



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

**DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN PARA CAPTACIÓN Y POTABILIZACIÓN DE AGUA DE
LLUVIA EN GRANJA RESIDENCIAL EN SANTIAGO SACATEPÉQUEZ**

Chun Cheong Leung Ng

Asesorado por el Msc. Ing. Carlos Adrián Barrios de León

Guatemala, febrero de 2024

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN PARA CAPTACIÓN Y POTABILIZACIÓN DE AGUA DE LLUVIA EN GRANJA RESIDENCIAL EN SANTIAGO SACATEPÉQUEZ

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

CHUN CHEONG LEUNG NG

ASESORADO POR EL MSC. ING. CARLOS ADRIÁN BARRIOS DE LEÓN

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO ELECTRÓNICO

GUATEMALA, FEBRERO DE 2024

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. José Francisco Gómez Rivera (a.i.)
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Ing. Kevin Vladimir Armando Cruz Lorente
VOCAL V	Ing. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

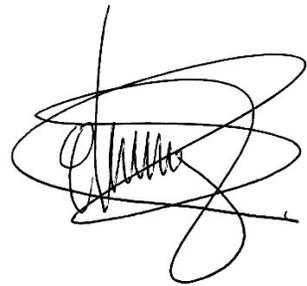
DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
EXAMINADOR	Ing. Gustavo Adolfo Villeda Vásquez
EXAMINADOR	Ing. Jorge Fernando Álvarez Girón
EXAMINADOR	Ing. Edgar Florencio Montufar Urizar
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

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 LA INVESTIGACIÓN PARA CAPTACIÓN Y POTABILIZACIÓN DE AGUA DE LLUVIA EN GRANJA RESIDENCIAL EN SANTIAGO SACATEPÉQUEZ

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Posgrado Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha 26 de julio del 2023.

A handwritten signature in black ink, consisting of several overlapping loops and a central scribble, positioned above the printed name.

Chun Cheong Leung Ng



EEPFI-PP-1821-2023

Guatemala, 21 de octubre de 2023

Director
Armando Alonso Rivera Carrillo
Escuela De Ingenieria Mecanica Electrica
Presente.

Estimado Mtro. Rivera

Reciba un cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería.

El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado y aprobado el Diseño de Investigación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA CAPTACIÓN Y POTABILIZACIÓN DE AGUA DE LLUVIA EN GRANJA RESIDENCIAL EN SANTIAGO SACATEPÉQUEZ**, el cual se enmarca en la línea de investigación: **Gestión y tratamiento del agua - Captación y tratamientos del agua para consumo**, presentado por el estudiante **Chun Cheong Leung Ng** con cui **2684518770101**, 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"

Mtro. Carlos Adrián Barrios De León
Asesor(a)

Mtro. Juan Carlos Fuentes Montepeque
Coordinador(a) de Maestría



Mtra. Aurelia Anabela Cordova Estrada
Directora
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería



Oficina Virtual





EEP-EIME-1611-2023

El Director de la Escuela De Ingenieria Mecanica Electrica de la Facultad de Ingenieria 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 PARA CAPTACIÓN Y POTABILIZACIÓN DE AGUA DE LLUVIA EN GRANJA RESIDENCIAL EN SANTIAGO SACATEPÉQUEZ**, presentado por el estudiante universitario **Chun Cheong Leung Ng**, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingenieria en esta modalidad.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Mtro. Armando Alonso Rivera Carrillo
Director
Escuela De Ingenieria Mecanica Electrica

Guatemala, octubre de 2023



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

Decanato
Facultad e Ingeniería

24189101- 24189102

LNG.DECANATO.OIE.106.2024

El Decano 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 Mecánica Eléctrica, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA CAPTACIÓN Y POTABILIZACIÓN DE AGUA DE LLUVIA EN GRANJA RESIDENCIAL EN SANTIAGO SACATEPÉQUEZ**, presentado por: **Chun Cheong Leung Ng** después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Ing. José Francisco Gómez Rivera
Decano a.i.



Guatemala, febrero de 2024

Para verificar validez de documento ingrese a <https://www.ingenieria.usac.edu.gt/firma-electronica/consultar-documento>

Tipo de documento: Correlativo para orden de impresión Año: 2024 Correlativo: 106 CUI: 2684518770101

Escuelas: Ingeniería Civil, Ingeniería Mecánica Industrial, Ingeniería Química, Ingeniería Mecánica Eléctrica, - Escuela de Ciencias, Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS). Postgrado Maestría en Sistemas Mención Ingeniería Vial. Carreras: Ingeniería Mecánica, Ingeniería Electrónica, Ingeniería en Ciencias y Sistemas. Licenciatura en Matemática. Licenciatura en Física. Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas (CESEM). Guatemala, Ciudad

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Creador del universo y fuente de toda sabiduría, por concederme la existencia y las oportunidades para cumplir mis propósitos.
Mis padres	Kit Ching Ng (q. e. p. d.) y Shiu Kwong Leung (q. e. p. d.), quienes con su amor, sabiduría, esfuerzo y sacrificio marcaron mi buen camino con su apoyo incondicional.
Mi esposa e hijos	Por ser mi motivo principal para seguir adelante en la vida.
Mis hermanas	Por su cariño incondicional y apoyo en todo momento.
Mis amigos y compañeros	Por la amistad, los momentos compartidos, buenos deseos y apoyo emocional.

AGRADECIMIENTOS A:

**Universidad de San
Carlos de Guatemala**

Casa de grandes profesionales quienes hacen de Guatemala un mejor país.

Facultad de Ingeniería

Fuente de sabiduría para hacer de este mundo un mejor lugar para vivir.

Maestros y catedráticos

Por su vocación y paciencia para transmitirnos sus conocimientos.

Tutores

Por inculcarnos los valores y principios fundamentales para la buena convivencia.

Profesionales

Ing. Marvin Merida e Ing. Carlos Barrios por su gran apoyo en este trabajo.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	3
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	13
3.1. Contexto general	13
3.2. Descripción del problema	13
3.3. Formulación del problema	15
3.3.1. Pregunta central	15
3.3.2. Preguntas auxiliares	15
4. JUSTIFICACIÓN	17
5. OBJETIVOS	21
5.1. General.....	21
5.2. Específicos	21
6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN.....	23
7. MARCO TEÓRICO.....	27
7.1. La importancia del agua	27
7.1.1. El agua potable.....	28
7.1.2. Usos domésticos del agua potable	28

7.1.3.	Impactos por falta de agua potable	29
7.2.	Situación del agua en Guatemala	30
7.2.1.	Balance hidrológico en Guatemala.....	30
7.2.2.	Disponibilidad hídrica en Guatemala.....	31
7.2.3.	El futuro del agua	32
7.3.	La lluvia.....	32
7.3.1.	El ciclo hidrológico.....	33
7.3.1.1.	Evaporación	34
7.3.1.2.	Condensación	35
7.3.1.3.	Precipitación.....	35
7.3.1.4.	Escorrentía superficial.....	35
7.3.1.5.	Infiltración	35
7.3.1.6.	Aguas freáticas.....	36
7.3.2.	Meteorología	36
7.3.2.1.	La precipitación pluvial	36
7.3.2.2.	Estación meteorológica de la zona.....	37
7.3.3.	La contaminación del agua.....	37
7.3.3.1.	Contaminación en el aire.....	37
7.3.3.2.	Contaminación en superficies de captación	38
7.3.3.3.	Degradación del agua en sistemas de almacenamiento	38
7.4.	Análisis del agua	38
7.4.1.	Propiedades del agua	39
7.4.2.	Características del agua.....	39
7.4.2.1.	Físicas.....	39
7.4.2.2.	Químicas	39
7.4.2.3.	Microbiológicas.....	39
7.4.3.	Determinación de parámetros	40

	7.4.3.1.	Toma, conservación y transporte de muestra.....	40
	7.4.3.2.	Análisis de laboratorio	40
	7.4.3.3.	Informe de resultados	41
7.5.		Instituciones de normalización e información.....	41
	7.5.1.	Instituto nacional de sismología, vulcanología, meteorología e hidrología	42
	7.5.2.	Instituto nacional de estadística.....	43
	7.5.3.	Comisión Guatemalteca de Normas	43
	7.5.4.	Empresa Municipal de Agua	43
	7.5.5.	American Public Health Association	44
7.6.		Normativa nacional del agua potable	44
	7.6.1.	COGUANOR NTG 29001	44
	7.6.2.	Parámetros del agua potable.....	45
	7.6.3.	Límite máximo aceptable (LMA).....	45
	7.6.4.	Límite máximo permisible (LMP)	45
7.7.		Tratamientos del agua potable	45
	7.7.1.	Depuración	46
	7.7.2.	Coagulación – floculación	46
	7.7.3.	Decantación (sedimentación)	46
	7.7.4.	Filtración	47
	7.7.5.	Desinfección	47
7.8.		El cultivo pluvial	48
	7.8.1.	Captación.....	49
	7.8.2.	Recolección	49
	7.8.3.	Canalización	49
	7.8.4.	Almacenamiento	49
8.		HIPÓTESIS	51

9.	PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS	53
10.	METODOLOGÍA	57
10.1.	Tipo de estudio.....	57
10.2.	Variables	57
10.3.	Fases y etapas de estudio	58
11.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	79
12.	CRONOGRAMA	83
13.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO	85
	REFERENCIAS	87
	DOCUMENTOS DEL ASESOR.....	93
	APÉNDICE	101

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

Figura 1.	Usos domésticos del agua potable	29
Figura 2.	Balance hidrológico de Guatemala (2015).....	31
Figura 3.	El ciclo del agua.....	34
Figura 4.	Proceso de tratamiento de agua potable	48
Figura 5.	Modelo de cosecha y conservación de agua pluvial.....	50
Figura 6.	Proceso de obtención de agua de lluvia	60
Figura 7.	Modelo tradicional para cosecha de lluvia	61
Figura 8.	Proceso para obtención de muestra	62
Figura 9.	Especificaciones para manipulación de muestras	64
Figura 10.	Ejemplo de informe de laboratorio	66
Figura 11.	Precipitación pluvial mensual.....	69
Figura 12.	Ejemplo de curvas intensidad-duración-frecuencia (IDF)	70
Figura 13.	Curvas de balance de agua pluvial.....	75
Figura 14.	Proceso de tratamiento de agua potable	76
Figura 15.	Datos personales del asesor	93
Figura 16.	Título universitario de maestría del asesor	99

TABLAS

Tabla 1.	Listado de variables en la investigación	58
Tabla 2.	Tabla comparativa de resultados de laboratorio.....	67
Tabla 3.	Tabla de resultados de laboratorio	68
Tabla 4.	Precipitación pluvial últimos 5 años.....	71
Tabla 5.	Ejemplo de tabulación de variables	74
Tabla 6.	Cronograma de actividades para la investigación	83
Tabla 7.	Costos financieros para elaboración de investigación.....	85

1. INTRODUCCIÓN

En las granjas residenciales del área de Santiago Sacatepéquez sólo se cuenta con un único servicio de agua potable disponible por parte de una empresa privada, la cual provee el servicio de 4 horas al día con el caudal limitado por la baja presión del sistema, donde también el costo de conexión al sistema y cuota mensual es sobrevalorado en relación con los precios de mercado del área. La red municipal de agua potable no llega a cubrir esta área. Cuando no se cuenta con el servicio que cubra las necesidades, los habitantes quedan limitados a dicho servicio, lo cual tiene un impacto directo e indirecto en su salud.

Este trabajo realizará las investigaciones sobre captación y tratamiento del agua pluvial de la zona para uso de este recurso como agua potable, y propondrá las soluciones y los métodos óptimos para su aplicación, a fin de cubrir la demanda en calidad y cantidad.

Los principales aportes de este trabajo de investigación serán dar a conocer la caracterización del agua de lluvia y el potencial pluvial en el área de Santiago Sacatepéquez, como también los métodos de tratamiento correspondientes para llevar dicha agua a los parámetros normalizados para consumo humano y el dimensionamiento de los sistemas de captación pluvial requeridos para cubrir la demanda, con el objetivo de obtener y garantizar agua potable confiable para el consumo humano, con lo que se reduce el riesgo de contracción de enfermedades a corto y largo plazo, ayudando a que las personas dependan menos de los sistemas actuales poco accesibles, lo cual aportará salud y bienestar para los habitantes del área.

Se procederá a fabricar un sistema básico de captación a fin de obtener una muestra representativa, la cual se llevará a un laboratorio analítico para su caracterización. De los resultados se diseñará la propuesta de sistema de tratamiento. En cuanto al dimensionamiento del sistema de captación y almacenamiento, se investigará y analizarán los datos de los registros de precipitación pluvial del área, en combinación de la estimación de demanda de consumo de agua potable para un núcleo familiar, a fin de combinar la información y determinar el tamaño mínimo del sistema de captación pluvial y depósito de reserva y almacenamiento.

Se iniciará el trabajo haciendo una revisión de antecedentes, para luego hacer un repaso teórico sobre los conceptos básicos afines al tema en el capítulo 1 a través del marco teórico, seguimos con la metodología de la investigación con el capítulo 2 para la obtención y recolección de información y datos, y finalizar con el capítulo 3 para la presentación, análisis y discusión de resultados.

Al finalizar con la presente investigación, se presentarán las conclusiones y recomendaciones correspondientes del caso.

2. ANTECEDENTES

Fandiño y Ospina (2020) presentan su trabajo *Sistema de tratamiento de agua de lluvia para consumo humano en una institución educativa rural de Girardot Cundinamarca*, sobre captación, análisis y tratamiento de aguas pluviales, indicando que este es para Cundinamarca, municipio de Colombia.

Inician el planteamiento del problema dando a conocer lo crítico de las áreas rurales de Colombia, donde pocos tienen acceso a servicios de agua potable. El estudio se realiza en un periodo de 6 meses, donde se toman muestras del agua pluvial captada para luego ser caracterizada, de manera que se pueda diseñar un sistema de tratamiento para llevar el agua captada a la calidad requerida para consumo humano. En el trabajo presentado, se exponen las distintas formas de tratamiento de acuerdo con la caracterización del agua captada.

El agua de lluvia se captura aprovechando los tejados de las edificaciones existentes. Para el dimensionamiento y cuantificación del sistema de captación, se realizan cálculos utilizando las curvas IDF del área específica.

Para realizar la práctica, seleccionan a una de las escuelas rurales del área, la cual no contaba con servicio de agua potable.

Se toman las primeras muestras, las cuales son enviadas y analizadas en el laboratorio. Los resultados muestran color, turbiedad, coliformes y E. Coli fuera de parámetros aceptables, por lo que se confirma que no es apta para consumo humano.

Los tratamientos sugeridos para bajar el nivel de riesgo al consumirla son: filtración, coagulación, oxidación, microfiltración, ósmosis inversa, entre otros.

Zermeño (2017) presenta los estudios de calidad del agua en la ciudad de México en su tesis titulada *Sistema doméstico de captación de agua de lluvia para consumo humano: alternativa de suministro de agua potable en el Valle de México (UNAM)*, y sugiere las técnicas para el cultivo pluvial. Todo análisis fue realizado en base a recopilación de información de otras fuentes.

El trabajo inicia dando una descripción de la situación sobre el agua potable de dicha ciudad, siguen los objetivos, donde se pretende conocer los parámetros del agua, el déficit de agua potable, las fuentes de abastecimiento, la precipitación pluvial anual, su calidad, la definición de un sistema doméstico de captación, como también sus componentes, los indicadores de desempeño, y para finalizar las recomendaciones para diseñar un sistema para captar la lluvia.

Se continua con la descripción de los fundamentos teóricos del ciclo del agua, para continuar con el balance hidrológico de la ciudad de México. Sigue el trabajo exponiendo cifras en cuanto a cantidad y calidad del agua pluvial, en este apartado se muestran las curvas de comportamiento de la precipitación pluvial en los meses y años.

Después de todos los fundamentos teóricos presentados, se analiza la topología básica de un sistema de captación, filtrado y almacenamiento, presentando los distintos métodos de filtrado y desinfección. La lluvia en su precipitación previo a hacer contacto con superficie alguna se contamina de: pH, amonio, cloruro y nitrato, esto por la contaminación de la ciudad (Zermeño, 2017).

Gonzaga (2015) En su trabajo de tesis *Diseño de un sistema de captación de agua de lluvia para uso doméstico en la isla de Jambelí, cantón Santa Rosa, provincia de el oro*, indica los diferentes problemas de agua potable de la isla Jambelí en Ecuador, y presenta las opciones como solución. También se cuantifica la cantidad captada y se realizan los presupuestos de costo de implementación.

El autor inicia su trabajo presentando la situación del agua alrededor del mundo, como también en su país Ecuador, se tocan temas sobre los objetivos de desarrollo del milenio donde se exponen las enfermedades a causa de la falta del vital líquido. Expone también el panorama del agua en el área del estudio.

Los objetivos de su trabajo, pretende de forma general presentar un diseño para captura pluvial. “En forma específica pretende analizar el problema de escases de agua por la falta de sistemas de abastecimientos, investigar las distintas alternativas para la obtención y proponer las alternativas de acuerdo con los niveles socioeconómicos de los habitantes” (c, p. 5).

“En el estudio de prefactibilidad se analizan todos los factores a considerar, siendo estas: técnico, social, económico y ambiental” (Gonzaga, 2015, p. 5).

“Se presentan los aspectos relevantes para diseñar un sistema de recolección y almacenamiento del agua de lluvia. Se hace una descripción de los materiales a utilizar para su construcción” (Gonzaga, 2015, p. 6).

El trabajo concluye que el sistema diseñado y utilizado de referencia tiene la capacidad de captar anualmente 35 metros cúbicos, el cual no cubre la

demanda del caso, por lo que se utiliza este como un sistema complementario al sistema actual de agua potable.

Sámano (2017) presenta su tesina *Diseño de un sistema de captación de agua de lluvia en la academia mexicana de ciencias* de la UNAM, donde propone el diseño de un sistema que proporcione la cantidad de agua que cubra la demanda requerida.

En la introducción se menciona como la crisis hídrica y la desigualdad social impactaran fuertemente en Latinoamérica, lo cual es preocupante para esta región. Se reconoce el agua potable como una necesidad básica para el saneamiento y consumo de forma personal y doméstica.

“La problemática principal de este trabajo se debe a que esta instalación no cuenta con un servicio de agua potable, por lo que tienen que hacer la compra de agua que es llevada mediante pipas” (Sámano, 2017, p. 5). Esta se utiliza para limpieza, preparación de alimentos, uso en sanitarios, riego, entre otros. El consumo semanal promedio es 16 mil litros, lo que representa un costo anual de 55 mil pesos.

El agua colectada por los techos de las instalaciones no es aprovechada ya que se duda de su calidad, por lo que solamente es almacenada para uso en riego de jardín.

En el marco teórico, “se hace un estudio poblacional de las zonas de la ciudad, se analiza su potencial hídrico como también un estudio teórico sobre los sistemas de captación, purificación y almacenamiento de agua de lluvia” (Sámano, 2017, p. 3), pasando por un poco de historia donde notamos que estos han sido usados tradicionalmente.

Para la metodología, se utilizaron datos ya existentes de mediciones previas de consumo y captación, estos datos fueron analizados para deducir, y los resultados fueron: “la oferta de agua de un año promedio es ligeramente mayor que la demanda de agua que se tiene en un periodo anual normal de actividades” (Sámano, 2017, p. 49). Y no se puede aprovechar la oferta del agua de lluvia de forma anual, ya que el tamaño del depósito de almacenamiento para la temporada seca no cumple con el dimensionamiento adecuado, por lo que solo puede aprovecharse el 50 % de ella.

García (2016) en su tesis titulada *Implementación de un sistema de recolección de agua pluvial para el abastecimiento de la iglesia comunal en el caserío cumbre de San Agustín, Morales, Izabal* presenta la solución para implementar un sistema que recolecte la lluvia para una iglesia en Izabal, ya que como lo indica en su trabajo, el tema de la falta de agua en dicha aldea es crítica debido a su difícil acceso y falta de energía eléctrica. Las alternativas de pozos o río no son viables debido a su nivel de contaminación. La propuesta consiste en la captación, filtrado y almacenamiento del agua pluvial.

Del agua captada, se realizarán análisis fisicoquímicos, para ser comparados con los parámetros según COGUANOR y validar los usos que puedan darse.

“Para el diseño del sistema, se utilizaron los datos de la precipitación mensual registrados por el INSIVUMEH de los años 2011 al 2015” (García, 2016, p. 46). Concluye que el sistema implementado es capaz de generar la demanda de agua cumpliendo con los estándares de calidad para agua potable, el cual es mejor que el agua de río que previamente utilizaban.

González (2017) en su tesis titulada *Factibilidad de cosecha de agua de lluvia en escuela jardín de amor, Santa María de Jesús, Sacatepéquez*, realizó un estudio de factibilidad para elaborar una propuesta para cosecha de lluvia para una escuela de Santa María de Jesús, Sacatepéquez, con el fin de cubrir necesidades básicas y riego del huerto escolar.

Previo a realizar los estudios, González realizó una revisión y análisis de la documentación profesional de estudios previos sobre requerimientos similares, para luego realizar dos estudios de campo sobre las opciones posibles, siendo estas posteriormente analizadas para finalizar con la propuesta con recomendación para implementación, uso y mantenimiento.

La captación propuesta es en los techos de las edificaciones, para luego conducir a través de canaletas y tubos PVC hacia un depósito de almacenamiento, y luego pasar por un proceso de filtrado, para finalmente llevarlo a su depósito de almacenamiento final previo a su uso.

Se captó una muestra a la cual se le realizaron análisis físicos y químicos de laboratorio para verificar su calidad, concluyendo que el sistema es compatible y económicamente factible, pero la calidad obtenida sólo era aplicable para riego agrícola.

Ortiz y Velandia (2017) en su trabajo de tesis *Propuesta para la captación y uso de agua lluvia en las instalaciones de la Universidad Católica de Colombia a partir de un modelo físico de recolección de agua*, propone solución para el abastecimiento de la demanda de las instalaciones.

Citan los autores en la introducción del trabajo, que la cosecha de lluvia cobrará relevancia a futuro, por su tendencia a falta de abastecimiento debido al crecimiento poblacional y la limitación de fuentes hídricas sanas.

De acuerdo con Ortiz y Velandia (2017) el objetivo general del trabajo es “analizar a partir de la construcción de un modelo físico el agua de lluvia captada en el edificio R sede el Claustro de la universidad católica de Colombia para la recolección y distribución de agua lluvia” (p. 19). Y de forma específica el método para construir el modelo físico, analizar la calidad del agua y verificar el sistema hidráulico de abastecimiento.

Para esto se ha normalizado el consumo promedio diario por persona a 50 litros durante su estadía en las instalaciones. Se estima una población promedio de 750 estudiantes por lo cual la demanda estimada es de 37.5 mil litros de agua de forma diaria (Ortiz y Velandia, 2017).

La metodología de esta investigación se basa en la medición diaria de la captación pluvial durante un periodo de 30 días entre agosto y septiembre, siendo estos los días más lluviosos de la época.

Se tomaron muestras en el agua cruda, como también después de los filtros para realizar los análisis de laboratorios para su caracterización física. Se puede observar en los resultados que el proceso de filtrado mejora las características físicas, sin embargo, ambas son levemente ácidas.

Ortiz y Velandia (2017) concluyen que “el agua de lluvia captada puede ser utilizadas en algunas actividades como lo son las descargas de los inodoros y servicios generales como lo son el aseo de las instalaciones, excepto el uso como consumo humano” (p. 57).

La captación en el periodo analizado no cumple la demanda estimada, únicamente compensa el 15.8 % del consumo.

Cruz y Escobedo (2017) proponen *Sistema de captación y filtrado de agua pluvial para uso doméstico en la ciudad de México, donde muestran los estudios de factibilidad económica para la captación y filtrado de agua pluvial en la ciudad de México*, donde se desarrolla un sistema de captación y filtración de agua pluvial que permita su aprovechamiento en actividades domésticas, reduciendo los escapes en un sector de la población en la ciudad de México.

Los objetivos del trabajo fueron: determinar las demandas insatisfechas, analizar y establecer las tecnologías de captación y filtrado, evaluar la factibilidad económica y establecer si los sistemas propuestos pueden consolidarse como soluciones eficaces que solucionen los problemas de escapes. La población objetivo son los hogares comunes en la ciudad de México.

La metodología utilizada en el trabajo de investigación es de modo descriptivo, pasando por los efectos de la escasez, analizando las distintas zonas de la ciudad para determinar cuáles son las afectadas y de mayor impacto.

El trabajo incluye encuestas y análisis de datos, donde Ortiz y Velandia (2017) concluyen “en el estudio visualizamos la aceptación de nuestro producto en el mercado, entendiendo las carencias actuales en el manejo del recurso observamos que la mayoría de la gente no cuenta con un sistema de este tipo y buscaría aprovecharlo de la manera propuesta” (p. 48).

González (2005) presenta en su trabajo *Protección de captaciones de agua para consumo humano ante desastres y emergencias; consideraciones técnicas obtenidas en el municipio de Gualán, departamento de Zacapa*, una

propuesta para proteger y garantizar las fuentes hídricas en caso de desastres naturales.

“Se pretende detectar los fenómenos naturales a los que exponen las fuentes, determinar los sitios alternativos en caso de ser afectado, y también plantear las soluciones para la protección a las fuentes hídricas” (González, 2005, p. 15).

El autor propone el diseño de un muro de contención hecho con concreto ciclópeo para evitar la caída de rocas a la misma por inundación o huracán; las cuales destruirían la presa, el canal de captación y el canal de alivio (González, 2005).

Gonzales (2005) “concluye que las soluciones para la protección de las fuentes de agua ante desastres y emergencias son sellos sanitarios, brocales, filtros de grava y arena; protecciones físicas, tales como rejillas, muros de contención, muros perimetrales, cunetas, contracunetas y compuertas” (p. 111).

Aguilar (2018) autor del tema *Evaluación de la calidad del agua de lluvia captada a través de un módulo sanitario familiar de rápida instalación* y se revisan los resultados con la normativa nacional, los cuales confirman el cumplimiento de las normas a excepción del color y manganeso, pero esto debido a la falta de seguimiento del manual de operación y mantenimiento, donde la limpieza del sistema de captación es clave, debido a la contaminación de las hojas y tierra acumulados.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

3.1. Contexto general

El agua potable es una necesidad básica para la sobrevivencia del ser humano para su consumo y saneamiento. La falta de este servicio representa un riesgo a la salud de los habitantes.

Con la necesidad del vital líquido y la falta de alternativas disponibles y económicamente viables, existe la necesidad de explorar nuevas alternativas para la obtención de agua que cumplan con la calidad mínima requerida para el consumo y uso de los habitantes.

3.2. Descripción del problema

En las granjas residenciales en el área de Santiago Sacatepéquez sólo se cuenta con un único servicio de agua potable disponible por parte de una empresa privada, la cual provee el servicio diariamente en un horario de 8:00 a 12:00 horas con el caudal limitado por la baja presión del sistema, donde también el costo de conexión al sistema y cuota mensual es muy alto comparado con los precios de mercado del área. La red municipal de agua potable no llega a cubrir esta área.

Se observa que la precipitación pluvial es un recurso natural hídrico disponible aún no aprovechado para cubrir tal necesidad. Considerando que la precipitación pluvial del área alcanza hasta 173 mm / mes (weatherspark.com), se muestra el agua de lluvia como una opción con potencial aprovechable.

En ninguna de las instalaciones observadas, se dispone de infraestructura de captación pluvial, ni sistemas de tratamiento. En los casos observados, el agua pluvial captada por los techos de las residencias es enviada a los drenajes pluviales o al suelo mismo.

Se conoce que durante el ciclo natural del agua, esta es evaporada por la energía solar que recibe, por lo que de alguna manera se considera pura, pero en su camino de precipitación y captación, se contamina de metales, polvo, micropartículas, hojas, heces de aves, polen, cenizas, entre otros. por lo que su calidad para consumo directo es cuestionable. Es muy probable que la captación de agua de lluvia no se haya considerado debido a la falta de conocimiento sobre su calidad y tratamiento para su uso y consumo.

Cuando no se cuenta con el servicio que cubra total o parcialmente las necesidades, los habitantes quedan limitados a dicho servicio, lo cual tiene un impacto en su salud. No disponer de agua para el aseo personal trae consigo el riesgo de contracción de enfermedades gástricas, pulmonares o infecciosas de la piel. No contar con agua para la limpieza de ambientes genera ambientes insalubres por polvo y condiciones para la reproducción de bacterias, hongos y suciedad que atraen seres vivos transmisores de enfermedades.

La falta de agua potable para la preparación de alimentos y limpieza de utensilios de cocina y servicio conlleva a la necesidad de cubrir la alimentación a través de la adquisición de comida preparada y uso de plásticos desechables, lo cual contribuye a la generación de desechos sólidos que terminan finalmente en los vertederos municipales.

3.3. Formulación del problema

En base al planteamiento del problema descrito, se presentan las siguientes preguntas de investigación:

3.3.1. Pregunta central

¿Cuál es el sistema adecuado de captación y tratamiento de agua pluvial para consumo potable para un núcleo familiar promedio en una granja residencial en Santiago Sacatepéquez?

3.3.2. Preguntas auxiliares

- ¿Cuáles son las características del agua pluvial obtenida por un sistema de captación abierto en el área de Santiago Sacatepéquez?
- ¿Cuánta precipitación pluvial se tiene en los distintos meses del año en el área de Santiago Sacatepéquez?
- ¿Qué dimensionamiento debe tener un sistema de captación pluvial para cubrir la demanda mensual para un núcleo familiar promedio en el área de Santiago Sacatepéquez?
- ¿Qué procesos de tratamiento deben de utilizarse para llevar el agua pluvial obtenida por un sistema de captación pluvial abierto en el área de Santiago Sacatepéquez, a los parámetros de consumo potable de acuerdo con la normativa COGUANOR?

4. JUSTIFICACIÓN

La realización de la presente investigación se justifica en el área ambiental en la línea de investigación: gestión y tratamiento de agua, en la sub línea: captación y tratamientos del agua para consumo, de la maestría en energía y ambiente.

Los principales aportes de este trabajo de investigación serán dar a conocer: la caracterización del agua de lluvia captada en el área de Santiago Sacatepéquez, el potencial pluvial del área de Santiago Sacatepéquez, los métodos de tratamiento correspondientes para llevar dicha agua a los parámetros normalizados en Guatemala para consumo humano y el dimensionamiento de los sistemas de captación pluvial requeridos para cubrir la demanda de un grupo familiar modelo.

De este trabajo se obtendrá como producto la información sobre las características del agua de lluvia captada, con lo cual se diseñará la propuesta técnica y económicamente viable y óptima para su tratamiento, y llevarla a sus parámetros mínimos de acuerdo con la normativa nacional para consumo humano, con el objetivo de obtener y garantizar agua potable confiable para el consumo humano, con lo que se reduce el riesgo de contracción de enfermedades a corto y largo plazo, aportando y garantizando la salud humana de los habitantes.

Producto de la investigación obtendremos la información sobre el potencial hídrico pluvial del área de Santiago Sacatepéquez en las distintas épocas del año, información fundamental para el dimensionamiento óptimo de un sistema de

captación y almacenamiento, con esto garantizar la cantidad suficiente para cubrir la demanda del consumo requerido, minimizando el riesgo de desabastecimiento, el cual limita el uso a modo parcial, siendo la actividad de la limpieza el más afectado. La limpieza de los ambientes es necesario para mantener la salubridad y calidad de vida de los habitantes, eliminando malos olores y ambientes no salubres.

Conoceremos los métodos prácticos para captación, conducción y almacenamiento del agua cruda y potable tratada, con lo cual podremos hacer uso eficiente de infraestructuras existentes, diseñar los programas óptimos para su conservación y mantenimiento, cuidados para evitar la degradación y contaminación del producto, y con esto mantener el sistema funcional y confiable, siguiendo los objetivos de su diseño.

Este trabajo tiene como finalidad facilitar la información y orientar a aquellas personas que residen en granjas, parcelas, fincas, entre otros. áreas rurales en general, sin acceso a las redes de agua potable públicas o privadas, presentándoles una alternativa viable y económica a partir del recurso natural hídrico de la precipitación pluvial para obtener bajo técnicas óptimas de captación y tratamientos, el agua potable con la calidad de acuerdo con la normativa nacional para su consumo confiable y en la cantidad que satisfaga la demanda, siendo esta una necesidad básica del ser humano para su sobrevivencia y saneamiento, lo cual tiene un impacto positivo en su bienestar, calidad de vida y economía.

También es una alternativa para las áreas urbanas, cuando los servicios municipales no llegan a cubrir la demanda por el crecimiento demográfico, o las actuales fuentes hídricas tengan deficiencias en su calidad por contaminación o limitaciones en cantidad para cubrir la demanda.

Con el desarrollo de este trabajo de investigación, se pretende formar a la comunidad de la región para que puedan crear sus propias fuentes de agua potable a partir del recurso natural, evitando la necesidad de alternativas ineficientes, de alto costo, contaminadas o de mala calidad.

5. OBJETIVOS

5.1. General

Proponer un sistema de captación y tratamiento de agua pluvial para consumo potable de un núcleo familiar promedio en una granja residencial en Santiago Sacatepéquez.

5.2. Específicos

1. Obtener las características del agua pluvial obtenida por un sistema de captación abierto en el área de Santiago Sacatepéquez.
2. Estimar la precipitación pluvial que se tiene en los distintos meses del año en base a los registros meteorológicos del área.
3. Calcular el área mínima del sistema de captación pluvial para cubrir la demanda mensual de un núcleo familiar promedio en el área de Santiago Sacatepéquez.
4. Definir los procesos de tratamiento que deben de utilizarse para llevar el agua pluvial obtenida por un sistema de captación pluvial abierto en el área de Santiago Sacatepéquez, a los parámetros de consumo potable de acuerdo con la normativa COGUANOR.

6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN

En las granjas residenciales en el área de Santiago Sacatepéquez sólo se cuenta con un único servicio de agua potable disponible por parte de una empresa privada, la cual provee el servicio diariamente en un horario de 8:00 a 12:00 horas con el caudal limitado por la baja presión del sistema, donde también el costo de conexión al sistema y cuota mensual es muy alto comparado con los precios de mercado del área. La red municipal de agua potable no llega a cubrir esta área.

Con la necesidad del vital líquido y la falta de alternativas disponibles y económicamente viables, existe la necesidad de explorar nuevas alternativas para la obtención de agua que cumplan con la calidad y cantidad requerida para el consumo y uso de los habitantes.

Este trabajo realizará las investigaciones sobre captación y tratamiento del agua pluvial de la zona para uso de este recurso como agua potable, y propondrá las soluciones y los métodos óptimos para su aplicación, a fin de cubrir la demanda en calidad y cantidad.

Los principales aportes de este trabajo de investigación serán dar a conocer: la caracterización del agua de lluvia captada en el área de Santiago Sacatepéquez, el potencial pluvial del área de Santiago Sacatepéquez, los métodos de tratamiento correspondientes para llevar dicha agua a los parámetros normalizados en Guatemala para consumo humano y el dimensionamiento de los sistemas de captación pluvial requeridos para cubrir la demanda de un grupo familiar modelo.

De este trabajo se obtendrá como producto la información sobre las características del agua de lluvia captada, con lo cual se diseñará la propuesta técnica y económicamente viable y óptima para su tratamiento, y llevarla a sus parámetros mínimos de acuerdo con la normativa nacional para consumo humano, con el objetivo de obtener y garantizar agua potable confiable para el consumo humano, con lo que se reduce el riesgo de contracción de enfermedades a corto y largo plazo, aportando y garantizando la salud humana de los habitantes.

Producto de la investigación obtendremos la información sobre el potencial hídrico pluvial del área de Santiago Sacatepéquez en las distintas épocas del año, información fundamental para el dimensionamiento óptimo de un sistema de captación y almacenamiento, con esto garantizar la cantidad suficiente para cubrir la demanda del consumo requerido, minimizando el riesgo de desabastecimiento, el cual limita el uso a modo parcial, siendo la actividad de la limpieza el más afectado. La limpieza de los ambientes es necesario para mantener la salubridad y calidad de vida de los habitantes, eliminando malos olores y ambientes no salubres.

Cuando no se cuenta con el servicio que cubra total o parcialmente las necesidades, los habitantes quedan limitados a dicho servicio, lo cual tiene un impacto en su salud. No disponer de agua para el aseo personal trae consigo el riesgo de contracción de enfermedades gástricas, pulmonares o infecciosas de la piel.

No contar con agua para la limpieza de ambientes genera ambientes insalubres por polvo y condiciones para la reproducción de bacterias, hongos y suciedad que atraen seres vivos transmisores de enfermedades.

La información como resultado de este trabajo de investigación ayudará a que las personas dependan menos de los sistemas actuales poco accesibles, lo cual aportará salud y bienestar para los habitantes del área.

7. MARCO TEÓRICO

7.1. La importancia del agua

“El agua es de los recursos más importantes para los seres vivos, ya que además de la necesidad de beberla para hidratarse, es reguladora de los ecosistemas terrestres, manteniendo el equilibrio necesario para la subsistencia animal y vegetal” (Fundación AQUAe, 2021, párr. 2).

Más de la mitad del porcentaje de nuestro cuerpo es agua. “Está presente en los tejidos corporales y en los órganos vitales. Es un elemento fundamental para procesos corporales, tanto que sin ella no podríamos sobrevivir más allá de tres o cuatro días” (Fundación AQUAe, 2021, párr. 3).

Es vital para el funcionamiento de básicos del cuerpo humano como la digestión, absorción alimenticia, eliminación de desechos del organismo, la circulación sanguínea, distribución de nutrientes, estabilización de la temperatura corporal, entre otras muchas funciones (Fundación AQUAe, 2021).

Las Naciones Unidas reconocen “el acceso al agua y al saneamiento como derechos humanos, lo que refleja el carácter fundamental de estas necesidades básicas en la vida de todas las personas” (Sanitation and Water for All [SWA], 2023, párr. 2).

7.1.1. El agua potable

De acuerdo con la Comisión Guatemalteca de Norma [COGUANOR] (2013), capítulo 4 de definiciones se describe al agua potable como: “aquella que por sus características organolépticas, físicas, químicas y bacteriológicas, no representa un riesgo para la salud del consumidor y cumple con lo establecido en la presente norma” (p. 4).

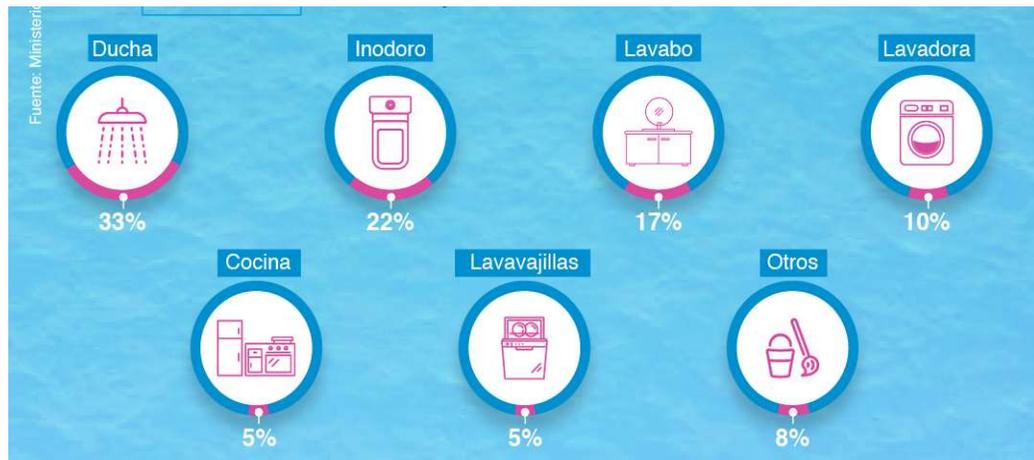
7.1.2. Usos domésticos del agua potable

Para nuestra sobrevivencia y salubridad, el agua potable tiene diversos usos domésticos en nuestro diario vivir, tanto para la preparación de alimentos, el aseo personal como también la limpieza del hogar.

Según el artículo de la fundación AQUAe en la ducha se estima en un tercio del consumo total (33 %); el inodoro de los sistemas sanitarios en 22 % y el uso de agua en el lavamanos en 17 %. Solo en el baño consumimos 72 % del agua doméstica, con lo que podemos notar la importancia que tiene el agua potable en la salud de nuestras familias.

Figura 1.

Usos domésticos del agua potable



Nota. Extracto de imagen sobre distribución del uso del agua en el hogar. Obtenido de AQUAe (s.f.). *¿Cómo se usa el agua en el hogar?* (<https://www.fundacionaquae.org/como-utilizamos-el-agua-en-nuestras-casas/>), consultado el 18 de septiembre de 2023. De dominio público.

7.1.3. Impactos por falta de agua potable

Cuando no se cuenta con agua potable que cubra total o parcialmente las necesidades, los habitantes quedan limitados a dicho servicio, lo cual tiene un impacto directo e indirecto en su salud.

No disponer de agua para el aseo personal trae consigo el riesgo de contracción de enfermedades gástricas, pulmonares o infecciosas de la piel. “No contar con agua para la limpieza de ambientes genera ambientes insalubres por polvo y condiciones para la reproducción de bacterias, hongos y suciedad que atraen seres vivos transmisores de enfermedades” (The United Nations International Children's Emergency Fund [UNICEF], s.f., párr. 3).

7.2. Situación del agua en Guatemala

Guatemala tiene un clima tropical con dos estaciones, siendo estas: la lluviosa que va de mayo a septiembre (5 meses), y la seca que va de octubre a abril (7 meses). La precipitación pluvial media por año se estima en 2,000 milímetros, en rangos de 700 mm a 5,000 mm, dependiendo de la zona del país.

De acuerdo con estudios realizados, la demanda de agua del país es del 22 % de la disponibilidad total, por lo que debería ser suficiente. Aun contando con la alta oferta hidrológica, muchas de las áreas rurales no cuentan con acceso al agua potable, esto debido a la mala gestión del recurso hídrico (Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente [IARNA-URL], 2015).

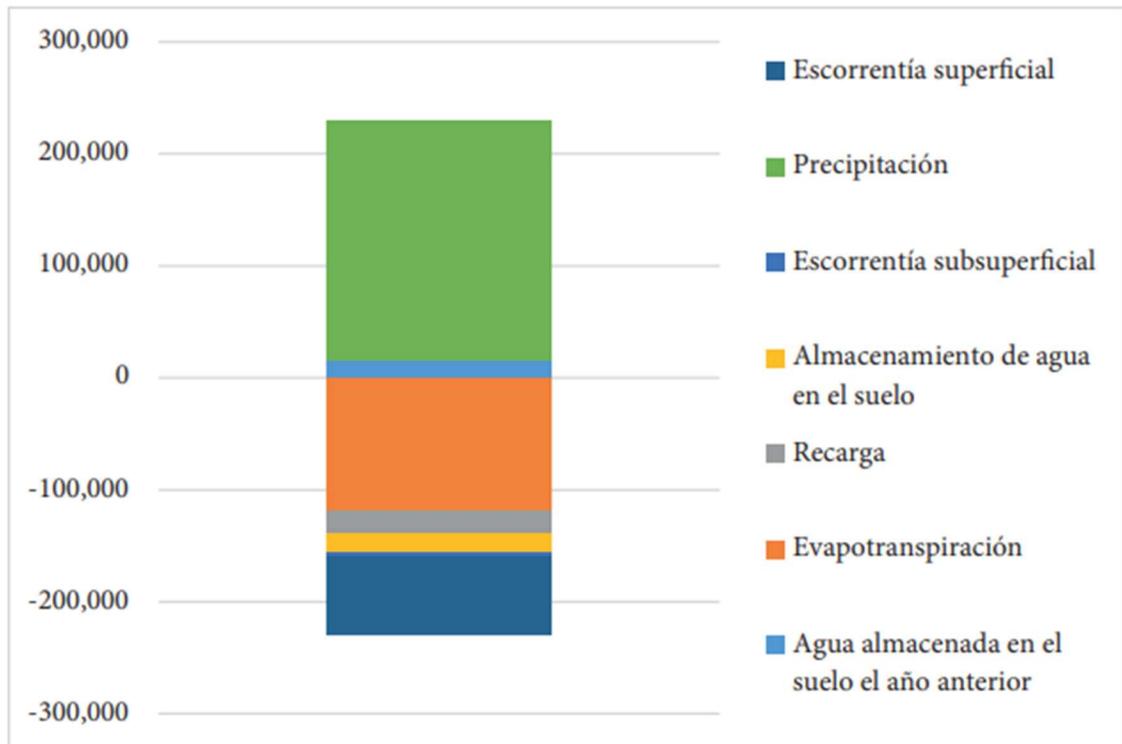
7.2.1. Balance hidrológico en Guatemala

“El balance hidrológico se define como: “una herramienta que permite describir el movimiento de los flujos de agua dentro del ciclo hidrológico en su expresión puramente biofísica” (IARNA-URL, 2015, p. 9).

De acuerdo con la publicación de IARNA-URL (2015), “se estimó en más de 213,000 millones de metros cúbicos de las precipitaciones en el territorio nacional por año” (p. 52).

Figura 2.

Balance hidrológico de Guatemala (2015)



Nota. Estimación del balance hidrológico de Guatemala a nivel nacional para el año 2015, números en millones de metros cúbicos. Obtenido de Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente (2015). *Balance hidrológico de las subcuencas de la República de Guatemala.* (p. 15).

7.2.2. Disponibilidad hídrica en Guatemala

“Disponibilidad hídrica se entiende como la cantidad de agua que el subsistema ambiental deja disponible anualmente, es decir después de que los procesos de evapotranspiración se hayan realizado” (IARNA-URL, 2015, p. 30).

“A nivel nacional se estimó una oferta o disponibilidad hídrica anual de 110,340 millones de metros cúbicos” (IARNA-URL, 2015, p. 52).

“El cálculo del balance hídrico a nivel nacional dio como resultado un excedente de 85,461 millones de m³ anuales, por lo que el consumo representa el 22 % de la disponibilidad total anual” (IARNA-URL, 2015, p. 53).

7.2.3. El futuro del agua

El futuro del agua es preocupante ya que esto depende de diversos factores, como el cambio climático, el crecimiento demográfico, el desarrollo económico, los cuales tienen tendencia al crecimiento.

Se estima que la demanda en el uso del agua aumente debido al crecimiento poblacional y la expansión de los sectores industriales y de agricultura, se estima que al año 2050 la demanda de agua aumente hasta un 55 %, siendo el sector de la industria que más impactará.

7.3. La lluvia

La Organización Meteorológica Mundial (s.f.) define a la lluvia como: “la precipitación de gotas de agua que caen de una nube” (párr. 1).

Según publicación de Cloudatlas de la WMO (s.f.), una nube es “un hidrometeoro consistente en diminutas partículas de agua líquida o hielo, o de ambos, suspendidas en la atmósfera que normalmente no tocan el suelo” (párr. 1).

7.3.1. El ciclo hidrológico

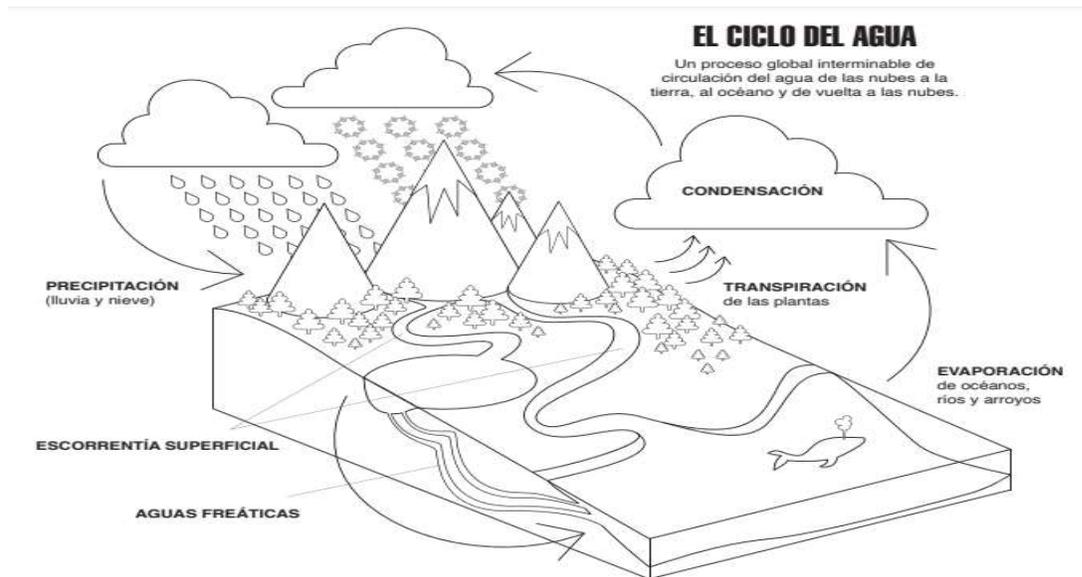
“El ciclo hidrológico, es un modelo conceptual que describe el movimiento y almacenamiento del agua entre la biosfera, atmósfera, litósfera, hidrósfera, lo que se denomina sistema climático” (Ordoñez, 2011, p. 7).

“El agua en la tierra puede ser almacenada en cualquiera de los siguientes reservorios: atmósfera, océanos, lagos, ríos, suelos, glaciares, campos de nieve, y las aguas subterráneas” (Ordoñez, 2011, p. 7).

La mayor parte del agua como evaporación es suministrada por los océanos, de ésta se devuelve el 91 % en modo de precipitación, y el 9 % restante a tierra. Un porcentaje del agua que cae a tierra retorna a los océanos por medio de la esorrentía (Ordoñez, 2011).

Se estima que el 97 % del agua del planeta se encuentra en los océanos, y el resto (3 %) es el agua dulce contenida en los glaciares, capas de hielo, las aguas subterráneas, lagos, suelos, atmósfera, y organismos vivientes (Ordoñez, 2011).

Figura 3.
El ciclo del agua



Nota. Representación del ciclo del agua. Obtenido de Administración Nacional de la Aeronáutica y el Espacio (2020). El ciclo del agua. (https://climate.nasa.gov/internal_resources/2275/), consultado el 18 de septiembre de 2023. De dominio público.

“El agua en nuestra atmósfera se mueve desde un depósito o reservorio a otro, a través de los diferentes procesos entre los cuales tenemos: evaporación, condensación, precipitación, sedimentación, escorrentía, infiltración, sublimación, transpiración, fusión, y flujo de agua subterránea” (Ordoñez, 2011, p. 7).

7.3.1.1. Evaporación

“El calor del Sol hace que el agua se evapore de los océanos, lagos y arroyos. La evaporación ocurre cuando el agua líquida en la superficie de la Tierra

se transforma en vapor de agua en nuestra atmósfera” (Administración Nacional de la Aeronáutica y el Espacio [NASA], 2020, p. 2).

7.3.1.2. Condensación

“El vapor de agua caliente se eleva a través de la atmósfera terrestre. A medida que el vapor de agua se eleva, el aire fresco de la atmósfera hace que se condense en agua líquida, creando nubes” (NASA, 2020, p. 2).

7.3.1.3. Precipitación

“Cuando una nube se llena de agua líquida, cae del cielo principalmente en forma de lluvia o nieve: esto se conoce como precipitación. La lluvia y la nieve llenan los lagos y arroyos, y el proceso se inicia de nuevo” (NASA, 2020, p. 2).

7.3.1.4. Escorrentía superficial

“La escorrentía superficial no es más que agua corriendo por la superficie de la tierra. La lluvia recorre la superficie de la tierra cuesta abajo debido a la gravedad” (NASA, 2020, p. 2).

7.3.1.5. Infiltración

Proceso físico en el cual los líquidos traspasan de la superficie del suelo hacia el subsuelo. Varios factores influyen en la tasa de infiltración, siendo estos: la condición de la superficie del suelo, la cubierta vegetal, las propiedades del suelo (la porosidad y la conductividad hidráulica), el contenido de humedad, la duración de la lluvia, entre otros (Sistema Intermunicipal de los Servicios de Agua Potable y Alcantarillado [SIAPA], 2014).

7.3.1.6. Aguas freáticas

“Parte del agua que se filtra al subsuelo como humedad del suelo o agua subterránea” (NASA, 2020, p. 2).

7.3.2. Meteorología

“El concepto de meteorología se asocia a las condiciones de la atmósfera en un tiempo y lugar específico, con relación a la temperatura, precipitaciones, y otros factores como pueden ser las nubes” (National Geographic [NATGEO], 2011, párr. 1)

“El compendio espacial de información climática puede ser muy valioso en la toma de decisiones para el aprovechamiento, conservación, protección y, en general, la gestión integrada de los recursos naturales” (Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología [INSIVUMEH], s.f., párr. 2).

7.3.2.1. La precipitación pluvial

La precipitación es cualquier forma de hidrometeoro que cae de la atmósfera y llega a la superficie terrestre.

La precipitación pluvial se mide en mm, que sería altura de una capa de agua que se formaría a causa de la lluvia en una superficie plana. Esta equivaldría a los litros de agua acumulados por cada metro cuadrado (l/m^2).

7.3.2.2. Estación meteorológica de la zona

El INSIVUMEH cuenta con una estación meteorológica en el área de Sacatepéquez, siendo esta:

- Nombre de la estación: La Suiza Contenta
- Cuenca: María Linda
- Municipio: San Lucas Sacatepéquez
- Departamento: Sacatepéquez
- Elevación: 2105 msnm
- Coordenadas: 14.61889 -90.6611.

7.3.3. La contaminación del agua

Durante el ciclo hidrológico, desde la precipitación hasta el punto de consumo, el agua que recolectamos para uso doméstico puede ser contaminada por los diferentes factores por el arrastre de contaminantes a su paso (Centros para el control y la prevención de enfermedades [CDC], 2022).

7.3.3.1. Contaminación en el aire

“Las lluvias capturan las partículas y gases de la atmósfera, los cuales pueden contener microorganismos y metales. En las grandes urbes, la industrialización y la alta densidad poblacional tienen efectos adversos en la química de las precipitaciones pluviales” (Frías, 2018, párr. 2).

La contaminación atmosférica causa la lluvia ácida, debido a los gases generados por la quema de combustibles, los cuales reaccionan con los

componentes del agua de la lluvia, transformándose en ácidos que se depositan sobre la superficie terrestre a través de las precipitaciones (IBERDROLA, 2023).

7.3.3.2. Contaminación en superficies de captación

“Por el material que lo conforman, los láminas, canaletas, tuberías y depósitos como materiales del sistema de captación y almacenamiento pueden introducir sustancias dañinas como asbestos, plomo y cobre en el agua” (CDC, 2022, párr. 3).

“De tal forma, como las superficies de captación tienen la capacidad de captar las precipitaciones pluviales, también estas pueden captar polvo, cenizas, hojas, heces, entre otros, los cuales son arrastrados hacia los depósitos durante las lluvias” (CDC, 2022, párr. 2).

7.3.3.3. Degradación del agua en sistemas de almacenamiento

“El agua estancada en un depósito tiende a tornarse de color verde debido al crecimiento de algas. Con las condiciones adecuadas, estos organismos fotosintéticos proliferan y producen cianotoxinas, las cuales afectan la salud de quienes consumen dicha agua” (CDC, 2022, párr. 2).

7.4. Análisis del agua

Los análisis de agua son necesarios para determinar sus características que servirán para su utilización adecuada a fin de validar el cumplimiento de parámetros para cada fin.

7.4.1. Propiedades del agua

Por sus propiedades, “el agua es el componente más importante de la vida, es inodora, incolora e insípida, su punto de congelación es 0 °C mientras que el de ebullición es a 100 °C a nivel del mar” (Fundación AQUAe, 2021, párr. 2).

7.4.2. Características del agua

Característica se define como la cualidad que da carácter o sirve para distinguir a alguien o algo de sus semejantes.

COGUANOR (2013) clasifica “las características del agua en 3 grupos: físicas, químicas y microbiológicas” (p. 5).

7.4.2.1. Físicas

“Son aquellas que se detectan sensorialmente o por medios analíticos de laboratorio” (COGUANOR, 2013, p. 5).

7.4.2.2. Químicas

“Son aquellas debidas a elementos o compuestos químicos orgánicos e inorgánicos” (COGUANOR, 2013, p. 5).

7.4.2.3. Microbiológicas

“Son aquellas que se originan por presencia de microorganismos que determinan su calidad” (COGUANOR, 2013, p. 5).

7.4.3. Determinación de parámetros

“La determinación de parámetros del agua se realiza en laboratorios analíticos donde se realizan los ensayos para medir los niveles de parámetros y poder garantizar que sus niveles son idóneos para el consumo humano” (Aconsa, 2021, párr. 1).

El monitoreo de la calidad del agua potable debe iniciar desde el origen, continuando en las estaciones de tratamiento y su paso hasta el consumidor.

7.4.3.1. Toma, conservación y transporte de muestra

La toma y el manejo de las muestras se basa en la normativa COGUANOR (2011) donde se establecen “los procedimientos de recolección, preservación, transporte y almacenamiento de muestras de agua, desde su fuente hasta su ingreso al laboratorio, para el análisis de los parámetros” (p. 5).

En esta misma se detallan los puntos para la toma de muestras, las especificaciones de los recipientes y volumen de muestra a utilizar, como también el tiempo y temperatura para la preservación de las muestras durante su transporte, y su respectiva documentación (COGUANOR, 2013).

7.4.3.2. Análisis de laboratorio

Para la determinación de parámetros del agua potable, la normativa NTG 29001 establece dos programas, el análisis mínimo y el complementario.

El programa de análisis mínimo está conformado por: “a. Análisis microbiológico: coliformes totales y *Escherichia coli*; b. Análisis fisicoquímico: color, turbiedad, potencial de hidrogeno (pH), conductividad, cloro residual libre, cloruros, dureza total, sulfatos, calcio, magnesio, nitratos, nitritos, hierro total y manganeso total” (COGUANOR, 2013, p. 5).

El programa de análisis complementario comprende la ampliación de los parámetros: “aluminio, cobre, arsénico, cadmio, cianuro, cromo total, mercurio total, plomo, selenio, cinc, sólidos totales disueltos y sustancias orgánicas” (COGUANOR, 2013, p. 5).

“Para la determinación de parámetros se aplicarán los métodos normalizados establecidos en Standard Methods for the Analysis of Water and Wastewater, de American Public Health Association” (COGUANOR, 2013, p. 4).

7.4.3.3. Informe de resultados

El informe de laboratorio es un documento que resume los resultados obtenidos en el análisis de las pruebas de laboratorio donde se detallan los parámetros de las características. En esta puede incluirse los niveles permisibles normados como patrones de referencia para la comparación.

7.5. Instituciones de normalización e información.

La normalización es el proceso de elaborar y mejorar las normas que se aplican a distintas actividades científicas, industriales o económicas con el fin de ordenarlas y mejorarlas.

Una norma técnica es un documento que establece por consenso y con la aprobación de un organismo reconocido, las condiciones mínimas que debe reunir un bien.

Existen diferentes entidades de normalización quienes tienen la función de la elaboración de normas técnicas aplicables a una región.

7.5.1. Instituto nacional de sismología, vulcanología, meteorología e hidrología

El INSIVUMEH fue creado en 1976 a través de acuerdo gubernativo a raíz del terremoto.

Actualmente se cuenta con una institución técnico-científica altamente calificada que contribuye a la optimización de actividades del sector productivo de la República de Guatemala asociadas a las ciencias atmosféricas, geofísicas e hidrológicas.

También “planifica, diseña y ejecuta estudios y monitoreo sistematizado con la tecnología adecuada, enriqueciendo las bases de datos y sistemas de información geográfica referente del país” (INSIVUMEH, s.f., párr. 4).

“Presta el servicio de vigilancia sistemática permanente de la actividad volcánica y sísmica, manteniendo datos hidrometeorológicos, mantenimiento, reactivación y ampliación de las actividades operacionales e institucionales en cuanto a la rehabilitación y reconstrucción de estaciones de carácter climático” (INSIVUMEH, s.f., párr. 5).

7.5.2. Instituto nacional de estadística

El Instituto Nacional de Estadística es “un organismo descentralizado del estado, semiautónomo, con personalidad jurídica, patrimonio propio y plena capacidad para adquirir derechos y contraer obligaciones, cuyo principal fin es ejecutar la política estadística nacional” (INE, 1985, párr. 1).

“Tiene dentro de sus principales funciones: recolectar, elaborar y publicar estadísticas oficiales, impulsar el sistema estadístico nacional, coordinar con otras entidades la realización de investigaciones, encuestas generales y especiales, promover la capacitación y asistencia técnica en materia estadística” (INE, 1985, párr. 2).

7.5.3. Comisión Guatemalteca de Normas

Creada en 1962, COGUANOR es el organismo nacional de normalización de Guatemala, entidad adscrita al Ministerio de Economía, su principal misión es proporcionar soporte técnico a los sectores público y privado por medio de la actividad de normalización.

7.5.4. Empresa Municipal de Agua

La Empresa Municipal de Agua (EMPAGUA) es una institución de producción de agua potable, encargada de proveer los servicios de agua potable y alcantarillado para los vecinos de la Ciudad de Guatemala.

Planifica, diseña, ejecuta y supervisa las obras de construcción, mejoramiento, ampliación, reconstrucción y mantenimiento del servicio de agua

potable y saneamiento, supliendo la demanda y necesidades de una forma eficiente, participativa y consensuada.

7.5.5. American Public Health Association

La asociación americana de salud pública (APHA por sus siglas en inglés) fue fundada en 1872, y busca proteger a los estadounidenses de amenazas a la salud prevenibles, y asegurar que la promoción de salud a nivel de la comunidad y las actividades de prevención sean accesibles. Es miembro de la OPS y la OMS.

7.6. Normativa nacional del agua potable

“La finalidad principal de las guías para la calidad del agua potable y el saneamiento es la protección de la salud pública” (Argueta, s.f., p. 3).

Para Guatemala, se aplica la normativa nacional por parte de la comisión guatemalteca de normas, con la Norma Técnica Guatemalteca 29001.

7.6.1. COGUANOR NTG 29001

La normativa se titula “agua para consumo humano (agua potable). Especificaciones, y establece los valores de las características que definen la calidad del agua apta para consumo humano” (COGUANOR, 2013, p. 4).

“Esta norma se aplica a toda agua para consumo humano, preparación de alimentos y uso doméstico. Proveniente de fuentes como: pozos, nacimientos, ríos, entre otras y que puede estar ubicada en una red de distribución, en reservorios o depósitos” (COGUANOR, 2013, p. 4).

7.6.2. Parámetros del agua potable

Parámetro se define como dato o factor que se toma como necesario para analizar o valorar una situación, por lo que los parámetros del agua potable podemos definirlo como los niveles de las características que puedan medir su calidad.

7.6.3. Límite máximo aceptable (LMA)

“Es el valor de la concentración de cualquier característica del agua, arriba de la cual estas características son percibidas por los consumidores desde el punto de vista sensorial, pero sin que implique un daño a la salud del consumidor” (COGUANOR, 2013, p. 5).

7.6.4. Límite máximo permisible (LMP)

“Es el valor de la concentración de cualquier característica del agua, arriba de la cual el agua no es adecuada para consumo humano” (COGUANOR, 2013, p. 5).

7.7. Tratamientos del agua potable

El criterio principal para que el agua se considere apta para el consumo humano es que esté limpia, sea salubre y no contenga microorganismos o parásitos que supongan un riesgo para la salud si esta presenta parámetros fuera de rangos debe de tratarse previo a su consumo.

7.7.1. Depuración

“En este proceso se eliminan los sólidos de mayor tamaño que se encuentran en el agua (ramas, madera, piedras, plásticos, entre otros) por medio de rejas, en las que estos materiales quedan retenidos” (Chulluncuy, 2011, p. 156).

7.7.2. Coagulación – floculación

“La coagulación consiste en la adición de agentes coagulantes para desestabilizar las partículas coloidales para que sean removidas, y la floculación es el proceso por el cual las partículas desestabilizadas chocan entre sí y se aglomeran formando los floc” (Chulluncuy, 2011, p. 157).

"Aparte de la remoción de turbiedad y color también se eliminan bacterias, virus, organismos patógenos susceptibles de ser separados por coagulación, algas y sustancias que producen sabor y olor en algunos casos” (Chulluncuy, 2011, p. 157).

7.7.3. Decantación (sedimentación)

Proceso físico por efecto de gravedad donde partículas en suspensión en el agua son separadas del fluido. El resultado es un fluido clarificado y una suspensión más concentrada (Chulluncuy, 2011).

7.7.4. Filtración

Proceso consistente en la separación de partículas y microorganismos a través del paso del fluido por un medio poroso. Muchos filtros tienen una eficiencia de remoción superior al 99 %.

7.7.5. Desinfección

“Es el último proceso de tratamiento del agua, que consiste en la destrucción selectiva de los organismos potencialmente infecciosos” (Chulluncuy, 2011, p. 165).

“La efectividad de los métodos de desinfección se mide por el porcentaje de organismos eliminados. La resistencia de los microorganismos puede variar, siendo las esporas bacterianas, los quistes de protozoarios, virus entéricos, coliformes las más resistentes” (Chulluncuy, 2011, p. 166).

“El cloro es el agente desinfectante más importante; puede utilizarse en forma de gas, de líquido o de sal. Es de fácil aplicación, manejo sencillo y bajo costo. En dosis adecuadas no produce riesgos para el hombre ni para los animales” (Chulluncuy, 2011, p. 166).

Figura 4.

Proceso de tratamiento de agua potable



Nota. Propuesta de proceso para potabilización de agua potable. Obtenido de Valeriza C.A. (2020). *Etapas del Tratamiento de Agua Potable*. (<https://valerizainternacional.com/etapas-del-tratamiento-de-agua-potable>), consultado el 18 de septiembre de 2023. De dominio público.

7.8. El cultivo pluvial

“Un sistema de captación pluvial consiste en un diseño que permita interceptar, recolectar, conducir y almacenar el agua de lluvia desde su precipitación hasta su almacenamiento” (Unidad de Apoyo Técnico en Saneamiento Básico Rural [UNATSABAR], 2001, p. 6).

Un sistema comúnmente utilizado está formado de las siguientes partes: superficie de captación, canales de recolección, tuberías de conducción y sistema de almacenamiento.

7.8.1. Captación

"La captación está conformada por el techo de la edificación, el mismo que debe tener la superficie y pendiente adecuadas para que facilite el escurrimiento del agua de lluvia hacia el sistema de recolección" (UNATSABAR, 2001, p. 6).

7.8.2. Recolección

"Esta parte está formado por las canales en las partes bajas de los techos, en donde el agua tiende a acumularse antes de caer al suelo" (UNATABAR, 2001, p. 7).

7.8.3. Canalización

"Este componente es una parte esencial, ya que conducirá el agua recolectada por el techo directamente hasta el tanque de almacenamiento" (UNATSABAR, 2001, p. 7).

7.8.4. Almacenamiento

"Es la obra destinada a almacenar el volumen de agua de lluvia necesaria para el consumo diario de las personas beneficiadas con este sistema, en especial durante el período de sequía" (UNATSABAR, 2001, p. 9).

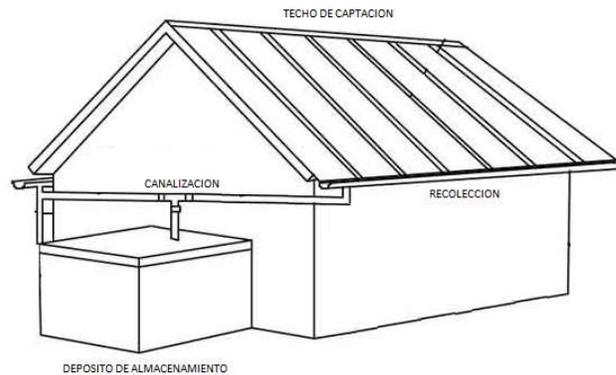
El depósito almacenamiento debe ser robusto, cumpliendo las siguientes especificaciones mínimas:

- Impermeable: para evitar la fuga del agua
- Cerrado: para evitar polvo, insectos y luz solar

- Accesible: acceso de suficiente tamaño para el acceso a su mantenimiento.

Figura 5.

Modelo de cosecha y conservación de agua pluvial



Nota. Modelo tradicional para captación, recolección, canalización y almacenamiento de agua pluvial utilizando el techo de una vivienda propuesto por la unidad de apoyo técnico en saneamiento básico rural. Obtenido de Unidad de apoyo técnico en saneamiento básico rural (2001). *Guía de diseño para captación del agua de lluvia.* (p. 31).

8. HIPÓTESIS

Este trabajo es de enfoque mixto, dado que en las investigaciones de la calidad del agua pluvial a captar es de carácter cualitativo, y la estimación del potencial pluvial que es de carácter cuantitativo.

El alcance de la investigación es de carácter descriptivo, ya que nos presentara los parámetros de contaminación durante la precipitación, captación, canalización y almacenaje del agua pluvial, como también el potencial hídrico pluvial de la zona el cual es un dato climático, resultados que serán utilizados para hacer una propuesta de diseño de un sistema de captación y potabilización de agua pluvial.

El tipo de investigación es no experimental, ya que los parámetros de la calidad de agua pluvial captada y el potencial hídrico pluvial son resultados directos de las condiciones ambientales y climatológicas.

Dado que el presente trabajo es de carácter descriptivo, no se realizará la comprobación de ninguna hipótesis.

9. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

OBJETIVOS

RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO

INTRODUCCIÓN

ANTECEDENTES

1. MARCO TEÓRICO

- 1.1. La importancia del agua en nuestras vidas
 - 1.1.1. El agua potable
 - 1.1.2. Usos de agua potable
 - 1.1.3. Impactos por falta de agua potable
- 1.2. Situación del agua
 - 1.2.1. Disponibilidad hídrica del agua
 - 1.2.2. Balance hídrico en Guatemala
 - 1.2.3. El futuro del agua
- 1.3. La lluvia
 - 1.3.1. El ciclo hidrológico
 - 1.3.1.1. Evaporación
 - 1.3.1.2. Condensación
 - 1.3.1.3. Precipitación

- 1.3.1.4. Infiltración
 - 1.3.1.5. Escorrentía
 - 1.3.2. Datos meteorológicos
 - 1.3.2.1. La precipitación pluvial
 - 1.3.2.2. Estación meteorológica de la zona
 - 1.3.3. La contaminación del agua
 - 1.3.3.1. Contaminación en el aire
 - 1.3.3.2. Contaminación en superficies de captación
 - 1.3.3.3. Degradación en sistemas de almacenamiento
 - 1.4. Análisis del agua
 - 1.4.1. Propiedades del agua
 - 1.4.2. Parámetros del agua
 - 1.4.2.1. Físicos
 - 1.4.2.2. Químicos
 - 1.4.2.3. Microbiológicos
 - 1.4.3. Métodos de ensayo para determinación de parámetros
 - 1.4.3.1. Toma, conservación y transporte de muestra
 - 1.4.3.2. Análisis de laboratorio
 - 1.4.3.3. Informe de resultados
 - 1.5. Instituciones y fuentes de información
 - 1.5.1. INSIVUMEH
 - 1.5.2. INE
 - 1.5.3. COGUANOR
 - 1.5.4. EMPAGUA
 - 1.5.5. APHA
 - 1.6. Normativa nacional del agua potable

- 1.6.1. COGUANOR NTG 29001
- 1.6.2. Parámetros del agua potable
- 1.6.3. LMA
- 1.6.4. LMP
- 1.7. Tratamientos del agua potable
 - 1.7.1. Pretratamiento
 - 1.7.2. Coagulación - floculación
 - 1.7.3. Decantación
 - 1.7.4. Filtración
 - 1.7.5. Desinfección
- 1.8. El cultivo pluvial
 - 1.8.1. Captación
 - 1.8.2. Recolección
 - 1.8.3. Canalización
 - 1.8.4. Almacenamiento

2. RECOLECCIÓN DE DATOS

- 2.1. Recolección bibliográfica
- 2.2. Técnica de obtención de datos
 - 2.2.1. Estudio de calidad del agua pluvial
 - 2.2.2. Estimación de potencial pluvial
 - 2.2.3. Estimación de demanda de agua potable por grupo familiar
 - 2.2.4. Dimensionamiento de sistema de captación
 - 2.2.5. Dimensionamiento de sistema de almacenamiento
 - 2.2.6. Especificación de sistema de tratamiento

3. PRESENTACIÓN, ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

- 3.1. Características obtenidas de la calidad del agua pluvial captada en Santiago Sacatepéquez
- 3.2. Potencial pluvial estimado de Santiago Sacatepéquez
- 3.3. Cálculo del tamaño de sistema de captación pluvial requerido
- 3.4. Definición de proceso de potabilización de agua pluvial
- 3.5. Propuesta del sistema de captación y potabilización de agua de lluvia

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS

APÉNDICES

ANEXOS

10. METODOLOGÍA

10.1. Tipo de estudio

Este trabajo es de enfoque mixto, dado que en las investigaciones de la calidad del agua pluvial a captar es de carácter cualitativo, y la estimación del potencial pluvial que es de carácter cuantitativo.

El alcance de la investigación es de carácter descriptivo, ya que nos presentara los parámetros de contaminación durante la precipitación, captación, canalización y almacenaje del agua pluvial, como también el potencial hídrico pluvial de la zona el cual es un dato climático, resultados que serán utilizados para hacer una propuesta de diseño de un sistema de captación y potabilización de agua pluvial.

El tipo de investigación es no experimental, ya que los parámetros de la calidad de agua pluvial captada y el potencial hídrico pluvial son resultados directos de las condiciones ambientales y climatológicas.

10.2. Variables

Las variables por utilizar en este trabajo son principalmente medidas de dimensión, principalmente volumen para la especificación de cantidad de agua y sus componentes para su estimación, siendo estas área y longitud.

Tabla 1.

Listado de variables en la investigación

VARIABLE	DESCRIPCION	DIMENSIONAL
Volumen de agua	Cantidad de agua captada, almacenada o usada medida por espacio ocupado	Se obtiene del producto del área horizontal del recipiente por la altura del agua (m ³)
Área de captación	Tamaño de la superficie dispuesta para la captación de la lluvia	Producto de largo y ancho de la superficie de captación en proyección sobre plano horizontal (m ²)
Precipitación pluvial	Cantidad de agua de lluvia captada por día, mes o año	Altura o nivel de agua de lluvia captada en un recipiente cilíndrico (mm)
Calidad de agua	Cumplimiento de niveles aceptables de parámetros de acuerdo con la normativa nacional	Determinada en base a la comparación de análisis de laboratorio y los parámetros de la normativa en referencia (parámetros varios)

Nota. Variables de la investigación en base a información de antecedentes y literatura consultada. Elaboración propia, realizado con Excel.

10.3. Fases y etapas de estudio

- Fase 1: exploración bibliográfica

Se iniciará el trabajo con la revisión bibliografía pertinente para formar el contexto técnico como tema de estudio y todos los componentes relevantes. Con el desarrollo de esta fase, se crea el fundamento básico para el entendimiento de la investigación.

Con esta información se establecerán los métodos viables, adecuados, confiables y representativos para investigar y plantear la propuesta de diseño del sistema de captación y potabilización del agua pluvial.

- Desarrollo de marco teórico: redacción de la literatura colectada.
- Fase 2: métodos y técnicas de recolección de datos

- Etapa 1: estudio de calidad del agua pluvial
 - Determinación de método para toma de muestra: se analizará el método tradicional de captación pluvial, para proponer un modelo para tomar de muestra a caracterizar, que cumpla con la equivalencia confiable a fin de obtener resultados representativos para la calidad de agua y poder proponer el sistema de tratamiento adecuado.

El método de captación pluvial sigue el siguiente proceso:

- ✓ Captación: utilizando un techo de vivienda o galera, se aprovecha la captación ya existente.
- ✓ Recolección: a través de un canal abierto se hará la recolección del agua pluvial captada.
- ✓ Canalización: el agua recolectada será conducida a través de un tubo PVC hacia el depósito de almacenamiento.
- ✓ Almacenamiento: el depósito de almacenamiento será el recipiente que reciba el agua captada previo a recibir tratamiento para normalizar su calidad, para ser consumida como agua potable.

Figura 6.

Proceso de obtención de agua de lluvia

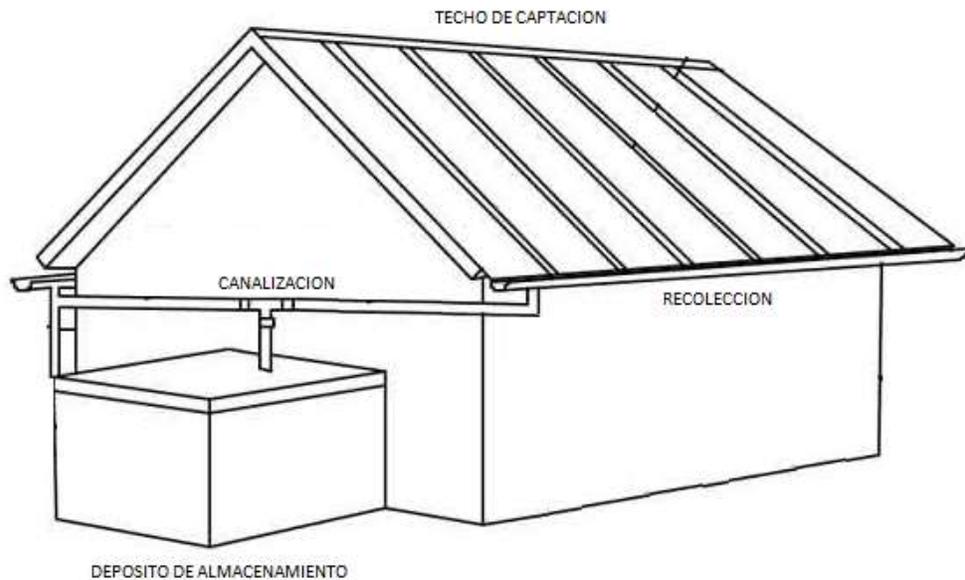


Nota. El gráfico muestra los pasos a seguir para la obtención de agua de lluvia. Elaboración propia, realizado con Word.

- Construcción de sistema de captación de muestra: se fabricará el sistema de captación de acuerdo con la propuesta, esto se utilizará para la toma de muestra a caracterizar

Figura 7.

Modelo tradicional para cosecha de lluvia



Nota. Modelo propuesto para captación, recolección, canalización y almacenamiento de agua pluvial utilizando el techo de una vivienda propuesto por la unidad de apoyo técnico en saneamiento básico rural. Obtenido de Unidad de apoyo técnico en saneamiento básico rural (2001). *Guía de diseño para captación del agua de lluvia.* (p. 31).

Para lograr este avance, se realizarán los siguientes pasos:

- ✓ Análisis del modelo seleccionado
- ✓ Cuantificación de materiales
- ✓ Compra de materiales
- ✓ Construcción del modelo

Figura 8.

Proceso para obtención de muestra



Nota. Pasos para la construcción de modelo de captación de muestra. Elaboración propia, realizado con Word.

- Toma de muestra a caracterizar: se usará el protocolo de higiene y sanitización homologada para el manejo apropiado de muestra, conservación y transporte, para ser llevada al laboratorio que realizará la caracterización, siendo esta la normativa COGUANOR NTG 29006. Agua para consumo humano (agua potable). Recolección, preservación, transporte y almacenamiento de muestras

La muestra para análisis de laboratorio no será tomada del agua captada en las primeras lluvias, ya que estos contienen los contaminantes acumulados de al menos 3 meses entre ellos polvo, heces, hojas, polen, cenizas, entre otros, por lo que la carga contaminante de la muestra estaría fuera de representatividad. Se tomará muestra del agua almacenada que tenga a lo menos 3 días de lluvias consecutivos, con lo cual se puede hacer equivalencia a la carga contaminante del día.

Razones de utilizar el protocolo normado para el manejo de muestras:

- ✓ Recolectar el volumen suficiente para transporte y propósitos analíticos
- ✓ Representación exacta del material obtenido
- ✓ Equivalencia de concentraciones de los componentes
- ✓ Conservación de composición previo a análisis
- ✓ Preservación de la calidad desde toma de muestra hasta análisis
- ✓ Evitar contaminar la muestra

Consideraciones para el manejo de la muestra:

- ✓ Uso de recipientes: Deben de ser normados y calificados
- ✓ Tamaño estándar de la muestra
- ✓ Tiempo de conservación máximo de la muestra
- ✓ Temperatura de conservación de la muestra

Figura 9.

Especificaciones para manipulación de muestras

PARÁMETRO	RECIPIENTE	CANTIDAD MÍNIMA DE MUESTRA (mL)	PRESERVACIÓN (En el caso de no analizar inmediatamente)	TIEMPO MÁXIMO DE ALMACENAMIENTO
				RECOMENDADO
Color	P, V	500	Refrigerar	24 h
Olor	V	500	Analizar lo más pronto posible, refrigerar	6 h
Turbiedad	P, V	100	Analizar el mismo día; almacenar en oscuridad hasta por 24 h; refrigerar	24 h
Conductividad eléctrica	P, VB	100	Enfriar entre 1 °C y 5 °C. Llenar el recipiente completamente para extraer el aire.	24 h El análisis preferiblemente se debe llevar a cabo en el campo.
Potencial de hidrógeno	P, V	50	Analizar inmediatamente	15 min
Sólidos totales disueltos	P, V	200	Refrigerar	7 d
Cloro residual libre	P, V	500	Analizar inmediatamente	15 min
Cloruro (Cl)	P, V	50	No se requiere	28 d
Dureza total (CaCO ₃)	P, V	100	Agregar HNO ₃ ó H ₂ SO ₄ hasta pH < 2	6 meses
Sulfato (SO ₄ ⁻²)	P, V	100	Refrigerar	28 d
Aluminio (Al)	P, lavado en ácido o V, VB lavado en ácido	100	Agregar HNO ₃ ó H ₂ SO ₄ hasta pH < 2	1 mes
Calcio (Ca)	P, V	100	Agregar HNO ₃ ó H ₂ SO ₄ hasta pH < 2	1 mes

Nota. Extracto de la normativa NTG 29006 sobre las especificaciones de recipientes y condiciones para la manipulación y almacenamiento de muestras para análisis de laboratorio. Obtenido de Comisión Guatemalteca de Normas (2011). *NTG 29006 agua para consumo humano (agua potable). recolección, preservación, transporte y almacenamiento de muestras. generalidades.* (p. 50). Ministerio de economía.

- Caracterización de muestra: un laboratorio analítico será la responsable de hacer la caracterización de la muestra, este debe ser acreditado por OGA. Se deberán de obtener los parámetros requeridos utilizando los métodos de análisis de acuerdo con las especificaciones indicadas en la normativa COGUANOR

De acuerdo con la normativa COGUANOR NTG 29001, los métodos válidos para el análisis de agua potable son los indicados por Standard Methods for the Analysis of Water and Wastewater, American Public Health Association (APHA) en su última edición.

- Obtención de resultados: una vez realizado el análisis, el laboratorio correspondiente deberá de emitir el informe escrito con los resultados de la caracterización

Esta información será usada a través de una tabla para el análisis y comparación de parámetros normados a fin de marcar los parámetros que hacen que el agua pluvial captada no sea apta para consumo humano, y definir el sistema de tratamiento correspondiente para su potabilización.

Los resultados de la caracterización pueden presentarse de la siguiente manera:

Figura 10.

Ejemplo de informe de laboratorio



**Laboratorio de Análisis Físicoquímicos
y Microbiológicos - LAFYM**
3a. Calle 6-47, Zona 1
Centro Histórico, Guatemala Ciudad
Tel: 2253-1319
Email: lafymusac@gmail.com

Empresa : MUNICIPALIDAD DE SAN CRISTOBAL ALTA Fecha de toma de la muestra : 01/03/2020 11:34
N° de la muestra : 10422 (Protocolo firmado) Fecha de recepción : 02/03/2020 09:40
Temperatura : Refrigeración Número de lote : COLONIA LA EZP. FAM. CAL CAL, TANQUE PARTE ALTA
Muestra : AGUA
Captación : Captado por personal ajeno a LAFYM en un envase que no es de LAFYM

ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE AGUA

PARAMETRO O SUSTANCIA	RESULTADO	COGUANOR NTG 29 001:2013 LMA	COGUANOR NTG 29 001: 2013 LMP
Color	1.0 UPi/Co	5.0 u Pi/Co	35.0
Olor	NO RECHAZABLE	NO RECHAZABLE	NO RECHAZABLE
Conductividad	429.7 µS/cm	750 µS/cm	1 500 µS/cm
Salinidad	0.255 mg/L		---
S. Totales disueltos	211.1 mg/L	500.0 mg/L	1 000.0 mg/L
Turbiedad	0.64 UNT	5.0 UNT	15.0 UNT
pH	7.15	7.0 -7.5	6.5 - 8.5
Dureza total(CaCO3)	273.8 mg/L	100.0 mg/L	500.0 mg/L
Hierro total	0.051 mg/L		0.3 mg/L
Calcio	89.77 mg/L	75.0 mg/L	150.0 mg/L
Magnesio	12.04 mg/L	50.0 mg/L	100.0 mg/L
Manganeso	0.039 mg/L	0.1 mg/L	0.4 mg/L
Nitratos	8.1 mg/L		50.0 mg/L
Nitritos	0.108 mg/L		3.00 mg/L
Cloruros	2.6 mg/L	100.0 mg/L	250.0 mg/L
Sulfatos	0.0 mg/L	100.0 mg/L	250.0 mg/L
Aluminio	0.019 mg/L	0.050 mg/L	0.10 mg/L
Cinc	0.08 mg/L	3.0 mg/L	70.0 mg/L
Cobre	0.03 mg/L	0.050 mg/L	1.500 mg/L
Cloro residual	0.85 mg/L	0.5 mg/L	1.0 mg/L

*Métodos de Referencia: APHA-AWWA-WEF: Standard Methods For The Examination of Water and Wastewater, 22 ed. 2012.

Conclusión:

La muestra recibida y analizada en el laboratorio satisface los criterios de calidad de la norma COGUANOR NTG 29 001, Agua para consumo humano (Agua Potable). Especificaciones.

Nomenclatura utilizada:

LMA Límite Máximo Aceptable
LMP Límite Máximo Permisible

Licda. Ana Rosa E. García, QB.
Jefatura

Licda. Ana E. Rojas García
QUÍMICA BIÓLOGA
COL. 2323

Este Resultado se refiere unicamente a la muestra analizada.
El informe de ensayo no debe ser reproducido total o parcialmente, sin la aprobación escrita del Laboratorio.

Nota. Resultados de análisis físicoquímicos y microbiológicos de laboratorio para análisis de agua potable. Obtenido de Laboratorio de Análisis Físicoquímicos y Microbiológicos (2020). *Análisis físicoquímico de agua.* (p. 1).

- Comparación de muestra contra normativa: se hará una tabla comparativa de los datos de la muestra captada y caracterizada de acuerdo con la información obtenida del informe de resultados de estudio de laboratorio contra los

límites máximos aceptables (LMA) de la normativa
COGUANOR

Tabla 2.

Tabla comparativa de resultados de laboratorio

Parámetro	Resultado	Límite máximo Aceptable (LMA)	Límite máximo Permisible (LMP)	Cumple
Color	u Pt/Co			
Olor	Rechazable			
Conductividad	µS/cm			
Salinidad	mg/L			
Sólidos TD	mg/L			
Turbiedad	UNT			
pH	pH			
Dureza	mg/L			
Hierro	mg/L			
Calcio	mg/L			

Nota. Ejemplo de tabla comparativa de resultados de laboratorio contra parámetros de normativa nacional donde se muestran los parámetros básicos para análisis de agua según NTG 29001. Elaboración propia, realizado con Excel.

- Tabulación de parámetros no aceptables: se filtrarán las características de los parámetros no aceptables para consumo humano para determinar los métodos requeridos para cada característica a corregir

Tabla 3.

Tabla de resultados de laboratorio

Parámetro	Un	Resultado	Observaciones	Opciones de tratamiento
Sólidos TD	mg/L			
Turbiedad	UNT			
pH	pH			
Dureza	mg/L			
Hierro	mg/L			
Calcio	mg/L			

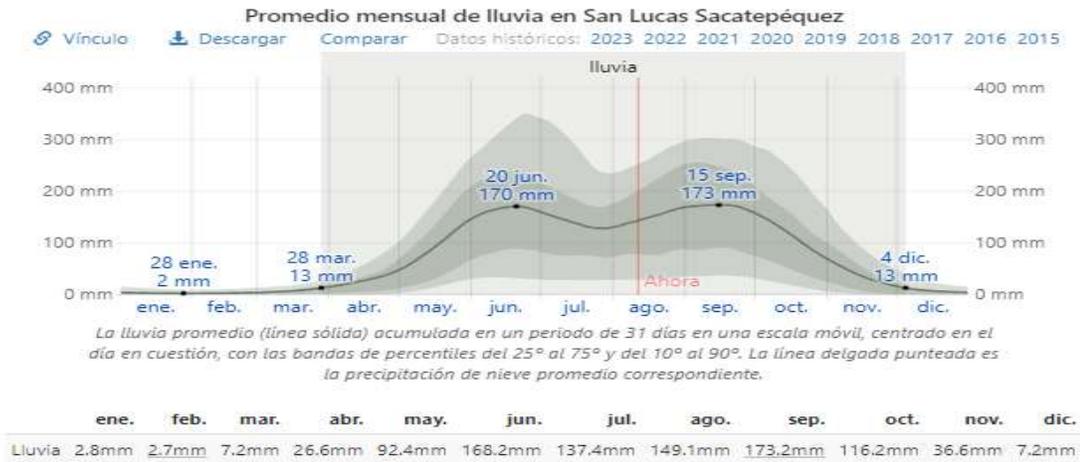
Nota. Ejemplo de tabla de resultados de laboratorio filtrados y sus tratamientos correctivos correspondientes. Elaboración propia, realizado con Excel.

- Etapa 2: estimación de potencial pluvial
 - Definición de fuente de información: de acuerdo con las opciones que se tienen como fuente de información, se seleccionará la institución oficial como fuente fiable de información para el estudio de acuerdo con la variable correspondiente.
 - Obtención de datos: ya sea por consulta a datos abiertos al público o solicitud directa al departamento responsable de la información, se obtendrá la información requerida para los cálculos, siendo estas:
 - ✓ Precipitación pluvial mensual de la zona, de los últimos 5 años.
 - ✓ Curvas IDF de la zona

La información obtenida puede mostrarse de la siguiente manera:

Figura 11.

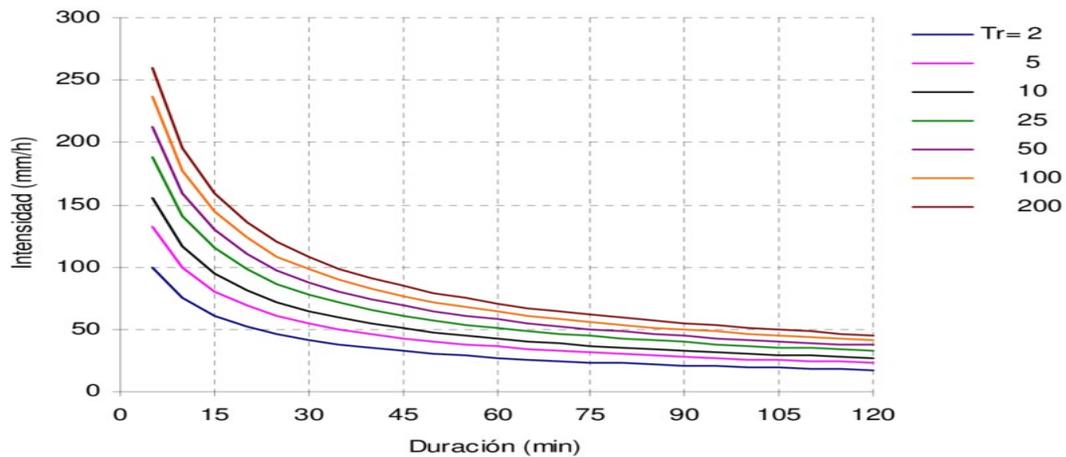
Precipitación pluvial mensual



Nota. Niveles registrados de precipitación pluvial. Obtenido de Weather Spark (2023). *Promedio mensual de lluvia.* (<https://weatherspark.com/>), consultado el 18 de septiembre de 2023. De dominio público.

Figura 12.

Ejemplo de curvas intensidad-duración-frecuencia (IDF)



Nota. Curvas IDF para el área de Valle de Uco. Obtenido de Eadic (2023). *IDF.* (<https://eadic.com/>), consultado el 18 de septiembre de 2023. De dominio público.

- Procesamiento y tabulación de datos: con la información obtenida, se realizará un análisis de los comportamientos de los diferentes años, según la variabilidad que se obtenga de la información, se analizará y definirá cuál será el tratamiento adecuado de información para tener un dato representativo.

Tabla 4.

Precipitación pluvial últimos 5 años

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2018												
2019												
2020												
2021												
2022												
PROMEDIOS												
PRECIPITACION PLUVIAL PROMEDIO POR AÑO EN mm												

Nota. Ejemplo de tabulación de datos de precipitación pluvial últimos 5 años. Elaboración propia, realizado con Excel.

Los promedios son las medias de los cinco años correspondientes a cada mes, y la precipitación pluvial promedio por año es la suma de las medias de todos los meses.

- Etapa 3: estimación de demanda de agua potable por grupo familiar
 - Estimación de tamaño de grupo familiar: se utilizarán los datos del censo poblacional nacional más reciente para definir el tamaño del grupo familiar a utilizar para el cálculo de la demanda de agua potable por vivienda. La fuente de información será el instituto nacional de estadística de acuerdo con la comunidad correspondiente.
 - Estimación de demanda del grupo familiar: se utilizarán el dato de demanda promedio por persona de acuerdo con el

ente representativo y el tamaño promedio de grupo familiar para estimar la demanda del grupo familiar por año.

La fuente de información para la demanda de agua potable por persona por día será la Empresa Municipal de Agua (EMPAGUA).

- 3.3 Demanda familiar por año: se utilizarán los datos previamente mencionados para calcular este dato, y será de la siguiente manera:

$$DFA = TGF \times CPD \times 365 \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde:

DFA: Demanda familiar anual (m^3)

TGF: Tamaño grupo familiar

CPD: Consumo promedio por persona por día (m^3)

- Etapa 4: dimensionamiento de sistema de captación

Cálculo de superficie de captación: basado en demanda y precipitación de la zona, se calculará el área mínima que debe contar la superficie de captación pluvial para que la cantidad de agua captada cubra la demanda, y se calculará de la siguiente manera:

$$SC = DA / PP \quad (\text{Ec. 2})$$

Donde:

SC: superficie de captación (área en m²)

DA: demanda anual de agua (volumen en m³)

PP: precipitación pluvial anual (altura en m)

- Etapa 5: dimensionamiento de sistema de almacenamiento
 - Cálculo de volumen de almacenamiento: por medio de una tabla comparativa, se analizará el potencial hídrico pluvial y la demanda de forma mensual, de tal modo que obtengamos un balance como diferencia de ambos datos. Este valor representa el sistema de almacenaje en la época de lluvia y la reserva de abastecimiento en época seca. Como resultado del valor máximo de acumulación será el tamaño mínimo del depósito en metros cúbicos.

Los datos de la tabla serán calculados de la siguiente manera:

$$CPM = SC \times PPM / 1000 \quad (\text{Ec. 3})$$

Donde:

CPM: captación pluvial del mes (m³)

SC: superficie de captación (m²)

PPM: precipitación pluvial del mes (mm)

$$DM = DA / 12 \quad (\text{Ec. 4})$$

Donde:

DM: demanda de agua potable del mes (m³)

DA: demanda anual de agua (volumen en m³)

$$BM = CPM - DM \quad (\text{Ec. 5})$$

Donde:

BM: balance del mes (m³)

CPM: captación pluvial del mes (m³)

DM: demanda de agua potable del mes (m³)

POT: potencial hídrico pluvial

DEM: demanda de agua potable

BAL: balance potencial – demanda (diferencia)

Tabla 5.

Ejemplo de tabulación de variables

	MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
	PPM												
POT	CPM												
	CPM												
	ACUM												
DEM	DM												
	DM ACUM												
BAL	BM												
	BM ACUM												

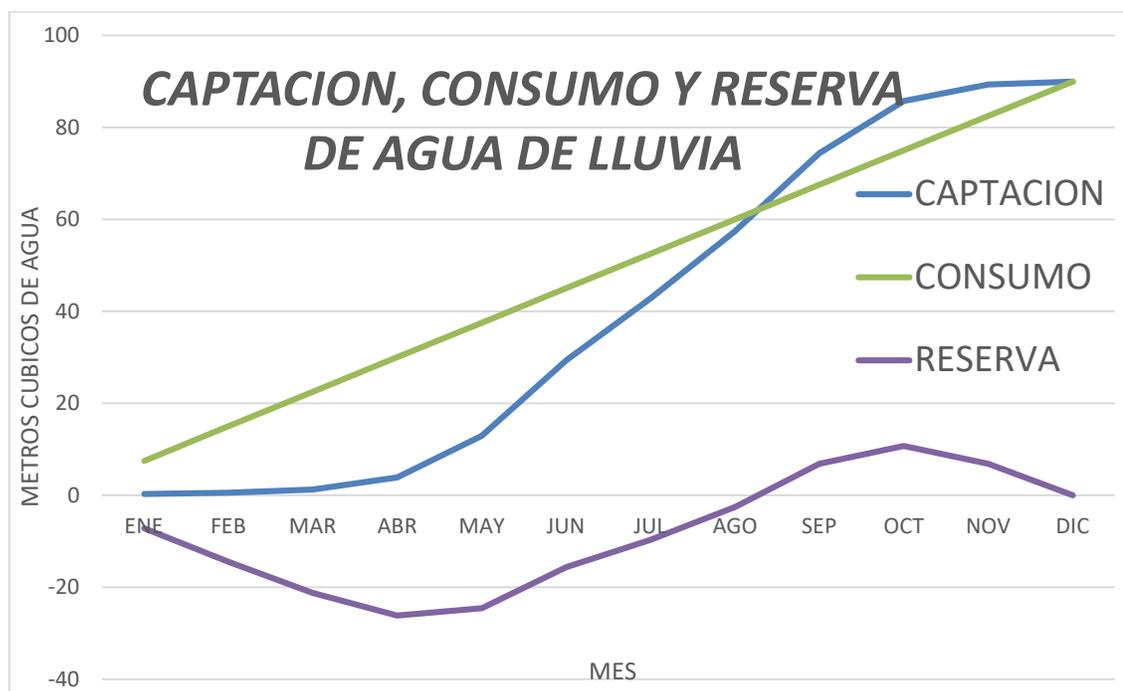
Nota. Ejemplo de tabulación de datos mensuales de precipitación pluvial, captación, demanda y balance. Elaboración propia, realizado con Excel.

Para calcular el volumen mínimo del sistema del almacenamiento, se deberá calcular la diferencia entre el valor máximo y el valor mínimo del balance mensual.

Se presenta la gráfica del comportamiento del potencial acumulado (azul), demanda acumulada (verde) y el balance o diferencia entre ambas (púrpura).

Figura 13.

Curvas de balance de agua pluvial



Nota. Ejemplo de curvas de comportamiento de agua pluvial captada, consumida y reserva en almacenamiento. Elaboración propia, realizado con Excel.

- Etapa 6: especificación de sistema de tratamiento

- Especificación del sistema de potabilización: basado en la tabla de parámetros a corregir en la caracterización de la muestra de agua pluvial captada, se hará la propuesta de diseño del tren de tratamiento para potabilización del agua pluvial captada.

El tren de tratamiento podría estar conformado por las siguientes etapas:

- ✓ Pre-oxidación
- ✓ Coagulación y floculación
- ✓ Filtración
- ✓ Neutralización
- ✓ Desinfección final

Figura 14.

Proceso de tratamiento de agua potable



Nota. Propuesta de proceso para potabilización de agua potable. Obtenido de Valeriza C.A. (2020). *Etapas del Tratamiento de Agua Potable.* (<https://valerizainternacional.com/etapas-del-tratamiento-de-agua-potable/>), consultado el 18 de septiembre de 2023. De dominio público

- Fase 3: análisis de resultados y diseño de propuesta de sistema de captación y tratamiento
 - Características de la calidad del agua pluvial captada en Santiago Sacatepéquez

Se analizarán los resultados del reporte de laboratorio sobre la calidad del agua captada, y se comparará con los parámetros normados. En esta etapa se determinará el tipo de contaminante del agua a captar en el área.

- Potencial pluvial de Santiago Sacatepéquez

De acuerdo con los resultados, se analizará el comportamiento mensual promedio de la lluvia durante el transcurso del año. Se obtendrá el potencial de lluvia anual.

- Tamaño de sistema de captación pluvial requerido

En función de los resultados, se hará el análisis del tamaño de superficie de captación definido con respecto al tamaño promedio de techo de una vivienda familiar, verificando si estas están en la capacidad de captación para cubrir la demanda de sus habitantes.

- Proceso de potabilización de agua pluvial

De las características del agua pluvial captada con parámetros fuera de valores aceptables de la normativa, se analizarán las diferentes opciones de tratamiento a fin de determinar los más adecuado.

- Diseño de propuesta del sistema de captación y potabilización de agua de lluvia

Se realizará la integración de cada una de las partes del sistema para tener la solución completa del sistema de captación, tratamiento y almacenamiento de agua pluvial.

Para culminar la investigación, se harán las observaciones y recomendaciones en función de las condiciones que puedan presentarse.

11. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Para cumplir con los objetivos de este trabajo, se realizarán actividades de investigación, cálculos, tabulación, comparación, presentación gráfica, análisis de datos y discusión de resultados, a fin de concluir con la elaboración de la propuesta final que resuelva la problemática de la investigación.

Para el estudio de la calidad del agua pluvial se utilizarán las siguientes herramientas:

- Tabla de caracterización de la muestra
- Tabla de parámetros límite máximo aceptable (LMA) de la normativa COGUANOR NTG 29001
- Tabla comparativa de parámetros
- Listado de opciones para corrección de parámetros no aceptables

Para la estimación de potencial pluvial del área se utilizarán las siguientes herramientas:

- Tabla de datos de precipitación pluvial de la zona por meses de los últimos 5 años, información oficial de acuerdo con la estación más cercana de INSIVUMEH
- Cálculo del valor promedio mensual de la precipitación pluvial
- Cálculo de la precipitación pluvial anual promedio

Para la estimación de la demanda de agua potable anual por grupo familiar se tendrán las siguientes herramientas:

- Dato consumo de agua potable por día por persona de acuerdo con el tipo de población del área, fuente oficial EMPAGUA.
- Dato de tamaño de grupo familiar de acuerdo con estadísticas de población del área, fuente oficial INE.
- Fórmula para el cálculo de demanda de agua potable para grupo familiar de forma anual en función de los datos anteriores.

Para dimensionar el tamaño de la superficie de captación, usaremos las siguientes herramientas:

- Dato obtenido de demanda de agua potable anual por grupo familiar
- Dato obtenido de potencial pluvial anual de la zona
- Fórmula para el cálculo de tamaño superficie requerido para cubrir la demanda anual en función del potencial pluvial anual

Para dimensionar el tamaño del sistema de almacenamiento de agua pluvial, tendremos las siguientes herramientas:

- Tabla obtenida de precipitación mensual media de los últimos 5 años
- Dato obtenido de tamaño de superficie de captación
- Fórmula para cálculo de volumen de agua pluvial captado
- Fórmula para calculo volumen acumulado de agua pluvial captado
- Dato obtenido de demanda de agua potable de forma mensual
- Fórmula para cálculo de demanda acumulado de agua potable
- Fórmula de balance entre captación y demanda acumuladas
- Tabla de datos calculados
- Curva de comportamiento captación, demanda y balance

- Fórmula para cálculo de tamaño de depósito

Para la especificación del sistema de tratamiento de agua cruda a potable, se tendrán las siguientes herramientas:

- Tabla obtenida de parámetros no aceptable de agua cruda
- Lista de opciones de tratamiento para cada uno de los parámetros no aceptables.

12. CRONOGRAMA

Tabla 6.

Cronograma de actividades para la investigación

	ACTIVIDAD	MES 1				MES 2				MES 3				MES 4				MES 5				MES 6			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Diseño sistema de captación																								
2	Construcción sistema de captación																								
3	Captación de muestra a analizar																								
4	Análisis de muestra en laboratorio																								
5	Informe de laboratorio																								
6	Tabulación y comparativa de parámetros																								
7	Análisis de resultados cualitativos																								
8	Definición de métodos de tratamiento																								
9	Obtención de datos de precipitación INSIVUMEH																								
10	Obtención de datos demanda para grupo objetivo																								
11	Cálculos de oferta y demanda																								
12	Análisis de resultados cuantitativos																								
13	Dimensionamiento de sistema de captación																								
14	Dimensionamiento de sistema de almacenamiento																								
15	Integración de resultados																								
16	Conclusiones del trabajo																								
17	Elaboración propuesta final																								
18	Presentación de trabajo de investigación																								

Nota. Cronograma de la investigación. Elaboración propia, realizado con Excel.

13. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

El trabajo de investigación para responder y cumplir con los objetivos planteados implicará los siguientes costos para su desarrollo:

Tabla 7.

Costos financieros para elaboración de investigación

Costos financieros directos	
Materiales para captación de muestras	Q 600.00
Recipientes toma de muestras	Q 500.00
Análisis de laboratorio	Q 1,800.00
Asesoría técnica tratamiento agua	Q 2,500.00
Combustible (transporte)	Q 500.00
Varios (imprevistos)	Q 100.00
Total	Q 6,000.00
Costos de oficina	
Depreciación equipos de oficina (<i>hardware</i> y <i>software</i>)	Q 250.00
Papelería y útiles	Q 150.00
Servicio de datos (internet)	Q 300.00
Total	Q 700.00
Costos de redacción y publicación	
Asesoría lingüística	Q 500.00
Créditos plagscan	Q 200.00
Impresión y empastado de documento (físico)	Q 200.00
Varios (imprevistos)	Q 100.00
Total	Q 1,000.00
Costo total	Q 7,700.00

Nota. Estimación de gastos de elaboración. Elaboración propia, realizado con Excel.

Los recursos previamente descritos están dentro de la capacidad del estudiante, por lo que la realización de dicho trabajo de investigación es viable y factible.

Los resultados aportarán a la comunidad de la zona los conocimientos descriptivos y métodos sobre el recurso pluvial con el que cuenta y su manejo, con esto hacer uso óptimo para cubrir de manera eficiente sus necesidades de tan vital líquido.

REFERENCIAS

- Aconsa (abril de 2021). *Parámetros de calidad del agua de consumo humano: ¿cuáles son y cómo se miden?* <https://aconsa-lab.com/parametros-calidad-agua-consumo-humano/>
- Administración Nacional de la Aeronáutica y el Espacio (2020). *El ciclo del agua.* https://climate.nasa.gov/internal_resources/2275/
- Aguilar, R. (2018). Evaluación de la calidad del agua de lluvia captada a través de un módulo sanitario familiar de rápida instalación. *Revista científica Agua, saneamiento y ambiente*, 13(1), 8-16. <https://revistas.usac.edu.gt/index.php/asa/article/view/1221/806>
- Argueta, S. (s.f.). Guía de normas y estándares técnicos aplicados a agua y saneamiento. Fondo para el logro de los ODM.
- Centros para el control y la prevención de enfermedades [CDC] (2022). *Información sobre proliferaciones ciano-bacterianas para los profesionales de centros de control de intoxicaciones y envenenamientos.* <https://www.cdc.gov/habs/es/materials/factsheet-cyanobacterial-habs.html>
- Centros para el control y la prevención de enfermedades [CDC] (2022). *Recolección de agua de lluvia.* <https://www.cdc.gov/healthywater/drinking/esp/rainwater-collection.html>

Chulluncuy, N. (2011). *Tratamiento de agua para consumo humano*. Ingeniería Industrial.

Comisión Guatemalteca de Normas (2011). *NTG 29006 agua para consumo humano (agua potable). recolección, preservación, transporte y almacenamiento de muestras. generalidades*. Ministerio de economía.

Comisión Guatemalteca de Normas (2013). *NTG 29001 agua para consumo humano (agua potable). especificaciones*. Ministerio de economía.

Cruz, R. y Escobedo, V.M. (2017). *Sistema de captación y filtrado de agua pluvial para uso doméstico en la ciudad de México*. Instituto Politécnico Nacional.

Fandiño, L. y Ospina, K. D. (2020). *Sistema de tratamiento de agua de lluvia para consumo humano en una institución educativa rural de Girardot Cundinamarca*. [Tesis de pregrado, Universidad Piloto de Colombia]. Repositorio institucional.

Frías, L. (15 de octubre de 2018). *El agua de lluvia no sirve para beber*. Gaceta UNAM <https://www.gaceta.unam.mx/el-agua-de-lluvia-no-sirve-para-beber/>,

Fundación AQUAe (2021). *La importancia del agua en los seres vivos*. <https://www.fundacionaquae.org/wiki/importancia-del-agua/>

Fundación AQUAe (s.f.). *¿Cómo se usa el agua en el hogar?* <https://www.fundacionaquae.org/como-utilizamos-el-agua-en-nuestras-casas/>

- García, M. (2016). *Implementación de un sistema de recolección de agua pluvial para el abastecimiento de la iglesia comunal en el caserío cumbre de San Agustín, Morales, Izabal*. [Tesis de pregrado, Universidad del Valle de Guatemala]. Archivo digital. <https://repositorio.uvg.edu.gt/handle/123456789/3749>
- Gonzaga, F. (2015). *Diseño de un sistema de captación de agua de lluvia para uso doméstico en la isla de Jambelí, cantón Santa Rosa, provincia de el oro*. [Tesis de pregrado, Universidad pública en Machala de Ecuador]. Archivo digital. <http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/3115/1/SISTEMA%20DE%20CAPTACION%20DE%20AGUA%20OLLUVIA.pdf>
- González, J. (2005). *Protección de captaciones de agua para consumo humano ante desastres y emergencias; consideraciones técnicas obtenidas en el municipio de Gualán, departamento de Zacapa*. [Tesis de pregrado, Universidad de San Carlos de Guatemala]. Archivo digital. <https://desastres.medicina.usac.edu.gt/documentos/docqt/pdf/spa/doc0041/doc0041.pdf>
- González, J. (2017). *Factibilidad de cosecha de agua de lluvia en escuela jardín de amor, Santa María de Jesús, Sacatepéquez*. [Tesis de pregrado, Universidad Rafael Landívar de Guatemala]. Archivo digital. <http://recursosbiblio.url.edu.gt/tesiseortiz/2017/06/15/Gonzales-Jezyka.pdf>
- Iberduero e hidroeléctrica española (2023). *Que es la lluvia acida*. <https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/lluvia-acida>

Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente (2015). *Balance hidrológico de las subcuencas de la República de Guatemala*.

Instituto Nacional de Estadística (1985). *Quienes somos*.
<https://www.ine.gob.gt/institucion/>

Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (s.f.). *Quienes somos*. <https://insivumeh.gob.gt/?p=130>

Laboratorio de Análisis Físicoquímicos y Microbiológicos (2020). *Análisis físicoquímico de agua*.

Naciones Unidas (s.f.). *Objetivo 6: Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos*.
<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/water-and-sanitation/>

National Geographic (2011). *La meteorología*.
<https://www.nationalgeographic.es/ciencia/la-meteorologia>

Ordoñez, J. (2011). *Ciclo hidrológico*. Sociedad hidrológica de lima.

Organización Meteorológica Mundial (s.f.). *Lluvia*.
<https://cloudatlas.wmo.int/es/rain.html>

Ortiz, W. y Velandia, W. (2017). *Propuesta para la captación y uso de agua lluvia en las instalaciones de la Universidad Católica de Colombia a partir de un modelo físico de recolección de agua*. [Tesis de pregrado, Universidad Católica de Colombia]. Archivo digital.

<https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/131b854b-ac22-471f-b443-3844546f04f8/content>

Sadoff, C. y Muller, M. (2010). *La gestión del agua, la seguridad hídrica y la adaptación al cambio climático: efectos anticipados y respuestas esenciales*. Global Water Partnership.

Sámano, G. (2017). *Diseño de un sistema de captación de agua de lluvia en la academia mexicana de ciencias*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Autónoma de México]. Archivo digital. <http://132.248.9.195/ptd2017/marzo/0757069/0757069.pdf>

Sanitation and Water for All (2023). *Agua, Saneamiento e Higiene*. <https://www.sanitationandwaterforall.org/es/sobre-swa/agua-saneamiento-e-higiene>

Sistema intermunicipal de los servicios de agua potable y alcantarillado (2014). *Actualización de los criterios y lineamientos técnicos para factibilidades en la Z.M.G. SIAPA*.

The United Nations International Children's Emergency Fund (s.f.). *Falta de acceso a higiene pone en peligro el desarrollo*. <https://www.unicef.org/colombia/comunicados-prensa/falta-de-acceso-higiene-pone-en-peligro-el-desarrollo>

Unidad de apoyo técnico en saneamiento básico rural (2001). *Guía de diseño para captación del agua de lluvia*.

Zermeño, J. (2017). *Sistema doméstico de captación de agua de lluvia para consumo humano: alternativa de suministro de agua potable en el Valle de México (UNAM)*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Autónoma de México]. Archivo digital.
<http://132.248.9.195/ptd2017/noviembre/0767590/0767590.pdf>

DOCUMENTOS DEL ASESOR

El profesional que apoyara en la asesoría del siguiente trabajo se identifica de la siguiente manera:

Figura 15.

Datos personales del asesor

CURRICULUM VITAE	
1. DATOS PERSONALES	
1.1 NOMBRE:	Carlos Adrián Barrios de León
1.2 FECHA DE NACIMIENTO:	7 de enero de 1990
1.3 LUGAR DE NACIMIENTO:	Sololá, Sololá
1.4 EDAD:	33 Años
1.5 DPI:	1978 21146 0701
1.6 PROFESIONES:	Ingeniero Civil MSC. En Ingeniería Sanitaria
1.7 COLEGIADO ACTIVO:	15,032
1.8 ESTADO CIVIL:	Soltero
1.9 DIRECCION:	4ª. Avenida 14-055 zona 1, Barrio El Carmen, Sololá, Sololá-
1.10 TELEFONOS:	Casa 77624510 Celular 58510495
1.11 NIT:	5969508-0

Continuación de la figura 15.

2. DATOS DE EMPRESAS

2.1 SERVICIOS PROFESIONALES DE INGENIERÍA CIVIL Y SANITARIA

2.1.1 NOMBRE PROPIETARIO: Carlos Adrián Barrios de León

2.1.2 NIT: 59695080

2.1.3 REGISTRO RGAE:

2.1.3.1 RESOLUCIÓN: Resolución No. 202274974 de fecha 02 de febrero de 2022, Registro de Precalificación como CONSULTOR INDIVIDUAL.

2.1.3.2 CONSTANCIA DE INSCRIPCIÓN Y PRECALIFICACIÓN:

Constancia de Inscripción y Precalificación como Consultor del Estado de fecha 02 de febrero de 2022.

2.2 CONSTRUCTORA CIVYSA – CONSTRUCTORA EN INGENIERÍA CIVIL Y SANITARIA

2.2.1 NOMBRE PROPIETARIO: Carlos Adrián Barrios de León

2.2.2 NIT: 59695080

2.2.3 PATENTE DE COMERCIO DE EMPRESA: Registro 848302, Folio 374, Libro 1063 de Empresas Mercantiles.

2.2.4 REGISTRO RGAE:

2.2.4.1 RESOLUCIÓN: Resolución No. 202360727 de fecha 24 de enero de 2023, Registro de Precalificación como PROVEEDOR DE OBRAS.

2.2.4.2 CONSTANCIA DE INSCRIPCIÓN Y PRECALIFICACIÓN:

Constancia de Inscripción y Precalificación como Proveedor del Estado de fecha 24 de enero de 2023.

Continuación de la figura 15.

3. ESTUDIOS REALIZADOS	
3.1 NIVEL UNIVERSITARIO: (2017-2018)	Msc. Ingeniero Sanitario , Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos -ERIS-, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.
3.2 NIVEL UNIVERSITARIO: (2010-2016)	Ingeniero Civil , Facultad de Ingeniería, Universidad Rafael Landívar, Quetzaltenango.
3.3 NIVEL DIVERSIFICADO: (2005-2006)	Título de Bachiller en Ciencias y Letras , Instituto Tecnológico de la Universidad del Valle de Guatemala.
3.4 NIVEL MEDIO: (2002-2004)	Diploma de Tercero Básico , Escuela Normal Privada Sololá.
3.5 NIVEL PRIMARIO: (1996-2001)	Diploma de Sexto Primaria , Escuela Oficial Urbana Mixta Tipo Federación "José Vitelio Ralón C."

Continuación de la figura 15.

4. OTROS CURSOS REALIZADOS

4.1 LIDERAZGO Y MOTIVACIÓN. Universidad Rafael Landívar, Campus de Quetzaltenango. 06 de julio de 2010.

4.2 IV SIMPOSIO DE LA FACULTAD DE INGENIERIA. "CREATIVIDAD E INNOVACIÓN". Universidad Rafael Landívar, Campus de Quetzaltenango. Agosto de 2011.

4.3 V SIMPOSIO DE LA FACULTAD DE INGENIERIA "PRODUCTIVIDAD Y MEDIO AMBIENTE". Universidad Rafael Landívar, Campus de Quetzaltenango. Agosto de 2012.

4.4 "LEVANTAMIENTO Y DIBUJO TOPOGRÁFICO". Universidad Rafael Landívar, Campus de Quetzaltenango. Del 12 de junio al 02 de julio de 2013. 02 de julio de 2013.

4.5 "EVALUACION Y TENDENCIAS". Universidad Rafael Landívar, Campus de Quetzaltenango. 29 y 30 de agosto de 2013. 30 de agosto de 2013.

4.6 CURSO LIBRE DE DISEÑO ESTRUCTURAL ASISTIDO POR COMPUTADORA UTILIZANDO ETABS. Subsede Regional del Suroccidente del Colegio de Ingenieros de Guatemala y PROCINQ, Proyectos Civiles de Ingeniería Quixtán. Del 22 de marzo al 12 de abril de 2014. 12 de abril de 2014.

4.7 1er. CONGRESO DE ESTUDIANTES DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA. CONOCIENDO EL MUNDO DEL CONCRETO. Instituto del Cemento y del Concreto de Guatemala y el Capítulo ACI Guatemala. 19 de junio de 2014.

4.8 "INGENIERIA: CREACIÓN, INNOVACIÓN Y VANGUARDIA". Universidad Rafael Landívar, Campus de Quetzaltenango a través de la Facultad de Ingeniería. 28 y 29 de agosto de 2014. 29 de agosto de 2014.

4.9 ÉNFASIS EN ADMINISTRACIÓN DE PROYECTOS DE LA CARRERA DE INGENIERIA CIVIL. Facultad de Ingeniería de la Universidad Rafael Landívar. 02 de septiembre de 2016.

Continuación de la figura 15.

4.10 DISEÑO SIMPLIFICADO DE UN PEQUEÑO SISTEMA DE TRATAMIENTO PARA UNA ZONA RURAL. Facultad de Estudios de Postgrado, Facultad de Ingeniería Universidad de San Carlos de Guatemala. 22 de junio de 2017.

4.11 USO DE TECNOLOGÍA SIMPLIFICADA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UNA RED COLECTORA SANITARIA EN ZONA RURAL. Facultad de Estudios de Postgrado, Facultad de Ingeniería Universidad de San Carlos de Guatemala. 22 de junio de 2017.

5. CATEDRATICO UNIVERCITARIO

5.1 UNIVERSIDAD RURAL DE GUATEMALA, SEGUNDO SEMESTRE DEL AÑO 2019, FACULTAD DE INGENIERIA. CURSOS: Riegos y Drenajes, Matemática IV.

5.2 UNIVERSIDAD RURAL DE GUATEMALA, PRIMER SEMESTRE DEL AÑO 2020, FACULTAD DE INGENIERIA. CURSOS: Matemática V, Manejo de Desechos y Diseño de Carreteras.

5.3 UNIVERSIDAD RURAL DE GUATEMALA, SEGUNDO SEMESTRE DEL AÑO 2020, FACULTAD DE INGENIERIA. CURSOS: Ingeniería I.

5.4 UNIVERSIDAD RURAL DE GUATEMALA, PRIMER SEMESTRE DEL AÑO 2021, FACULTAD DE INGENIERIA. CURSOS: Matemática V, Introducción al Cálculo, Aguas.

5.5 UNIVERSIDAD RURAL DE GUATEMALA, SEGUNDO SEMESTRE DEL AÑO 2021, FACULTAD DE INGENIERIA. CURSOS: Aguas, Ingeniería II, Propedéutico de Examen Privado II (Ingeniería Civil).

Continuación de la figura 15.

6. ASESOR DE TESIS UNIVERCITARIO

6.1 UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA, FACULTAD DE INGENIERÍA, ESCUELA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO, MAESTRÍA EN INGENIERÍA PARA EL DESARROLLO MUNICIPAL. TEMA: DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE UN PLAN PARA GESTIONAR LOS RESIDUOS SÓLIDOS QUE PERMITA PROLONGAR LA VIDA ÚTIL DEL ÁREA DE DISPOSICIÓN FINAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE SAN JUAN LA LAGUNA, SOLOLÁ. Nombre: Evelio Nicolas Mendoza Juarez. ESTADO: Activo.

6.2 Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, Escuela de Estudios de Postgrado, Maestría Gestión Industrial. TEMA: DISEÑO DE UN PLAN DE GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS ORDINARIOS EN UN PROYECTO DE EXPLOTACIÓN DE MINERALES UBICADO EN SAN JOSÉ DEL GOLFO, GUATEMALA. Nombre: Inga. María Fernanda López Escobedo. ESTADO: Activo.

Nota. Información suministrada por el asesor. Elaboración propia.

Figura 16.

Título universitario de maestría del asesor



Nota. Información suministrada por el asesor. Elaboración propia.

APÉNDICE

Apéndice 1.

Árbol de problemas



Nota. Árbol de problemas del trabajo donde se muestra las causas, problemas, efectos y consecuencias. Elaboración propia, realizado con SmartArt de Word.

Apéndice 2.

Matriz de coherencia

PROBLEMA PRINCIPAL	PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN	OBJETIVOS DE INVESTIGACIÓN	JUSTIFICACION	PLAN DE ACCION
Falta de alternativas para la obtención de agua potable en granja residencial en Santiago Sacatepéquez	<p>Pregunta Principal: ¿Cuál es el sistema adecuado de captación y tratamiento de agua pluvial para consumo potable para un núcleo familiar promedio en una granja residencial en Santiago Sacatepéquez?</p> <p>Preguntas Secundarias:</p> <ul style="list-style-type: none"> • ¿Cuáles son las características del agua pluvial obtenida por un sistema de captación abierto en el área de Santiago Sacatepéquez? • ¿Cuánta precipitación pluvial se tiene en los distintos meses del año en el área de Santiago Sacatepéquez? • ¿Qué dimensionamiento debe tener un sistema de captación pluvial para cubrir la demanda mensual para un núcleo familiar promedio en el área de Santiago Sacatepéquez? • ¿Qué procesos de tratamiento deben de utilizarse para llevar el agua pluvial obtenida por un sistema de captación pluvial abierto en el área de Santiago Sacatepéquez, a los parámetros de consumo potable de acuerdo con la normativa COGUANOR? 	<p>Objetivo General: Proponer un sistema de captación y tratamiento de agua pluvial para consumo potable de un núcleo familiar promedio en una granja residencial en Santiago Sacatepéquez.</p> <p>Objetivos Específicos:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Obtener las características del agua pluvial obtenida por un sistema de captación abierto en el área de Santiago Sacatepéquez. 2. Estimar la precipitación pluvial que se tiene en los distintos meses del año en base a los registros meteorológicos del área. 3. Calcular el área mínima del sistema de captación pluvial para cubrir la demanda mensual de un núcleo familiar promedio en el área de Santiago Sacatepéquez. 4. Definir los procesos de tratamiento que deben de utilizarse para llevar el agua pluvial obtenida por un sistema de captación pluvial abierto en el área de Santiago Sacatepéquez, a los parámetros de consumo potable de acuerdo con la normativa COGUANOR. 	Los principales aportes de este trabajo de investigación serán dar a conocer: la caracterización del agua de lluvia captada en el área de Santiago Sacatepéquez, el potencial pluvial del área de Santiago Sacatepéquez, los métodos de tratamiento correspondientes para llevar dicha agua a los parámetros normalizados en Guatemala para consumo humano y el dimensionamiento de los sistemas de captación pluvial requeridos para cubrir la demanda de un grupo familiar modelo.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Utilizando una estructura de techo existente, se diseñará y construirá un sistema para canalizar y almacenar las muestras de agua pluvial. 2. A través del servicio de un laboratorio certificado para análisis de agua, se caracterizará la muestra obtenida. 3. Con la caracterización de la muestra de agua cruda, se definirán los métodos de tratamiento para cumplir con normativa nacional de agua potable COGUANOR. 4. Por medio de la información de la precipitación pluvial de la estación meteorológica de INSIVUMEH más cercana al punto de investigación, se tabularán los datos para conocer la cantidad de lluvia en los distintos meses del año. 5. Por medio de investigación estadística, se deducirán los datos del consumo de agua potable de un núcleo familiar promedio. Con los datos obtenidos, se calculará el tamaño que debe tener el sistema de captación pluvial. 6. Con la información definida, se propondrá el sistema de captación y tratamiento de agua pluvial para consumo potable.

Nota. Matriz de coherencia mostrando el planteamiento del problema, las preguntas, los objetivos, la justificación y el plan de acción a seguir. Elaboración propia.