



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

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUA LLUVIA POR MEDIO DE ALJIBE
PARA EL ÁREA RURAL DE LA ALDEA XAYÁ, MUNICIPIO DE SANTA LUCÍA
COTZUMALGUAPA, DEPARTAMENTO DE ESCUINTLA, GUATEMALA**

José Andrés Barillas Quezada

Asesorado por el Ing. Omar Gilberto Flores Beltetón

Guatemala, agosto de 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUA LLUVIA POR MEDIO DE ALJIBE
PARA EL ÁREA RURAL DE LA ALDEA XAYÁ, MUNICIPIO DE SANTA LUCÍA
COTZUMALGUAPA, DEPARTAMENTO DE ESCUINTLA, GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

JOSÉ ANDRÉS BARILLAS QUEZADA

ASESORADO POR EL ING. OMAR GILBERTO FLORES BELTETÓN

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO AMBIENTAL

GUATEMALA, AGOSTO DE 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Oscar Humberto Galicia Núñez
VOCAL V	Br. Carlos Enrique Gómez Donis
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Jaime Domingo Carranza González
EXAMINADOR	Ing. Carlos Salvador Wong Davi
EXAMINADOR	Ing. Carlos Vinicio Godínez Miranda
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

DISEÑO DE UN SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUA LLUVIA POR MEDIO DE ALJIBE PARA EL ÁREA RURAL DE LA ALDEA XAYÁ, MUNICIPIO DE SANTA LUCÍA COTZUMALGUAPA, DEPARTAMENTO DE ESCUINTLA, GUATEMALA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha 3 de agosto de 2015.



José Andrés Barillas Quezada



Guatemala, 25 de mayo de 2018.
Ref. EIQ.TG-IF.018.2018.

Ingeniero
Carlos Salvador Wong Davi
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero Wong:

Como consta en el registro de evaluación del informe final EIQ-PRO-REG-007 correlativo **050-2015** le informo que reunidos los Miembros de la Terna nombrada por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del:

INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADUACIÓN
-Modalidad Seminario de Investigación-

Solicitado por el estudiante universitario: **José Andrés Barillas Quezada**.
Identificado con número de carné: **2173 61714 0501**.
Identificado con registro académico: **2010-46988**.
Previo a optar al título de **INGENIERO AMBIENTAL**.

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

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUA LLUVIA POR MEDIO DE ALJIBE
PARA EL ÁREA RURAL DE LA ALDEA XAYÁ, MUNICIPIO DE SANTA LUCÍA
COTZUMALGUAPA, DEPARTAMENTO DE ESCUINTLA, GUATEMALA**

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por el Ingeniero Civil: **Omar Gilberto Flores Beltetón**.

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

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

Inga. María Alejandra Má Villatoro
COORDINADORA DE TERNA
Tribunal de Revisión
Trabajo de Graduación



C.c.: archivo



Guatemala, 07 de mayo de 2018

Ingeniero
Carlos Salvador Wong Davi.
Director
Escuela de Ingeniería Química.
Facultad de Ingeniería
USAC

Respetable Señor Director

Me dirijo a usted para informarle que a la presente fecha he revisado el informe final del trabajo de graduación titulado: **"DISEÑO DE UN SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUA LLUVIA POR MEDIO DE ALJIBE PARA EL ÁREA RURAL DE LA ALDEA XAYÁ, MUNICIPIO DE SANTA LUCÍA COTZUMALGUAPA, DEPARTAMENTO DE ESCUINTLA, GUATEMALA"**, del estudiante universitario JOSÉ ANDRÉS BARILLAS QUEZADA de la carrera de Ingeniería Ambiental que se identifica con el carné No. 2173617140501 y registro académico No. 201046988, de quien estoy fungiendo como ASESOR. Siendo que los aspectos metodológicos del trabajo en cuestión llenan los requisitos técnicos que ameritan su aprobación, sirva la presente para patentizarlo a efecto de que se autorice el trabajo realizado y se proceda a continuar con los trámites subsiguientes.

Sin más por el momento, me suscribo de usted.

OMAR GILBERTO FLORES BELTETON

Omar G. Flores Belteton
Ing. Civil, Colegiado No. 3145
Colegiado No. 3145



Ref.EIQ.TG.018.2018

El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y de los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el Informe del **Trabajo de Graduación** de la carrera de **Ingeniería Ambiental** del estudiante, **JOSÉ ANDRÉS BARILLAS QUEZADA** titulado: **"DISEÑO DE UN SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUA LLUVIA POR MEDIO DE ALJIBE PARA EL ÁREA RURAL DE LA ALDEA XAYÁ, MUNICIPIO DE SANTA LUCÍA COTZUMALGUAPA, DEPARTAMENTO DE ESCUINTLA, GUATEMALA"**. Procede a la autorización del mismo, ya que reúne el rigor, la secuencia, la pertinencia y la coherencia metodológica requerida.

"Id y Enseñad a Todos"

Ing. Carlos Salvador Wong Davi
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química
FACULTAD DE INGENIERIA USAC
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA
DIRECTOR

Guatemala, agosto 2018

Cc: Archivo
CSWD/ale



Universidad de San Carlos
De Guatemala

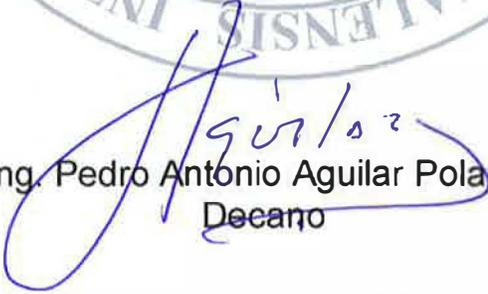


Facultad de Ingeniería
Decanato

Ref. DTG.264.2018

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 Química, al trabajo de graduación titulado: **DISEÑO DE UN SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUA LLUVIA POR MEDIO DE ALJIBE PARA EL ÁREA RURAL DE LA ALDEA XAYÁ, MUNICIPIO DE SANTA LUCÍA COTZUMALGUAPA, DEPARTAMENTO DE ESCUINTLA, GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario: **José Andrés Barillas Quezada**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano

Guatemala, agosto de 2018



/cc

ACTO QUE DEDICO A:

Dios y Nuestra Madre Santísima	Por iluminar mi camino y cuidarme en todo este trayecto tan importante para mi vida.
Mis padres	Eva Elena Quezada Hernández y Edgar Armando Barillas Rodas. Por su inmenso amor y por apoyarme y aconsejarme en esta carrera que también es de ellos, los amo.
Mi hermano	Guido Armando Barillas Quezada. Por ser mi acompañante eterno y mi cómplice, te amo.
Mis amigos	Miguel Morán, Cindy Pérez, Luis Ardiano, David Galindo, Marybeth Rodríguez, Andrea Morales, Andrea Velásquez, Paola Méndez, Xara Paz, Mariela Juárez, Antonio Paz, Rodrigo Villagrán, Horlando Valdez, Jorge Beteta. Más que amigos, la familia que estuvo conmigo en todos los buenos y malos momentos. Compañeros de alegrías, los quiero.
Pueblo de Guatemala	Que con su aporte me otorgó la dicha de ser parte del privilegiado 10 % de la población que accede a la educación superior.

AGRADECIMIENTOS A:

- Universidad de San Carlos de Guatemala** Por permitirme ser parte de tan gloriosa casa de estudio y brindarme los conocimientos para llegar a ser parte del triunfo.
- Mis abuelas** Amparo Hernández y Argelia Rodas, por llenarme de amor y consentirme siempre.
- Mis tíos** Mynor, Agustín y Leonel Quezada, mis tías Emilse, Nori y Celeste Barillas por estar siempre pendientes de mí y apoyarme, aun desde la distancia.
- Mis primos** Lucía, Alicia, Karina, Rodrigo, Esteban y Diego Barillas por el cariño que siempre me han brindado.
- Mis padrinos** Lucrecia y Carlos Hidalgo, por sus consejos y brindarme durante un tiempo su hogar, gracias. Luis Eduardo Velásquez y Juan Miguel Cabrera por cada palabra, muestras de cariño y apoyo, sin ustedes esto no sería lo mismo.

CESEM

A los ingenieros Omar Flores y Julio Luna, a la ingeniera Carla Gordillo; Ziomara Valle, por todas las enseñanzas y confianza que me brindaron.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN.....	XI
OBJETIVOS.....	XIII
HIPÓTESIS.....	XIV
INTRODUCCIÓN	XV
1. ANTECEDENTES	1
1.1. Descripción demográfica	3
1.1.1. Localización y ubicación geográfica	3
1.2. Distribución administrativa actual	6
1.3. Clima	6
1.4. Idiomas	7
1.5. Economía	7
1.6. Recursos naturales.....	8
1.6.1. Hídricos	8
1.6.2. Bosques.....	9
1.7. Orografía	10
1.8. Microrregiones.....	10
1.9. Población.....	11
1.9.1. Número de hogares y tasa de crecimiento	11
1.9.2. Por sexo, edad, pertenencia étnica y área geográfica.....	11
1.10. Infraestructura y servicios básicos.....	12

1.10.1.	Cobertura educativa	12
1.10.2.	Deserción	13
1.10.3.	Salud	13
1.10.3.1.	Centros de atención médica.....	14
1.10.4.	Agua.....	14
1.10.5.	Energía eléctrica domiciliar	16
2.	MARCO TEÓRICO	19
2.1.	Ciclo hidrológico.....	19
2.2.	Tipos de fuentes de agua.....	21
2.2.1.	Fuentes subterráneas	22
2.2.2.	Fuentes superficiales	22
2.2.3.	Fuentes pluviales	23
2.2.3.1.	Agua precipitable.....	23
2.3.	Precipitación.....	24
2.3.1.	Clasificación de precipitación	25
2.3.1.1.	De acuerdo con sus características físicas	25
2.3.1.1.1.	Llovizna	25
2.3.1.1.2.	Lluvia.....	25
2.3.1.1.3.	Granizo.....	26
2.3.2.	Registro de precipitación	26
2.3.2.1.	Pluviómetro	27
2.3.2.2.	Pluviógrafo	29
2.4.	Aljibes.....	30
2.4.1.	Componentes del sistema de captación.....	32
2.4.1.1.	Captación	32
2.4.1.2.	Recolección y conducción	34
2.4.1.3.	Interceptor	35

	2.4.1.4.	Almacenamiento	36
	2.4.1.4.1.	Depósito de almacenamiento	37
	2.4.1.4.2.	Filtro de arena	40
3.		DISEÑO METODOLÓGICO	43
	3.1.	Variables.....	43
	3.1.1.	Variables independientes	43
	3.1.2.	Variables dependientes	44
	3.2.	Delimitación del campo de estudio	44
	3.3.	Recursos materiales disponibles	45
	3.3.1.	Equipo	45
	3.3.2.	Materiales	45
	3.4.	Técnica cualitativa o cuantitativa	45
	3.5.	Recolección y ordenamiento de la información	46
	3.5.1.	Ubicación de la recolección	46
	3.5.2.	Proceso de recolección	47
	3.6.	Plan de análisis de resultados	48
	3.6.1.	Precipitación promedio mensual.....	48
	3.6.2.	Cálculo de la demanda de agua	48
	3.6.3.	Volumen de agua captada.....	49
	3.6.4.	Volumen necesario de agua	49
	3.6.5.	Intensidad y duración de lluvias.....	49
	3.6.6.	Coeficientes de escorrentía	50
	3.6.7.	Almacenamiento	52
	3.6.7.1.	Depósito de almacenamiento	52
4.		RESULTADOS	53
	4.1.	Precipitación promedio mensual.....	53

4.2.	Demanda de agua.....	54
4.2.1.	Mensual.....	54
4.2.2.	Diaria.....	55
4.3.	Volumen de agua captada por mes	55
4.4.	Volumen necesario de agua mensual	56
4.5.	Volumen de agua captada por día	58
4.6.	Volumen de agua necesario diario	59
5.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	63
	CONCLUSIONES.....	69
	RECOMENDACIONES	71
	BIBLIOGRAFÍA.....	73
	APÉNDICES.....	75

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Esquema de los Chultunes	2
2.	Mapa del departamento de Escuintla	4
3.	Trayectoria desde la Universidad de San Carlos hacia aldea Xayá.....	5
4.	Trayectoria desde Santa Lucía Cotzumalguapa hacia aldea Xayá.....	5
5.	Mapa de ríos de la cuenca Coyolate	9
6.	Escuela aldea Xayá.....	13
7.	Caja de captación del río Agua Zarca	15
8.	Sitio de captación del río Agua Zarca.....	15
9.	Alumbrado eléctrico en aldea Xayá.....	16
10.	Ciclo hidrológico	21
11.	Pluviómetro utilizado en finca Cañaverales.....	28
12.	Pluviómetro plástico utilizado en finca Cañaverales.....	28
13.	Sistema de captación por aljibe	32
14.	Techo de edificación aldea Xayá	33
15.	Canaleta de recolección.....	34
16.	Tubos de bajada al interceptor.....	35
17.	Interceptor de aguas	37
18.	Depósito tipo jarra	38
19.	Depósito tipo pozo.....	38
20.	Depósito tipo cisterna.....	39
21.	Depósito de almacenamiento.....	40
22.	Ubicación de aldea Xayá.....	46
23.	Casa con techo de lámina.....	51

24.	Casa patronal con techo de lámina.....	51
25.	Escuela de aldea Xayá con techo de lámina	52
26.	Diseño de captación, vista frontal	61
27.	Diseño de captación, vista lateral	62

TABLAS

I.	Variables independientes.....	43
II.	Variables dependientes	44
III.	Coeficientes de escorrentía	50
IV.	Precipitación media mensual para los años 2015 y 2016	53
V.	Precipitación anual estación Camantulul	54
VI.	Volumen de agua captada por mes, año 2015	55
VII.	Volumen de agua captada por mes, año 2016	56
VIII.	Volumen necesario de agua mensual, año 2015.....	57
IX.	Volumen necesario de agua mensual, año 2016.....	57
X.	Volumen de agua captada por día para 2015.....	58
XI.	Volumen de agua captada por día para 2016.....	59
XII.	Volumen necesario de agua diario para 2015	60
XIII.	Volumen necesario de agua diario para 2016	60
XIV.	Materiales utilizados para el aljibe	61

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
A	Área
D	Diámetro
cm	Centímetro
h	Hora
km	Kilometro
L	Litro
m	Metro
min	Minutos
mm	Milímetro
msnm	Metros sobre el nivel del mar
m²	Metros cuadrados
m³	Metros cúbicos
PVC	Policloruro de vinilo
V	Volumen
μm	Micrómetro

GLOSARIO

a.C.	Antes de Cristo.
Aljibe	Depósito grande, generalmente bajo tierra, para recoger y conservar el agua, especialmente de lluvia.
Coalescencia	Unión de las partículas en suspensión coloidal o de las gotitas de una emulsión para formar granos o gotas mayores.
Condensación	Es el cambio en la materia de una sustancia a una fase más densa, a líquido.
Época de lluvia	En Guatemala, según INSIVUMEH, está definida desde principios de mayo hasta finales de octubre.
Época de seca	En Guatemala, según INSIVUMEH, está definida desde principios de noviembre hasta finales de abril.
Octas	Unidad de medida empleada para describir la nubosidad en un lugar dado, como una estación meteorológica.
Pluviómetro	Instrumento para medir la cantidad de lluvia que cae en un lugar y en un espacio de tiempo determinados;

el agua recogida por él se mide en litros o milímetros por metro cuadrado.

Recurso natural

Es un bien o servicio proporcionado por la naturaleza sin alteraciones por parte del ser humano.

Súper-saturación

Contenido de agua de un suelo que ha perdido toda su agua a causa del cultivo y, por lo tanto, el agua que permanece en el suelo no está disponible para el mismo.

RESUMEN

Los sistemas alternativos para la recolección de agua son de beneficio para los habitantes en donde el sistema que les brinda el servicio de agua es mínimo o inexistente, por lo que en este estudio se realizó el diseño de un sistema de captación de agua de lluvia por medio de aljibes. Se realizó en la comunidad del área rural Xayá, municipio de Santa Lucía Cotzumalguapa departamento de Escuintla.

Para realizar el diseño se recopiló la información de un pluviómetro que se encuentra en la Xayá, comparando datos de dos años para realizar el análisis. Esta comparativa sirvió para conocer la variación que tendrá el diseño respecto de la cantidad de lluvia máxima y mínima captada en 2015 y 2016, en donde se presentaron fenómenos del Niño y la Niña respectivamente.

Se calculó la cantidad de agua que necesita una familia para satisfacer las necesidades básicas, según datos recabados del Instituto del Fomento Nacional -INFOM-¹ y según datos del Instituto Nacional de Estadística -INE-², la cantidad de personas y por familia para dicha comunidad.

En las visitas técnicas realizadas se observó el tipo de techo que tiene la mayoría de los hogares y su tamaño con el fin de obtener información acerca de la cantidad de agua que se puede captar realizando un diseño de captación más preciso.

¹ Guía de normas sanitarias para el diseño de sistemas rurales de abastecimiento de agua para consumo humano. INFOM. Noviembre de 2011.

² XI Censo poblacional y VI de habitación de 2002. Instituto Nacional de Estadística -INE-

OBJETIVOS

General

Diseñar un sistema de captación de agua de lluvia por medio de aljibe y contribuir al desarrollo integral brindándoles una alternativa para complementar el servicio de agua que les proporciona el Ingenio Madre Tierra para el área rural de la aldea Xayá, municipio de Santa Lucía Cotzumalguapa, departamento de Escuintla, Guatemala

Específicos

1. Determinar la cantidad necesaria de agua que necesitan los pobladores de la aldea Xayá para satisfacer sus necesidades básicas.
2. Evaluar las condiciones existentes de los techos y la precipitación pluvial de la aldea Xayá para determinar si es factible la utilización de un sistema de captación de agua de lluvia por medio de aljibe.
3. Proponer el diseño de un sistema de captación de agua de lluvia por medio de aljibe que cumpla con las condiciones adecuadas para la aldea Xayá.

Hipótesis

La problemática de la escasez del agua en el área rural de la aldea Xayá, municipio de Santa Lucía Cotzumalguapa, departamento de Escuintla se ve disminuida a través de la implementación del sistema de captación de agua de lluvia por medio de aljibe, que no guarda ninguna relación directa con el cambio climático porque se produce debido a la falta de acceso al servicio de agua domiciliar de parte de la autoridad encargada.

INTRODUCCIÓN

La captación consiste en recolectar y almacenar agua proveniente de distintas fuentes para su aprovechamiento y uso. La circulación del agua en sus diferentes formas alrededor del mundo se conoce como el ciclo hidrológico. Se ha tenido la capacidad de captar el agua eficazmente en varias etapas de este ciclo.

La captación de agua de lluvia es un medio fácil y económico de obtener agua para consumo humano. En Guatemala, donde no se dispone de voluntad política ni de recursos económicos suficientes para abastecer de agua a las comunidades del área rural, y en lugares como la aldea Xayá que se encuentra en el municipio de Santa Lucía Cotzumalguapa departamento de Escuintla donde tienen altas tasas de precipitación pluvial se puede utilizar este tipo de tecnología para abastecimiento y consumo de agua.

El agua de lluvia es interceptada, colectada y almacenada en depósito para su aprovechamiento. Para realizar la captación de agua de lluvia se utiliza un sistema de canaletas en los techos que están conectadas y derivan en un tanque de almacenamiento y tiene fines de uso doméstico.

El ingenio Madre Tierra le brinda a la aldea Xayá un servicio de agua entubada racionado de 2 horas diarias equivalente a 500 litros para una familia de 5 habitantes por día, el sistema de captación de agua de lluvia por medio de aljibes tiene la capacidad de almacenar más de 1 000 litros de agua en un día de precipitación pluvial alta.

1. ANTECEDENTES

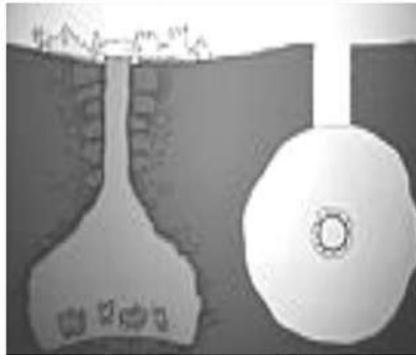
Desde sus comienzos el hombre aprovecha el agua superficial como primera fuente de abastecimiento, consumo y vía de transporte, por ello el valle de los ríos es el lugar escogido para establecer las primeras civilizaciones, allí el hombre aprende a domesticar los cultivos y con ello encuentra la primera aplicación al agua lluvia; pero no depende directamente de ella para su supervivencia debido a la presencia permanente del agua superficial. Cuando las civilizaciones crecieron demográficamente y algunos pueblos debieron ocupar zonas áridas o semiáridas del planeta, comenzó el desarrollo de formas de captación de aguas lluvias, como alternativa para el riego de cultivos y el consumo doméstico.³

El abastecimiento de agua en Guatemala durante la época de los mayas en el siglo X a.C. se hacía a través una tecnología para el aprovechamiento de agua lluvia, el agua era recogida en un área de 100 a 200 m² y almacenada en cisternas llamadas “Chultunes”. Estas cisternas tenían un diámetro aproximado de 5 m, y eran excavadas en el subsuelo e impermeabilizadas con yeso.⁴ También se recubría con una mezcla de barro las paredes interiores para que no existiera un desprendimiento de tierra y el agua se contaminara.

³ PESSOA, João. *Seminario iberoamericano sobre sistemas de abastecimiento urbano de agua*. p. 3.

⁴ PESSOA, João. *Seminario iberoamericano sobre sistemas de abastecimiento urbano de agua*. p. 14.

Figura 1. **Esquema de los Chultunes**



Fuente: TEJEIRO, Ramón. *Agua de lluvia saludable*. p. 3.

Distintas maneras de captación de agua pluvial se han aplicado desde siglos pasados a través de la historia de las civilizaciones. Con los diferentes estudios que se han hecho de la captación de agua de lluvia se puede concluir que cumplen un papel fundamental en la satisfacción de las necesidades domésticas, principalmente, y en la producción agrícola.

Después del paso de los siglos, la utilización de aljibes fue cayendo en desuso por la mayor facilidad de conducción de agua mediante tuberías. En el siglo XX comenzó la aparición de bombas eficaces que permitían la extracción de agua de pozos. Fue a finales de este siglo, con el avance de la tecnología y la disponibilidad de energía eléctrica, que se dio mayor uso de otros sistemas de abastecimiento de agua dejando a los aljibes como una opción poco utilizada.

Actualmente, la utilización de aljibes volvió a tomar importancia debido al desabastecimiento de agua en algunas áreas del planeta, en las que, aun habiendo agua, esta no está a disposición de una gran cantidad de la población. Otra razón que estimula hoy la recolección de agua de lluvia es el inquietante

aumento de la contaminación del agua de ríos y pozos, que hace a muchos habitantes mirar con más confianza al agua que cae del cielo que aquella recogida de la tierra, a la que, de igual manera, se le tiene que dar tratamiento para que sea potable.

El desarrollo de nuevos materiales, o el abaratamiento de otros, ha permitido que la captación segura y eficaz del agua de lluvia sea cada vez más competitiva y accesible en comparación con otros sistemas. El uso de PVC y el polietileno en estos días hace más fácil de realizar la construcción de los sistemas de captación de agua de lluvia en comparación con los que se utilizaban en los siglos pasados, de construcción más detallada y compleja. Es evidente una diferencia significativa en los volúmenes de agua almacenados entre los aljibes antiguos y los actuales. Además, nuevos materiales ofrecen más facilidad de limpieza y de mantenimiento.

1.1. Descripción demográfica

Descripción demográfica aldea Xayá, municipio de Santa Lucía Cotzumalguapa, departamento de Escuintla.

1.1.1. Localización y ubicación geográfica

La aldea Xayá, ubicada en el municipio de Santa Lucía Cotzumalguapa, se localiza en la latitud 14° 15' 00" -y en la longitud 91° 07' 00"⁵. Limita al Norte con cañaverales del ingenio Madre Tierra; al Sur, con la aldea Cañaverales; al Este, con el ingenio La Unión; y al Oeste, con el departamento de Suchitepéquez y el río Coyolate.

⁵ Se aclara que la información propuesta para el análisis de la comunidad se hará con base a inferencias con su municipio debido a las limitaciones técnicas de los entes para brindar información específica acerca de dicha comunidad.

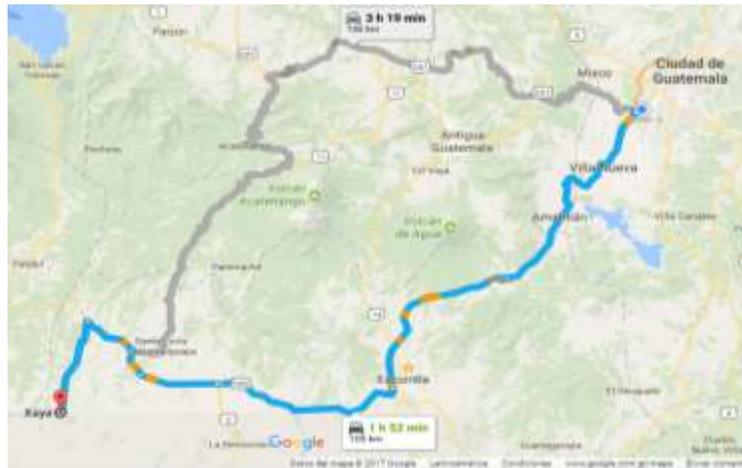
Figura 2. **Mapa del departamento de Escuintla**



Fuente: *Mapa de la división territorial de Escuintla*. www.mapasguatemala.net/mapa/mapa-escuintla-mapa-division-territorial.html. Consulta: 29 abril de 2015.

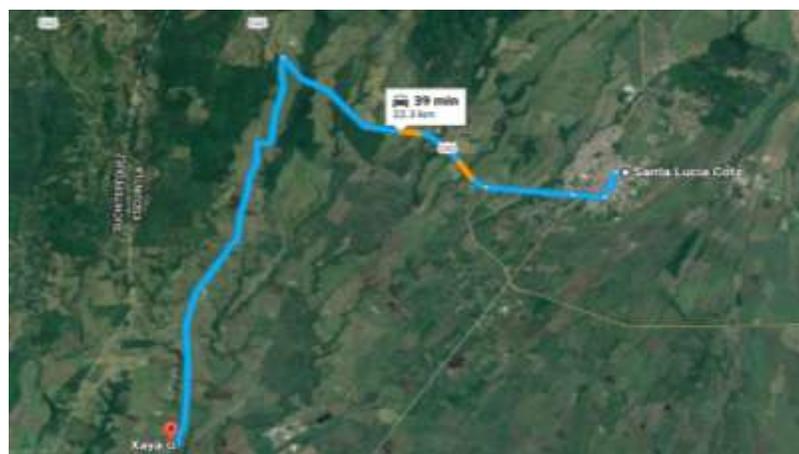
Para llegar a la aldea Xayá tomando como punto de referencia la Universidad de San Carlos de Guatemala ubicada en la zona 12, se tiene que tomar la ruta como lo indica la figura 3. La aldea Xayá se encuentra a 22,3 km del municipio de Santa Lucía Cotzumalguapa, según se puede observar en la figura 3, a un tiempo estimado de llegada de 45 minutos. Se realiza un cruce para la izquierda viniendo del casco urbano de Santa Lucía Cotzumalguapa para la aldea dejando la carretera CA-2 y tomando un camino de terracería hacia el lugar.

Figura 3. **Trayectoria desde la Universidad de San Carlos hacia aldea Xayá**



Fuente: Ubicación localizada con la plataforma Google Maps. www.google.com/maps. Consulta: 29 de abril 2015.

Figura 4. **Trayectoria desde Santa Lucía Cotzumalguapa hacia aldea Xayá**



Fuente: Ubicación localizada con la plataforma Google Maps. www.google.com/maps. Consulta: 29 de abril 2015.

1.2. Distribución administrativa actual

La aldea Xayá se encuentra dentro del territorio del municipio de Santa Lucía Cotzumalguapa, administrativamente está compuesto por 1 ciudad o centro urbano, que es la cabecera municipal Santa Lucía Cotzumalguapa, 41 colonias, 5 aldeas que son: Río Santiago, Xayá, Las Playas, Miriam y El Tránsito; así como con 7 caseríos que son: Cruce de Camantulul, Agüero, El Carrizal, Las Flores, El Amatillo, El Jícara y El Barco; 3 parcelamientos, 4 micro parcelamientos, 60 fincas, 6 guardianías, 1 ranchería y 14 haciendas.⁶

1.3. Clima

La aldea Xayá no cuenta con una estación meteorológica que brinde información del clima por lo que se tomaron los valores de la estación meteorológica del INSIVUMEH más cercana. En la estación de Camantulul, ubicada en el municipio de Santa Lucía Cotzumalguapa, es en donde se recopiló la información de 2016.

Se caracteriza por tener un clima cálido en la parte más baja y en la meseta, superior ligeramente templado; tiene una temperatura promedio de 25,3°C. Es uno de los lugares que recibe más precipitación pluvial en la temporada de lluvia, está un promedio de 3 500 mm al año, que inicia en el mes de abril y finaliza en octubre o a principios de noviembre.⁷

Durante la temporada de lluvia su intensidad provoca tormentas eléctricas y fuertes vientos. Se encuentra a una altura de 370 metros sobre el nivel del mar. La velocidad del viento promedio anual es de 2,3 kilómetros por hora, la

⁶ Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia -SEGEPLAN-, 2010.

⁷ Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología -INSIVUMEH-, 2016.

dirección del viento durante 1990 hasta 2006 fue constante hacia el sur, a partir de año 2007 hasta 2015, la dirección promedio anual varió de este a sur y de sur a este. El promedio anual de nubosidad es de 4 octas (4/8 de cielo cubierto o cielo parcialmente nublado). El porcentaje de humedad relativa es de un 78 % y la evaporación es de 128,40mm. La temperatura se encuentra dentro del rango de 17°C a 32°C.⁸

1.4. Idiomas

En la aldea Xayá el idioma predominante es el español. En Santa Lucía Cotzumalguapa, aún se encuentran entrelazados indígenas y ladinos, por lo que se habla el k'iche', el kaqchikel y el español. Este último lo habla gran parte de la población.⁹

1.5. Economía

La economía de la aldea Xayá se basa en las grandes industrias de los ingenios azucareros como: Madre Tierra, El Baúl, Los Tarros y La Unión que, por su cercanía, permiten que muchos pobladores de la aldea trabajen para dichos ingenios. Santa Lucía Cotzumalguapa basa gran parte de su economía en la producción agrícola de caña de azúcar, maíz, frijol, hule, citronela, té de limón también la producción pecuaria, crianza de ganado vacuno principalmente; porcino, aves de corral. Igualmente, en fábricas de aceites de citronela y limón, de hielo, licores, velas, jabones, panela, entre otras.¹⁰

⁸ Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología -INSIVUMEH-, 2016.

⁹ Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia -SEGEPLAN-2010.

¹⁰ Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia -SEGEPLAN-2010.

1.6. Recursos naturales

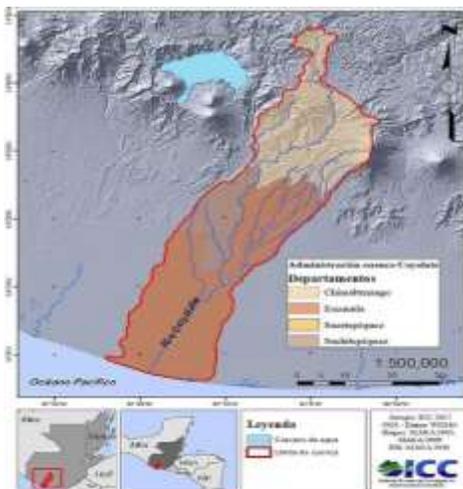
Recursos naturales de aldea Xayá, municipio de Santa Lucía Cotzumalguapa, departamento de Escuintla.

1.6.1. Hídricos

Los ríos más críticos para la aldea Xayá son el Agua Zarca y Aguná considerados como los más importantes para el sector. Santa Lucía Cotzumalguapa cuenta con la vertiente de varios ríos, que lo hacen sobresalir en las actividades agropecuarias, por lo que se hace necesario mencionar los que se consideran más importantes. Entre estos están: río Coyolate, Acomé, Petayá, Agüero, Cristobal, Pantaleón, Popoyá, Santiago, Camarón, Xata, La Parida, Martir, Del Ganado, Del Muerto, Gobernador y Santo Domingo.¹¹ Estos ríos son parte de la cuenca Coyolate, según se pueden observar en la figura 5.

¹¹ Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia -SEGEPLAN-2010.

Figura 5. **Mapa de ríos de la cuenca Coyolate**



Fuente: Mapa de ríos de la cuenca Coyolate.

www.walterbardalesrecursoshidricos.blogspot.com/2009/11/mapas-de-la-cuenca-coyolate.html.

Consulta: 29 abril de 2015.

En la época lluviosa los cauces de los ríos crecen, lo cual provoca inundaciones en las poblaciones cercanas a los mismos. La aldea Xayá se encuentra en medio de los ríos Aguna y Agua Zarca, la crecida del río Agua Zarca provoca varios problemas para los habitantes y en el sistema de distribución de agua que es suministrado por el ingenio Madre Tierra. Las inundaciones hacen que la distribución del agua dentro de la aldea sea interrumpida porque las tuberías que la conducen atraviesan el río haciendo que estas se dañen, perdiendo operatividad del sistema por la sedimentación de materiales y la ausencia de desarenadores que lo impidan.

1.6.2. Bosques

Los bosques tienen características muy húmedas, subtropicales y cálidas, las principales especies forestales son: latifoliados que poseen una extensión

territorial de 40 km² y bosques naturales de 50 km². En los últimos años el área boscosa de la aldea Xayá ha disminuido debido a la tala de árboles y al crecimiento de la siembra de caña de azúcar, que es el cultivo predominante de la región, lo cual deteriora el ambiente y vuelve más lenta la tasa de retorno del ciclo hidrológico. La erosión provocada por la tala de árboles contribuye a que ocurran inundaciones en las zonas cercanas a los cauces de los ríos.¹²

1.7. Orografía

El municipio de Santa Lucía Cotzumalguapa cuenta con dos montañas: los achiotos y montaña China localizadas al suroeste de la cabecera, entre los ríos Coyolate y Agua Zarca, las cuales importantes por albergar diversas especies de vegetación y animales silvestres. También existen los cerros de Belanjuyú, La Cumbre y Sanaí. El 80 % del municipio está conformado por planicie.

1.8. Microrregiones

Por las características del relieve, el municipio se divide en tres regiones representativas: la alta, que está entre los límites de altura de 800 y 400 msnm; la región media, entre los límites de altura de 400 y 200 msnm y la región baja, entre los 200 y 100 msnm.

Dentro de estas regiones existen microrregiones que, por sus características de actividad económica, localización y entorno, se agrupan en cinco áreas que presentan condiciones similares de vida.

La aldea Xayá, por las características de su relieve, se encuentra en la región media, a una altura aproximada de 346 msnm.

¹² Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia -SEGEPLAN-2010..

1.9. Población

Tomando en consideración los datos estadísticos, como resultado de los censos de población de 2002 se estima que los habitantes de Santa Lucía Cotzumalguapa se encuentran distribuidos de la siguiente manera.¹³

1.9.1. Número de hogares y tasa de crecimiento

Según los censos poblacionales de 1994 y 2002 el total de habitantes era de 52 211 y 85 974 respectivamente, para 2016 según, proyecciones del Instituto Nacional de Estadística -INE-, Santa Lucía Cotzumalguapa, contaba con una población de 129 341 habitantes.

En la aldea Xayá para 2016 se registraron 1 443 personas según datos brindados por el censo realizado por la Municipalidad de Santa Lucía Cotzumalguapa.

1.9.2. Por sexo, edad, pertenencia étnica y área geográfica

La población de la aldea Xayá se encuentra distribuida étnicamente de la siguiente manera: el 10 % indígena y 90 % no indígena. En los censos poblacionales de 1994 y 2002, las áreas urbanas del municipio de Santa Lucía Cotzumalguapa son todas aquellas que de forma oficial son reconocidas como colonias o pueblos. En cuanto a las rurales se consideran las fincas, aldeas, parcelamientos, caseríos y asentamientos. La población se concentra principalmente para 2012 en el área rural con un 58 % y un 42 % en la urbana. El municipio de Santa Lucía Cotzumalguapa está conformado por jóvenes y adultos entre las edades de 15 y 64 años, que corresponden al 59 % del total

¹³ Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia -SEGEPLAN-2010.

de habitantes. En donde según los datos del Instituto Nacional de Estadística -INE-¹⁴ el mayor porcentaje de la población económicamente activa lo ocupa el sexo masculino, estadísticas que se pueden tomar para la aldea Xayá por la ausencia de datos.

1.10. Infraestructura y servicios básicos

En los siguientes incisos se expondrá acerca de la infraestructura y servicios básicos con los que cuenta la aldea Xayá, municipio de Santa Lucía Cotzumalguapa, departamento de Escuintla.

1.10.1. Cobertura educativa

La aldea Xayá tiene una escuela que cubre las necesidades de la población estudiantil, brinda educación a 196 niños y niñas según las inscripciones de 2016.

¹⁴ XI Censo poblacional y VI de habitación del año 2002. Instituto Nacional de Estadística -INE-.

Figura 6. **Escuela aldea Xayá**



Fuente: elaboración propia.

1.10.2. Deserción

La tasa de deserción en la aldea Xayá es del 5 % en relación con el total de alumnos inscritos, las principales causas de esta problemática son que los niños tienen que ir a traer agua para uso doméstico, y según la investigación, en un mayor porcentaje son las niñas; mientras los niños se marchan con los padres para realizar trabajos en las fincas de las cercanías o en los ingenios azucareros.

1.10.3. Salud

Acceso a servicios de salud de aldea Xayá, municipio de Santa Lucía Cotzumalguapa, departamento de Escuintla.

1.10.3.1. Centros de atención médica

La aldea Xayá no cuenta con algún centro de atención médica, se les brinda un servicio durante 1 vez al mes cuando llega el Centro de Salud a la aldea. Para optar a un servicio se tienen que dirigir a Santa Lucía Cotzumalguapa que se encuentra a 22,3 km de distancia. El municipio de Santa Lucía Cotzumalguapa cuenta con el Instituto Guatemalteco de Seguridad Social, un Centro de Salud tipo “B” que pasó a ser Centro de Atención Permanente -CAP- con atención de partos sin riesgo, dos puestos de salud ubicados en aldea El Cajón y El Jabalí, clínicas privadas, sanatorios, laboratorios y un consultorio parroquial.

1.10.4. Agua

Existen algunas comunidades que no cuentan con el servicio de agua, especialmente en el área rural, en donde la población beneficiada con este servicio es del 57 % y el restante 42 % tiene pozos en sus hogares.

La captación del agua que se distribuye por el ingenio Madre Tierra para la aldea Xayá se realiza en los nacimientos del río Agua Zarca debido a que no se cuenta con un sistema de distribución municipal, según se pueden observar en las figuras 7 y 8, donde se aprecia la caja de captación y parte del nacimiento que llega hasta ahí.

Figura 7. **Caja de captación del río Agua Zarca**



Fuente: elaboración propia.

Figura 8. **Sitio de captación del río Agua Zarca**



Fuente: elaboración propia

Debido a la deficiencia en la cobertura del servicio de agua potable que se le brinda a la comunidad, es un total de 500 litros por familia al día distribuidos en 2 horas de servicio, es importante la implementación de sistemas alternativos de captación de agua que cubran un volumen mayor al servicio que ya se les brinda.

1.10.5. Energía eléctrica domiciliar

En la aldea Xayá se cuenta con servicio de energía eléctrica, se cubre la demanda para la mayoría de los pobladores de la comunidad. En la figura 9 se puede observar el tendido eléctrico con el que cuenta Xayá, tiene una cobertura ininterrumpida del servicio eléctrico de aproximadamente 85 %.

Figura 9. **Alumbrado eléctrico en aldea Xayá**



Fuente: elaboración propia.

La falta de cobertura del servicio de energía eléctrica para todos los hogares en el municipio deja como mejor opción sistemas alternativos de captación de agua que no necesiten energía eléctrica para su funcionamiento.

El municipio de Santa Lucía Cotzumalguapa cuenta con servicio de energía eléctrica domiciliar proporcionado por la Empresa Eléctrica de Guatemala, S.A. -EEGSA-. Para 2002 la cobertura abastece a 19 590 hogares. Según datos del Ministerio de Energía y Minas -MEM- en 2016 incrementó a 29 816 viviendas, un total de 25 447 usuarios con un índice de 85,35 %.

Según los datos del Índice de Cobertura Eléctrica de 2016 del Ministerio de Energía y Minas, la cobertura eléctrica para 2016 en hogares del área urbana con servicio fue de 4 051, un 96 % y sin servicio 188, un 4 %. Así se tiene que para ese año un 77 % (10 618) de hogares en el área rural ya tenía el servicio y un 23 % (3 215) no.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Ciclo hidrológico

La descripción del ciclo hidrológico puede comenzar en cualquier punto, ya que como todo ciclo no tiene ni principio ni fin. Los estados en los que se puede encontrar el agua en la tierra son tres: líquida, sólida y gaseosa. Toda el agua de la tierra está comprendida en la hidrósfera, la cual se distribuye en tres reservorios principales: los océanos, los continentes y la atmósfera, entre los cuales existe una circulación constante. El movimiento del agua dentro del ciclo hidrológico es ocasionado por la energía radiante del sol y por la fuerza de gravedad.¹⁵

El ciclo hidrológico es una serie de fenómenos por los cuales el agua pasa de la superficie terrestre encontrándose en fase de vapor, a la atmósfera y regresa en sus fases líquidas y sólidas. La evaporación es la transferencia de agua desde la superficie de la tierra hacia la atmósfera en forma de vapor de agua. La transpiración se debe a las plantas y los animales y la sublimación es el paso directo del agua sólida a vapor de agua. La evotranspiración es una relación entre la evaporación y la transpiración.

La precipitación se da cuando el agua es transportada por la circulación atmosférica y se condensa, el agua condensada da lugar a la formación de nieblas y nubes y posterior a eso la precipitación. La precipitación puede ser en fase líquida en forma de lluvia o en fase sólida en forma de nieve o granizo.

¹⁵ Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura –FAO-, 2013.

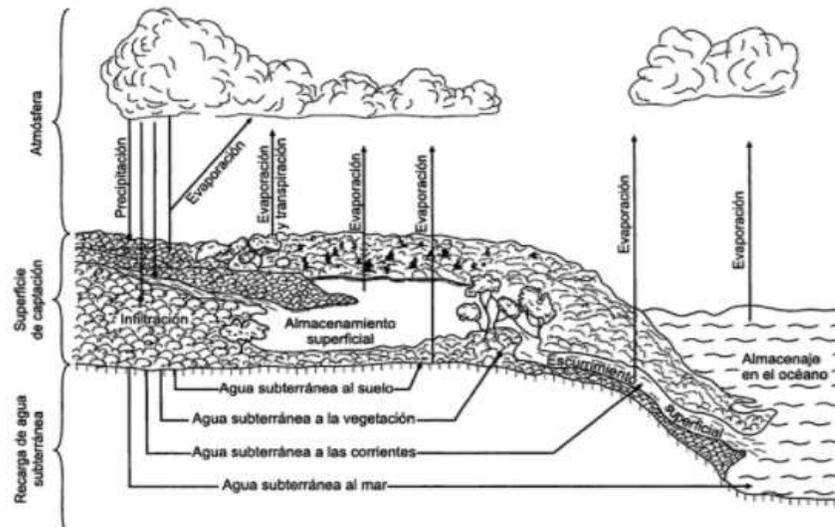
El destino que tiene el agua cuando precipita a la tierra puede ser variado. La evaporación devuelve una parte directamente a la atmósfera. La escorrentía superficial ocurre cuando el agua escurre por la superficie del terreno. El agua sobrante se infiltra, es decir, que se penetra en el del suelo, la cual puede volver a la atmósfera por evotranspiración o alcanzar los mantos freáticos si se penetra más en el suelo.¹⁶

El escurrimiento superficial y el subterráneo complementan los cursos de agua que desaguan en los lagos y en los océanos. El agua que se precipita sobre la superficie se dividirá en tres grupos: la parte que regresa a la atmósfera por el proceso de evapotranspiración, por escurrimiento superficial y por escurrimiento subterráneo. La fuente de energía térmica es responsable de darle origen a las circulaciones atmosféricas, que se transporte el vapor de agua y mueva las nubes, el paso del agua desde fase líquida y sólida a la fase de vapor, es la energía que proviene del sol. La precipitación y el escurrimiento se dan por la fuerza de gravedad.

El ciclo se mantiene gracias al regreso a las regiones de origen que se deben a la acción combinada del escurrimiento proveniente de los ríos y de las corrientes marinas, según se puede observar en la figura 10, donde se realiza un esquema de todo el ciclo.

¹⁶ Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura –FAO-, 2013.

Figura 10. **Ciclo hidrológico**



Fuente: UNAM. *Principios de hidrogeografía. Estudio del ciclo hidrológico.* p. 12.

2.2. Tipos de fuentes de agua

Las fuentes de abastecimiento de agua pueden ser:

- Subterráneas: manantiales, pozos
- Superficiales: lagos, ríos, canales
- Pluviales: agua precipitable

El tipo de fuente de abastecimiento influye directamente en las alternativas tecnológicas viables. El rendimiento de la fuente de abastecimiento puede condicionar el nivel de servicio por brindar. ¹⁷

¹⁷ UNAM. *Estudio del ciclo hidrológico.*

La operación y el mantenimiento de la alternativa seleccionada deben estar de acuerdo con la capacidad de gestión de los beneficiarios del proyecto, a costos compatibles con su perfil socioeconómico.

2.2.1. Fuentes subterráneas

La captación de aguas subterráneas se puede realizar a través de manantiales, galerías filtrantes y pozos excavados y tubulares.

Las fuentes subterráneas protegidas generalmente están libres de microorganismos patógenos y presentan una calidad compatible con los requisitos para consumo humano. Sin embargo, previamente a su utilización es fundamental conocer las características del agua, para lo cual se requiere realizar análisis fisicoquímicos y bacteriológicos correspondientes.¹⁸

En la aldea Xayá las fuentes de aguas subterráneas se pueden dar de dos formas. Los pozos (son escasos debido al alto costo económico que significa su realización) y los manantiales.

2.2.2. Fuentes superficiales

Las aguas superficiales están constituidas por los ríos, lagos, embalses, arroyos, etcétera. La calidad del agua superficial puede estar comprometida por contaminaciones provenientes de la descarga de desagües domésticos como las letrinas, residuos de actividades industriales como la de los ingenios azucareros de la región, que contaminan las fuentes de agua debido a los fertilizantes que utilizan en los sembradíos de caña, presencia de animales, residuos sólidos y otros.

¹⁸ UNAM. *Estudio del ciclo hidrológico*.

Para la aldea Xayá, es el tipo de fuente que utilizan para satisfacer la demanda de agua, captándola del río Agua Zarca y distribuida a la aldea por el ingenio Madre Tierra.

2.2.3. Fuentes pluviales

Fuentes pluviales con las que cuenta la aldea Xayá.

2.2.3.1. Agua precipitable

Para que se formen las nubes, el agua que se evapora de la superficie terrestre debe elevarse hasta que la presión y la temperatura sean las necesarias para que exista condensación, es decir, hasta que se pueda alcanzar el punto de rocío.¹⁹

Cuando una masa de aire asciende, se ve sujeta a una presión gradualmente decreciente; entonces se expande y al expandirse, disminuye su temperatura. Si la temperatura disminuye lo suficiente como para quedar por abajo del punto de rocío, puede comenzar la condensación. Esta tiene lugar al unirse varias de las pequeñas gotas que forman las nubes (cuyos diámetros entre 5 y 100 μm) para formar gotas más grandes; sin embargo, para que esta unión verifique en cantidades significativas sin las intervenciones de otros elementos, es necesario que la supersaturación sea mayor de la que normalmente se produce en la atmósfera; en esas condiciones se tendrán núcleos de condensación uniformes.

En realidad, estos núcleos se forman, con las condiciones de supersaturación comunes, alrededor de corpúsculos de naturaleza mineral u

¹⁹ UNAM. *Estudio del ciclo hidrológico.*

orgánica presentes en la atmósfera y provenientes de erosión orográfica, cristales de sal marina, que se encuentran incluso en sitios ubicados a gran distancia del mar. De esta manera se forman gotas más grandes (con diámetros de 100 a 500 μ) que tienen ya suficiente peso para caer bajo la acción de la fuerza de gravedad. Durante su caída las gotas crecen aún más en virtud de su coalescencia, con lo que pueden alcanzar diámetros de 5 a 7 mm o mayores.

Debido a las condiciones meteorológicas que se tienen en la aldea Xayá, las fuentes de agua pluvial pueden ser una alternativa para satisfacer las necesidades de abastecimiento de agua domiciliar y para consumo humano.

2.3. Precipitación

Se considera precipitación a cualquier producto de condensación del agua atmosférica que cae sobre la superficie terrestre. Pueden distinguirse varios tipos: llovizna (0,1-0,5 mm D), lluvia (D>0,5 mm), escarcha, nieve, bolitas de nieve, granizo y bolas de hielo. La precipitación es uno de los procesos meteorológicos más importantes para la hidrología, y junto a la evaporación constituye la forma mediante la cual la atmósfera interactúa con el agua superficial en el ciclo hidrológico del agua.²⁰

La evaporación de la superficie del océano es la principal fuente de humedad para la precipitación. Sin embargo, la mayor cantidad de precipitación no necesariamente cae sobre los océanos, ya que la circulación atmosférica transporta la humedad grandes distancias. La localización de una región respecto de la circulación atmosférica, su latitud y distancia a una fuente de humedad, son principalmente los responsables de su clima.

²⁰ UNAM. *Estudio del ciclo hidrológico*.

2.3.1. Clasificación de precipitación

Los eventos de precipitación diaria se pueden clasificar de acuerdo con sus características físicas y con el mecanismo de formación.

2.3.1.1. De acuerdo con sus características físicas

La precipitación puede adquirir diversas formas como producto de la condensación del vapor de agua atmosférico, formado en el aire libre o en la superficie de la tierra, y de las condiciones locales; Las más comunes son las que se detallan a continuación:

2.3.1.1.1. Llovizna

Consiste en pequeñas gotas de agua líquida cuyo diámetro fluctúa entre 0,1 y 0,5 mm; debido a su pequeño tamaño tienen un asentamiento lento y en ocasiones parecen que flotarán en el aire. La llovizna usualmente cae de estratos bajos y rara vez excede de 1 mm/h.

Este tipo de precipitación se da en la aldea Xayá cuando está comenzando y finalizando la época de lluvia.

2.3.1.1.2. Lluvia

Es la forma de precipitación más conocida. Consiste en gotas de agua líquida comúnmente mayores a los 5mm de diámetro. Este tipo de precipitación es el que se cuantifica utilizando un pluviómetro para conocer la cantidad de lluvia que se precipita.

Para la aldea Xayá el inicio de este evento se da a finales de abril o inicios de mayo, en comparación a otros departamentos del país donde comienza a finales de mayo o inicios de junio.

2.3.1.1.3. Granizo

Es la precipitación en forma de bolas de hielo, producida por nubes convectivas. El granizo se forma a partir de partículas de hielo que, en sus desplazamientos por la nube, van "atrapando" gotas de agua. Las gotas se depositan alrededor de la partícula de hielo y se congelan formando capas, como una cebolla. Los granizos pueden ser esferoidales, cónicos o irregulares en forma, y en su tamaño varía desde 5 hasta 125 mm de diámetro, pueden destrozar cosechas.

Este tipo de precipitación es muy extraño que ocurra en Xayá debido a las condiciones atmosféricas de la región.

En la aldea Xayá el tipo de precipitación que se tiene es en forma de llovizna y de lluvia, los más comunes para toda la región.

2.3.2. Registro de precipitación

Se han desarrollado gran cantidad de instrumentos entre los cuales hay pluviómetros y pluviógrafo para la medición de la precipitación. Todas las formas de medición de precipitación se calculan sobre la base de una columna vertical de agua que se acumularía sobre el terreno si permaneciese en ese lugar.

Se cuantifica la precipitación pluvial caída en un punto mediante cualquier recipiente de paredes rectas, midiendo después la columna de agua recogida, la unidad de medición es el milímetro. La intensidad de precipitación se expresa en milímetros/hora.

Cuando se dispone de datos pluviométricos de varios años se puede calcular qué probabilidad existe de que las precipitaciones del año próximo superen un determinado valor o lo contrario.

2.3.2.1. Pluviómetro

Según la descripción del Instituto Nacional De Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología - INSIVUMEH -, el pluviómetro tipo Hellman consiste en un cilindro cuya boca receptora tiene un área de 200 centímetros cuadrados, con un anillo de bronce con borde biselado en la parte superior, unido al borde biselado cuyo fondo tiene forma de embudo, y ocupa aproximadamente la mitad del cilindro. El agua recogida va a través del embudo hacia una vasija de boca estrecha llamada colector y para evitar la evaporación por calentamiento, está aislada del cilindro exterior.

Para la medición del agua recolectada en el pluviómetro se utiliza una probeta de vidrio o de plástico graduado con una escala de milímetros o pulgadas, posee unas marcas largas que definen los milímetros y unas marcas cortas que definen décimas de milímetros.

El pluviómetro utilizado en la finca Cañaverales del Sur para la medición de la lluvia de la aldea Xayá se puede observar en las figuras 11 y 12.

Figura 11. **Pluviómetro utilizado en finca Cañaverales**



Fuente: elaboración propia.

Figura 12. **Pluviómetro plástico utilizado en finca Cañaverales**



Fuente: elaboración propia.

2.3.2.2. Pluviógrafo

Para registrar en forma continua las cantidades de precipitación caídas se utiliza el pluviógrafo. Los registros pueden definir la cantidad de precipitación y el tiempo que esta utilizó, con lo cual se puede analizar la distribución de la lluvia en el tiempo para así calcular la intensidad de lluvia. El mecanismo de registro está formado por un tambor que gira a velocidad constante sobre el que se coloca un papel graduado especialmente. En el recipiente se coloca un flotador que se une mediante un juego de varillas a una plumilla que marca las alturas de precipitación en el papel.

El recipiente normalmente tiene una capacidad de 10 mm de lluvia y, al alcanzarse esta capacidad, se vacía automáticamente mediante un sifón. El registro que se obtiene de un pluviógrafo se llama pluviograma.

La información de precipitación pluvial se genera en forma discreta, utilizando el pluviómetro y realizando las lecturas totales acumuladas en intervalos de 6, 12 o 24 horas. Si se utiliza el pluviógrafo se obtiene un registro continuo de la precipitación, es posible analizar la variación temporal de la lluvia en intervalos de minutos. La medición más común en las estaciones climatológicas son los valores discretos de los pluviómetros.

Para cualquier variable hidrológica se pueden aplicar técnicas para análisis de valores máximos, mínimos y ordinarios. Las técnicas mencionadas hacen uso de herramientas probabilísticas, estadísticas, empíricas y determinísticas.

2.4. Aljibes

Según el artículo *Guía para el diseño y captación de agua de lluvia*,²¹ los aljibes son depósitos que sirven para contener agua de lluvia para el suministro de personas y/o animales. El uso del aljibe consiste técnicamente en recolectar y utilizar el agua de lluvia que se descarga de las superficies duras, como los techos o el escurrimiento de suelos. Dada su antigüedad el uso del aljibe se pudiera considerar de carácter ancestral que no requiere de grandes tecnicismos para su implementación, por tal motivo y en consideración de esta tesis se deduce que está recuperando popularidad debido a que los grupos rurales buscan nuevas formas de obtener recursos hídricos.

En los últimos tres siglos, los sistemas de captación de agua de lluvia contruidos con canaletas en las orillas de los techos y el almacenamiento en cisternas han sido la base para el abastecimiento de agua de uso doméstico en varios lugares del mundo. Aunque estos sistemas de captación de agua de lluvia están desapareciendo en muchos países, se estima que alrededor de 100 millones de personas en el mundo dependen parcial o totalmente de estos sistemas, según información de la Organización Panamericana de la Salud.

Países como Guatemala y Honduras, generalmente utilizan cisternas con capacidades de 100 a 150 m³. El aljibe puede ser parte de un elemento arquitectónico en el cual se pueden simbolizar la adaptación humana al medio natural. En la cual se puede ver representado como el almacenar agua para sobrevivir para luego dosificarla durante el tiempo que alcance. La parte

²¹ Organización Panamericana de la Salud. Lima, Perú. *Guía de diseño para captación del agua de lluvia*. p. 5.

fundamental para el aljibe es el agua, porque con la falta de esta, solo sería una estructura vacía.²²

Los aljibes están contruidos en lugares donde se puede aprovechar el recurso hídrico.

“Un aljibe para una familia y sus necesidades puede tener unas dimensiones aproximadas de 10 m x 5 m x 4 m. Con lo puede almacenar en un buen año de lluvias es hasta 200 m³, o lo que es lo mismo 200 000 litros, y así disponer diariamente de la mitad de un metro cúbico (500 L) Para dar de beber al ganado, a las bestias, a los animales de corral y para el consumo familiar”²³.

La construcción depende de la finalidad con la que se quiera utilizar y de las posibilidades de alimentación del vital líquido. Los de jarra y los de pozo suelen construirse en fincas o casa de labor para abastecimiento humano o animales. Los de cisterna son los sistemas que más abundan en el campo.

La forma que tiene es rectangular y alargada y están cubiertos por una bóveda. Son los de mayor capacidad entre las otras opciones anteriormente mencionadas, y pueden ser utilizados también para suministrar a poblaciones o a casas individuales. En la figura 13 se observa el tipo de sistema que se utilizó para la aldea Xayá.

²² Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura –IICA-. *Sistemas de captación de agua de lluvia para uso domestico en América latina y el Caribe.*

²³ MUÑOZ MUÑOZ, Juan Antonio. *Cultura del agua.* p.54.

Figura 13. **Sistema de captación por aljibe**



Fuente: Organización Panamericana de la salud. *Guía de diseño para captación del agua de lluvia*. p. 5.

2.4.1. Componentes del sistema de captación

El sistema de captación de agua de lluvia en techos está compuesto de los siguientes elementos:

2.4.1.1. Captación

La captación está conformada por el techo de la edificación, que deberá contar con pendiente y superficie adecuadas para que facilite el escurrimiento del agua de lluvia hacia el sistema de recolección. En el cálculo se debe considerar la proyección horizontal del techo.

Los materiales empleados en la construcción de techos para la captación de agua de lluvia son la lámina de zinc ondulada, tejas de arcilla, paja y otros. La lámina de zinc es liviana, fácil de instalar y necesita pocos cuidados según

se puede observar en la figura 14, pero puede resultar costosa y difícil de encontrar en algunos lugares donde se intente proyectar este sistema.

Las tejas de arcilla tienen buena superficie y suelen ser más baratas, pero son pesadas, y para instalarlas se necesita de una buena estructura, además que para su elaboración se requiere de una buena fuente de arcilla y combustibles para su cocción.

El forraje (paja) por ser de origen vegetal, tiene la desventaja que libera lignina y tanino, lo que le da un color amarillento al agua, pero que no tiene mayor impacto en la salud siempre que la intensidad sea baja. En todo caso puede ser destinada para otros fines diferentes al de bebida.

Figura 14. **Techo de edificación aldea Xayá**



Fuente: elaboración propia.

2.4.1.2. Recolección y conducción

Está conformado por las canaletas que van adosadas en los bordes más bajos del techo, en donde el agua tiende a acumularse antes de caer al suelo. El material de las canaletas debe ser liviano, resistente al agua y fácil de unir entre sí, a fin de reducir las fugas de agua. Al efecto se puede emplear materiales, como el bambú, madera, metal o PVC. En la figura 15 se observa la forma en la que se tiene que colocar la canaleta de recolección, instalada en la aldea Xayá.

Para el caso de las primeras aguas es necesario contar con un dispositivo de descarga, pues constituyen una posible fuente de contaminación.

Figura 15. **Canaleta de recolección**



Fuente: elaboración propia.

2.4.1.3. Interceptor

Conocido también como dispositivo de descarga de las primeras aguas provenientes del lavado del techo y que contiene todos los materiales que en él se encuentren en el momento del inicio de la lluvia. Este dispositivo impide que el material indeseable ingrese al depósito de almacenamiento y de este modo minimiza la contaminación del agua almacenada y de la que vaya a almacenarse posteriormente.

Al inicio del tubo de bajada al interceptor deberá existir un ensanchamiento que permita encauzar el agua hacia el interceptor sin que se produzcan reboses, y su ancho inicial debe ser igual al doble del diámetro de la canaleta debiendo tener la reducción a una longitud de dos veces el diámetro, según se puede observar en la figura 16. En el diseño del dispositivo se debe tener en cuenta el volumen de agua requerido para lavar el techo y que se estima en 1 litro por m² de techo.

Figura 16. **Tubos de bajada al interceptor**



Fuente: Organización Panamericana de la salud. *Tecnologías apropiadas en agua potable y saneamiento básico*. helid.digicollection.org/en/d/Jwho91s/2.8.2.html. Consulta: 30 mayo de 2016.

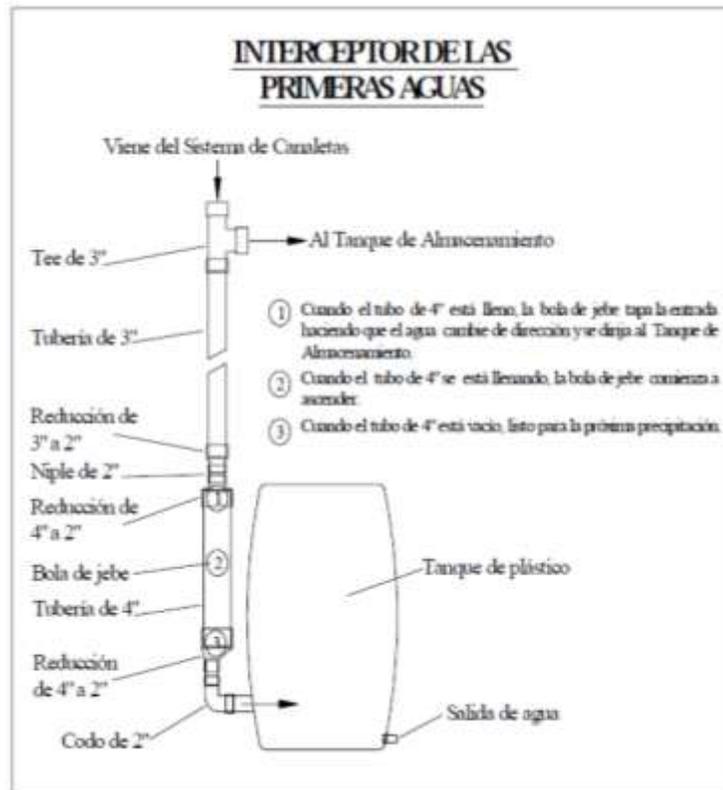
2.4.1.4. Almacenamiento

Es la obra destinada a almacenar el volumen de agua de lluvia necesario para el consumo diario, en especial durante el periodo de sequía. Según la figura 17 se puede observar cómo tiene que ser el interceptor de aguas y algunas de las indicaciones para las primeras lluvias.

Según la *Guía de diseño para captación del agua de lluvia* publicado por la OPS, la unidad de almacenamiento debe ser duradera y al efecto debe cumplir con las especificaciones siguientes:

- Impermeable para evitar la pérdida de agua por goteo o transpiración.
- De no más de 2 m de altura para minimizar las sobre presiones.
- Con tapa para impedir el ingreso de polvo, insectos y de la luz solar.
- Disponer de una escotilla con tapa sanitaria lo suficientemente grande como para que permita el ingreso de una persona para la limpieza y reparaciones necesarias.
- La entrada y el rebose deben contar con mallas para evitar el ingreso de insectos y animales.
- Dotado de dispositivos para el retiro de agua y el drenaje.

Figura 17. **Interceptor de aguas**



Fuente: Organización Panamericana de la salud. *Guía de diseño para captación del agua de lluvia*. p. 7.

2.4.1.4.1. **Depósito de almacenamiento**

El volumen del depósito de almacenamiento se determinará por medio del balance de masa a partir del mes de mayor precipitación y por el lapso de un año, entre el acumulado de la oferta de agua y el acumulado de la demanda mes por mes del agua destinada al consumo humano. En la figura 21 se puede observar un ejemplo de un tipo de depósito de almacenamiento.

El volumen neto del depósito de almacenamiento es la resultante de la sustracción de los valores máximos y mínimos de la diferencia de los acumulados entre la oferta y la demanda de agua.

Por su tipología se puede calificar a los depósitos para almacenamiento de los aljibes como laderas, barrancos o procedentes de la lluvia, según se pueden observar los distintos tipos en las figuras 18, 19 y 20.

Figura 18. **Depósito tipo jarra**



Fuente: *Aljibe de jarra*. www.todocoleccion.net. Consulta: 30 mayo de 2017.

Figura 19. **Depósito tipo pozo**



Fuente: *Aljibe de pozo*. www.elblogdegabrielalvarez.blogspot.com/2015/05/eres-aljibe-o-pozo.html. Consulta: 30 mayo de 2017.

Figura 20. **Depósito tipo cisterna**



Fuente: *Cisterna*. www.tecnodepósitos.com/cisterna-para-agua-5000-litros/. Consulta: 30 mayo de 2017.

Los tipos de depósitos de almacenamiento de agua de lluvia que pueden ser empleados en el medio rural podrían ser construidos con los materiales siguientes:

- Mampostería para volúmenes menores 100 a 500 L
- Ferrocemento para cualquier volumen
- Concreto para cualquier volumen
- PVC para volúmenes comerciales.

Figura 21. **Depósito de almacenamiento**



Fuente: Organización Panamericana de la salud. *Tecnologías apropiadas en agua potable y saneamiento básico*. helid.digicollection.org/en/d/Jwho91s/2.8.2.html. Consulta: 30 mayo de 2016.

2.4.1.4.2. Filtro de arena

El filtro de arena consiste en un depósito con una capa de arena clasificada. El agua cruda fluye verticalmente en la arena, se remueven en ese recorrido, mayormente en la capa superior, las partículas en suspensión y bacterias. El agua filtrada es recolectada desde el fondo del filtro. Periódicamente, la capa superior de la arena que contiene los sólidos retenidos debe ser removida, lavada y vuelta a colocar.

Este proceso solo se aplica para aguas con turbiedad baja. En estos filtros se desarrollan bacterias colaboradoras útiles para la eliminación de parásitos. El proceso es efectivo también para remoción de compuestos orgánicos, incluyendo algunos pesticidas.

Los componentes para realizar el filtro de arena, tienen que tener las siguientes especificaciones. El recipiente se puede fabricar con los materiales que se puedan conseguir en la aldea Xayá, en el fondo del recipiente, se colocan 7,5 cm de piedrín. Luego sobre el piedrín se colocan 5 cm de arena gruesa y, sobre esta, se colocan 50 cm de arena fina, como se puede ejemplificar en la figura 21.

Para mantener siempre húmedo el material filtrante, la salida del tubo por el que se sirve el agua filtrada deberá estar por lo menos 5 cm más alto que el nivel superior de la arena, con la finalidad de que se forme una capa de biológica y que los microorganismos que se forman se encarguen de realizar la limpieza.

3. DISEÑO METODOLÓGICO

A continuación, se detalla la metodología utilizada para la evaluación del sistema de captación del agua de lluvia mediante la utilización de aljibes.

3.1. Variables

Las variables aplicadas en el diseño de captación, se divide en dos grupos: independientes y dependientes.

3.1.1. Variables independientes

A continuación, se presentan las variables independientes y su relación de importancia en el trabajo.

Tabla I. Variables independientes

Variable	Símbolo	Unidad	Descripción
Intensidad de lluvia	I_{Tr}	mm/hora	Es la cantidad de lluvia registrada en una hora.
Precipitación media mensual	P_{pi}	mm	Es la cantidad promedio de precipitación que tiene el país en un año.
Coeficientes de escorrentía	C_{es}	No aplica	Estos coeficientes de escorrentía varían según el material constructivo del techo.

Fuente: elaboración propia.

3.1.2. Variables dependientes

A continuación, se presenta la lista de variables dependientes y su relación de importancia con el trabajo.

Tabla II. Variables dependientes

Variable	Símbolo	Unidad	Descripción
Volumen del depósito de almacenamiento	A_i	m^3	Es la cantidad de lluvia que se captará por el sistema correspondiente a un mes
Volumen necesario	V_i	m^3	Es el volumen del depósito de almacenamiento necesario para un mes.
Demanda	D_i	m^3	Número de usuarios que se benefician del sistema

Fuente: elaboración propia.

3.2. Delimitación del campo de estudio

El diseño del sistema de captación y almacenamiento de agua de lluvia por medio de aljibe se realizó en el área rural de la aldea Xayá municipio de Santa Lucía Cotzumalguapa, departamento de Escuintla, que brinda las condiciones climatológicas adecuadas para el diseño.

Debido a que la falta de cobertura del servicio en Xayá es de 2 horas por día, lo equivalente a 500 litros y tiene una precipitación e intensidad de lluvia alta que permite almacenar 1 000 litros de agua pluvial, es factible realizar de este diseño para satisfacer la necesidad de agua para los pobladores de Xayá.

3.3. Recursos materiales disponibles

A continuación, se detallan los materiales, equipos y reactivos que se utilizaron durante el proceso experimental.

3.3.1. Equipo

- Área de captación (generalmente el techo de las viviendas, siempre que estos sean de teja, lámina de zinc o fibro-cemento).
- Filtro.
- Cisterna o depósito de almacenamiento.
- Canaletas.
- Cubierta de la cisterna.

3.3.2. Materiales

- Grava, piedrín, o piedra de río
- Carbón vegetal o mineral
- Arena gruesa
- Arena fina
- Hipoclorito de sodio

3.4. Técnica cualitativa o cuantitativa

El presente trabajo se desarrolló en un marco netamente cualitativo. Esto debido a que se realizó un diseño de un sistema de captación y almacenamiento de agua de lluvia mediante aljibe con base en estimaciones de la precipitación media mensual y la intensidad de lluvia de la aldea Xayá, que brindará el volumen de agua que necesita el depósito de almacenamiento.

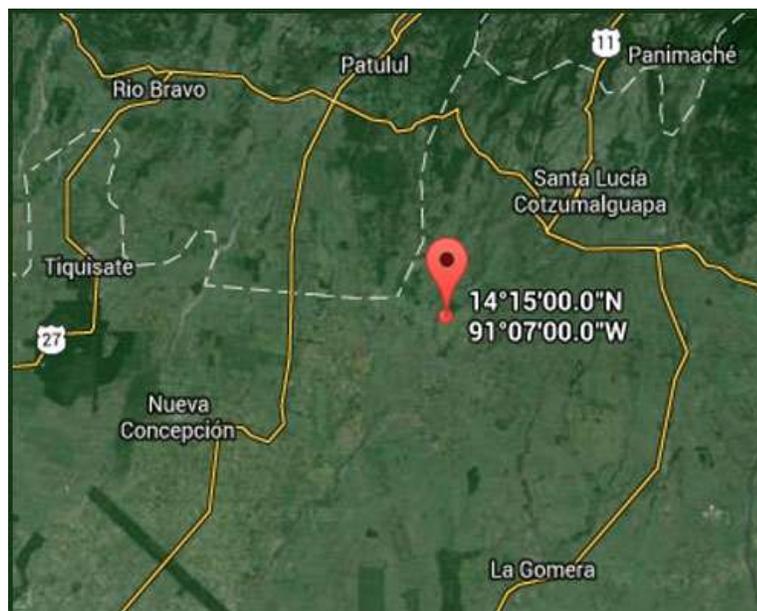
3.5. Recolección y ordenamiento de la información

La información recolectada en la aldea Xayá se ordenó de la siguiente manera:

3.5.1. Ubicación de la recolección

La recolección de muestras se realizó en la aldea Xayá del municipio de Santa Lucía Cotzumalguapa, departamento de Escuintla, Guatemala. Según se puede observar las coordenadas en la figura 22. Para una ubicación detallada se puede leer en la sección de localización y ubicación geográfica del capítulo 1.

Figura 22. Ubicación de aldea Xayá



Fuente: ubicación localizada con la plataforma Google Maps. Consulta:30 de junio 2016.

3.5.2. Proceso de recolección

Para obtener datos de la aldea Xayá, se realizaron visitas técnicas y se observaron las características de las casas. Se consultó información de las bases de datos de la finca Cañaverales del Sur que se tienen respecto de lecturas del pluviómetro. Se consultó la base de datos de la municipalidad de Santa Lucía Cotzumalguapa donde se obtuvo la cantidad de habitantes para la aldea Xayá, así como también el sexo y la edad para determinar el número de habitantes por familia.

Las visitas técnicas a Xayá brindaron información acerca del tipo de techos predominantes en las casas.

Los datos de la intensidad de lluvia se obtuvieron del Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología de Guatemala - INSIVUMEH – del departamento de Investigación y Recursos Hídricos en su boletín de Intensidad de Precipitación en la República de Guatemala. Los datos de precipitación media diaria y mensual de la aldea Xayá se obtuvieron de información recolectada por el pluviómetro del ingenio Madre Tierra a través de la finca Cañaverales del Sur.

La estación climatológica del Instituto Nacional De Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH), más cercana que brinda la información de las mediciones es Camantulul, una finca del municipio de Santa Lucía Cotzumalguapa, que se ubica a una latitud de 14°19'30", longitud de 91°03'03" y altura de 280 m.

3.6. Plan de análisis de resultados

Se realizó tomando como base los siguientes parámetros:

3.6.1. Precipitación promedio mensual

$$P_{pi} = \sum_{i=1}^n (P_i)$$

[Ecuación 1]

Donde:

n = número de años evaluados

P_i = valor de la precipitación mensual del mes "i". (mm)

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

3.6.2. Cálculo de la demanda de agua

$$D_i = \frac{Nu \times Nd \times Dot}{1000}$$

[Ecuación 2]

Donde:

Nu = número de usuarios que se benefician del sistema

Nd = número de días del mes analizado

Dot = dotación (L/persona/día)

D_i = demanda mensual (m^3)

3.6.3. Volumen de agua captada

$$A_i = \frac{P_{pi} \times C_e \times A_c}{1000}$$

[Ecuación 3]

Donde:

P_{pi} = Precipitación promedio mensual (litros/m²)

C_e = Coeficiente de escorrentía

A_c = Área de captación (m²)

A_i = Abastecimiento correspondiente al mes "i" (m³)

3.6.4. Volumen necesario de agua

$$V_i = A_i - D_i$$

[Ecuación 4]

Donde:

V_i = volumen del depósito de almacenamiento necesario para el mes "i" (m³)

A_i = volumen de agua que se captó en el mes (m³)

D_i = volumen de agua demandada por los usuarios para el mes "i" (m³)

3.6.5. Intensidad y duración de lluvias

La intensidad es la altura de la precipitación expresada en milímetros para un intervalo de tiempo dado, la intensidad de la lluvia generalmente se calcula para varios intervalos y diferentes periodos.

Estos datos son de importancia, ya que las lluvias con altas intensidades en cortos periodos, presentan una mayor actividad erosiva en los suelos e incrementan el volumen de escorrentía.

Para conocer la intensidad y la duración de la lluvia, se utiliza el pluviómetro que registra las intensidades en mm, para diferentes periodos (5, 10, 15, 20, 30, 40, 60, 80, 100 y 120) minutos para cualquier tormenta. El pluviómetro utilizado para la aldea Xayá, se puede observar en las figuras 11 y 12.

3.6.6. Coeficientes de escorrentía

Según la infraestructura que se observó en la aldea Xayá existen varios tipos de techos en los hogares, siendo predominante en un 80 % los de lámina de zinc, a continuación, se detalla cada uno de ellos con el respectivo coeficiente de escorrentía, ver tabla II.

Tabla III. Coeficientes de escorrentía

MATERIAL	COEFICIENTE
Lámina de zinc	0,90
Teja de arcilla	0,80 – 0,90
Madera	0,80 – 0,90
Paja	0,60 – 0,70

Fuente: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, UNATSABAR.

Criterios de Diseño. p. 5.

Para la aldea Xayá el material predominante en los techos de las casas es de lámina de zinc, es el tipo de techo que utilizan para las edificaciones según, se puede observar varios ejemplos en las figuras 23, 24 y 25.

Figura 23. **Casa con techo de lámina**



Fuente: elaboración propia.

Figura 24. **Casa patronal con techo de lámina**



Fuente: elaboración propia.

Figura 25. **Escuela de aldea Xayá con techo de lámina**



Fuente: elaboración propia.

3.6.7. Almacenamiento

En el diseño que se realizó para la aldea Xayá el almacenamiento se efectuó en una cisterna de PVC, porque es lo más adecuado según las condiciones existentes en la aldea ya que cumple con las especificaciones mencionadas para convertirse en la opción más viable.

3.6.7.1. Depósito de almacenamiento

El volumen del depósito de almacenamiento que se utilizó para realizar el diseño en la aldea Xayá fue de PVC con una capacidad de 1 000 litros, según se puede observar un ejemplo en la figura 20.

4. RESULTADOS

4.1. Precipitación promedio mensual

Los datos de la precipitación pluvial mensual correspondientes a los años 2015 y 2016 fueron obtenidos de la información recolectada por el Ingenio Madre Tierra y del pluviómetro que se ubican en la finca Cañaverales del Sur, en las colindancias de la aldea Xayá. En la tabla IV se pueden observar los datos de precipitación mensual para los años mencionados.

Tabla IV. Precipitación media mensual para los años 2015 y 2016

Ubicación pluviómetro en Cañaverales del Sur	Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total (mm/año)
	2015	20		104	186	398	391	372	141	354	608	515	2	3 091
	2016	36		15	180	376	911	708	851	702	802	513	64	5 143

Fuente: elaboración propia.

Según datos del por estación del Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología -INSIVUMEH-, ²⁴ los registros de precipitación anual de 2015 y 2016 para la estación de Camantulul se pueden observar en la tabla V.

²⁴ Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH). Estación Camantulul, Municipio de Santa Lucía Cotzumalguapa.

Tabla V. **Precipitación anual estación Camantulul**

Estación Meteorológica	Elevación (msnm)	Longitud	Latitud	Precipitación anual, 2015 (mm)	Precipitación anual, 2016 (mm)
CAMANTULUL	280	910 303	141 930	3 879	4 237

Fuente: Datos por estación Meteorológica. INSIVUMEH

Se observaron los datos de la estación de Camantulul por ser la más cercana a la aldea Xayá de la red de estaciones climatológicas de INSIVUMEH, los registros de precipitación utilizados fueron los brindados por la finca Cañaverales del Sur, que posee un pluviómetro dentro de la aldea y registra la precipitación pluvial.

4.2. **Demanda de agua**

El cálculo de la demanda de agua se realizó utilizando la ecuación no.2, para un promedio de 5 personas por familias, según la información brindada por el Instituto Nacional de Estadística en el censo poblacional realizado en 2002 y la municipalidad de Santa Lucía Cotzumalguapa, asumiendo un mes de 30 días y una dotación por persona según el área rural de 80 L/persona/día.

4.2.1. **Mensual**

$$D_i = \frac{5 \text{ personas} \times 30 \text{ días} \times 80 \text{ L/persona/día}}{1\ 000} = 12,0 \text{ m}^3$$

4.2.2. Diaria

$$D_i = \frac{5 \text{ personas} \times 1 \text{ días} \times 80 \text{ L/persona/día}}{1\ 000} = 0,4 \text{ m}^3$$

4.3. Volumen de agua captada por mes

El cálculo del agua captada por mes se realizó utilizando la ecuación no.3 obteniendo los datos de precipitación para cada mes de análisis, se asumió un techo de lámina para el coeficiente de escorrentía y el área de captación de un aproximado de 54 m². En las tablas VI y VII se pueden observar los datos de volumen de agua captada para 2015 y 2016.

Tabla VI. **Volumen de agua captada por mes, año 2015**

Mes	PP (mm)	Ce	Ac (m ²)	Ai (m ³)
Enero	20	0,9	54	0,97
Febrero	0	0,9	54	0
Marzo	104	0,9	54	5,05
Abril	186	0,9	54	9,03
Mayo	398	0,9	54	19,34
Junio	391	0,9	54	19,00
Julio	372	0,9	54	18,07
Agosto	141	0,9	54	6,85
Septiembre	354	0,9	54	17,20
Octubre	608	0,9	54	29,54
Noviembre	515	0,9	54	25,02
Diciembre	2	0,9	54	0,09

Fuente: elaboración propia.

Tabla VII. **Volumen de agua captada por mes, año 2016**

Mes	PP (mm)	Ce	Ac (m²)	Ai (m³)
Enero	36	0,9	54	1,74
Febrero	0	0,9	54	0
Marzo	15	0,9	54	0,72
Abril	180	0,9	54	8,74
Mayo	376	0,9	54	18,27
Junio	911	0,9	54	44,27
Julio	708	0,9	54	34,40
Agosto	851	0,9	54	41,35
Septiembre	702	0,9	54	34,11
Octubre	802	0,9	54	38,97
Noviembre	513	0,9	54	24,93
Diciembre	64	0,9	54	3,11

Fuente: elaboración propia.

4.4. Volumen necesario de agua mensual

El cálculo para el volumen necesario de agua para cada mes se realizó con la ecuación 4. En las tablas VIII y IX se pueden observar los datos de volumen necesario de agua mensual para 2015 y 2016.

Tabla VIII. **Volumen necesario de agua mensual, año 2015**

Mes	Ai(m³)	Di (m³)	Vi(m³)
Enero	0,972	12	-11,02
Febrero	0	12	-12
Marzo	5,0544	12	-6,94
Abril	9,0396	12	-2,96
Mayo	19,3428	12	7,34
Junio	19,0026	12	7,00
Julio	18,0792	12	6,07
Agosto	6,8526	12	-5,14
Septiembre	17,2044	12	5,20
Octubre	29,5488	12	17,54
Noviembre	25,029	12	13,02
Diciembre	0.0972	12	-11.90

Fuente: elaboración propia.

Tabla IX. **Volumen necesario de agua mensual, año 2016**

Mes	Ai(m³)	Di (m³)	Vi(m³)
Enero	1,7496	12	-10,25
Febrero	0	12	-12
Marzo	0,729	12	-11,27
Abril	8,748	12	-3,25
Mayo	18,2736	12	6,27
Junio	44,2746	12	32,27
Julio	34,4088	12	22,40
Agosto	41,3586	12	29,35
Septiembre	34,1172	12	22,11
Octubre	38,9772	12	26,97
Noviembre	24,9318	12	12,93
Diciembre	3,1104	12	-8,88

Fuente: elaboración propia.

4.5. Volumen de agua captada por día

El cálculo del agua captada por día se realizó utilizando la ecuación no.3 obteniendo los datos de precipitación para cada día de análisis, se asumió un techo de lámina para el coeficiente de escorrentía y el área de captación de un aproximado de 54 m². En las tablas X y XI se pueden observar los datos de volumen de agua captada para los años 2015 y 2016.

Tabla X. **Volumen de agua captada por día para 2015**

Mes	PP (mm)	Ce	Ac(m²)	Ai(m³)
Enero	0,67	0,9	54	0,03
Febrero	0,00	0,9	54	0,00
Marzo	3,47	0,9	54	0,17
Abril	6,20	0,9	54	0,30
Mayo	13,27	0,9	54	0,65
Junio	13,03	0,9	54	0,63
Julio	12,40	0,9	54	0,60
Agosto	4,70	0,9	54	0,23
Septiembre	11,80	0,9	54	0,57
Octubre	20,27	0,9	54	0,99
Noviembre	17,17	0,9	54	0,83
Diciembre	0,07	0,9	54	0,00

Fuente: elaboración propia.

Tabla XI. **Volumen de agua captada por día para 2016**

Mes	PP (mm)	Ce	Ac(m²)	Ai(m³)
Enero	1,20	0,9	54	0,06
Febrero	0,00	0,9	54	0,00
Marzo	0,50	0,9	54	0,02
Abril	6,00	0,9	54	0,29
Mayo	12,53	0,9	54	0,61
Junio	30,37	0,9	54	1,48
Julio	23,60	0,9	54	1,15
Agosto	28,37	0,9	54	1,38
Septiembre	23,40	0,9	54	1,14
Octubre	26,73	0,9	54	1,30
Noviembre	17,10	0,9	54	0,83
Diciembre	2,13	0,9	54	0,10

Fuente: elaboración propia.

4.6. Volumen de agua necesario diario

El cálculo para el volumen necesario de agua para cada día se realizó con la ecuación no.4. En las tablas XII y XIII se pueden observar los datos de volumen necesario de agua mensual para los años 2015 y 2016.

Tabla XII. **Volumen necesario de agua diario para 2015**

Mes	Ai(m³)	Di (m³)	Vi(m³)
Enero	0,03	0,4	-0,37
Febrero	0,00	0,4	-0,40
Marzo	0,17	0,4	-0,23
Abril	0,30	0,4	-0,10
Mayo	0,65	0,4	0,25
Junio	0,63	0,4	0,23
Julio	0,60	0,4	0,20
Agosto	0,23	0,4	-0,17
Septiembre	0,57	0,4	0,17
Octubre	0,99	0,4	0,59
Noviembre	0,83	0,4	0,43
Diciembre	0,00	0,4	-0,40

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIII. **Volumen necesario de agua diario para 2016**

Mes	Ai(m³)	Di (m³)	Vi(m³)
Enero	0.06	0,4	-0,34
Febrero	0.00	0,4	-0,40
Marzo	0.02	0,4	-0,38
Abril	0.29	0,4	-0,11
Mayo	0.61	0,4	0,21
Junio	1.48	0,4	1,08
Julio	1.15	0,4	0,75
Agosto	1.38	0,4	0,98
Septiembre	1.14	0,4	0,74
Octubre	1.30	0,4	0,90
Noviembre	0.83	0,4	0,43
Diciembre	0.10	0,4	-0,30

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIV. **Materiales utilizados para el aljibe**

Material y/o equipo	Descripción
Lámina	De zinc
Canaleta	Tipo U de lámina de zinc o PVC
Accesorios de canaletas	De PVC
Tubería de conexión	De PVC
Tanque de almacenamiento	De 1 000 litros

Fuente: elaboración propia.

Figura 26. **Diseño de captación, vista frontal**



Fuente: elaboración propia.

Figura 27. **Diseño de captación, vista lateral**



Fuente: elaboración propia.

5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Históricamente el municipio de Santa Lucía Cotzumalguapa, departamento de Escuintla, registra valores elevados de precipitación pluvial según la estación meteorológica del Instituto de Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH), ubicada en Santa Lucía Cotzumalguapa con el nombre de Camantulul siendo la que se encuentra más cercana a la aldea Xayá obteniendo valores de precipitación pluvial anuales para 2015 y 2016, según se pueden observar en la tabla V.

En la aldea Xayá que se encuentra en el área rural de dicho municipio se registraron los valores de precipitación media mensual y anual para 2015 y 2016 según se observa en la tabla IV. Estos valores fueron obtenidos utilizando un pluviómetro que se encuentra en la Finca Cañaverales del Sur. Se realizó el análisis para 2015 y 2016 con la finalidad de conocer las diferencias que se tienen en la cantidad de precipitación pluvial obtenida para cuando existe el fenómeno del Niño y la Niña. El fenómeno del Niño ocurrió en 2015, indicando que la precipitación pluvial será menor siendo de 3 091 mm (ver tabla IV). Y en 2016 el fenómeno de la Niña indicando que la precipitación pluvial será mayor de 5 143 mm. (Ver tabla IV)

La estación meteorológica de Camantulul sirvió para comparar la cantidad de lluvia precipitada para todo el municipio contra la precipitación pluvial de la aldea Xayá para los mismos años de estudio.

Según los datos obtenidos en la tabla IV la precipitación anual para 2015 de la aldea Xayá los valores obtenidos tienen una diferencia mayor a 2,000 mm

de precipitación pluvial que los valores para 2016 observando el efecto que tuvo el fenómeno del Niño para dicho año. Esto indica que en la temporada de invierno, de mayo a octubre, la precipitación pluvial fue mayor en 2016 denotado también la influencia que tuvo el fenómeno de la Niña.

Se calculó la demanda de agua mensual y diaria utilizando la ecuación 2²⁵ para las condiciones de la aldea Xayá, la cantidad de agua que necesita una familia para satisfacer sus necesidades básicas en el área rural es de 80 litros/persona/día.²⁶

El diseño del sistema de captación de agua de lluvia tiene que considerar un mínimo de 4 litros/persona/día,²⁷ para que sea destinada solamente a la bebida, preparación de alimentos e higiene bucal, por lo cual la factibilidad del sistema de captación de agua de lluvia para la aldea Xayá lo hace posible debido a los niveles de precipitación pluviométrica cubriendo las necesidades mínimas requeridas para el desarrollo integral de las personas.

Ya que el sistema de dotación de agua que se le da a la aldea por medio de tubería es racionado, brindando el servicio durante 2 horas al día en horario matutino y vespertino distribuyéndoles 500 litros de agua por familia a un caudal aproximado de 4 litros/minuto es insuficiente para satisfacer las necesidades básicas de los pobladores de la aldea Xayá, buscando así sistemas alternativos para suplir la demanda de agua requerida.

²⁵ Organización Panamericana de la Salud. Lima, Perú. *Guía de diseño para captación del agua de lluvia*. p.9.

²⁶ Instituto de Fomento Municipal. 2011. *Guía de normas sanitarias para el diseño de sistemas rurales de abastecimiento de agua para consumo humano*. p.27.

²⁷ Organización Panamericana de la Salud. Lima, Perú. *Guía de diseño para captación del agua de lluvia*. p.11.

Para determinar el volumen de agua captado se determinaron las condiciones de la aldea Xayá, según las visitas técnicas realizadas se observó que los techos de las casas de dicha aldea en su mayoría son de láminas de zinc.

La escuela de la aldea y la oficina de la finca Cañaverales del Sur tienen techos de lámina, por lo que se trabajó con el coeficiente de esorrentía para dicho material. Las dimensiones comerciales de una lámina de zinc son de 2,15 m de largo por 1,05 m de ancho dando un área efectiva por lámina de zinc de 2,25 m². Se estableció que las viviendas de la aldea poseen 24 láminas aproximadamente para cubrir los techos dando un resultado de 54 m² de área de captación efectiva, este valor sirvió para para calcular el volumen de agua captada por mes, utilizando la ecuación 3 ²⁸.

En las tabla VI y VII se pueden observar los valores obtenidos, los cuales demuestran que para la época de lluvia donde se dio el fenómeno de la Niña en 2016, la cantidad de precipitación pluvial almacenada supera 18 m³ para el mes que tuvo menos lluvia, lo cual demuestra que cubrirá la demanda de agua mensual de 12 m³ para una familia de cinco integrantes.

Se realizó el cálculo para el volumen de agua captado diariamente en donde se puede observar que para 2015 según se observa en la tabla X, donde se dio el fenómeno del Niño, todos los valores para los meses de época de lluvia superan los 0,5 m³ lo cual demuestra que cubrirá la demanda de agua diaria de 0,4 m³ para una familia de cinco integrantes, exceptuando agosto, debido a la presencia de canícula y no cumple con estos valores, mostrando que la cantidad de lluvia precipitada se equipara a la dotación de agua que se

²⁸ Organización Panamericana de la Salud. Lima, Perú. *Guía de diseño para captación del agua de lluvia*. p.9.

les brinda por el servicio de agua entubada, haciendo este diseño viable, incluso para los años donde la precipitación es menor o que exista fenómenos del Niño.

Los valores del volumen de agua captada por día para 2016 se pueden observar en la tabla XI, en donde existió el fenómeno de la Niña todos los valores para la época de lluvia superaron la dotación que se le brinda a la aldea Xayá el mayor de estos es de 1,476 m³ en junio, equivalente a casi 3 veces la cantidad de agua que se le brinda en el suministro entubado, mostrando que el sistema de captación de agua de lluvia es una alternativa viable para época de lluvia en donde pueden almacenar el agua para los días donde la precipitación sea menor.

El cálculo del volumen de agua necesario mensual son valores que se determinaron utilizando la ecuación 4,²⁹ analizando si el diseño de captación de agua de lluvia por medio de aljibes satisface las necesidades de los habitantes de la aldea Xayá.

Según los datos de la tabla VIII todos los valores cumplen con la demanda de agua mensual para satisfacer las necesidades de la aldea, exceptuando para el mes de agosto donde se tiene un valor negativo, lo que indica que para ese mes no se cumple con la demanda necesaria debido a la canícula, estos valores provienen de la cantidad de lluvia captada para 2015 donde existió el fenómeno del Niño, cuando solo en un mes no se cumple con la demanda de agua para las personas.

Los valores de la tabla IX muestran el volumen de agua necesario para 2016 donde existió el fenómeno de la Niña y se puede observar que para la

²⁹ Organización Panamericana de la Salud. Lima, Perú. *Guía de diseño para captación del agua de lluvia*. p.9.

época de lluvia el diseño de captación de agua cumple con la demanda de agua necesaria mensual para los pobladores de la aldea, teniendo un valor máximo de almacenamiento de hasta 32,27 m³ de agua.

Se determinó, mediante la utilización de la ecuación 4, que diariamente las personas de la aldea Xayá lograron satisfacer la demanda de agua pudiendo llenar el depósito de almacenamiento de 1 m³ en aproximadamente 4 días para días con baja precipitación pluvial siendo en agosto del 2015 y en días en donde se cuenta con alta precipitación pluvial se necesitará menos de 1 día para sobrepasar dicha capacidad, según se puede observar en la tabla XII.

Todos los valores para los meses de época de lluvia cumplen con la demanda diaria de agua exceptuando agosto, donde no cumple con esta condición debido a la canícula ya que la cantidad de precipitación pluvial para ese mes no fue la necesaria para cubrir con la demanda. En el mes donde existió una precipitación pluvial mayor se logra llenar el depósito de almacenamiento a más de la mitad de su capacidad, es decir, anual de 0,585 m³ en el mes de octubre.

En la tabla XIII se puede observar los valores de volumen necesario de agua para 2016 en donde se conoce que existió el fenómeno de la Niña. En dicha tabla se determinó que para todos los meses de la época de lluvia el sistema de captación de agua de lluvia por medio de aljibe, cumple con la demanda de agua para satisfacer las necesidades de las personas de la aldea Xayá y para el mes de junio se puede observar que se almacenará más agua de la capacidad del depósito (1,07 m³ de agua).

Para la época de lluvia donde se tiene excedente de agua, esta se puede guardar la cantidad de días que pueda satisfacer la necesidad de demanda de

agua diaria de 0,4 m³, siempre y cuando el agua no exceda los 4 días de almacenamiento estático, o, dicho de otra forma, que durante los 4 días no se obtenga agua del aljibe.

Cuando la precipitación sea mínima y ya no cumpla para satisfacer la demanda, el sistema de captación de agua de lluvia puede servir como un depósito para almacenar agua que se pueda obtener de servicio de agua entubada, ya que por las características en la que está diseñado el depósito, brinda una manera donde el agua puede almacenarse durante un tiempo mayor en comparación a otro depósito de almacenamiento que no sea hermético ni cumpla con las condiciones de higiene adecuadas.

CONCLUSIONES

1. El utilizar el sistema de aljibe para la captación de agua de lluvia contribuye al desarrollo integral de los niños y niñas de la aldea Xayá, ya que impide en gran medida, la deserción escolar ocasionada por las tareas de recolección de agua.
2. Se diseñó un sistema de captación de agua de lluvia por medio de aljibes, el cual es viable ya que 8 de cada 10 casas de la aldea son de techos de lámina de zinc y cumplen con las condiciones que requiere el diseño.
3. La precipitación pluvial en la época de lluvia, de abril a octubre, brinda al menos 4 litros/persona/día de agua, cantidad que es suficiente para cubrir el mínimo utilizado por familia recomendado por Instituto Nacional de Fomento Municipal (INFOM).
4. Una alternativa viable para complementar las necesidades mínimas de agua para la población de la aldea Xayá del municipio de Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla, es la recolección de agua de lluvia (en época de invierno) por medio de un sistema de aljibes.

RECOMENDACIONES

1. Cuando comience la época de invierno no recolectar las primeras lluvias y asegurarse de limpiar el techo, las canaletas y tuberías quitando la basura que se pudo haber acumulado en ellos, removiendo partículas extrañas y materia fecal de animales que puedan contaminar el agua que se quiere captar.
2. Mantener limpio el depósito de almacenamiento y realizarle una limpieza periódica para que se mantenga en buen estado y libre de proliferación de bacterias.
3. Para utilizar el agua del depósito de almacenamiento para consumo humano se recomienda tratarla con un sistema de cloración. Para el volumen de agua captada en este diseño es conveniente utilizar 50 gotas de cloro comercial (populino) cuando el depósito se encuentre a su máxima capacidad.
4. Los meses comprendidos de noviembre a abril, donde la precipitación pluvial es mínima, se recomienda la búsqueda de una fuente alternativa de abastecimiento de agua como la excavación de pozos.
5. Que el presente documento sea del conocimiento de los miembros del COCODE para que ellos se encarguen de reproducirlo de la mejor manera a los pobladores.

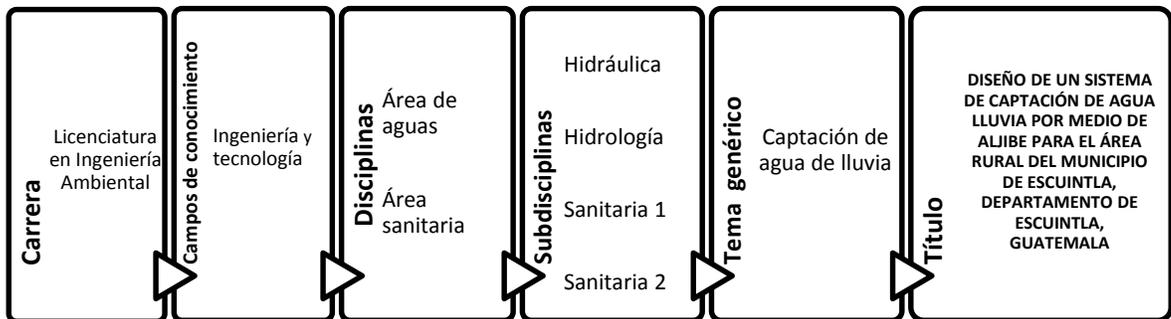
BIBLIOGRAFÍA

1. American Water Works Association. *Calidad y tratamiento del agua*. España: Editorial McGraw-Hill. 2002. 1248 p.
2. Comisión Guatemalteca de Normas (COGUANOR). Ministerio de Economía, Guatemala, C.A. *Norma COGUANOR NGO 29 001 AGUA POTABALE*. Guatemala. 1985. 15 p.
3. Instituto de Fomento Municipal (INFOM). Guatemala. *Guía de normas sanitarias para el diseño de sistemas rurales de abastecimiento de agua para consumo humano*. 2011. 33p.
4. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). *Estudio Nacional del Agua –ENA-*. Bogotá, Colombia: 2015. 493 p.
5. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). *Sistemas de captación de agua de lluvia para uso doméstico en América Latina y el Caribe*. México: s.l., 1998. 154 p.
6. Instituto Nacional de Estadística (INE). Guatemala. *Censos poblacionales del año 2002 y 2008*.
7. Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH). Estación Camantulul, Municipio de Santa Lucía Cotzumalguapa.

8. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). *Captación y almacenamiento de agua de lluvia, opciones técnicas para la agricultura familiar en América Latina y el Caribe*. Chile. 2013. 276 p.
9. Organización Panamericana de la Salud (OPS). *Guía de diseño para captación de agua de lluvia*. Perú. 2004. 15 p.
10. ORGANIZATION OF AMERICAN STATE (OAS). Informe final sobre el seminario-taller sobre tecnologías alternativas para aumentar la disponibilidad de agua en América Latina. Perú: s.e. 1995.
11. PESSOA, João. *Seminario iberoamericano sobre sistemas de abastecimiento urbano de agua*. 2006.
12. TEJEIRO VIDAL, Ramón. *Agua de lluvia agua saludable. Aljibes: historia, actualidad y futuro a partir de la experiencia de APRESAL en Alta Verapaz*. Guatemala. 2002. 108 p.
13. MADEREY RASCÓN, Laura Elena. *Principios de Hidrogeografía: Estudio del Ciclo Hidrológico*. México: Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Instituto de Geografía. 2005. 105 p.

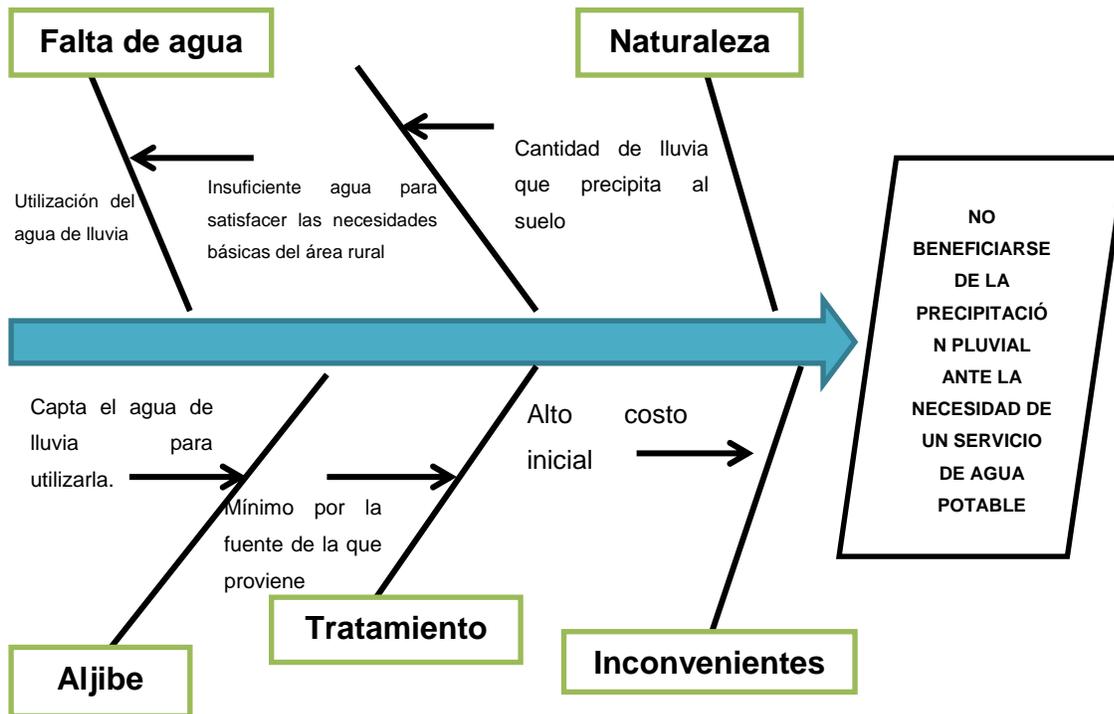
APÉNDICES

Apéndice 1. **Tabla de requisitos académicos**



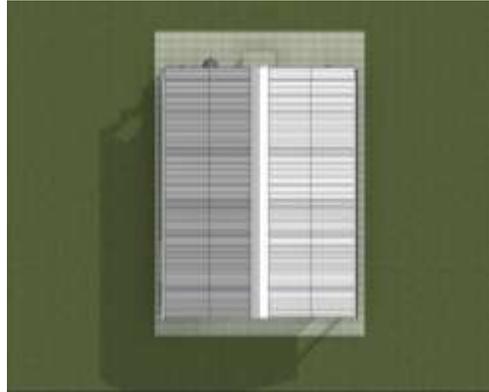
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. Diagrama de Ishikawa



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. **Diseño de captación de agua de lluvia por medio de aljibes, elevación**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4. **Diseño de captación de agua de lluvia por medio de aljibes, lateral**



Fuente: elaboración propia.

