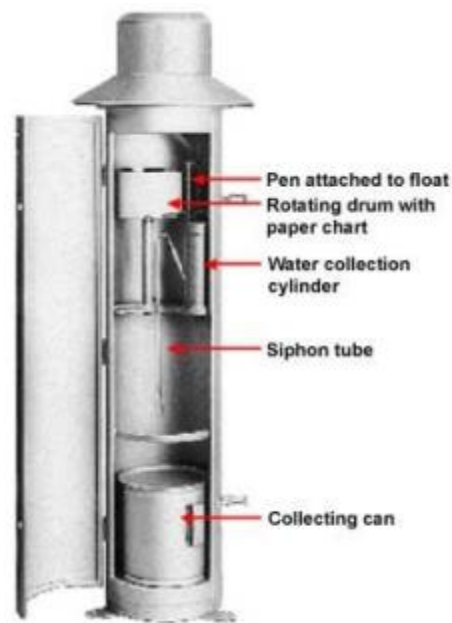
Fuente: Renom. (2011). *Principios básicos de las mediciones atmosféricas. Pluviometría*

7.2.4.2. 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.*

7.2.4.3. **Pluviómetro de cangilómetros**

Está compuesto por un balancín donde tiene 2 depósitos (plástico o metal) montado por debajo del embudo, cuando el agua ingresa por el embudo cae en un cubo de los que hay, al momento de llenarse se cae el agua obtenida debido a que el centro de gravedad está fuera del punto de soporte, para lo que luego el otro cubo se coloca en el punto donde recibirá agua nuevamente.

Figura 9. **Pluviómetro de cangilómetro**



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

7.2.5. 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 XIII. **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 Lucia Cotz, Escuintla | 43 |
| 11 | Quezada, Jutiapa | 43 |
| 12 | Cobán, Alta Verapaz | 42 |
| 13 | La Unión, Zacapa | 42 |
| 14 | La Ceibita, Monjas, Jalapa | 42 |
| 15 | Pasabien, 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 Jose Aeropuerto, Puerto San José, Escuintla | 40 |
| 28 | Santa María Cahabón, Cahabón, Alta Verapaz | 39 |
| 29 | Santa Cruz Balanyá, Chimaltenango | 39 |
| 30 | Santiago Atitlán, Sololá | 39 |
| 31 | Chinique | 39 |
| 32 | Montufar, 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 | Quiche Chixoy, Chicaman, Quiché | 30 |

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

El análisis de este trabajo se delimito 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 XIV. **Estaciones meteorológicas de la región semiárida**

| <i>Departamento</i> | <i>Estación</i> |
|---------------------|------------------|
| <i>Baja Verapaz</i> | Cubulco |
| | San Jerónimo |
| <i>Chiquimula</i> | Esquipulas |
| | Camótan |
| <i>El Progreso</i> | Morazán |
| <i>Jalapa</i> | La Ceibita |
| | Potrero Carrillo |
| <i>Jutiapa</i> | Asunción Mita |
| <i>Zacapa</i> | Montúfar |
| | La Fragua |
| | La Unión |
| | Pasabién |

Fuente: elaboración propia.

7.3. 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.

7.3.1. 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 destina 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 10. **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)*.

7.3.1.1. CASO 1: diseño de un sistema de recolección de agua de lluvia pluvial para uso sanitario caso de estudio Instituto Tecnológico de Mérida (*Fundación ICA, 2014*)

Para iniciar dicho estudio es importante realizar un estudio previo de las precipitaciones ocurridas en la zona en un periodo 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 agrupándose 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 periodo 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 captaran 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:

$$Tc = 0.02 * \frac{L^{0.79}}{S^{0.385}} \quad \text{EC. 1}$$

Donde:

Tc = 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.

$$i = \frac{221.09067 * Tr^{0.79}}{d^{0.680599}} \quad \text{EC. 2}$$

Donde:

i = intensidad

Tr = 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 XV. **Coefficiente de escurrimiento según área drenada**

| Tipo de área drenada | Coefficiente de escurrimiento | |
|---|--------------------------------------|---------------|
| | Mínimo | Máximo |
| <i>Zonas comerciales:</i> | | |
| <i>Zona comercial</i> | 0.75 | 0.95 |
| <i>Zonas mercantiles</i> | 0.70 | 0.90 |
| <i>Vecindarios</i> | 0.50 | 0.70 |
| <i>Zonas Residenciales:</i> | | |
| <i>Unifamiliares</i> | 0.30 | 0.50 |
| <i>Multifamiliares, espaciados</i> | 0.40 | 0.60 |
| <i>Multifamiliares, compactos</i> | 0.60 | 0.75 |
| <i>Semiurbanos</i> | 0.25 | 0.40 |
| <i>Casas habitación</i> | 0.50 | 0.70 |
| <i>Zonas Industriales:</i> | | |
| <i>Espaciado</i> | 0.50 | 0.80 |
| <i>Compacto</i> | 0.60 | 0.90 |
| <i>Cementerios y parques</i> | 0.10 | 0.25 |
| <i>Campos de juego</i> | 0.20 | 0.35 |
| <i>Patios de ferrocarril y terrenos sin construir</i> | 0.20 | 0.40 |
| <i>Zonas suburbanas</i> | 0.10 | 0.30 |
| <i>Calles:</i> | | |
| <i>Asfaltadas</i> | 0.70 | 0.95 |
| <i>De concreto hidráulico</i> | 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 considero la determinación del gasto del techo del edificio estudiado, Identificando los caudales por medio de la ecuación del método racional:

$$Q = 278 \times C \times I \times A$$

EC. 3

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 coleccionar 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 de caudal que se obtiene de la ecuación 3.

- Canales

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

$$Q = \frac{1}{n} * (AR^{\frac{2}{3}} * \sqrt{S})$$

EC. 4

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:

$$Q = 1.75 * r^{\frac{5}{3}} * d^{\frac{8}{3}} \quad \text{EC. 5}$$

Donde:

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

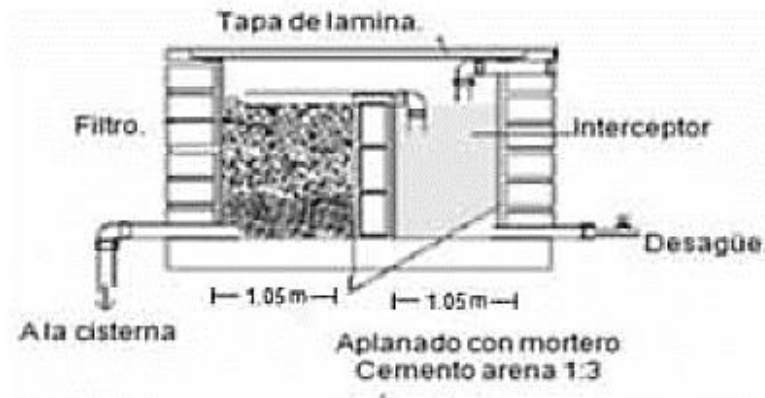
r = Relación área-anillo-agua (0.33)

d = Diámetro (pulg)

- Interceptor o filtro desarenador

Posterior a la bajada 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 11. 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 periodo 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.

7.3.1.2. CASO 2: Guía de Diseño para captación del agua de lluvia (OPS, 2004)

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:

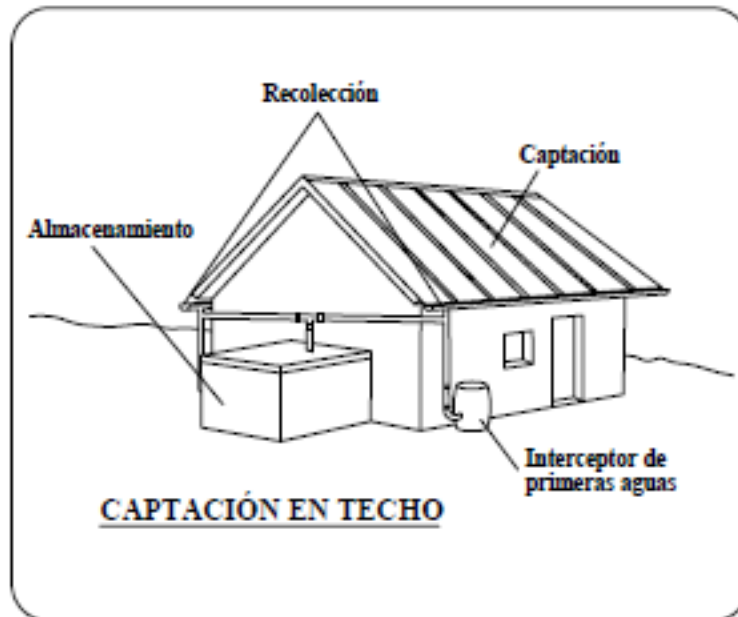
- Área de captación:

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 variara para el caso en que se implemente dicha propuesta.

Es fundamental que el módulo que se encargara 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 12. **Componentes del sistema de captación**

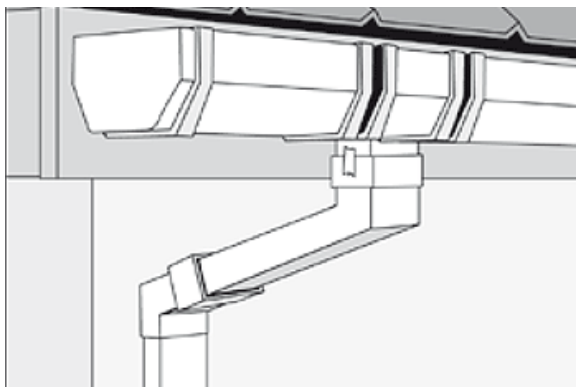


Fuente: OPS. (2004). *Guía de diseño para captación del agua de lluvia.*

- **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 solidos que se encuentren en el techo.

Figura 13. **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:

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

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

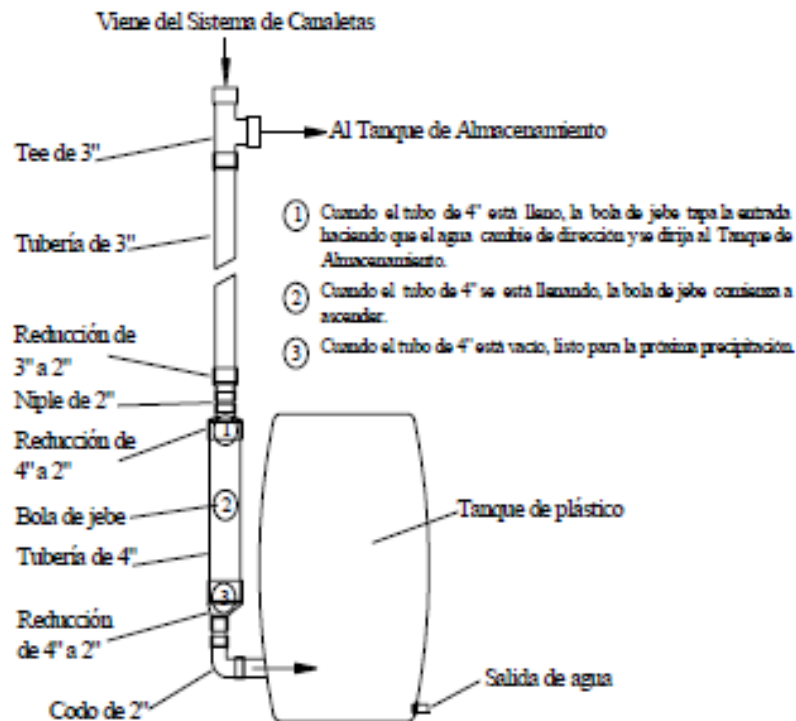
Fuente: Collet, L.; Ayassa, A.; Cortadi, M.; Cánovas, J. (2015) *Recuperación de las aguas de lluvia.*

- Interceptor de llluvias

Este dispositivo tiene como función desviar las primeras llluvias debido a que las primeras llluvias servirán para limpiar la superficie del techo y canales que contiene partículas que contaminaran 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 14. **Interceptor de primeras aguas**



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

- 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 exista 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 de 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 7.5.

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 XVII. **Dotación de agua potable**

| <i>Tipo de zona</i> | <i>Clima</i> | <i>Dotación (l / hab / día)</i> | <i>Tipo de conexión</i> |
|----------------------|--------------|-------------------------------------|-------------------------|
| | | 40 – 60 | Llena cántaros |
| <i>Rural</i> | Frío | 60 – 90 | Predial |
| | Cálido | 90 – 120 | Predial |
| <i>Urbana</i> | Frío | 120 – 150 | Domiciliar |
| | Cálido | 150 - 200 | Domiciliar |
| <i>Metropolitana</i> | | 200 - 300 | Domiciliar |

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

8. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

OBJETIVOS

HIPÓTESIS

RESUMEN DEL MARCO TEÓRICO

INTRODUCCIÓN

1. MARCO TEÓRICO
 - 1.1. Agua potable
 - 1.2. Usos
 - 1.3. Consumos
 - 1.4. Dotación
 - 1.5. Técnicas de potabilización
 - 1.5.1. Hervir el agua
 - 1.5.2. Desinfección química
 - 1.5.3. Yodo
 - 1.5.4. Cloro
 - 1.5.5. Otros métodos
 - 1.6. Calidad del agua
 - 1.7. Normativa del agua potable

- 1.7.1. Características físicas y organolépticas del agua para el consumo humano
 - 1.7.2. Características químicas
 - 1.7.3. Características microbiológicas
 - 1.7.4. Aspectos radiológicos
2. PRECIPITACIÓN PLUVIAL
- 2.1. Descripción
 - 2.2. Precipitación en zonas semiáridas
 - 2.3. Estación meteorológica
 - 2.4. Equipos de medición
 - 2.4.1. Pluviómetros mecánicos
 - 2.4.2. Pluviómetro de sifón
 - 2.4.3. Pluviómetro de cangilómetros
 - 2.5. Estaciones meteorológicas del área de estudio
3. SISTEMAS DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA
- 3.1. Casos de estudio (modelos)
 - 3.1.1. CASO 1: diseño de un sistema de recolección de agua de lluvia pluvial para uso sanitario caso de estudio Instituto Tecnológico de Mérida (*Fundación ICA, 2014*)
 - 3.1.2. CASO 2: guía de Diseño para captación del agua de lluvia (*OPS, 2004*)
4. METODOLOGÍA
- 4.1. Tipo de estudio
 - 4.1.1. Definición de variables
 - 4.2. Fases del estudio

- 4.2.1. Fase 1: exploración bibliográfica
- 4.2.2. Fase 2: estudio de la captación
- 4.2.3. Fase 3: diseño y construcción del modelo de captación de agua de lluvia
- 4.2.4. Fase 4: análisis de datos obtenidos
- 4.2.5. Fase 5: presentación y discusión de resultados

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS

APÉNDICES

ANEXOS

9. METODOLOGÍA

9.1. Tipo de estudio

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.

9.1.1. Definición de variables

A continuación, en la tabla XVIII, se presentan las definiciones de las variables de este estudio:

Tabla XVIII. **Definiciones de variables**

| <i>Variable</i> | <i>Definición conceptual</i> | <i>Definición operacional</i> |
|--------------------------|--|--|
| Área de captación | Se refiere a la designación y preparación de una superficie, con la finalidad de captar la mayor cantidad de agua pluvial posible. | Se medirá en m ² y está en función del ancho, largo y pendiente de la superficie del techo. |
| Demanda | Corresponde a la cantidad o volumen de agua usado por los sectores económicos y la población. | Está en función del agua y se puede medir en mm, m ³ o en litros. El dato se obtiene a partir de la cantidad de agua que se requiere para la realización de diversas actividades humanas y sectores durante el día. |

Continuación de la tabla XVIII.

| | | |
|-------------------------------------|---|--|
| <i>Dotación</i> | Cantidad de agua que se asigna para cada habitante y que incluye el consumo de todos los servicios que realiza en un día medio anual, tomando en cuenta las pérdidas. | Son valores preestablecidos por la UNEPAR y está en función del área de estudio y se expresa en litros/habitante/día. |
| <i>Oferta</i> | Corresponde al volumen disponible de agua para satisfacer la demanda generada por las actividades sociales y económicas del hombre. | Se mide en mm, m ³ o litros, se determina a partir del recurso disponible de la lluvia. |
| <i>Parámetros de calidad</i> | Son valores que indican si el agua es apta para consumo humano, por medio de las técnicas adecuadas para los análisis. | <p>Parámetros por controlar:</p> <ul style="list-style-type: none"> Olor Sabor Color Turbidez Conductividad eléctrica Ph Sólidos totales disueltos Cloro libre residual (mg/L) Cloruro (mg/L) Dureza total (mg/L) Sulfato (mg/L) Aluminio (mg/L) Calcio (mg/L) Cinc (mg/L) Cobre (mg/L) Magnesio (mg/L) Manganeso total (mg/L) Hierro total (mg/L) |
| <i>Precipitación</i> | Es la caída de agua desde la atmósfera hacia la superficie terrestre. | Se mide en mm. Se obtiene a partir de una estación meteorológica. |

Continuación de la tabla XVIII.

| | | |
|----------------------------------|---|--|
| <i>Volumen del tanque</i> | Son depósitos grandes para almacenar agua, puede ser cuadrados, rectangulares o redondos. | Se medirá en litros o m ³ . Se obtiene de las dimensiones alto, ancho y largo que tendrá el depósito. |
|----------------------------------|---|--|

Fuente: elaboración propia.

9.2. Fases del estudio

A continuación, se presenta las fases que contempla la propuesta del estudio de captación de agua de lluvia:

9.2.1. Fase 1: exploración bibliográfica

En esta fase se revisará toda la bibliografía pertinente para la explicación del tema de estudio y con todos sus componentes.

Con la información obtenida se tomará como base para la propuesta del sistema de aprovechamiento de agua de lluvia para uso potable, como alternativa para el beneficio de obtención de agua en época de déficit de agua. Se especificarán sus variables y características principales.

9.2.2. Fase 2: estudio de la captación

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

Información pluviométrica

En esta fase del proyecto se estudia la precipitación del área, identificando la estación meteorológica más cercana al área de influencia, para el estudio se requiere un historial mínimo de 10 años de data, esta información es proporcionada por el INSIVUMEH.

De la información obtenida se clasifica 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 (Fundación ICA, 2014).

Los datos de la precipitación se solicitaron al Instituto de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología INSIVUMEH, al Departamento de Investigación y Servicios Climatológicos, lo cual se obtuvo la siguiente tabla de la estación meteorológica Acasaguastlán:

Tabla XIX. Ejemplo de datos de la precipitación de la estación de Acasaguastlán del periodo del año 2006 - 2018

| PRECIPITACIÓN ESTACIÓN ACLASAGUASTLÁN 2006 - 2018 | | | | | | | | | | | | | | |
|---|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|
| ESTACION | AÑO | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | ANUAL |
| ACASAGUASTLÁN | 2006 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| ACASAGUASTLÁN | 2007 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| ACASAGUASTLÁN | 2008 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| ACASAGUASTLÁN | 2009 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| ACASAGUASTLÁN | 2010 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| ACASAGUASTLÁN | 2011 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| ACASAGUASTLÁN | 2012 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| ACASAGUASTLÁN | 2013 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| ACASAGUASTLÁN | 2014 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| ACASAGUASTLÁN | 2015 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| ACASAGUASTLÁN | 2016 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| ACASAGUASTLÁN | 2017 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| ACASAGUASTLÁN | 2018 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |

Fuente: elaboración propia.

Precipitación promedio mensual

Se determina en función de la relación de los datos obtenidos en la precipitación mensual de años de estudio, obteniendo un valor promedio mensual, este puede expresarse en mm/mes que será captado en la superficie del techo.

Mediante la siguiente ecuación:

$$P_{pi} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} P_i}{n} \quad \text{EC. 6}$$

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 6, con los valores de la tabla II para el mes estudio de ENERO obtenemos lo siguiente:

$$P_{pi} = \frac{0.0 + 0.0 + 0.0 + 0.0 + 0.0 + 0.0 + 0.0 + 0.0 + 0.0 + 0.0 + 0.0 + 0.0 + 0.0}{13}$$

$$P_{pi} = 0.0 \text{ mm/mes}$$

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

Tabla XX. **Consolidado de la precipitación promedio mensual obtenido**

| PRECIPITACIÓN ESTACIÓN ACLASAGUASTLÁN 2006 - 2018 | | | | | | | | | | | | | | |
|---|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|
| ESTACION | AÑO | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | ANUAL |
| ACASAGUASTLÁN | 2006 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| ACASAGUASTLÁN | 2007 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| ACASAGUASTLÁN | 2008 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| ACASAGUASTLÁN | 2009 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| ACASAGUASTLÁN | 2010 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| ACASAGUASTLÁN | 2011 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| ACASAGUASTLÁN | 2012 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| ACASAGUASTLÁN | 2013 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| ACASAGUASTLÁN | 2014 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| ACASAGUASTLÁN | 2015 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| ACASAGUASTLÁN | 2016 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| ACASAGUASTLÁN | 2017 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| ACASAGUASTLÁN | 2018 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| Promedio precipitación mensual = | | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |

Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos en el INSIVUMEH.

9.2.3. Fase 3: diseño y construcción del modelo de captación de agua de lluvia

Seguidamente se presenta la metodología a implementar en el modelo de captación de agua de lluvia.

Bases del diseño

Antes de dar inicio al diseño se debe de considerar la recolección de los siguientes aspectos para la captación del agua de lluvia:

- Precipitación de la zona
- Tipo de material de la superficie a captar
- Número de personas beneficiadas, y

- Demanda de agua

Criterios del diseño

Para determinar el diseño de captación, se debe de establecer ciertos parámetros importantes que se detallan seguidamente para el método conocido como: “Cálculo del volumen del tanque de almacenamiento”

- Número de usuarios (personas de la vivienda)
- Coeficiente de esorrentía (verificar tipo de superficie) ver tabla XVI
- Dotación de agua (verificar tipo de zona y clima) ver tabla XVII
- Área de captación (área del techo en m²)

Con los datos obtenidos de la determinación de la precipitación promedio mensual datos tabla XX: Consolidado de la precipitación promedio mensual obtenido; Se procede a la determinación de la demanda

Determinación de la demanda

Se calcula a partir de la dotación que se asume por habitante para satisfacer las necesidades de la vivienda y que será beneficiada en los meses.

Se determina mediante la siguiente ecuación:

$$Di = \frac{Nu \times Nd \times Dot}{1000} \quad \text{EC. 7}$$

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 (m^3)

Al sustituir los datos de la ecuación 7, por valores conocidos del mes de enero y los datos de la dotación de la tabla II se obtiene:

$$Di = \frac{0.0 \times 0.0 \times 0.0}{0.0}$$

$$Di = 0.0 m^3$$

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

Tabla XXI. **Consolidado de la demanda mensual**

| MES | USUARIO | DÍAS | DOTACIÓN | DEMANDA MENSUAL | DEMANDA ACUMULADA |
|-----|---------|------|----------|-----------------|-------------------|
| ENE | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| FEB | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| MAR | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| ABR | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| MAY | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| JUN | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| JUL | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| AGO | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| SEP | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| OCT | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| NOV | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| DIC | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |

Fuente: elaboración propia.

Oferta de agua durante el mes

En base a los promedios obtenidos mensuales y estudio de la precipitación, además del coeficiente de escorrentía del material del cual está diseñado el techo, se determina la oferta obtenida del área de estudio.

Para la determinación del volumen del tanque se utiliza la siguiente ecuación:

$$A_i = \frac{P_{pi} \times C_e \times A_c}{1000} \quad \text{EC. 8}$$

Donde:

P_{pi} = precipitación promedio mensual (l / m²)

C_e = coeficiente de escorrentía

A_c = área de captación (m²)

A_i = Oferta de agua en el mes "i" (m³)

Al sustituir los datos de la ecuación 8, por valores conocidos del mes de enero y los datos del coeficiente de escorrentía de la tabla XVI y los datos del promedio de la precipitación mensual de la tabla XX se obtiene:

$$A_i = \frac{0.0 \times 0.0 \times 0.0}{0.0}$$

$$A_i = 0.00 \text{ m}^3$$

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

Tabla XXII. **Consolidado de la oferta de lluvia mensual**

| MES | PRECIPITACIÓN | COEFICIENTE ESCORRENTIA | ÁREA DE CAPTACIÓN | OFERTA MENSUAL |
|-----|---------------|-------------------------|-------------------|----------------|
| ENE | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.00 |
| FEB | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.00 |
| MAR | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.00 |
| ABR | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.00 |
| MAY | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.00 |
| JUN | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.00 |
| JUL | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.00 |
| AGO | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.00 |
| SEP | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.00 |
| OCT | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.00 |
| NOV | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.00 |
| DIC | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.00 |

Fuente: elaboración propia.

Teniendo los valores de la demanda determinada mensual y la oferta mensual de lluvia, se estima el mayor acumulado de todos los meses de precipitación y con dicho dato se procede al cálculo de la diferencia de los datos acumulados de la demanda y oferta de todos los meses.

Las áreas de techo que conducen a diferencias acumuladas negativas en algún mes de descarta, ya que no es capaz de captar el agua que demanda la vivienda.

El acumulado de la oferta y demanda mensual se determina mediante la siguiente ecuación:

$$A_{ai} = A_{a(i-1)} + \frac{P_{pi} \times C_e \times A_c}{1000} \quad \text{EC.9}$$

$$D_{ai} = D_{a(i-1)} + \frac{N_u \times N_{di} \times D_{di}}{1000} \quad \text{EC.10}$$

Donde:

P_{pi} = precipitación promedio mensual (l / m²)

C_e = coeficiente de escorrentía

A_c = área de captación (m²)

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

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

Dot = dotación (l / hab / día).

A_{ai} = oferta de agua acumulada al mes "i" (m³)

D_{ai} = demanda mensual acumulada al mes "i" (m³)

Mediante la ecuación 10 y con los datos obtenidos de la tabla XX consolidado de la demanda mensual se procede al cálculo de la acumulación de la demanda al mes:

Tabla XXIII. **Consolidado de la demanda acumulada al mes**

| MES | DEMANDA MENSUAL | DEMANDA ACUMULADA |
|-----|-----------------|-------------------|
| ENE | 0.0 | 0.0 |
| FEB | 0.0 | 0.0 |
| MAR | 0.0 | 0.0 |
| ABR | 0.0 | 0.0 |
| MAY | 0.0 | 0.0 |
| JUN | 0.0 | 0.0 |
| JUL | 0.0 | 0.0 |
| AGO | 0.0 | 0.0 |
| SEP | 0.0 | 0.0 |
| OCT | 0.0 | 0.0 |
| NOV | 0.0 | 0.0 |
| DIC | 0.0 | 0.0 |

Fuente: elaboración propia.

Mediante la ecuación 9 y con los datos obtenidos de la tabla XX. Consolidado de la oferta mensual se procede al cálculo de la acumulación de la oferta al mes:

Tabla XXIV. **Consolidado de la oferta acumulada al mes**

| MES | OFERTA MENSUAL | OFERTA ACUMULADA |
|-----|----------------|------------------|
| ENE | 0.00 | 0.0 |
| FEB | 0.00 | 0.0 |
| MAR | 0.00 | 0.0 |
| ABR | 0.00 | 0.0 |
| MAY | 0.00 | 0.0 |
| JUN | 0.00 | 0.0 |
| JUL | 0.00 | 0.0 |
| AGO | 0.00 | 0.0 |
| SEP | 0.00 | 0.0 |
| OCT | 0.00 | 0.0 |
| NOV | 0.00 | 0.0 |
| DIC | 0.00 | 0.0 |

Fuente: elaboración propia.

Volumen del tanque

Se detalla la metodología a utilizar en el cálculo del volumen del tanque mensual y del volumen del tanque anual.

- Volumen del tanque mensual

Del análisis realizado anteriormente se extraen los valores que requiere el volumen del tanque ideal para la satisfacer la vivienda.

Por medio de la siguiente ecuación:

$$Vi = Ai - Di$$

EC. 11

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 sustituir los datos de la ecuación 11, por valores conocidos de la tabla XXII. Consolidado de la oferta de lluvia mensual y tabla XXIII: Consolidado de la demanda acumulada al mes se procede al cálculo de volumen del mes de enero para lo que se obtiene:

$$Vi \text{ enero} = 0.0 - 0.0$$

$$Vi \text{ enero} = 0.0$$

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

Tabla XXV. **Volumen del tanque mensual**

| MES | DEMANDA MENSUAL | OFERTA MENSUAL | VOLUMEN TANQUE |
|-----|-----------------|----------------|----------------|
| ENE | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| FEB | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| MAR | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| ABR | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| MAY | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| JUN | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| JUL | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| AGO | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| SEP | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| OCT | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| NOV | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| DIC | 0.00 | 0.00 | 0.00 |

Fuente: elaboración propia.

- Volumen del tanque anual

Del volumen del tanque necesario se toma el valor máximo y mínimo para identificar el volumen del tanque en cuanto a la oferta de agua anual.

$$V_{ia} = V_{i(max)} - V_{i(min)} \quad \text{EC. 12}$$

Donde:

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

$V_{i(min)}$ = volumen mínimo del tanque mensual necesario (m³).

V_{ia} = volumen del tanque ideal anual (m³).

Al sustituir los datos de la ecuación 12, por valores conocidos de la Tabla XXV. Volumen del tanque mensual se procede al cálculo de volumen del tanque requerido anual para lo que se obtiene:

$$Via = 0.0 - 0.0$$

$$Via = 0.0$$

De esta manera se obtiene el valor teórico para de la dimensión del tanque de almacenamiento anual.

9.2.4. Fase 4: análisis de datos obtenidos

Al momento del análisis de los datos obtenidos se procederá a detallar la incidencia que tendrá la propuesta del proyecto para la colección de agua de lluvia en la región semiárida del país.

9.2.5. Fase 5: presentación y discusión de resultados

En esta fase se adjuntará los datos obtenidos y la discusión de estos.

10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Para el análisis de la información se utiliza las siguientes herramientas para su recolección y posteriormente los datos obtenidos se analizan con estadística descriptiva:

- Lista de herramientas de recolección
 - Tablas de datos de la precipitación según estación meteorológica
 - Precipitación promedio mensual
 - Consolidado de la precipitación promedio mensual
 - Consolidación de la demanda mensual
 - Consolidado de la oferta mensual
 - Volumen de almacenamiento requerido mensual
 - Datos del experimento de captación

- Lista de herramientas de estadística descriptiva
 - Precipitación promedio mensual
 - Consolidado de la demanda acumulada mensual
 - Consolidación de la oferta acumulada mensual
 - Gráfico de máximos y mínimos mensual del volumen del tanque (promedio del requerimiento del volumen mensual)
 - Comparativa de la demanda cumplida o cubierta con el experimento

11. CRONOGRAMA

Para el desarrollo de la propuesta del sistema de aprovechamiento de agua de lluvia para uso no potable en la región semiárida de Guatemala, se tiene contemplado el siguiente cronograma para las distintas fases de la metodología.

Tabla XXVI. **Cronograma de actividades por fase**

| Actividad | Año 2021 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|----------|---|---|---------|---|---|-------|---|---|-------|---|---|------|---|---|-------|--|--|
| | Enero | | | Febrero | | | Marzo | | | Abril | | | Mayo | | | Junio | | |
| Fase 1: Exploración bibliográfica | ■ | ■ | ■ | | | | | | | | | | | | | | | |
| Fase 2: Estudio meteorológico | | | | ■ | ■ | | | | | | | | | | | | | |
| Fase 3: Diseño y construcción del modelo de captación de agua de lluvia | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | |
| Fase 4: Análisis de datos obtenidos | | | | | | | | | | | | | ■ | ■ | ■ | | | |
| Fase 5: Presentación y discusión de resultados | | | | | | | | | | | | | | | ■ | ■ | | |

Fuente: elaboración propia.

12. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

Los recursos requeridos para la elaboración de dicha propuesta, esta en función del proyecto y sera costeadado por el estudiante.

Tabla XXVII. Recursos por usar

| <i>Insumos</i> | | Costo |
|-----------------|--------------------------------|--------------|
| Cantidad | Materiales del proyecto | |
| 6 | Tubos pvc 4" | Q.150.00 |
| 1 | Tubo pvc 1" | Q.15.00 |
| 1 | Chorro | Q.35.00 |
| 3 | Codos pvc 4"x90 | Q.96.00 |
| 1 | Tee pvc 4" | Q25.00 |
| 1 | Tanque de agua (1,100 litros) | Q.1,240.00 |
| 1 | Bote de pegamento (475 ml) | Q.99.00 |
| 1 | Base para el tanque de agua | Q300.00 |
| | Viáticos | Q2,000.00 |
| | Asesor de tesis | Q.2,500.00 |
| | TOTAL | Q.6.460.00 |

Fuente: elaboración propia.

Debido al monto estimado se estimado que si es posible la ejecución de dicho proyecto, tomando en cuenta que estos costos estan en función de la dimensión de la vivienda a la cual se desee implementar dicha propuesta.

13. REFERENCIAS

1. Asociación de Médicos de Sanidad Exterior (2020). *Métodos de potabilización del agua*. 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*. Sistema Guatemalteco de Ciencias del Cambio Climático. En E. J. Castellanos, A. Paiz-Estévez, J. Escribá, M. Rosales-Alconero, y A. Santizo (Eds.), Primer reporte de evaluación del conocimiento sobre cambio climático en Guatemala. (pp. 20–39). 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. (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. Ministerio de Economía (2010) *Comisión Guatemalteca de Normas (COGUANOR) NTG 29001 Agua para Consumo humano (agua potable). Especificaciones*. Guatemala: Autor.
7. Currículo Nacional Base Guatemala (2019). *Recursos hídricos y principales usos del agua en Guatemala*. 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.
8. Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social. (2012) *Diagnóstico Nacional de Salud*. Guatemala: Autor.
9. FAO. (2013). *Captación y almacenamiento de agua de lluvia (Opciones técnicas para la agricultura familiar en América Latina y el Caribe)*. Santiago, Chile: Maval Ltda.
10. iagua (2018) *¿Sabías que solo el 0,025% del agua de la Tierra es potable?* Recuperado de: <https://www.iagua.es/noticias/fundacion-aquae/sabias-que-solo-0025-agua-tierra-es-potable-infografia-fundacion-aquae>
11. Fundación Aquae (s.f.) *¿Cuánta agua potable hay en la Tierra?*. Recuperado de: <https://www.fundacionaquae.org/cuanta-agua-en-la-tierra/>

12. Fundación ICA (2014). *10 soluciones para el manejo sustentable del agua. Península de Yucatán*. Primera mención: Diseño de un sistema de recolección de agua de lluvia pluvial para uso sanitario caso de estudio Instituto Tecnológico de Mérida.
13. Global Water Partnership, Central America. (2015) *Situación de los Recursos Hídricos en Centroamérica, Guatemala*. Recuperado de: https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-cam_files/srh_guatemala_2016.pdf.
14. Gómez, W. (2016). *Biojardineras y Cosecha de agua de lluvia (Reservorios y sistema de purificación)*. (Ponencias) Universidad Nacional de Costa Rica, Costa Rica.
15. Herrera, I., y Brown, O. (2011). Propuesta de una metodología para la estimación de áreas de recarga hídrica en Guatemala. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 20(4), 48-52.
16. Herrera, J., y Pineda, D. (2002). *Variabilidad climática en Guatemala*. Guatemala: Autor.
17. 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.
18. 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. Guatemala:
Autor.

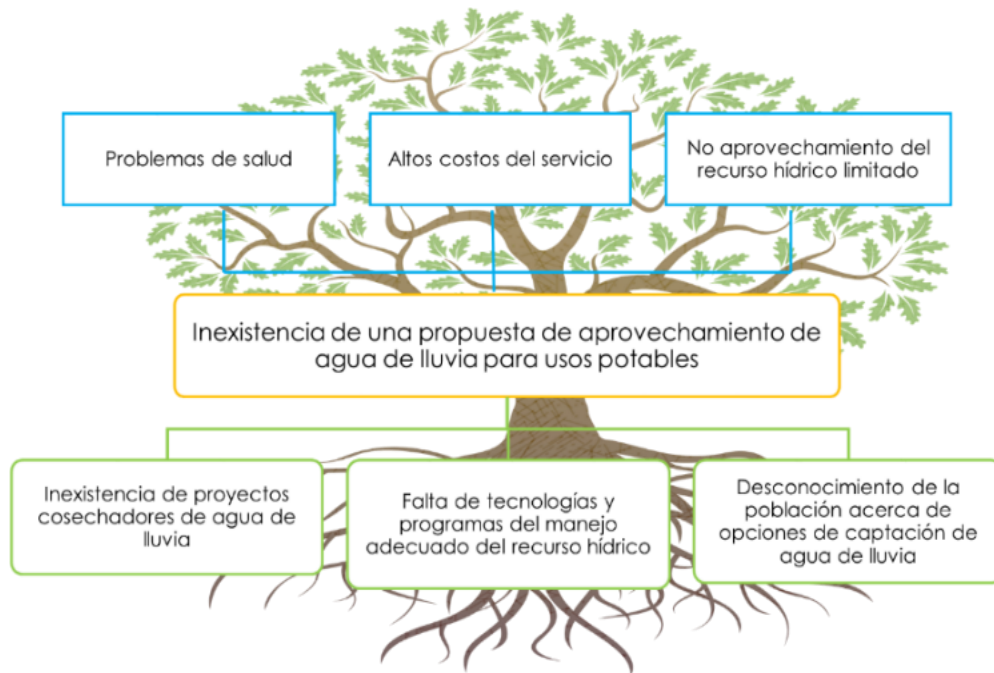
19. Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente (IARNA), Universidad Rafael Landívar (URL) (2010-2012). *Perfil Ambiental de Guatemala: Vulnerabilidad local y creciente construcción de riesgo.* Guatemala: Autor.
20. Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (s.f.) *Los componentes de una estación meteorológica.* Guatemala, Autor.
21. Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (s.f.) *Variabilidad y cambio climático en Guatemala.* Guatemala: Autor.
22. Montaña, N. (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.
23. OPS/CEPIS (2004). Guía de diseño para captación del agua de lluvia. Lima: OPS/CEPIS/04.122. Recuperado de <https://www.itacanet.org/esp/agua/Seccion%204%20Lluvia/Guia%20de%20dise%C3%B1o%20para%20captaci%C3%B3n%20del%20agua%20de%20lluvia.pdf>
24. OPS/CEPIS (2005). *Tratamiento de agua para Consumo humano.* Plantas de filtración rápida, Manual IV: Operación, mantenimiento y

control de calidad. Lima: OPS/CEPIS/PUB. Recuperado de http://www.ingenieriasanitaria.com.pe/pdf/manual4/ma4_ind.pdf

25. Organización Mundial de la Salud. (2019). *Agua*. Recuperado de: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>
26. Organización Panamericana de la Salud. (s.f.) *Agua y saneamiento*. Recuperado de: <https://www.paho.org/es/temas/agua-saneamiento>
27. Palacio, N. (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.
28. Renom (2011). Principios básicos de las mediciones atmosféricas. Pluviometría. Recuperado de: http://meteo.fisica.edu.uy/Materias/PBMA/PBMA_teotico/Bolilla6-PLUVIOMETRIA.pdf

14. APÉNDICES

Apéndice 1. Árbol del problema



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. Matriz de coherencia

| Problema | Objetivos | Variables | Metodología | Plan de acción |
|--|--|---|---|---|
| <p>Pregunta principal: ¿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?</p> | <p>Objetivo general: Proponer 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.</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Sistema de captación de agua de lluvia • Factores ambientales • Sistema de aprovechamiento de agua de lluvia. | <ul style="list-style-type: none"> • Propuesta del diseño de captación de agua de lluvia • Propuesta del diseño para colectores de agua de lluvia como alternativa y así suplir necesidades • Exploración bibliográfica. | <ul style="list-style-type: none"> • Implementar la propuesta de captación de agua de lluvia en cuanto al diseño y análisis meteorológico. |

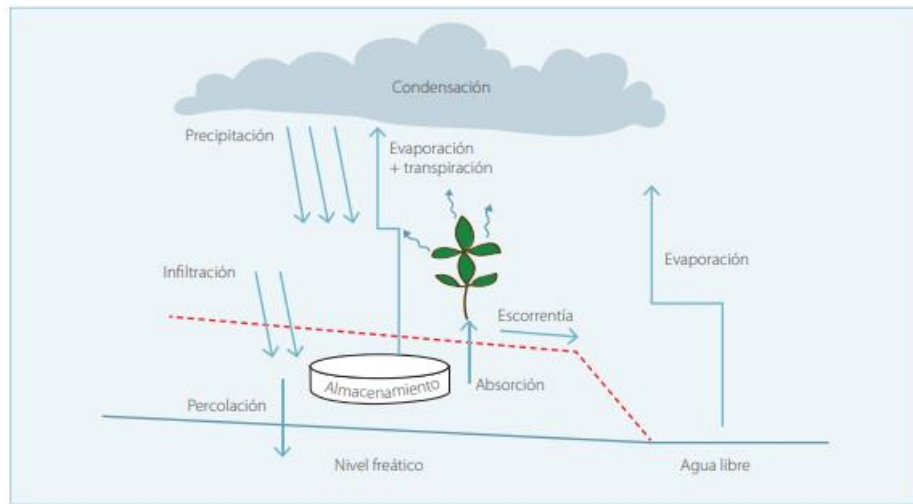
Continuación del apéndice 2.

| Preguntas auxiliares: | Objetivos específicos: | | | | |
|---|--|---|---|---|--|
| 1. <i>¿Cuál es la situación meteorológica para la implementación de un sistema de captación de agua de lluvia?</i> | 1. Identificar la situación meteorológica para implementar un sistema de captación de agua de lluvia | <ul style="list-style-type: none"> • Situación meteorológica del municipio • Precipitación media anual (mm) • Determinación de la oferta por medio de la demanda requerida a partir de la dotación (mm) • Costo del proyecto (Q) | <ul style="list-style-type: none"> • Medición con la estación meteorológica • Datos de la precipitación de la estación meteorológica. • Solicitud de datos al INSIVUMEH de la estación del municipio en estudio | <ul style="list-style-type: none"> • Solicitud de datos de la estación meteorológica del municipio de San Agustín Acasaguastlán al INSIVUMEH (1 día) • Obtención de los datos de la estación (3 días) • Análisis de la determinación de la oferta obtenida (2 días) • Realización de encuestas de la situación actual (3 días) | |
| 2. <i>¿Qué tecnologías existen para proyectos colectores de agua de lluvia?</i> | 2. Enumerar la tecnología existente para proyectos de recolección de agua de lluvia. | <ul style="list-style-type: none"> • Factores ambientales • Sistemas de aprovechamiento de agua de lluvia | <ul style="list-style-type: none"> • Diseños de propuestas existentes de sistemas de aprovechamiento de agua de lluvia | <ul style="list-style-type: none"> • Análisis de comparación de la mejor metodología a implementar según la situación meteorológica, análisis de nivel social (2 días) | |
| 3. <i>¿Cuáles son los componentes del diseño de captación de agua de lluvia apto para las necesidades de la región?</i> | 3. Definir los componentes del diseño de captación de agua de lluvia apto para a las necesidades de la región. | <ul style="list-style-type: none"> • Volumen disponible por lluvia mensualmente (m3) • Área del techo requerido para el tanque (m2) • Volumen del tanque de almacenamiento (m3) • Parámetros de calidad de agua (preestablecidos) | <ul style="list-style-type: none"> • Análisis de la implementación de dicho sistema. • Cálculo de las dimensiones del tanque de almacenamiento • Diseño del filtro • Análisis de calidad de agua mediante la norma NTG 290001 | <ul style="list-style-type: none"> • Análisis de los datos obtenidos de la estación meteorológica para obtener los datos de la oferta (2 días) • Elaboración del diseño puramente oferta, demanda, volumen (7 días) • Análisis de calidad del agua captada (2 días) • Verificación del cumplimiento de los parámetros de calidad del agua a partir del filtro implementado (3 días) | |
| 4. <i>¿Cuánto beneficio brindara a la población la implementación de dicha propuesta?</i> | 4. Demostrar el beneficio de la implementación de la propuesta del sistema de agua de lluvia. | <ul style="list-style-type: none"> • Análisis comparativo de la situación con el sistema y sin el sistema (teórico) | <ul style="list-style-type: none"> • Encuestas en la población | <ul style="list-style-type: none"> • Análisis de los resultados de las encuestas realizadas (2 días) | |

Fuente: elaboración propia.

15. ANEXOS

Anexo 1. Ciclo hidrológico



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