

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE AGRONOMÍA  
ÁREA INTEGRADA**



**LAURA SUSELY GARCÍA LIMA**

**GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2018**

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE AGRONOMÍA  
ÁREA INTEGRADA**

**TRABAJO DE GRADUACIÓN**

**DIAGNÓSTICO Y ESTUDIO DE LOS USOS POTENCIALES DEL AGUA OBTENIDA  
DE LOS SISTEMAS DE CAPTACIÓN, EN LAS ZONAS 24 Y 25 MUNICIPIO DE  
GUATEMALA, GUATEMALA, C.A.**

**PRESENTADO A LA HONORABLE JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE  
AGRONOMÍA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

**POR**

**LAURA SUSELY GARCÍA LIMA**

**EN EL ACTO DE INVESTIDURA COMO  
INGENIERA**

**EN**

**GESTIÓN AMBIENTAL LOCAL  
EN EL GRADO ACADÉMICO DE LICENCIADA**

**GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2018**

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**RECTOR**

**Ing. M.Sc. Murphy Olympo Paiz Recinos**

**JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA**

<b>DECANO</b>	<b>Ing. Agro. Mario Antonio Godínez López</b>
<b>VOCAL PRIMERO</b>	<b>Dr. Tomás Antonio Padilla Cámara</b>
<b>VOCAL SEGUNDO</b>	<b>Ing. Agr. M. A. César Linneo García Contreras</b>
<b>VOCAL TERCERO</b>	<b>Ing. Agr. M. Sc. Erberto Raúl Alfaro Ortiz</b>
<b>VOCAL CUARTO</b>	<b>Per. en Electrónica Carlos Waldemar de León S</b>
<b>VOCAL QUINTO</b>	<b>P. Agr. Marvin Orlando Sicajaú Pec</b>
<b>SECRETARIO</b>	<b>Ing. Agr. Juan Alberto Herrera Ardón</b>

**GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2018**

Guatemala, septiembre de 2018

**Honorable Junta Directiva**

**Honorable Tribunal Examinador**

**Facultad de Agronomía**

**Universidad de San Carlos de Guatemala**

Honorables miembros:

De conformidad con las normas establecidas por la Ley Orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala tengo el honor de someter a vuestra consideración, el trabajo de Graduación titulado: **DIAGNÓSTICO Y ESTUDIO DE LOS USOS POTENCIALES DEL AGUA OBTENIDA DE LOS SISTEMAS DE CAPTACIÓN, EN LAS ZONAS 24 Y 25 MUNICIPIO DE GUATEMALA, GUATEMALA, C.A.** como requisito previo a optar el título de Ingeniera en Gestión Ambiental Local, en el grado académico de Licenciada.

Esperando que el mismo llene los requisitos necesarios para su aprobación, me es grato suscribirme,

Atentamente,

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

Laura Susely García Lima

## **ACTO QUE DEDICO A:**

**DIOS** Por llenar mi vida de amor y alegría, a través de su misericordia.

**MIS PADRES** Concepción García; por tus enseñanzas y esfuerzos, a pesar que no estas físicamente estoy convencida que estas disfrutando conmigo este momento. Sarita Lima por darme su amor y apoyo incondicional en cada momento de mi vida y enseñarme que los sueños no tienen límites, los amo.

**MIS ABUELITOS** Marcos García y Rufina Herrera por ser un ejemplo de fortaleza y bondad.

**MIS HERMANOS** Sonia García, Edy García, Jennifer Velásquez, José Juan Alfaro, Oscar García y Wilma Girón por su amistad, protegerme y ser mis ejemplos a seguir, gracias por estar a mi lado en todo momento.

A vos Yohana; quiero agradecerte especialmente por lo que fuiste y aunque tu partida aun nos duele estoy segura que estas gozando de los bienes espirituales, siempre te llevo en mi corazón y en mi mente.

**MIS SOBRINOS** Alejandro G, Rodrigo A, Bryan A, Jimena C, Dayana A, Adriana C, Andres G, Izabella G, Gabriel G, Emily G, María José A y Marco Ignacio por ser mi inspiración y gran alegría.

**FAMILIA EN GENERAL** A mis tíos y primos por su apoyo incondicional a lo largo de mi vida, y darme consejos llenos de sabiduría y amor.

**AMIGOS EN GENERAL** A mis muy queridos amigos por cada momento compartido, su ayuda y motivación.

**ESTUDIANTINA DE AGRONOMÍA** A mis amigos tunos por compartir conmigo el espíritu de la revolución a través de la música, se les quiere mucho.

## **AGRADECIMIENTOS**

### **MI ASESOR**

#### **Ing. Agr. Kelder Ortiz**

Por haberme guiado en este camino de la realización de la investigación y en el Ejercicio Profesional Supervisado, por proporcionarme los conocimientos necesarios para llegar a un feliz término, por ayudarme a formarme profesionalmente y tener la paciencia de corregir documentos.

### **MI SUPERVISOR**

#### **Ing. Agr. Alejandro Gil**

Por todo el apoyo en el proceso del EPS, así como en la dirección y guía durante la culminación del mismo.

### **UNIDAD DE APOYO A LAS ALCALDIAS AUXILIARES, MUNICIPALIDAD DE GUATEMALA**

Por brindarme la oportunidad de realizar mi EPS, contribuir con mi formación profesional y darme la oportunidad de ser parte de un equipo de trabajo tan especial.

### **FACULTAD DE AGRONOMÍA**

Por la formación superior en la especialización de mi carrera, procesos distintos y experiencias insuperables.

### **UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

La única de su tipo en el país, a la que siempre pondré en alto y estoy orgullosa de formar parte.

## Índice general

	<b>Página</b>
RESUMEN GENERAL .....	vii
ACRÓNIMOS .....	viii
1. CAPÍTULO I .....	1
1.1. INTRODUCCIÓN.....	2
1.2. MARCO REFERENCIAL .....	2
1.2.1. Ubicación geográfica de la Unidad de Apoyo a las Alcaldías Auxiliares, Guatemala.....	2
1.2.2. Visión .....	3
1.2.3. Misión .....	3
1.2.4. Proyectos que ejecuta la Unidad de Apoyo a las Alcaldías Auxiliares .....	3
1.2.5. Estructura organizacional de la UAAA .....	4
1.3. OBJETIVOS .....	6
1.3.1. Objetivo General .....	6
1.3.2. Objetivo Específicos .....	6
1.4. METODOLOGÍA.....	6
1.4.1. Primera fase .....	6
1.4.2. Segunda fase .....	6
1.5. RESULTADOS .....	7
1.5.1. Estructura organizacional del proyecto de Sistemas de captación de agua de lluvia .....	7
1.5.2. Procedimiento para ejecutar el proyecto .....	8
1.5.3. Funcionamiento del sistema.....	9
1.5.4. Sistemas implementados .....	10
1.5.5. Agua captada.....	12
1.5.6. Número de beneficiadas por sistemas implementados .....	12
1.5.7. Evaluación de funcionalidad de los sistemas.....	13
1.5.8. Análisis FODA .....	15
1.6. CONCLUSIONES .....	17
1.7. RECOMENDACIÓN .....	18
1.8. BIBLIOGRAFÍA.....	18

2.	CAPÍTULO II.....	19
2.1.	INTRODUCCIÓN .....	20
2.2.	MARCO TEÓRICO.....	21
2.2.1.	Marco Conceptual .....	21
2.2.2.	Marco Referencial .....	46
2.3.	OBJETIVOS .....	54
2.3.1.	Objetivo General .....	54
2.3.2.	Objetivos Específicos .....	54
2.4.	METODOLOGÍA.....	55
2.4.1	Selección de puntos de muestreo.....	55
2.4.2	Toma y transporte de muestras .....	57
2.4.3	Análisis de muestras.....	57
2.4.4	Análisis de la información .....	58
2.4.5	Formulación de propuesta .....	58
2.5.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	58
2.5.1	Análisis fisicoquímicos.....	59
2.5.2	Análisis microbiológicos .....	68
2.5.3	Análisis general de resultados.....	71
2.5.4	Propuesta de uso del agua cosechada .....	72
2.6.	CONCLUSIONES.....	79
2.7.	RECOMENDACIONES .....	80
2.8.	BIBLIOGRAFÍA .....	81
3.	CAPÍTULO III.....	87
3.1.	MANUAL TÉCNICO .....	88
3.1.1.	Objetivos.....	88
3.1.2.	Metodología.....	89
3.1.3.	Resultado .....	90
3.1.4.	Conclusiones .....	90

	<b>Página</b>
3.1.5. Recomendaciones .....	91
3.1.6. Medios de verificación .....	91
3.2. ESTRATEGIA PARA DIVULGACIÓN.....	93
3.2.1. Objetivos .....	93
3.2.2. Metodología .....	94
3.2.3. Resultado .....	95
3.2.4. Conclusiones.....	98
3.2.5. Recomendaciones .....	98
3.2.6. Medios de verificación .....	98
3.3. BIBLIOGRAFÍA.....	100
3.4. ANEXO .....	102

## Índice de cuadros

	<b>Página</b>
Cuadro 1. Análisis FODA.	16
Cuadro 2. Disponibilidad de agua en el mes más seco, nacional y por vertientes.	31
Cuadro 3. Características físicas, límite aceptable y límite mínimo del agua potable.	43
Cuadro 4. Sustancias químicas lím. Máx. Aceptables y lím. Máx. permisibles.	44
Cuadro 5. Valores guías para verificación de la calidad microbiológica del agua.	45
Cuadro 6. Tabla de valores del Índice de Langelier.	46
Cuadro 7. Comportamiento de la lluvia de junio-octubre del 2000-2016, Guatemala.	49
Cuadro 8. Legislación de Guatemala relacionada con el agua.	53
Cuadro 9. Nombre de escuelas y coordenadas donde se realizaron las muestras.	55
Cuadro 10. Resumen de resultados, escuelas y parámetros evaluados.	71
Cuadro 11. Propuesta del uso del agua tratada en los sistemas evaluados.	74
Cuadro 12. Cloración de agua según porcentaje de cloro.	75
Cuadro 13. Ventajas y desventajas de clorar el agua.	76
Cuadro 14. Ventajas y desventajas de hervir el agua.	77
Cuadro 15. Promedio de lluvia en litros por día.	78
Cuadro 16. Promedio de días de lluvia por mes.	78
Cuadro 17 A. Resultados de parámetros de la Escuela Cantón Jagüey, zona 24.	103
Cuadro 18 A. Resultados de parámetros de la Escuela Héctor Nuila, zona 24.	104
Cuadro 19 A. Resultados de parámetros de la Escuela El Buen Pastor, zona 25.	105
Cuadro 20 A. Resultados de parámetros de la Escuela La Esperanza, zona 25.	106
Cuadro 21 A. Resultados de parámetros de la Escuela Santa Delfina, zona 25.	107

## Índice de figuras

	<b>Página</b>
Figura 1. Estructura organizacional UAAA. ....	5
Figura 2. Estructura organizacional del proyecto de los sistemas. ....	8
Figura 3. Procedimiento para la implementación de los sistemas. ....	9
Figura 4. Diseño arquitectónico de un sistema (UAAA, 2016).....	10
Figura 5. Número de sistemas implementados en el municipio de Guatemala. ....	11
Figura 6. Puntos de ubicación de los sistemas implementados en el municipio.....	11
Figura 7. Litros de agua captada por todos los sistemas implementados. ....	12
Figura 8. Número de beneficiados por los sistemas de captación de agua de lluvia.....	13
Figura 9. Funcionalidad de los sistemas. ....	13
Figura 10. Satisfacción del servicio. ....	14
Figura 11. Cobertura a nivel municipal de beneficiados. ....	15
Figura 12. Jerarquía de las necesidades de agua.....	34
Figura 13. <i>Mapa del municipio de Guatemala por zonas.</i> ....	47
Figura 14. Zonas 24 y 25 del municipio de Guatemala. ....	48
Figura 15. Mapa de ubicación de los puntos de muestreo. ....	56
Figura 16. Etiqueta a utilizar para entrega de muestras de agua. ....	57
Figura 17. Gráfica del resultado de la temperatura de las cinco escuelas. ....	59
Figura 18. Gráfica del resultado de pH de las cinco escuelas evaluadas.....	60
Figura 19. Gráfica del resultado de conductividad de las escuelas. ....	62
Figura 20. Gráfica del resultado de turbidez de las cinco escuelas evaluadas.....	63
Figura 21. Gráfica del resultado de sólidos totales disueltos.....	64
Figura 22. Resultado de alcalinidad de las cinco escuelas evaluadas. ....	65
Figura 23. Gráfica del resultado de sulfatos de las cinco escuelas evaluadas.....	66
Figura 24. Gráfica de resultado de dureza total de las cinco escuelas evaluadas. ....	67
Figura 25. Resultado de coliformes totales de las cinco escuelas evaluadas. ....	68
Figura 26. Gráfica del resultado de E. coli de las cinco escuelas evaluadas.....	69
Figura 27. Carátula de manual técnico elaborado. ....	91
Figura 28. Contenido general del manual técnico. ....	92
Figura 29. Carátulas de los tres capítulos del manual técnico.....	93
Figura 30. Funcionamiento general de los sistemas. ....	96

	<b>Página</b>
Figura 31. No de beneficiados. ....	97
Figura 32. Procedimiento de implementación de sistema. ....	97
Figura 33. Lado B, trifoliar realizado. ....	99
Figura 34. Lado A, trifoliar realizado. ....	99
Figura 35 A. Ubicación de algunos sistemas de captación de agua de lluvia. ....	102
Figura 36 A. Manual técnico, de los sistemas de captación de agua de lluvia. ....	108

**ESTUDIO DE LOS USOS POTENCIALES DEL AGUA OBTENIDA DE LOS SISTEMAS DE CAPTACIÓN, EN LAS ZONAS 24 Y 25 MUNICIPIO DE GUATEMALA, GUATEMALA, C.A.**

**STUDY OF THE POTENTIAL USES OF WATER OBTAINED FROM THE STORAGE SYSTEMS IN ZONE 24 AND 25, MUNICIPALITY OF GUATEMALA, GUATEMALA, C.A.**

**RESUMEN GENERAL**

El presente documento consta de tres capítulos, en la primer parte el diagnóstico de la situación actual de los sistemas de captación de agua de lluvia implementados por la municipalidad de Guatemala. El diagnóstico se realizó en la Unidad de apoyo a las alcaldías auxiliares, con el objetivo de evaluar el funcionamiento del proyecto del sistema de captación de agua de lluvia en el municipio de Guatemala.

Para la realización del diagnóstico se utilizó fuentes de información primaria, consistente en entrevistas semiestructuradas al subcoordinador, técnico encargado y 52 personas beneficiadas del proyecto, además de fuentes de información secundaria como el plan operativo anual 2016 y el plan estratégico.

La segunda parte, la investigación del estudio de la calidad del agua en el aspecto fisicoquímico y microbiológico, en base a la norma COGUANOR 29 001, para agua potable.

Para el análisis se tomaron 24 muestras en 5 escuelas de la zona 24 y 25 pertenecientes al municipio de Guatemala. Se realizó un análisis a partir de un criterio analítico, en base a la comparación de los resultados obtenidos del laboratorio con los parámetros que exige la norma guatemalteca, COGUANOR NGO 29 001:99, agua potable; además el uso de gráficas para la visualización de las tendencias en los niveles de contaminación del agua de cada una de las escuelas estudiadas. Según dichos resultados y análisis, el agua no es potable.

Esta investigación servirá para realizar buen uso del agua cosechada, con las enmiendas necesarias según los usos que se desee disponer del agua.

En el último y tercer capítulo se desarrolla los servicios realizados, se encuentra el manual técnico llamado Sistemas de captación de agua de lluvia, el cual presenta información general y específica, que recapitula las ventajas y beneficios de dichos sistemas, según la evaluación realizada previamente con respecto al diagnóstico e investigación sobre la calidad del agua. El tríptico es otro de los servicios realizados, con el objetivo que la unidad contara con material disponible para divulgar dicho sistema a la población en general.

**ACRÓNIMOS**

ACICAFOC	Asociación Coordinadora Indígena Campesina de Agroforestería Comunitaria.
APRESAL	Proyecto europeo de obras social centroamericana
ASEDECHI	Asociación de Servicios y Desarrollo socioeconómico de Chiquimula.
COGUANOR	Comisión Guatemalteca de Normas
DIGI	Dirección General de Investigación
EA	Embajada de Alemania
EMPAGUA	Empresa Municipal de Agua
ERIS	Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hídricos
FAO	Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura
FIUSAC	Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos
IARNA	Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente
IIA	Instituto de Investigación Agronómica y Ambiental
INSIVUMEH	Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología
IPCC	Grupo Intergubernamental del Cambio Climático
MARN	Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales
MSPAS	Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social
NCPH	North Carolina Public Health
OMS	Organización Mundial de la Salud
ONG	Organización No Gubernamental
ONU	Organización de Naciones Unidas
PNUMA	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
SCAPT	Sistemas de Captación de Agua Pluvial en Techos
SEDLAC	Socio-Economic Database for Latin America and the Caribbean
SEGEPLAN	Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia
URL	Universidad Rafael Landívar



## 1. CAPÍTULO I

**DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL DE LOS SISTEMAS DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA IMPLEMENTADOS POR LA MUNICIPALIDAD DE GUATEMALA.**

## **1.1.INTRODUCCIÓN**

El Programa de Ejercicio Profesional Supervisado de la Facultad de Agronomía –EPSA-, es la última etapa de formación profesional del estudiante y consiste en conjunto de actividades académicas en el campo de la docencia, la investigación, la extensión y el servicio (EPSA, 2005).

La Municipalidad de Guatemala, es una institución pública la cual realiza las funciones básicas; como la administración, regulación y control de la infraestructura básica de uso público del territorio y la gestión económica de los recursos de dicho municipio. Esta posee como visión, crear una "Ciudad para vivir" y como misión, dar a todos los vecinos los servicios que necesitan para mejorar su calidad de vida e impulsar una convivencia en armonía. La municipalidad ha implementado estrategias para ofrecer servicios más eficientes y específicos a cada área bajo su restricción en las Alcaldías Auxiliares, Mini Munis y una variedad de direcciones e unidades.

Como instituto público, es necesario promover, accionar y facilitar el acceso para desarrollar infraestructura, mantener, abastecer y administrar una bodega de elementos y materiales diversos que permitan atender a las comunidades que se encuentren en estado de necesidad manifiesta. Es aquí donde entra el papel tan importante que desempeña la Unidad de Apoyo a las Alcaldías Auxiliares como parte descentralizada de la municipalidad de Guatemala. En este documento se presenta información sobre los proyectos que desarrolla la unidad y uno en especial; sistemas de captación de agua de lluvia, el estado, funcionalidad y la problemática del mismo; para posteriormente evaluar qué áreas necesitan ser reforzadas.

Para la realización del diagnóstico se utilizó fuentes de información primaria, consistente en entrevistas semi-estructuradas al subcoordinador, técnico encargado y 52 personas beneficiadas del proyecto, además de fuentes de información secundaria como el Plan Operativo Anual 2016 y el plan estratégico.

## **1.2.MARCO REFERENCIAL**

### **1.2.1. Ubicación geográfica de la Unidad de Apoyo a las Alcaldías Auxiliares, Guatemala.**

La Unidad de Apoyo a las Alcaldías Auxiliares de la municipalidad de Guatemala, se encuentra ubicada en la 21 calle 6-49 Edificio Olisa segundo nivel oficina 05, en el municipio de Guatemala, Guatemala.

El municipio de Guatemala tiene una extensión territorial de 228 km<sup>2</sup>, está localizada al sur central del país, a una altitud: 1.533 metros, latitud: 14° 37' 15" N, longitud: 090° 31' 36".

### **1.2.2. Visión**

Coordinar de manera eficiente con las Alcaldías Auxiliares, la pronta solución de los requerimientos comunitarios.

### **1.2.3. Misión**

Ser el principal apoyo a las Alcaldías Auxiliares, promoviendo la participación comunitaria en acciones tanto de prevención como solución a las diversas problemáticas que se presenten.

### **1.2.4. Proyectos que ejecuta la Unidad de Apoyo a las Alcaldías Auxiliares**

Actualmente, la unidad tiene bajo su responsabilidad 4 diferentes proyectos que se mencionan a continuación:

#### **1.2.4.1. Remozamiento de iglesias y pasarelas**

Su objetivo principal es conservar en óptimas condiciones las iglesias dentro del municipio de Guatemala, y mantener en buen estado las pasarelas.

##### *Actividades*

- ✓ Pintar iglesias.
- ✓ Pintar pasarelas.

#### **1.2.4.2. Infraestructura Gris**

El objetivo es diseñar infraestructura funcional para fines de uso público, ya sea peatonal o vehicular.

##### *Actividades*

- ✓ Construcción de Parques, plazas, salones municipales, escuelas, tapaderas de drenaje, muros de contención, graderíos, pasos peatonales y túmulos.

#### **1.2.4.3. Proyecto de sistemas de captación de agua de lluvia**

Su objetivo principal es aprovechar el agua de lluvia a través de un sistema de filtrado brindando un servicio a lugares públicos como municipales.

##### *Actividades*

- ✓ Evaluación
- ✓ Diseño
- ✓ Instalación
- ✓ Mantenimiento

#### **1.2.4.4. Áreas Verdes**

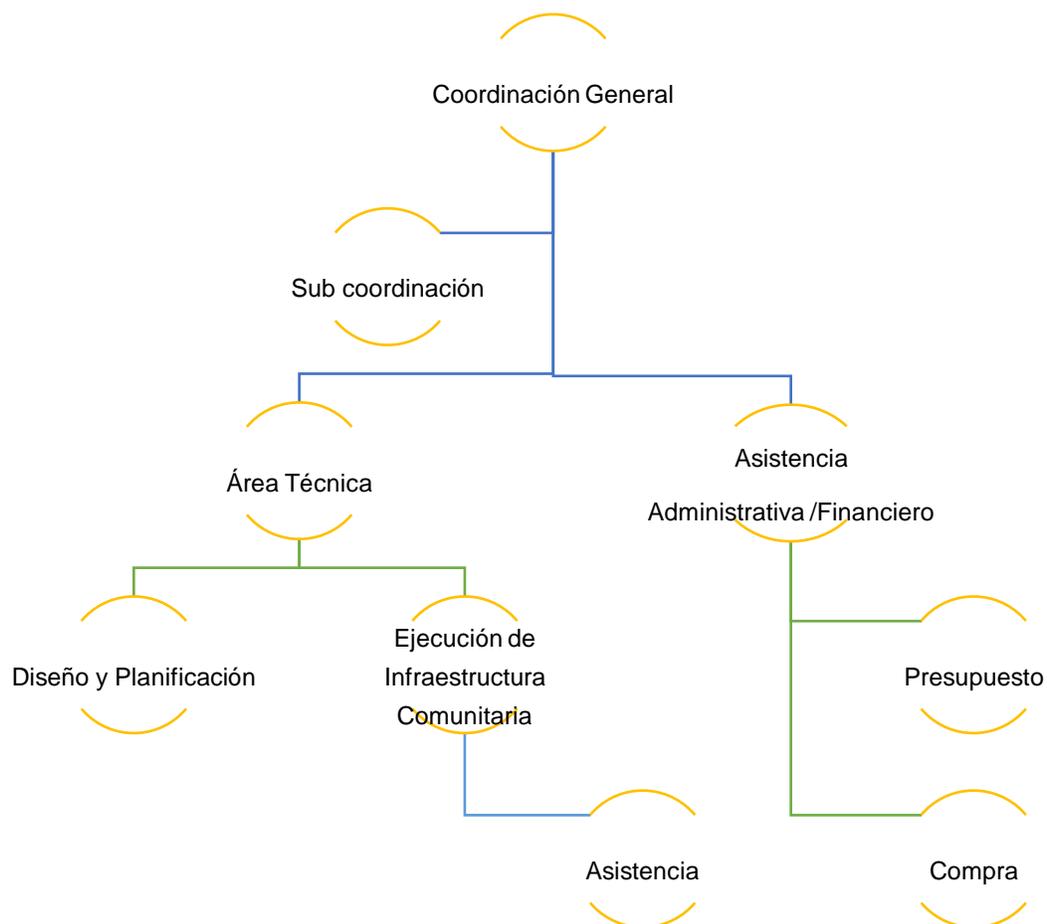
Su objetivo principal es despejar luminarias y cables de alto tensión, evitando con ello riesgos que pueden ocurrir relacionados con los árboles.

##### *Actividades*

- ✓ Podas
- ✓ Talas

#### **1.2.5. Estructura organizacional de la UAAA**

El equipo de trabajo consta en personal administrativo, personal técnico y dos coordinadores (Unidad de Apoyo a las Alcaldías Auxiliares, 2016) (ver figura 1).



Fuente: UAAA 2016

Figura 1. Estructura organizacional UAAA.

### 1.3. OBJETIVOS

#### 1.3.1. Objetivo General

- 1.3.1.1. Establecer la situación actual del Proyecto del sistema de captación de agua de lluvia en el municipio de Guatemala, Guatemala.

#### 1.3.2. Objetivo Específicos

- 1.3.2.1. Recopilar información sobre los proyectos que ejecuta la Unidad de Apoyo a las Alcaldías Auxiliares.
- 1.3.2.2. Conocer el estado de los sistemas de captación implementados en el municipio de Guatemala.
- 1.3.2.3. Evaluar la funcionalidad de cada uno de los sistemas.
- 1.3.2.4. Priorizar la problemática en cuanto al funcionamiento de los sistemas de captación de agua de lluvia en la municipio de Guatemala.

### 1.4. METODOLOGÍA

#### 1.4.1. Primera fase

##### **Recopilación de información con fuentes primarias y secundarias**

Para obtener información de fuentes primarias, se realizó una serie de entrevistas semiestructuradas a las autoridades y 52 personas beneficiadas con el proyecto de los sistemas de captación de agua de lluvia.

Actores considerados para la primera fase:

- Subcoordinador de UAAA.
- Técnico del proyecto de los sistemas de captación de agua de lluvia.
- Beneficiarios del sistema de captación de agua de lluvia.

La recopilación secundaria, se obtuvo a través de revisión bibliográfica acerca de UAAA, como el plan operativo anual 2016 y el plan estratégico.

#### 1.4.2. Segunda fase

##### **Análisis de información**

En esta parte se realizó en dos etapas:

- ✓ La primera parte consistió en la creación de gráficas y porcentajes según la información obtenida de las entrevistas semi-estructuradas.
- ✓ En la segunda, consistió en el análisis de las gráficas obtenidas, enlistando las ineficiencias presentes.
- ✓ Luego se procedió a ordenar los enunciados que se presentaban como problemáticas según su importancia

- ✓ Se realizó un análisis FODA en conjunto con el supervisor de dicho sistema, utilizando también la información adquirida por los usuarios.

## **1.5. RESULTADOS**

El sistema de captación de agua de lluvia implementada por la municipalidad de Guatemala, es una de los cuatro proyectos técnicos de la UAAA., la cual se encarga de la evaluación, diseño, instalación y mantenimiento de dicho sistema. De la misma forma que en otros proyectos, éste cuenta con un coordinador, un supervisor, un diseñador y un delegado de personal de apoyo para su ejecución.

Este proyecto tiene como objetivo alcanzar el desarrollo sustentable aprovechando el agua de lluvia a través de un sistema de filtrado brindando un servicio a lugares tanto públicos como municipales.

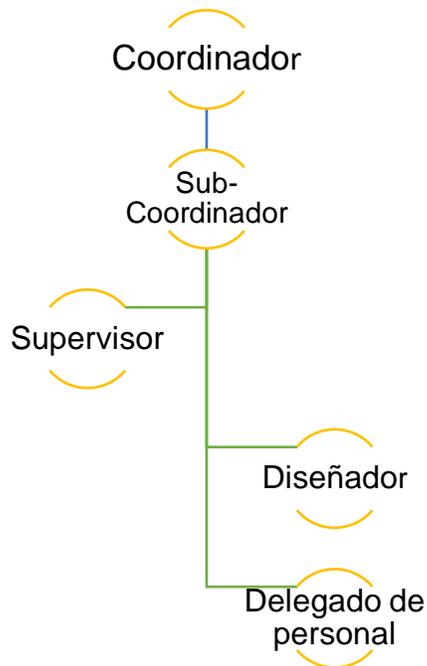
Este proyecto inicia como una idea a nivel municipal, con la intención de disminuir la demanda de agua, el cual iba a consistir en captar el agua en todos los techos de toda un área, esta agua se conducía y se almacenaba, para luego hacer infiltración al suelo o para conducirla algunas fuentes de EMPAGUA y que ellos la potabilizaran, pero la inversión era muy grande, otra idea era el aprovechar la topografía y que se inundaran esas áreas en el tiempo de invierno para provocar la infiltración directa, pero de la misma forma se necesita de una inversión muy elevada y para la brevedad que se necesitaba iniciar, esta opción no era la más recomendable, de todas estas iniciativas nace la idea de realizar el proyecto a nivel individual estacionario directamente en las escuelas por la precariedad de los servicios y en los mercados municipales por la alta demanda de agua que tienen, específicamente en los servicios sanitarios.

El primer aljibe que se implementó está en la plaza amate, el cual se estableció hace cuatro años. Allí hay cuadro sistemas captando 10,000 L. Estos sistemas están conectados directamente a la cisterna que distribuye el agua en toda la plaza. El segundo en realizarse fue en la zona 25, en el 2013.

Luego en el 2014 aumento la cantidad de sistemas implementados, en los cuales colaboraron Fundación Solar y Global Water Partnership en esta oportunidad se colocaron 15 sistemas de los cuales la mayoría se colocaron en mercados.

### **1.5.1. Estructura organizacional del proyecto de Sistemas de captación de agua de lluvia**

La unidad de apoyo a las alcaldías auxiliares está compuesto por un Coordinador, subcoordinador, supervisor, diseñador y delegado de personal. En la figura 2 se muestra la organización del proyecto de sistemas de captación de agua de lluvia.



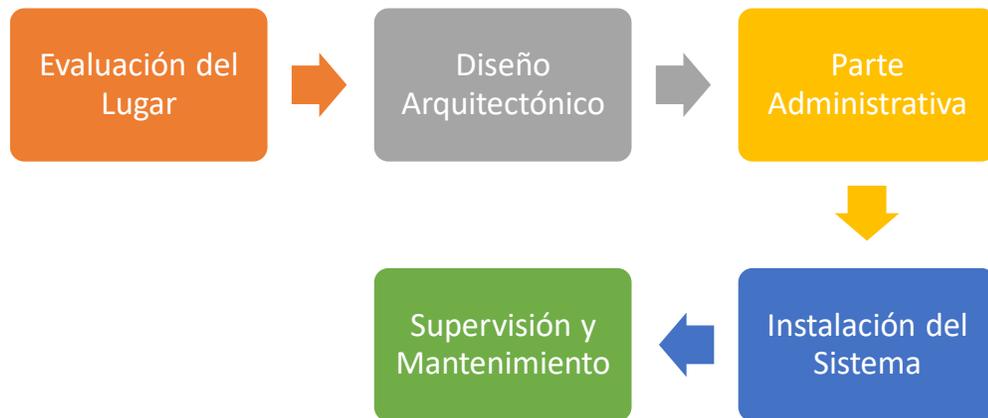
*Fuente: UAAA 2016.*

*Figura 2. Estructura organizacional del proyecto de los sistemas.*

### **1.5.2. Procedimiento para ejecutar el proyecto**

Para la implementación de un sistema de captación de agua de lluvia el supervisor analiza el lugar, y si este cumple con los requerimientos mínimos, tales como un área disponible para colocar los cuatro reservorios, la altura, esta puede variar dependiendo de las condiciones de cada lugar. Si el agua filtrada va a cisterna la altura mínima puede ser de 2.50 m. Si buscamos almacenar el agua en depósito la altura mínima es de 3.00 m. Para un aprovechamiento de agua de 3 m<sup>3</sup> / día - 5 m<sup>3</sup> / día de lluvia con una cobertura de techo mínima de 120 m<sup>2</sup>.

Luego de realizar la evaluación, se procede al diseño arquitectónico del sistema, finalizando esto se inicia la parte administrativa, si el proyecto es aprobado se procede a su instalación. Para un mejor servicio existe un encargado de supervisar los sistemas; éste delega al personal cuando sea necesario para su mantenimiento y para que de esa forma en época de lluvia cumpla con su objetivo. (Ver figura 3)



*Fuente: UAAA 2016.*

*Figura 3. Procedimiento para la implementación de los sistemas.*

### 1.5.3. Funcionamiento del sistema

Se utilizan toneles que funcionan como filtros, el agua captada por los techos es conducida por canales y tubería de 3 " de PVC hacia el primer reservorio que contiene los agregados de piedra bola de 3 " funcionando como trampa el cual retiene materiales no deseados tales como hojas de árboles o basura como bolsas, este filtro tiene un tubo perforado que ayuda a dispar el agua que ingresa. Este es de aproximadamente 30 cm de largo con las perforación de un diámetro de  $\frac{1}{4}$  a distancia de  $\frac{1}{2}$  '' entre cada perforación. El agua que se almacena en este reservorio pasa al segundo filtro por rebalse a través de tubería de 3 ". En este segundo reservorio se encuentran los agregados de gravas gruesas que va en proporciones y geo textil entre cada material. Del agua ya captada en el segundo reservorio por medio de la gravedad pasa al tercero. Estos dos interconectados con tubería de pvc de 3 ". Este a su vez contiene arenas sílices de dos tamices y carbón activado que contiene una cantidad de carga iónica que es el que le da las buenas condiciones al agua en este reservorio también se incluye el geo textil.

Todo el sistema cuenta con un diseño de auto sostenibilidad, que si es demasiada la precipitación este tiene rebalses para que no colapse y llaves de globo de 2 " para su mantenimiento o por si no deseamos almacenar agua. Todas las perforaciones que se realizan en los reservorios para instalar los accesorios de pvc hembras y machos se les coloca un empaque de hule y se aplica cica flex y con ello evitar fugas de agua.

El funcionamiento es por medio de la gravedad.

Dependiendo del espacio disponible y la necesidad, se utilizan cuatro aljibes de distintas capacidad de almacenamiento; de 1100 L, 1250 L, 2500 L y 5000 L. (Ver figura 4)

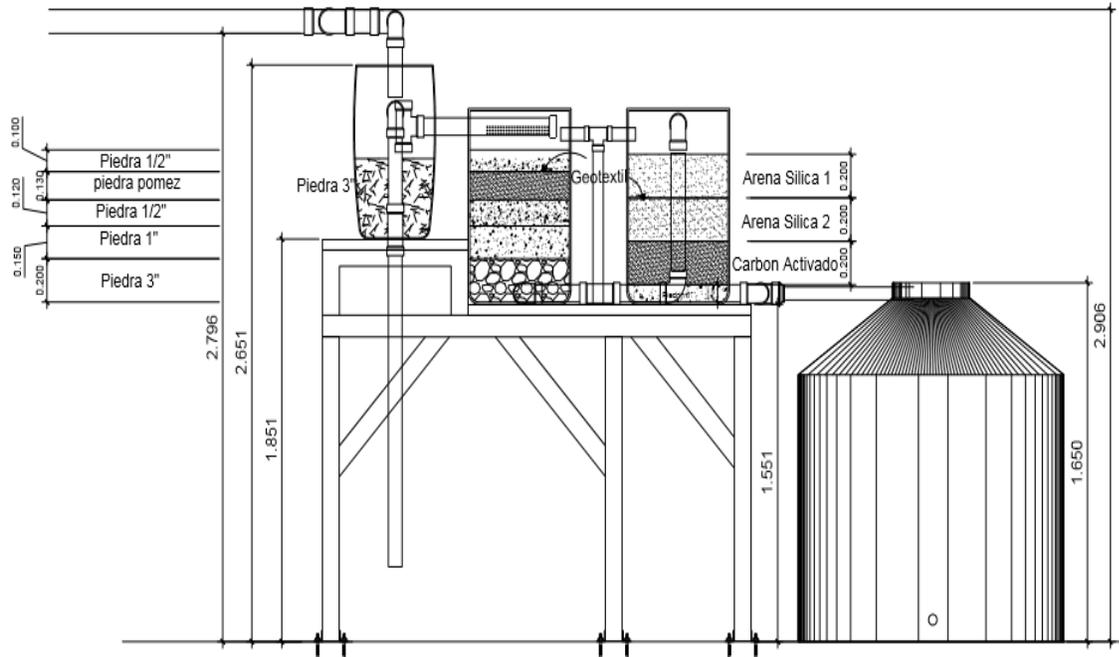
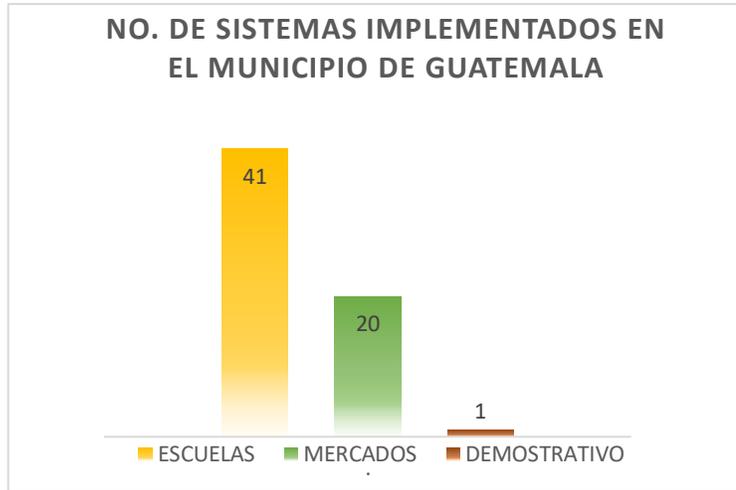


Figura 4. Diseño arquitectónico de un sistema (UAAA, 2016).

#### 1.5.4. Sistemas implementados

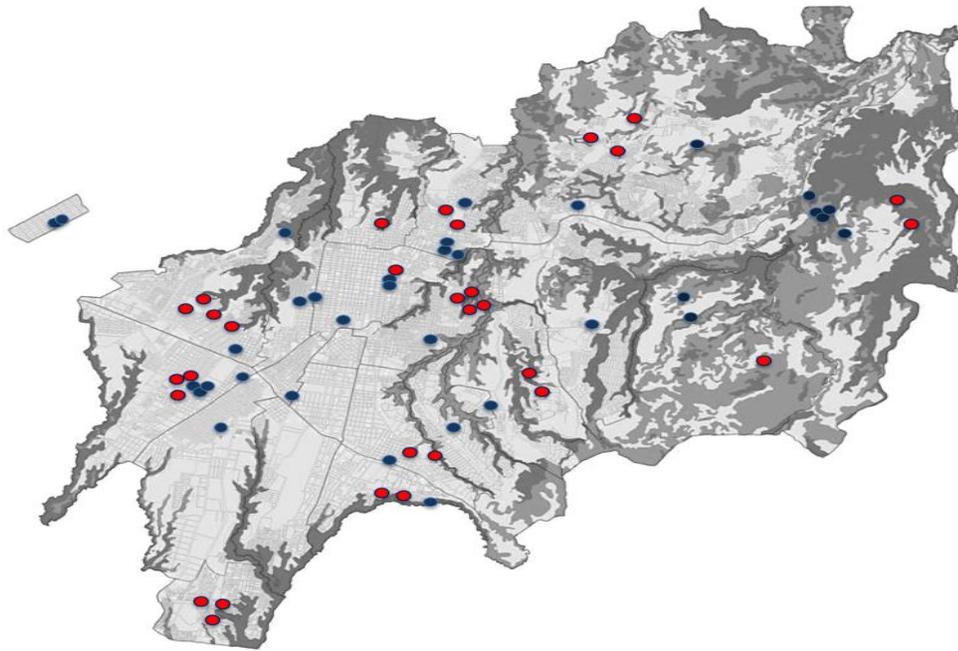
La municipalidad de Guatemala teniendo en cuenta que el servicio de agua en algunas zonas es irregular o inexistente, los sistemas de captación de agua de lluvia son sistemas complementarios y estacionales, resolviendo durante época de lluvia el desabastecimiento tanto en escuelas como en los mercados municipales, promocionando con ello el uso del agua de lluvia en zonas urbanas.

Actualmente se han implementado 41 sistemas en escuelas, 20 en mercados y uno en forma demostrativa ubicado en el Zoológico La Aurora (ver figura 5), estos sistemas se encuentran alrededor del municipio con excepción de las zonas 4, 9, 14 y 16 (ver figura 6).



Fuente: UAAA 2016.

Figura 5. Número de sistemas implementados en el municipio de Guatemala.



Fuente: UAAA 2016.

Figura 6. Puntos de ubicación de los sistemas implementados en el municipio.

### 1.5.5. Agua captada

La cantidad de agua captada se calculó con la suma de la capacidad de cada uno de los reservorios, instalados en los diferentes lugares en la municipalidad de Guatemala. Siendo estos 62 y teniendo un total de 124,500 L. Distribuidos de la siguiente forma: el 71 % en las escuelas y el 29 % en los mercados (ver figura 7).



Fuente: UAAA 2016.

Figura 7. Litros de agua captada por todos los sistemas implementados.

### 1.5.6. Número de beneficiadas por sistemas implementados

El número de beneficiados, hace referencia a la cantidad de personas que hacen uso directo o indirecto, del agua que se capta por cada uno de los sistemas implementados; ya sea en escuelas o mercados. El total de los benefactores son: 87,198 (ver figura 8).

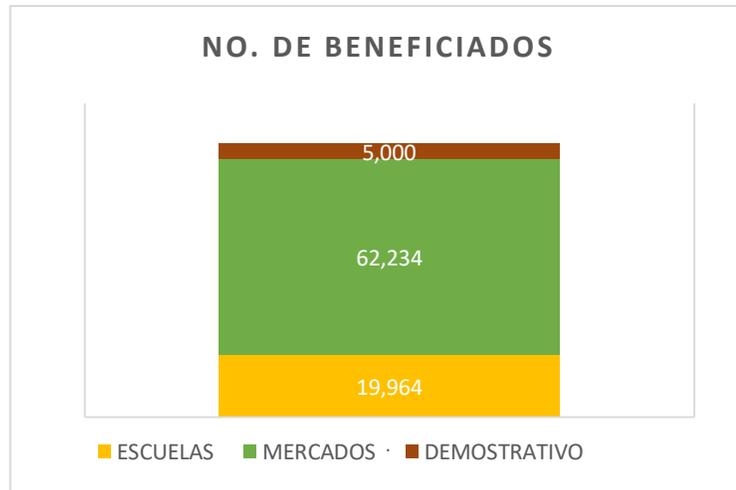


Figura 8. Número de beneficiados por los sistemas de captación de agua de lluvia.

### 1.5.7. Evaluación de funcionalidad de los sistemas

Es importante tener un mejor panorama en cuanto al cumplimiento de los sistemas implementados en el municipio de Guatemala; y en qué medida se ha logrado alcanzar la satisfacción del servicio a los beneficiados.

En las siguientes gráficas se presentan los resultados obtenidos de las entrevistas semi-estructuradas que se realizaron, dirigidas tanto a directores (as) encargados en las escuelas; como a los administradores (as) en los mercados municipales. (Ver figura 9)

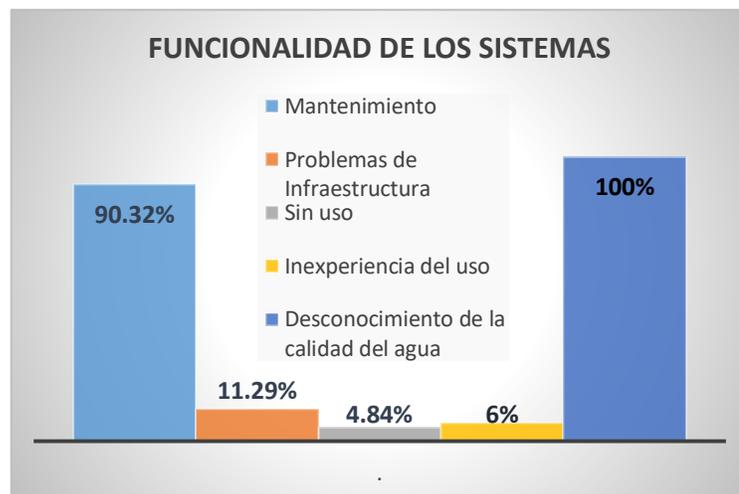


Figura 9. Funcionalidad de los sistemas.

El problema de infraestructura se hizo notar específicamente porque existían algunas obstrucciones en el sistema, y eso hacía que el agua no fluyera como debiese. El 4.84 % hace referencia a la cantidad de sistemas que no son utilizados porque según los encargados, no es necesaria; ya que tienen abundancia de agua directamente de EMPAGUA. El 6 % mencionó que no tenían idea de cómo se utilizaba el sistema y que dado a eso no lo utilizaban aun teniendo necesidad. El mayor porcentaje (100 %) representa el desconocimiento de la calidad del agua, tanto de la parte de las autoridades como los beneficiarios.

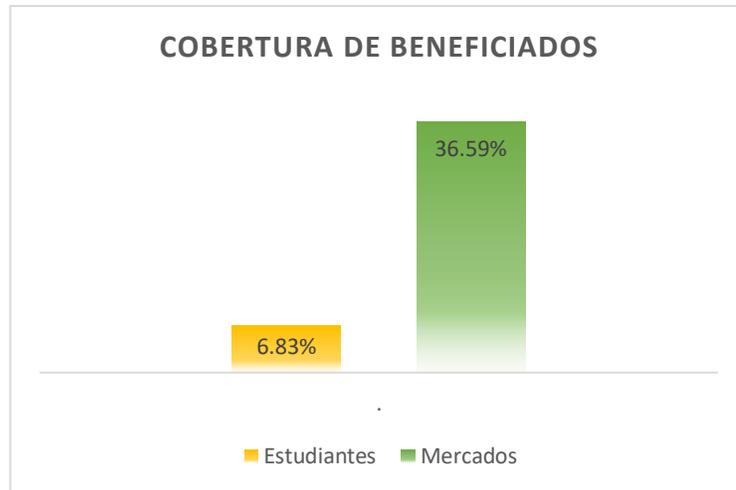
La figura 10, muestra los porcentajes generales de la población satisfecha e insatisfecha del servicio, que obtiene a través de los sistemas de captación implementados.



*Figura 10. Satisfacción del servicio.*

El mayor porcentaje de la población está satisfecha con el servicio, siendo estos el 88.71 %; por el contrario el 10.92 % dijo que no estaba satisfecha por las razones anteriormente mencionadas.

En la siguiente figura (11), se muestra la cobertura que tiene este servicio a nivel de municipio.



*Figura 11. Cobertura a nivel municipal de beneficiados.*

En estos porcentajes se consideraron específicamente a la población estudiantil y el número de mercados existentes dentro de la jurisdicción de la municipalidad, teniendo baja cobertura en las dos áreas (mercados y escuelas).

#### **1.5.8. Análisis FODA**

En este caso se elaboró un análisis FODA del funcionamiento del sistema de captación de agua de lluvia. En el cuadro 1, se muestra los resultados obtenidos del FODA generados juntamente con el supervisor de los SCALL.

Cuadro 1. Análisis FODA.

Fortalezas	Oportunidades
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Profesionales trabajando en el proyecto.</b></li> <li>• <b>Sistema totalmente gratis para los beneficiarios.</b></li> <li>• <b>Gran porcentaje de beneficiados satisfechos por el sistema.</b></li> <li>• <b>Aprovechamiento de agua de lluvia.</b></li> <li>• <b>Accesibilidad para obtener recursos para mantenimiento y funcionamiento.</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estrecha relación con otras instituciones, tanto nacionales como internacionales, relacionada con la temática del proyecto.</li> <li>• Aplicar a fondos internacionales para aumentar la cobertura.</li> <li>• Opción para realizar diferentes investigaciones relacionadas con el tema.</li> <li>• Pioneros de un nuevo sistema para utilizar en otros países.</li> </ul>
Debilidades	Amenazas
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>No contar con un estudio microbiológico del agua cosechada.</b></li> <li>• <b>Escasa divulgación por los entes ejecutores.</b></li> <li>• <b>Opción paliativa para obtener agua.</b></li> <li>• <b>No contar con un manual técnico del sistema (información desordenada).</b></li> <li>• <b>Insuficiente capacitación a los encargados del funcionamiento del sistema.</b></li> <li>• <b>Sin disponibilidad presupuestaria específico para la implementación de nuevos sistemas.</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cobertura solo a nivel de municipio.</li> <li>• No poder ejecutar el proyecto con instituciones privadas y en casas particulares.</li> <li>• Que el siguiente gobierno municipal no continúe con el proyecto.</li> <li>• Consecuencias de utilizar inadecuadamente el agua cosechada.</li> </ul>

En el cuadro 1, se muestra que el proyecto conserva varios aspectos internos positivos (fortalezas) el cual le conceden un plus. En este se destacan los profesionales trabajando en el proyecto, que los sistema son totalmente gratis para los beneficiarios, que gran porcentaje de beneficiados se encuentran satisfechos por el sistema, que gracias a este sistema se puede aprovechar el agua de lluvia, que dentro de la ejecución administrativa existe accesibilidad para obtener recursos facilitando el mantenimiento y funcionamiento.

En cuanto a las oportunidades, es trascendental conocer las oportunidades que se pueden poseer del proyecto desde una perspectiva externa; entre estas se considera la estrecha relación con otras instituciones, tanto nacionales como internacionales, ya que la demanda de agua es una de las polémicas ambientales alrededor del mundo. Este proyecto pretende menguar la necesidad de los pobladores carentes del servicio de agua por tanto es una congruencia aplicar a fondos internacionales para poder aumentar la cobertura actual, y considerando que este es un proyecto de beneficio global tiende a dar opción para realizar diferentes investigaciones relacionadas con el tema y por lo tanto ser pioneros de un nuevo sistema para utilizar en otros países. Si a cada una de las oportunidades proyectadas, se le da el valor necesario, pudiesen ser elementos que el proyecto puede aprovechar, para darse a conocer aún más.

## **1.6. CONCLUSIONES**

- 1.6.1.** Los proyectos que se trabajan dentro de la UAAA son 4: Remozamiento de iglesias y pasarelas, áreas verdes, infraestructura gris, y los sistemas de captación de agua de lluvia, que tienen como fin aprovechar el agua de lluvia a través de un sistema de filtrado brindando un servicio a lugares públicos como municipales.
- 1.6.2.** Los sistemas de captación de agua de lluvia implementados por la municipalidad de Guatemala, inician en el 2002. Actualmente existen 62 sistemas, recaudando un total 124,500 L de agua. Estos sistemas están implementados en gran parte del municipio de Guatemala con excepción de las zonas 4, 9 14, y 16.
- 1.6.3.** Según el análisis elaborado, de los resultados obtenidos de las entrevistas semi-estructuradas, existen 7 sistemas que no se están utilizando por ignorancia del funcionamiento o desconocen los beneficios de utilizar el agua cosechada. Los problemas de infraestructura han sido mínimas, de las cuales solo se encontró obstrucción de tubería o de los canales captadores. Dentro de las situaciones negativas que resaltan del proyecto, es que hubo una mínima publicidad a su inicio, por lo que el gran porcentaje de la población municipal le desconoce.
- 1.6.4.** La priorización de las problemáticas del funcionamiento de los SCAPT son los siguientes: Desconocimiento de la calidad de agua cosechada; es de suma importancia por los efectos negativos que se pueden obtener de este, mínima divulgación del sistema; y el desconocimiento de los beneficiados encargados del funcionamiento de los sistemas implementados.

## 1.7. RECOMENDACIÓN

- 1.7.1. Es importante que la UAAA, considere realizar actividades para la mejora de cada uno de los problemas encontrados por medio de este diagnóstico, tomando en cuenta que esto implementara el porcentaje de beneficiados satisfechos por el servicio que presta con los sistemas de captación de agua de lluvia, dándole así valor agregados a este proyecto.

## 1.8. BIBLIOGRAFÍA

1. Lima, W. 2016. Proyectos de la Unidad de Apoyo a las Alcaldías Auxiliares (UAAA). (L. García, Entrevistadora). Guatemala, Municipalidad de Guatemala, UAAA.
2. Molina, J. 2016a. Análisis FODA. (L. García, Entrevistadora). Guatemala, Municipalidad de Guatemala, UAAA.
3. \_\_\_\_\_. 2016b. Plan operativo anual 2015-2016. Guatemala, Municipalidad de Guatemala, UAAA. 10 p.
4. Rashjal, C. 2016. Antecedentes de los Sistemas de Captación de Agua de Lluvias (SCALL). (L. García, Entrevistadora). Guatemala, Municipalidad de Guatemala, UAAA.
5. Vásquez, E. 2016. Antecedentes de la Unidad de Apoyo a las Alcaldías Auxiliares (UAAA). (L. García, Entrevistadora). Guatemala, Municipalidad de Guatemala, UAAA.





**2. CAPÍTULO II**  
**ESTUDIO DE LOS USOS POTENCIALES DEL AGUA OBTENIDA DE LOS SISTEMAS DE CAPTACIÓN, EN LAS ZONAS 24 Y 25 MUNICIPIO DE GUATEMALA, GUATEMALA, C.A.**

## 2.1. INTRODUCCIÓN

El crecimiento poblacional, la escasa conciencia ambiental, y las actividades antropológicas, han causado un alto porcentaje de contaminación del agua aprovechable. Es por ello que la captación de agua de lluvia se ha convertido en una opción viable durante siglos, tanto para su obtención como su uso. Es decir una solución paliativa e inmediata, tomando en cuenta que el agua pluvial posee características que la hacen perfectamente aprovechable para uso doméstico o industrial.

Esta investigación se basa en el estudio de los usos potenciales del agua obtenida de los sistemas de captación en la zona 24 y 25 de Guatemala, en base al análisis de la calidad de agua procedente del sistema. El agua cosechada en las escuelas donde están implementados, es utilizada para realizar actividades de limpieza de instalaciones y para consumo humano.

Para el análisis del agua se utilizó como fundamento las normas COGUANOR 29 001 (Comité guatemalteco de normas), donde se realizó un análisis fisicoquímico, de los parámetros de pH, temperatura, turbidez, alcalinidad, dureza, sulfatos, sólidos solubles y conductividad; en el aspecto microbiológico, se analizó coliformes totales y *Escherichia coli*. Éstos se interpretaron a partir de un criterio analítico, en base a la comparación de los resultados obtenidos del laboratorio con los parámetros que exige la norma COGUANOR 29 001; los cuales denotan que el agua no es potable debido a la presencia de *E.coli* y coliformes totales.

Con base al análisis, las necesidades de las escuelas y la jerarquización de uso del agua que promueve la OMS, se formuló una propuesta para el uso del agua obtenida de los sistemas evaluados. En la cual se propone el uso del 75 % del agua captada para consumo, y el 25 % para limpieza de las instalaciones; con la posibilidad de potabilizarla por medio de dos métodos; la cloración o hervirla.

Con esta información se pueden generar acciones para reducir los efectos, que generaría el agua contaminada con bacterias, y aumentar los beneficios para los vecinos que utilizan estos sistemas.

## **2.2. MARCO TEÓRICO**

### **2.2.1. Marco Conceptual**

#### **2.2.1.1. Estado y gestión de los recursos hídricos**

Existe una enorme presión sobre los recursos hídricos, esto enfocado especialmente en la demanda actual y su calidad, factores que aumentan con el crecimiento poblacional, impidiendo su disponibilidad en las fuentes de extracción (superficiales, en la mayoría de los casos), generando conflictos entre las poblaciones aledañas (Quevedo, 2013).

##### ***a. A nivel mundial***

El suministro de agua, el saneamiento y la gestión de los recursos hídricos, forman parte de los objetivos del milenio. Debido a su importancia, existen diferentes organizaciones gubernamentales y no gubernamentales interesadas en el desarrollo y trabajo del tema. El Consejo Mundial del Agua, es la organización internacional encargada de aglomerar agencias internacionales: prensa, gobiernos, organizaciones no gubernamentales, instituciones académicas y entidades privadas, para el desarrollo conjunto de los programas, subprogramas y proyectos. Dicho consejo ha elaborado en los últimos años, el programa mundial de evaluación de los recursos hídricos, el cual tiene como objetivo desarrollar los instrumentos y competencias necesarios para mejorar la comprensión de los procesos fundamentales, las prácticas de gestión y las políticas que contribuirán a mejorar la calidad y suministro de agua dulce del planeta (Quevedo, 2013).

##### ***b. Usos***

Dependen de las características de cada caso; el uso consuntivo del agua es aquel en el que no se devuelve en forma inmediata al ciclo hidrológico, por ejemplo: el riego es un uso consuntivo. La generación de energía eléctrica, mediante el turbinado del agua de un río, si la descarga es en el mismo río, no es un uso consuntivo. En la actualidad, cada ser humano de los países desarrollados y en vías de desarrollo consume de 150 a 300 l/hab/día de agua potable, llegando a extremos de 1000 l/hab/día en algunas ciudades de EEUU o Australia. En el cálculo no está incluido el gasto en la agricultura, que supone el 70 % (y en algunas zonas en desarrollo el 90 %) del consumo total de agua de un país (Quevedo, 2013).

### **c. Disponibilidad**

Se calcula que en la tierra hay un volumen total de agua de 1,4 millones de km<sup>3</sup>, de los cuales el 97.5 % es agua salada. El 2.5 % restante es agua dulce y se reparte mayoritariamente en glaciares (aprox. 70 %) y aguas subterráneas (aprox. 30 %) y sólo el 0.4 % corresponde a aguas superficiales (vapor de agua, ríos, lagos y embalses), lo que supone un 0.007 % del total de agua del planeta. En la región de América Latina y el Caribe, el tema del agua es de especial importancia para el desarrollo, a pesar de contar con 30 % de los recursos hídricos del mundo, la distribución de la población con respecto a estos es muy irregular e inequitativa. Los mayores problemas relacionados con el agua en América Central tienen que ver con el saneamiento, contaminación, la vulnerabilidad ante los desastres naturales y la explotación del suelo (Quevedo, 2013).

### **d. Gestión**

El agua, por ser uno de los elementos que constituyen el subsistema natural, su correcta gestión determina directamente el desarrollo de cada país. La situación de los bienes hídricos se puede evaluar en función de la forma en que éstos interactúan dentro del subsistema natural y con los subsistemas sociales, económicos e institucionales. Para lograr una correcta gestión de los recursos hídricos, es necesario realizar estudios e investigaciones que garanticen el uso eficiente del mismo:

- La hidrología, determinará su disponibilidad temporal
- La hidráulica, estudiará el comportamiento físico del agua.
- La ingeniería, intentará modificar y adaptar la disponibilidad espacial y temporal en función de las necesidades humanas con vistas a su desarrollo, intentando extraer su mayor provecho.
- La ecología, preservará los ecosistemas frágiles, casi siempre relacionados a la presencia o ausencia del agua.
- La administración pública, normará el uso para el bien común.
- La investigación operacional, compatibilizará usos conflictivos entre sí.
- El derecho, establecerá y afinará normas y convenios internacionales para el uso del agua en cuencas hidrográficas compartidas por dos o más países.
- La defensa civil, controlará eventos catastróficos, muy frecuentemente ligados al agua, cuando hay en exceso, o cuando esta escasea.

La mala gestión integral de los recursos hídricos implica deficiencias y limitaciones, que afectan el desarrollo sostenible y por ende el bienestar del ser humano; siendo un indicio para que la sociedad apunte sus esfuerzos de desarrollo por la ruta incorrecta.

Actualmente la presión existente sobre las cuencas hidrográficas es elevada, debido a la alta y concentrada demanda del recurso y al grado de contaminación de las fuentes superficiales (Quevedo, 2013).

### **2.2.1.2. Captación de agua de lluvia**

Según La Unidad de Apoyo Técnico en Saneamiento Básico Rural, perteneciente al Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, 2001, la captación del agua de lluvia con fines domésticos se acostumbra a utilizar la superficie del techo como captación, conociéndose a este modelo como SCAPT (sistema de captación de agua pluvial en techos). Este modelo tiene un beneficio adicional y es que además de su ubicación minimiza la contaminación del agua. Adicionalmente, los excedentes de agua pueden ser empleados en pequeñas áreas verdes para la producción de algunos alimentos que puedan complementar su dieta.

La captación del agua para uso agrícola necesita de mayores superficies de captación por obvias razones, por lo que en estos casos se requiere de extensas superficies impermeables para recolectar la mayor cantidad posible de agua.

En el diseño de un sistema de captación de agua de lluvia es necesario considerar los factores técnicos, económicos y sociales. Los factores técnicos, a tener presente la producción u oferta y la demanda de agua; al respecto del factor económico, los costos del sistema propuesto deben ser comparados con los costos de otras alternativas destinadas al mejoramiento del abastecimiento de agua, teniendo presente el impacto que representa la cantidad de agua en la salud de las personas beneficiadas por el servicio de agua. En el factor social, debe consistir en discutir con la comunidad las ventajas y desventajas de la manera tradicional de abastecimiento de agua y de la tecnología propuesta, buscando que la propia comunidad seleccione lo que más le conviene emplear.

De acuerdo a investigaciones, se podría reducir el déficit de abastecimiento en el país si se aprovecharan los métodos de captación y gestión del agua de lluvia. Si se captara toda la lluvia que cae sobre los techos y en algunos suelos, se podría ahorrar de 10 % a 15 % del agua que se consume en los hogares” (Quevedo, 2013).

#### *2.2.1.2.1 Tipos*

Según Quevedo, Actualmente de acuerdo a su tamaño, existen dos formas de captación de agua pluvial:

- Los SCAPT en casas y edificios, en los que la capacidad de almacenamiento varía de acuerdo al área de captación y el tamaño del reservorio.
- La construcción de obras de mayor escala, como reservorios, lagunetas y presas para captar y almacenar el agua de lluvia que escurre en una ladera o en una micro cuenca hidrográfica.

### 2.2.1.3. Historia de la captación de agua de lluvia

Diversas formas de captación de agua de lluvia se han utilizado tradicionalmente a través de los siglos. Pero estas técnicas se han comenzado a estudiar y publicar técnica y científicamente, sólo en época reciente. En el Desierto de Negev, en Israel, han sido descubiertos sistemas de captación de agua de lluvia que datan de 4 000 años o más. Estos sistemas consistieron en el desmonte de lomeríos para aumentar la escorrentía superficial, que era entonces dirigida a predios agrícolas en las partes bajas. En el sur este de Túnez se utilizaron técnicas de microcaptación para el crecimiento de árboles. Técnicas parecidas se practicaron por todo una vasta región del sur oeste de los Estados Unidos, noreste de México y en el Altiplano de México Central y Sur (FAO, 1987; FAO, 1990; UNEP, 1979).

Muchas de las obras históricas de captación de agua de lluvia para uso doméstico se originaron principalmente en Europa y Asia.

En base a la distribución de los restos de estructuras de captación de agua de lluvia y el persistente uso de estas obras en la historia, se puede asumir que las técnicas de captación de agua de lluvia desempeñaban un papel importante en la producción agrícola y la vida en general en las zonas áridas y semiáridas en diversas partes del mundo (Ballén, 2006).

#### **a. África**

La problemática del abastecimiento de agua potable es de carácter global, pero en el continente africano existe una situación muy crítica debido a la alta concentración de pobreza que imposibilita la obtención de recursos y tecnología necesaria para construcción y operación de un sistema de acueducto adecuado. En algunas zonas de África se ha producido en años recientes una expansión de los sistemas con aprovechamiento de lluvia, pero la implantación de esta tecnología ha sido lenta, debido a la baja precipitación, el reducido número y tamaño de las cubiertas impermeabilizadas y el alto costo en la construcción de los sistemas en relación a los ingresos familiares. Con todo esto la captación de lluvia es muy difundida con grandes proyectos en

Botswana, Togo, Mali, Malawi, Sudáfrica, Namibia, Zimbabwe, Mozambique, Sierra Leona y Tanzania (Ballén, 2006).

Uno de los proyectos adelantados es el de “Sistemas de aprovechamiento de agua de lluvia de muy bajo costo” el cual se desarrolló con la participación de varias organizaciones africanas y el apoyo de Development Technology Unit de Inglaterra. Con esta tecnologías se pretende suplir un porcentaje de la demanda total de las casas a partir de una inversión que no supera los 120 dólares y utilizando los materiales disponibles en la zona (Ballén, 2006).

### ***b. Asia***

La India es el segundo país con mayor población después de China. Por ello el gran problema es suministrar los servicios básicos a más de 1,000 millones de personas. Una solución que se ha tomado para enfrentar estos problemas son las técnicas de aprovechamiento de lluvia. En la India, el monzón es un diluvio breve; allí se dan aproximadamente 100 horas de lluvia por año y en éstas se debe captar y almacenar el agua para el mayor tiempo posible. En Bangladesh, la recolección de lluvia se ve como una alternativa viable para el suministro de agua segura en áreas afectadas por contaminación con arsénico.

Desde 1977, cerca de 1,000 sistemas de aprovechamiento de lluvia fueron instalados en el país por la ONG Forum for Drinking Water Supply & Sanitation. Aquí se utilizan varios tipos de tanques para el almacenamiento de agua de lluvia: de concreto reforzado, de mampostería y subterráneos. El agua de lluvia almacenada es aceptada como segura y se usa para beber y cocinar.

Al noroeste de China, la peor condición de escasez de agua se da en la meseta de Loess de Gansu por ser una de las áreas más pobres y donde el agua superficial es muy escasa. Debido a esto, desde 1988 se han probado eficientes técnicas de captación de lluvia y en 1995 el gobierno local implementó el proyecto “121”, apoyando económicamente a cada familia para construir un campo de recolección de agua, dos sitios de almacenamiento y un terreno adecuado para cultivar.

Este proyecto ayuda a suministrar agua a 1.2 millones de personas y 1.18 millones de cabezas de ganado. Singapur cuenta con recursos naturales limitados y una creciente demanda de agua. Esto ha llevado a la búsqueda de fuentes alternativas y métodos innovadores para el aprovechamiento del agua. Alrededor del 86 % de la población de Singapur vive en edificios de apartamentos, donde los techos de estos edificios son utilizados para la captación de agua de lluvia; esta es almacenada en cisternas separadas del agua potable, para darle usos diferentes al de consumo humano. En Tokio, Japón, el aprovechamiento de lluvia es promovido para mitigar la escasez de agua, controlar las

inundaciones y asegurar agua para emergencias. A nivel comunitario se están implementando instalaciones llamadas Ronjinson, que están introduciendo a la población en el aprovechamiento pluvial. Funcionan recibiendo el agua del techo de la casa, luego se almacena en un pozo subterráneo y después se extrae mediante una bomba manual (Ballén, 2006).

El almacenamiento del agua de lluvia proveniente del escurrimiento de los techos en vasijas de arcilla el cual se considera como un sistema apropiado y económico para obtener agua de alta calidad en Tailandia. Las vasijas se consiguen para diferentes volúmenes, desde 1 hasta 3 m<sup>3</sup> y están equipadas con tapa, grifo y un dispositivo de drenaje. Pueden suministrar agua de lluvia suficiente para una casa con seis personas durante el periodo seco (Ballén, 2006).

### ***c. Oceanía e Islas***

A excepción de los grandes asentamientos, la densidad de población en Australia es muy baja. Debido a esto el agua debe recorrer grandes distancias a través de kilómetros de tubería, haciendo que sea muy costosa o que en algunos lugares remotos no se suministre el servicio. Allí se utiliza el aprovechamiento de lluvia como una solución al problema. En 1994, la Oficina Australiana de Estadística dio a conocer que el 30.4 % de los hogares australianos ubicados en las zonas rurales y el 6.5 % de los hogares en las ciudades utilizan algún sistema de aprovechamiento de lluvia, de la suma de éstos, el 13 % utiliza el agua para beber y cocinar. Las poblaciones de algunas islas con escasas corrientes de agua superficial suelen utilizar los sistemas de aprovechamiento pluvial como su forma de suministro. Este es el caso de Micronesia, Rapa-Nui, Bermudas, Islas Vírgenes, Hawái y San Andrés (Ballén, 2006).

### ***d. Europa***

En 1998 los sistemas de aprovechamiento de pluvial fueron introducidos en Berlín, Alemania, como parte de un desarrollo urbano a gran escala. Además de aprovechar de manera más eficiente el agua superficial, se capta el agua de la lluvia que cae en las cubiertas de algunos edificios y se almacena en un tanque subterráneo. Esta agua es usada para la descarga de inodoros, el riego de zonas verdes y para llenar un estanque artificial. En otro proyecto de BelssLuedeckeStrasse Building State en Berlín, el agua de lluvia de las cubiertas de algunas casas se descarga en una cisterna con capacidad, junto con el agua de escurrimiento de las calles, espacios de estacionamiento y vías peatonales. El agua es tratada en varios pasos y usada en la descarga de sanitarios y el riego de jardines. El sistema está diseñado para que la mayoría de los contaminantes del

flujo inicial sean evacuados al alcantarillado. El sistema retiene aproximadamente el 58 % del agua de lluvia que cae dentro de las instalaciones. A través de un modelo basado en 10 años de simulación se estimó que el ahorro de agua potable con la utilización de lluvia es de 2,430 m<sup>3</sup> por año. Con este volumen se puede preservar el reservorio de agua subterránea de Berlín (Ballén, 2006).

#### ***e. Sudamérica***

En la década de los noventa en Brasil, muchas organizaciones ambientales se enfocaron en trabajar en el suministro de agua para consumo humano usando sistemas de aprovechamiento de lluvia. En la región noroeste, con promedio anual de lluvia de 200 mm a 1000 mm, las comunidades nativas tradicionalmente han recolectado agua de lluvia en pozos excavados, pero este sistema no logra satisfacer las necesidades de la población. Por ello una ONG y el gobierno de Brasil iniciaron un proyecto para construir un millón de tanques para la recolección de lluvia para beneficiar a 5 millones de personas (Ballén, 2006).

#### ***f. Norte y Centroamérica***

En barrios de Tegucigalpa, Honduras, se pueden encontrar viviendas acondicionadas con precarios sistemas de aprovechamiento pluvial. Estos sistemas, aún con sus deficiencias, logran mejorar el nivel de vida de los habitantes que los usan. Se estima que los sistemas de aprovechamiento de agua de lluvia son usados por más de medio millón de personas en al menos 15 estados y territorios de los Estados Unidos. El agua se destina a uso doméstico, agrícola, comerciales e industriales. Existen más de 50 compañías especializadas en el diseño y construcción de sistemas de aprovechamiento pluvial.

En Vancouver, Canadá, se provee de un subsidio para la compra de tanques plásticos para el aprovechamiento del agua de lluvia, como parte de un programa piloto para la conservación del agua. Dicho tanque se utiliza para recolectar el agua proveniente de los techos, siendo utilizada para regar jardines, actividad que demanda más del 40 % del agua total que llega a las viviendas durante el verano.

Las proyecciones indican que cada barril podría ahorrar cerca de 4.92 m<sup>3</sup> de agua durante los meses de verano donde la demanda de agua es más alta. Healthy House es una casa familiar de tres habitaciones con un área de 158 m<sup>2</sup> ubicada en Toronto, Canadá. Esta edificación no depende del sistema de agua municipal, debido a que el agua para consumo humano se suministra por medio de un sistema de canales que conducen el agua de lluvia hacia un tanque de almacenamiento donde se le adiciona cal, esta es

utilizada para reducir la acidez del agua y darle un sabor fresco. Posteriormente el agua pasa a través de un filtro de arena fina y carbón activado para remover todas las impurezas y por último es sometida a un proceso de desinfección mediante luz ultravioleta (Ballén, 2006).

### **g. México**

Aunque en México las condiciones geográficas son favorables y el desarrollo de este tipo de tecnología es de bajo costo, fácil de construir e implementar, implica poco o nulo consumo de energía, bajo impacto ambiental y muchas otras bondades, en la mayoría del país su uso está limitado a un medio de abastecimiento sólo aplicado en casos extremos de escasez. Existe poca información e interés sobre el potencial de este recurso como una solución sustentable al 22 problema del agua e incluso cierta resistencia a la implementación de estas tecnologías por falta de estudios sobre el tema.

En tiempos recientes, algunas investigaciones orientadas al aprovechamiento pluvial y la misma necesidad del vital líquido trajeron como consecuencia ejemplos particulares de aprovechamiento. A continuación se presentan cuatro ejemplos de la zona centro del país (Ballén, 2006).

En el pueblo de San Felipe se desarrolló el proyecto “Agua y Vida” a partir de 1996, con almacenamiento de agua. El primer desarrollo tecnológico fue un sistema de aprovechamiento de lluvia que cuenta con una cisterna de 500 m<sup>3</sup> y un área de captación cubierta de piedra laja. La siguiente obra fue construida a las afueras del municipio y se llamó “Techo – Cuenca”, que consta de dos cubiertas con pendiente que se unen en un canal conectado a un depósito de 285 m<sup>3</sup> desde donde se distribuye agua potable a las familias que la necesiten.

Varias construcciones oficiales, como el jardín de niños y la escuela municipal, están equipados con sistemas de aprovechamiento de lluvia que es utilizada para la descarga de inodoros, el aseo en general y para regar los jardines. En 6 años, la población ha sido transformada y la mayoría de sus necesidades de agua han sido satisfechas por los sistemas de aprovechamiento pluvial (Ballén, 2006).

En el IMTA (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua) existe un proyecto que da seguimiento a localidades como Jumiltepec y Villa Nicolás Zapata. Aquí se adecúan y construyen sistemas de captación y tratamiento del agua de lluvia, a nivel domiciliario y colectivo, respectivamente. Este proyecto se enfoca en poblaciones seleccionadas a partir de un diagnóstico poblacional y socioeconómico que considera determinante la escasez de agua para uso y consumo humano (Garrido, 2009).

Un proyecto innovador dentro del Parque Ecológico de Loreto y Peña Pobre, es la casa ecológica muestra creada por la colaboración de universidades y empresas. Esta casa además de utilizar celdas que captan la energía solar para generar electricidad y calentar agua con el sol, aprovecha los residuos orgánicos en composta y el agua de lluvia. Para esta última se usan tejas y canaletas simples, dirigidas a una batería de filtros de grava, arena y carbón activado en serie (Simón, 2009).

#### ***h. Israel***

El énfasis de la investigación está en los aspectos hidrológicos de microcaptación para árboles frutales como almendros y pistachos. En los Estados Unidos y Australia, la captación de agua de lluvia se aplica principalmente para abastecer de agua a la ganadería y al consumo doméstico; la investigación está dirigida principalmente hacia lograr incrementos en la escorrentía superficial a través de tratamientos en las áreas de captación (FAO, 2000).

Según el (IICA, 1998), la captación de agua para consumo humano data de tiempos muy remotos, y los primeros almacenamientos de agua de lluvia que fueron construidos en Europa durante el imperio romano, utilizaban pequeñas presas de tierra y de mampostería, con la idea de elevar el nivel freático, estas infraestructuras las construían alrededor del lago, además utilizaron la captación y almacenamiento del agua de lluvia proveniente de los techos y patios de las casas. Otras experiencias relatadas era que en Israel colectaban y conducían la escasa precipitación hasta reservorios construidos con arcilla, que funcionaban como filtros, y luego lo almacenaban en cisternas para luego ser utilizado para el ganado y labores domésticos.

#### ***i. Guatemala***

En el departamento de Alta Verapaz, el primer sistema de captación implementado fue en 1997, por medio de un proyecto europeo APRESAL, con un total de 640 sistemas beneficiando a 3,500 personas. En el 2002, una fundación llamada Fundación del Pueblo establece más sistemas llamados autónomos de polietileno. Las Industrias Licoreras de Guatemala, implementa en el 2009, en el mismo departamento, 10 sistemas de concreto. En el departamento de Chiquimula, en 2008, ASEDECHI, implementa 3 sistemas en una comunidad. Quiché también fue beneficiada en el 2007 con 80 sistemas de aljibes autónomos, por el apoyo de Fundación MADRAZO (González, 2009).

“En Guatemala, La Asociación Coordinadora Indígena Campesina de Agroforestería Comunitaria Centroamericana, ACICAFOC, estableció una alianza estratégica con la Asociación de Servicios y Desarrollo Socioeconómico de Chiquimula (ASEDECHI) con el

fin de contribuir al proceso de capacitación en la construcción de cisternas para cosecha de agua de lluvia en el país, y de este modo aminorar los problemas de acceso al agua en algunas comunidades, principalmente en los meses críticos (verano) por la escases del vital líquido. Esta alianza estableció el acuerdo del financiamiento por parte de ACICAFOC, para la construcción de 2 cisternas pilotos, y la capacitación de 8 albañiles comunitarios para la replicación de la experiencia en el departamento” (ASEDECHI, 2008).

“En el Oriente de Guatemala donde las lluvias son escasas e irregulares se implementó varios sistemas de captación de lluvia, con aljibes aéreos o subterráneos, impulsados por las cadenas suizas a través de la ONG ‘Helvetas’ (FAO, 2004).

“Debido a la carencia de agua entubada en Macalajau, Uspantán, Quiché y Huehuetenango, se construyeron diez reservorios con capacidad de hasta 20 m<sup>3</sup> de agua, con las cuales se beneficiara a 70 familias de esa comunidad, satisfaciendo necesidades de consumo, como el riego de huertos.

Esta obra tuvo un costo de Q70 mil, con apoyo de la organización América Solidaria, la municipalidad y el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA) ” (Prensa Libre, 2014).

Según (Tavico, 2014), se lograron desarrollar captadores de agua de lluvia, mediante estructuras de metal con láminas de zinc; de PVC y de madera con láminas plásticas; los cuales permitieron almacenar el agua de lluvia en depósitos plásticos con capacidad para 4.1 m<sup>3</sup> de agua, tomando en cuenta las precipitaciones que se reportan en parte de la zona del corredor seco y en el departamento de Guatemala. El objetivo de realizarlo en estas zonas, fue comprobar si con las mismas estructuras se lograba captar el agua de lluvia, se captaba diferentes cantidades de agua y almacenarla en depósitos plásticos, considerando para ello la precipitación local, implicando así un proceso de validación de tecnologías para diferentes localidades del territorio nacional.

“La Fundación Defensores de la Naturaleza junto con la cooperación bilateral entre Alemania y Guatemala implementaron cuatro iniciativas piloto para la cosecha de agua de lluvia a partir de la construcción de embalses multiusos, con una inversión de alrededor Q 560,000, contribuyendo con ello a la adaptación y mitigación de los efectos negativos del cambio climático” (EA, 2016).

#### 2.2.1.4. Consideraciones sobre agua de lluvia

Es importante considerar para el aprovechamiento del agua de lluvia, tanto los aspectos de disponibilidad, calidad y uso.

##### a. Disponibilidad

“El ciclo hidrológico, es el fenómeno natural que permite a los seres vivos la reutilización del agua. Cada una de sus fases representa una fuente de abastecimiento tanto para las plantas, animales y seres humanos, y de esa forma restaurar el medio que los rodea. Se estima que aproximadamente durante el ciclo hidrológico, el agua experimenta de 5 a 6 usos antes de evaporarse y cerrar dicho ciclo. Junto a esta forma natural de su reutilización, ha surgido durante la última década un enorme interés y necesidad por una reutilización planificada. En el cuadro 2, se presenta la disponibilidad de agua en el mes más seco, nacional y por vertiente, según datos presentados por SEGEPLAN.

*Cuadro 2. Disponibilidad de agua en el mes más seco, nacional y por vertientes.*

<i>Vertientes</i>	<i>Área km<sup>2</sup></i>	<i>% área</i>	<i>Q medio m<sup>3</sup>/s</i>	<i>Q Lt/s/k m<sup>2</sup></i>	<i>Población 2002</i>	<i>% hab.</i>	<i>Hab./km<sup>2</sup></i>	<i>Litros/hab./ día</i>
<b>Totales</b>	108,889	100	3,206.63	30	11,237,196	100	103.2	20,706
<b>Pacífico</b>	23,990	22	728.47	31	5,897,817	52.5	245.8	10,672
<b>Caribe</b>	34,259	31.5	1,180.53	35	3,450,840	30.7	100.7	29,557
<b>Golfo de México</b>	50,640	46.5	1,297.63	26	1,888,539	16.8	37.3	59,366

*Fuete: SEGEPLAN. Estrategias para la Gestión Integrada de Los Recursos Hídricos de Guatemala.*

No obstante, la distribución espacial de la lluvia es irregular y la disponibilidad natural del agua no coincide con las demandas.

En las regiones localizadas en las partes altas de las cuencas y que reciben menor precipitación, la ocurrencia de agua como flujo superficial es menor y es ahí en donde precisamente se asienta la mayor cantidad de población del país, como es el caso del

Área Metropolitana de Guatemala, 10 cabeceras departamentales y más de 130 cabeceras municipales” (Quevedo, 2013).

### **b. Calidad**

Los factores fundamentales que alteran la calidad del agua son: la suciedad, la luz y el excesivo calor. Sin embargo la calidad del agua de lluvia en cuanto a propiedades físicas y químicas se refiere, son generalmente mejores que las presentadas por fuentes de agua subterránea, las cuales pueden contener minerales que se encuentran en el subsuelo (Quevedo, 2013).

En teoría el agua de lluvia es pura, sin embargo al caer se escurre a través de superficies arrastrando contaminantes que pueden ser tóxicos. Por ejemplo, en estudios realizados por Organización Mundial de la Salud (OMS) se ha comprobado que en algunos techos tanto de zonas urbanas como rurales, han registrado valores altos en plomo, lo que se puede atribuir a la composición de los materiales con los que han sido fabricados. También algunos análisis han detectado niveles altos de coliformes totales y coliformes fecales, contaminación que puede ser producida por el excremento de las aves, roedores, etc (Quevedo, 2013).

En zonas urbanas con alto nivel de polución en el aire, la situación empeora debido a que la atmósfera se contamina de los elementos como: 79 % de nitrógeno, 21 % de oxígeno y en menor cantidad otros gases o contaminantes naturales y/o producto de la actividad humana. A esto hay que sumarle que en las ciudades las superficies por las que escurre como calles o techos, tienen niveles más altos de químicos, hidrocarburos, basuras y otros contaminantes (Quevedo, 2013).

No obstante el agua de lluvia recogida y almacenada adecuadamente, representa una fuente alternativa de agua de buena calidad, utilizable en determinadas aplicaciones, contribuyendo al ahorro de agua potable (Quevedo, 2013).

### **c. Usos**

El agua de lluvia ha sido desde siempre un recurso hídrico básico para los seres humanos. A lo largo de la historia múltiples civilizaciones han practicado sistemas de aprovechamiento de agua de lluvia para su posterior uso en épocas más secas (Quevedo, 2013).

En Guatemala el sector agropecuario (23 % del PIB) depende totalmente del agua, por lo tanto para un eficaz uso del agua de lluvia, la producción agrícola es cíclica. Se siembra al inicio de las lluvias y se cosecha al final de las mismas (Quevedo, 2013).

#### **2.2.1.5. Cambio climático**

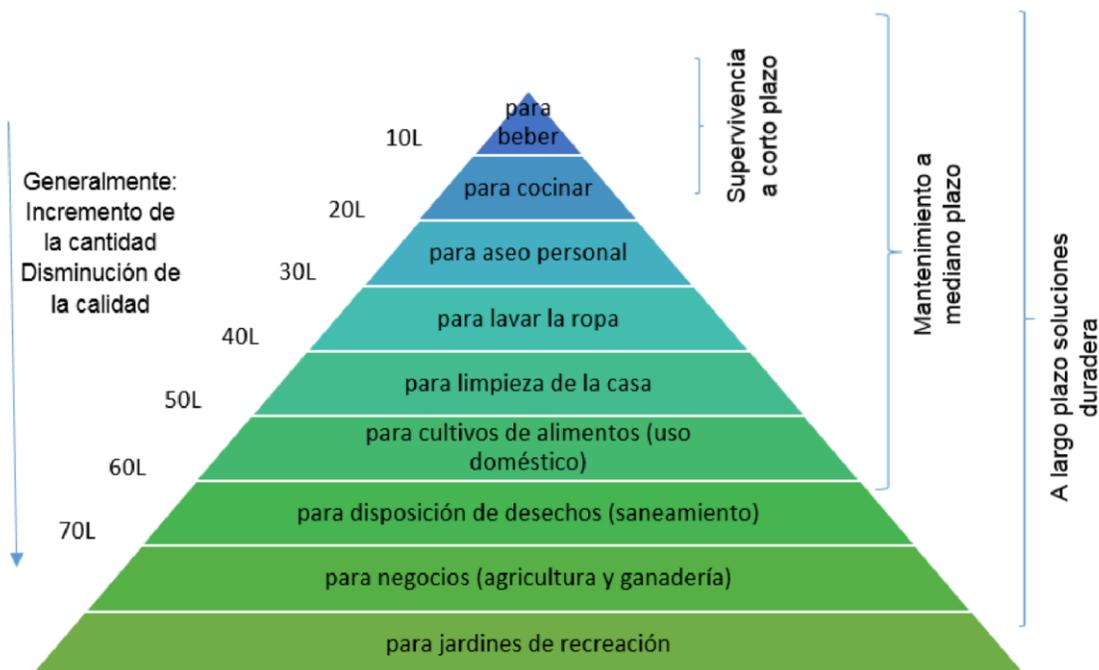
El ciclo hidrológico local se encuentra determinado en gran medida por condiciones globales o de carácter regional: posición (latitud, altitud), insolación, vientos, orografía, geología, tipos de suelo y de terreno, cobertura vegetal, entre otros factores. Con la llegada del cambio climático, que se traduce en un aumento de las temperaturas medias terrestres, se agudizan los problemas de escasez de agua en muchas regiones del mundo (IPCC, 2007).

Posibles cambios en el ciclo hidrológico causados por el cambio climático:

- » Disminución de la precipitación total anual.
- » Disminución del número de eventos de lluvia (distribución más errática).
- » Aumento de la energía de las precipitaciones, con posible agravamiento de los problemas (crecidas, inundaciones y erosión de las tierras).
- » Aceleración de la escorrentía por disminución de la precipitación sólida (nieve).
- » Aumento de la evapotranspiración, lo que incrementaría la aridez de la zona.
- » Reducción en la recarga de las napas con la consiguiente caída de sus niveles.
- » Mayor arrastre de sedimentos.
- » Aumento de la contaminación por menor capacidad de dilución de afluentes y riles (residuos industriales líquidos) (IPCC, 2007).

#### **2.2.1.6. Cantidad mínima de agua**

Según la OMS, las personas usan el agua para una amplia gama de actividades. Pero existen algunas más importantes que otras, como el hecho de tener unos pocos m<sup>3</sup> diarios para beber, sin embargo cada uso adicional conlleva beneficios para la salud y de otro tipo tal como se muestra en la figura 12.



Fuente: OMS, 2009.

Figura 12. Jerarquía de las necesidades de agua.

Es necesario contar con  $0.002 \text{ m}^3$  al día por estudiante; ( $0.01$  a  $0.015 \text{ m}^3$  por estudiante si los inodoros son de descarga de agua). En el caso para la preparación de comida, limpieza:  $0.002 \text{ m}^3$  a  $0.003 \text{ m}^3$  al día por persona (OMS, 2009).

### 2.2.1.7 Calidad del agua

El agua posee distintas características dependiendo del lugar de donde se recolecte y las condiciones del entorno, existen partículas suspendidas que se disuelven al contacto con una fuente de agua llegando a formar parte de ella a nivel físico o químico. Un fenómeno cada vez más frecuente y que afecta las propiedades del agua de lluvia completamente es la denominada lluvia ácida que principalmente se presenta en entornos industrializados" (Guzmán, 2014).

Por lo general, la calidad del agua se determina comparando las características físicas, químicas y microbiológicas de una muestra de agua con unas directrices de calidad del agua o estándares. En el caso del agua potable, estas normas se establecen para asegurar un suministro de agua limpia y saludable para el consumo humano y, de este modo, proteger la salud de las personas. Estas normas se basan normalmente en unos niveles de toxicidad científicamente aceptables tanto para los humanos como para los organismos acuáticos (ONU, 2015).

Según el artículo 15, del acuerdo gubernativo No. 113-2009, COGUANOR (Comisión Guatemalteca de Normas), está encargada de la vigilancia y control de la calidad del agua, considerando en este los límites máximos aceptables y permisibles para las características físicas, químicas y microbiológicas del agua.

“El termino calidad del agua es relativo y solo tiene importancia universal si está relacionado con el uso del recurso. Esto quiere decir que una fuente de agua suficientemente limpia que permita la vida de los peces puede no ser apta para la natación y un agua útil para el consumo humano puede resultar inadecuada para la industria.

Para decidir si un agua califica para un propósito particular, su calidad debe especificarse en función del uso que se le va a dar. Bajo estas consideraciones, se dice que un agua está contaminada cuando sufre cambios que afectan su uso real o potencial.

Es importante anotar que la evaluación de la calidad de agua se realizara usando técnicas analíticas adecuadas para cada caso. Para que los resultados de estas determinaciones sean representativos, es necesario dar mucha importancia a los procesos de muestreo y a las unidades y terminología empleadas” (Vargas, 2004).

### **a. *Parámetros Microbiológicos***

#### ***Las bacterias coliformes***

Son un grupo de microorganismos que se encuentra comúnmente en el suelo, aguas sobre la superficie y en las plantas. También están presentes en los intestinos de animales y humanos. Las bacterias coliformes que la lluvia arrastra por el suelo, usualmente quedan atrapadas en las rocas y a medida que el agua pasa por las rocas llega a los sistemas de agua subterránea. Sin embargo, los pozos que no están bien contruidos, que están rajados o que no están bien sellados pueden proveer una puerta para que las bacterias coliformes entren al agua subterránea y contaminen el agua que usted usa para beber (Vargas, 2004).

La mayoría de las bacterias coliformes probablemente no causaran una enfermedad. Sin embargo, estas bacterias son usadas como indicadores en pruebas de agua porque su presencia señala que organismos que pueden causar enfermedades (patógenos) también pueden estar en el agua. La presencia de algunos tipos de bacterias coliformes en el agua señala la presencia de excremento o desechos de alcantarillas. Los organismos que causan enfermedades usualmente vienen de los excrementos y los desechos de alcantarillas (Vargas, 2004).

Los niños y las personas de edad avanzada tienen un mayor riesgo de los efectos dañinos de los organismos en el agua que usa para beber (Vargas, 2004).

**Coliformes totales** se encuentran comúnmente en el medioambiente (Por ejemplo; en el suelo y las plantas) y generalmente no causan problemas (Vargas, 2004).

**Escherichia Coli** "Desde 1885, año en el que fue aislado por primera vez en heces de niño y descrito por el bacteriólogo alemán Theodor Escherich. *E. coli*, es un habitante casi universal del intestino es un subgrupo de bacterias fecales coliformes, este crece a temperaturas desde 7 °C -10 °C hasta 50 °C, en una temperatura óptima en torno a 37 °C, aunque existen algunas referencias de algunas cepas que crecieron a 4 °C" (Adams, 1997).

Este tipo de bacterias se encuentra en grandes cantidades en los intestinos de las personas y los animales de sangre caliente. Algunas cepas, sin embargo, pueden causar enfermedades. La presencia de estos organismos indica un alto riesgo de la presencia de organismos que pueden causar enfermedades" (NCPH, 2009).

### **b. Parámetros Físicoquímicos**

"La presencia de sustancias químicas disueltas e insolubles en el agua –que pueden ser de origen natural o antropogénico- define su composición física y química.

Algunos procesos fisicoquímicos que ocurren en el agua pueden ser evaluados si se recurre a los principios de equilibrio químico, incluida la Ley de Acción de Masas y la Ecuación de Nerst o al conocimiento de los mecanismos de reacción y de las proporciones para los procesos irreversibles" (Vargas, 2004).

#### **Aspectos Físicoquímicos**

"Se conoce con este nombre al agua que ha sido tratada con el objetivo de hacerla apta para el consumo humano, teniendo en cuenta todos sus usos domésticos.

Algunas especies biológicas, físicas y químicas pueden afectar la aceptabilidad del agua para consumo humano. Por ejemplo:

- a) Su apariencia estética: turbiedad, olor, color y sabor, espuma.
- b) Su composición química: acidez, alcalinidad, aceites y grasas, compuestos orgánicos e inorgánicos en general.

Es necesario, asimismo, considerar las transformaciones químicas y bioquímicas a que están expuestos los contaminantes del ambiente acuático" (Vargas, 2004).

Las alteraciones químicas pueden afectar su disponibilidad biológica o tóxica (aumentarla o disminuirla). Poco se sabe acerca de estos procesos químicos, físicos y biológicos y sus mecanismos, a pesar de que son indispensables para comprender los efectos en la salud del consumidor (Vargas, 2004).

### ***Características físicas***

Las características físicas del agua, llamadas así porque pueden impresionar a los sentidos (vista, olfato, etcétera), tienen directa incidencia sobre las condiciones estéticas y de aceptabilidad del agua (Vargas, 2004).

Se consideran importantes las siguientes:

Alcalinidad;

Turbiedad;

Dureza;

Sulfatos;

Temperatura;

pH;

Sólidos solubles;

Conductividad.

### ***Alcalinidad***

Es la capacidad del agua de neutralizar ácidos. Sin embargo, aniones de ácidos débiles (bicarbonatos, carbonatos, hidróxido, sulfuro, bisulfuro, silicato y fosfato) pueden contribuir a la alcalinidad (Vargas, 2004).

La alcalinidad está influenciada por el pH, la composición general del agua, la temperatura y la fuerza iónica (Vargas, 2004).

Por lo general, está presente en las aguas naturales como un equilibrio de carbonatos y bicarbonatos con el ácido carbónico, con tendencia a que prevalezcan los iones de bicarbonato. De ahí que un agua pueda tener baja alcalinidad y un pH relativamente alto o viceversa (Vargas, 2004).

La alcalinidad es importante en el tratamiento del agua porque reacciona con coagulantes hidrolizables (como sales de hierro y aluminio) durante el proceso de coagulación.

Además, este parámetro tiene incidencia sobre el carácter corrosivo o incrustante que pueda tener el agua y, cuando alcanza niveles altos, puede tener efectos sobre el sabor (Vargas, 2004).

Durante el tratamiento, las aguas crudas de muy baja alcalinidad pueden requerir la adición de un alcalinizante primario (como el hidroxido de calcio) (Vargas, 2004).

La EPA no hace recomendaciones respecto a la alcalinidad en fuentes de agua, esta se liga a factores como el pH y la dureza, pero concluye que una fuente no debe mostrar cambios bruscos o repentinos en el contenido de la alcalinidad, pues esto podría indicar un cambio en la calidad del agua (Vargas, 2004).

### ***Turbiedad***

La turbiedad es originada por las partículas en suspensión o coloides (arcillas, limo, tierra finamente dividida, etc). La turbiedad es causada por las partículas que forman los sistemas coloidales; es decir, aquellas que por su tamaño se encuentran suspendidas y reduce la transparencia del agua en menor o mayor grado (Vargas, 2004).

La medición de la turbiedad se realiza mediante un turbidímetro o nefelómetro. Las unidades utilizadas son, por lo general, unidades nefelométricas de turbiedad (UNT) (Vargas, 2004).

### ***Dureza***

Corresponde a la suma de los cationes polivalentes expresados como la cantidad equivalente de carbonato de calcio, de los cuales los más comunes son los de calcio y los de magnesio (Vargas, 2004).

Aun no se ha definido si la dureza tiene efectos adversos sobre la salud. Pero se la asocia con el consumo de más jabón y detergente durante el lavado (Vargas, 2004).

La dureza está relacionada con el pH y la alcalinidad; depende de ambos (Vargas, 2004).

Un agua dura puede formar depósitos en las tuberías y hasta obstruirlas completamente. Estas características nocivas, particularmente en aguas de alimentación de calderas, en las cuales la alta temperatura favorece la formación de sedimentos (Vargas, 2004).

La remoción de la dureza en el tratamiento se lleva a cabo mediante la precipitación con cal o mediante el proceso combinado cal-carbonato, conocido como *ablandamiento cal-soda* (Vargas, 2004).

En términos generales, puede considerarse que un agua es blanda cuando tiene menor de 100 mg/L; mediantemente dura, cuando tiene de 100 mg/L a 200 mg/L; y dura, cuando tiene de 200 a 300 mg/L (en todos los casos, como  $\text{CaCO}_3$ ) (Vargas, 2004).

Las normas de calidad no establecen un límite específico para la dureza en el agua para consumo humano (Vargas, 2004).

### ***Sulfatos***

Los sulfatos son un componente natural de las aguas superficiales y por lo general en ellas no se encuentran en concentraciones que puedan afectar su calidad (Vargas, 2004).

Pueden provenir de la oxidación de los sulfuros existentes en el agua y, en función del contenido de calcio, podrían impartirle un carácter ácido (Vargas, 2004).

Los sulfatos de calcio y magnesio contribuyen a la dureza del agua y constituyen la dureza permanente. El sulfato de magnesio confiere al agua un sabor amargo (Vargas, 2004).

Un alto contenido de sulfatos puede proporcionar sabor al agua y podría tener un efecto laxante, sobre todo cuando se encuentra presente al magnesio. Este efecto es más significativo en niños y consumidores no habituados al agua de estas condiciones (Vargas, 2004).

Cuando el sulfato se encuentra en concentraciones excesivas en el agua ácida, le confiere propiedades corrosivas (Vargas, 2004).

La remoción de sulfato puede resultar costosa y requerir métodos complicados, por lo cual es preferible elegir fuentes naturales con niveles de sulfato por debajo de los límites aconsejados (Vargas, 2004).

Por sus efectos laxantes, su influencia sobre el sabor y porque no hay métodos definidos para su remoción, la OMS recomienda que en aguas destinadas al consumo humano, el límite permisible no exceda 250 mg/L, pero indica, además, que este valor guía está destinado a evitar la probable corrosividad del agua. Las Guías de Calidad para Agua de Bebida del Canadá recomiendan un máximo de 500 mg/L (Vargas, 2004).

## **Temperatura**

Es uno de los parámetros físicos más importantes en el agua, pues por lo general influye en el retardo o aceleración de la actividad biológica, la absorción de oxígeno, la precipitación de compuestos, la formación de depósitos, la desinfección y los procesos de mezcla, floculación, sedimentación y filtración (Vargas, 2004).

Múltiples factores, principalmente ambientales, pueden hacer que la temperatura del agua varíe continuamente (Vargas, 2004).

## **pH**

El pH influye en algunos fenómenos que ocurren en el agua, como la corrosión y las incrustaciones en las redes de distribución (Vargas, 2004).

Aunque podría decirse que no tiene efectos directos sobre la salud, si puede influir en los procesos de tratamiento del agua, como la coagulación y la desinfección (Vargas, 2004).

Por lo general, las aguas naturales (no contaminadas) exhiben un pH en el rango de 5 a 9 (Vargas, 2004).

Cuando se trata aguas ácidas, es común la adición de un álcali (por lo general, cal) para optimizar los procesos de coagulación. En algunos casos, se requerirá volver a ajustar el pH del agua tratada hasta un valor que no le confiera efectos corrosivos ni incrustantes (Vargas, 2004).

Se considera que el pH de las aguas tanto crudas como tratadas debería estar entre 5 y 9. Por lo general, este rango permite controlar sus efectos en el comportamiento de los otros constituyentes del agua (Vargas, 2004).

Las guías canadienses han establecido el rango de pH 6.5 a 8.5 para el agua potable (Vargas, 2004).

## **Sólidos solubles**

De forma genérica se puede denominar sólidos a todos aquellos elementos o compuestos presentes en el agua que no son agua ni gases. Atendiendo a esta definición se pueden clasificar en dos grupos: disueltos y en suspensión. En cada uno de ellos, a su vez, se pueden diferenciar los sólidos volátiles y los no volátiles. La medida de sólidos totales disueltos (TDS) es un índice de la cantidad de sustancias disueltas en el agua, y proporciona una indicación general de la calidad química.

TDS es definido analíticamente como residuo filtrable total (en mg/L) Los principales aniones inorgánicos disueltos en el agua son carbonatos, bicarbonatos, cloruros, sulfatos, fosfatos y nitratos. Los principales cationes son calcio, magnesio, sodio, potasio, amonio, etc. Por otra parte, el término sólidos en suspensión, es descriptivo de la materia orgánica e inorgánica particulada existente en el agua (aceites, grasas, arcillas, arenas, fangos, etc.).

La presencia de sólidos en suspensión participa en el desarrollo de la turbidez y el color del agua, mientras que la de sólidos disueltos determina la salinidad del medio, y en consecuencia la conductividad del mismo. Por último, la determinación de sólidos volátiles constituye una medida aproximada de la materia orgánica, debido a la temperatura del método analítico empleado el único compuesto inorgánico que se descompone es el carbonato magnésico (NCPH, 2009).

## **Conductividad**

La conductividad eléctrica de una solución es una medida de la capacidad de la misma para transportar la corriente eléctrica y permite conocer la concentración de especies iónicas presentes en el agua. Como la contribución de cada especie iónica a la conductividad es diferente, su medida da un valor que no está relacionado de manera sencilla con el número total de iones en solución. Depende también de la temperatura. Está relacionada con el residuo fijo por la expresión  $\text{conductividad } (\mu\text{S/cm}) \times f = \text{residuo fijo (mg/L)}$  El valor de  $f$  varía entre 0.55 y 0.9 (NCPH, 2009).

### ***c. Normas sobre potabilidad del agua***

“Cada país debe llegar a establecer sus propias normas, de acuerdo con la calidad de agua cruda que suele obtener y la relación costo-beneficio que puede producir en la región, la presencia de determinados iones en el agua que se distribuye.

El agua para consumo humano, no debe contener microorganismos patógenos ni sustancias tóxicas o nocivas para la salud. Por tanto, el agua debe cumplir con ciertas normas bacteriológicas y físico-químicas para que pueda ser considerada potable” (Aceituno, 1988).

Como país actualmente se cuenta con una norma la cual establece las características que definen la calidad del agua apta para consumo humano; COGUANOR 29 001, la cual encontrara descrita a continuación:

**d. Norma COGUANOR 29 001****Definiciones**

“Agua potable. Es aquella que por sus características organolépticas, físicas, químicas y bacteriológicas, no representa un riesgo para la salud del consumidor y cumple con lo establecido en la norma.

Límite máximo aceptable (LMA). Es el valor de la concentración de cualquier característica de calidad del agua, arriba de la cual el agua pasa a ser rechazable por los consumidores.

Límite máximo permisible (LMP). Es el valor de la concentración de cualquier característica de calidad del agua, arriba de la cual, el agua no es adecuada al consumo humano” (COGUANOR 29 001).

Esta norma está bajo la supervisión de la comisión de normas guatemaltecas, en la cual ejecuta las siguientes funciones;

El artículo 6 del Decreto No. 78-2005 menciona las funciones de COGUANOR; se detallan las más importantes a continuación:

- Elaborar, adoptar y promover la utilización de normas técnicas en el territorio nacional.
- Elaborar y promover la aplicación del programa anual de normalización, acorde a los requerimientos del sector productivo nacional.
- Fomentar la transparencia, armonización y eficacia en la elaboración de las normas.
- Revisar las normas en uso e introducir las modificaciones necesarias a medida que la experiencia, el progreso científico y tecnológico y el mercado nacional e internacional lo exijan.
- Asegurar que en el proceso de elaboración de los reglamentos técnicos se utilicen las normas técnicas nacionales, regionales o internacionales.

El agua potable, debe de tener las siguientes características de calidad:

**Características físicas**

En el cuadro 3, se presentan los parámetros físicos establecidos por la norma COGUANOR 29001, para agua potable.

*Cuadro 3. Características físicas, límite aceptable y límite mínimo del agua potable.*

Características	LMA	LMP
Color	5.0 u	35.0 u (1)
Olor	No rechazable	No rechazable
Sabor	No rechazable	No rechazable
Turbiedad	5.0 UNT	3.0 UNT (2)
(1) Unidades de color en la escala de platino-cobalto		
(2) Unidades nefelométrías de turbiedad (UNT). Estas siglas deben considerarse en la expresión de los resultados.		

*Fuente: Norma COGUANOR 29001.*

### Características químicas

Son aquellas características que afectan la aceptabilidad del agua y que se indican en el cuadro 4.

Cuadro 4. Substancias químicas lím. Máx. Aceptables y lím. Máx. permisibles.

Características	Límite máximo aceptable	Límite máximo permisible
Cloro residual libre (1) (2)	0.5 mg/L	1.0 mg/L
Cloro (Cl <sup>-</sup> )	100.000 mg/L	250.000 mg/L
Conductividad	---	< De 1 500 $\mu$ S/cm
Dureza Total (CaCO <sub>3</sub> )	100.000 mg/L	500.000 mg/L
Potencial de hidrogeno (3)	7.0 – 7.5	6.5 – 8.5
Solidos totales disueltos	500.0 mg/L	1 000.0 mg/L
Sulfato (SO <sub>4</sub> )	100.000 mg/L	250.000 mg/L
Temperatura	15.0°C – 25.0°C	34.0°C
Aluminio (Al)	0.050 mg/L	0.100 mg/L
Calcio (Ca)	75.000 mg/L	150.000 mg/L
Cinc (Zn)	3.000 mg/L	70.000 mg/L
Cobre (Cu)	0.050 mg/L	1.500 mg/L
Magnesio (Mg)	50.000 mg/L	100.000 mg/L

(1) El límite máximo aceptable, seguro y deseable de cloro residual libre, en los puntos más alejados del sistema de distribución es de 0.5 mg/L, después de por lo menos 30 minutos de contacto, a un pH menor de 8.0, con el propósito de reducir en un 99 % la concentración de *Escherechia coli* y ciertos virus.

(2) En aquellas ocasiones en que amenacen o prevalezcan brotes de enfermedades de origen hídrico, el residual de cloro puede mantenerse en un límite máximo permisible de 2.0 mg/L, haciendo caso omiso de los olores y sabores en el agua de consumo. Deben de tomarse medidas similares en los casos de interrupción o bajas en la eficiencia de los tratamientos para potabilizar el agua.

(3) En unidades de pH.

Fuente: Norma COGUANOR 29001.

En el cuadro 5, se muestran los valores para la verificación de la calidad microbiológica del agua, según la norma COGUANOR 29001.

*Cuadro 5. Valores guías para verificación de la calidad microbiológica del agua.*

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

*Fuente: Norma COGUANOR 29001.*

#### **a. El índice de Saturación de Langelier**

En 1936 el profesor W. Langelier, donde propone el índice de saturación como medio para predecir el comportamiento corrosivo o incrustante del agua natural, el cual esta descrito a continuación (Aceituno, 1988). Índice de Saturación de Langelier =  $\text{pH} + \text{TF} + \text{HF} + \text{AF} - 12.5$   $\text{pH}$  = potencial de hidrogeno de saturación.

TF = factor de la temperatura del agua.

HF = dureza total del agua

AF = factor, logarítmico de la dureza del calcio, expresado en mg/L de  $\text{CaCO}_3$  equivalente.

Si el índice es 0: el agua está perfectamente equilibrada.

Si el índice es negativo: indica que el agua es corrosiva, este tipo de agua aumenta el  $\text{pH}$  o Alcalinidad del suelo.

Si el índice es positivo: indica que el agua es incrustante, este índice denota que el agua reduce el  $\text{pH}$  o Alcalina el suelo.

La corrosión por bióxido de carbono, es ayudada por un  $\text{pH}$  bajo en el agua, formándose ácido carbónico que desgasta las paredes de los tubos.

La corrosión por el oxígeno disuelto, produce excavación o picadura sobre el metal (Aceituno, 1988). En el cuadro 6, se muestran los valores guías del índice de Langelier.

Cuadro 6. Tabla de valores del Índice de Langelier.

TEMPERATURA		DUREZA		ALCALINIDAD	
C	TF	ppm	HF	ppm	AF
0	0.0	5	0.7	5	0.7
4	0.1	25	1.4	25	1.4
8	0.2	50	1.7	50	1.7
12	0.3	75	1.9	75	1.9
16	0.4	100	2.0	100	2.0
20	0.5	150	2.2	150	2.2
24	0.6	200	2.3	200	2.3
28	0.7	250	2.4	250	2.4
32	0.7	300	2.5	300	2.5
36	0.8	400	2.6	400	2.6
40	0.9	500	2.7	500	2.7
50	1.0	1000	3.0	1000	3.0

Fuente: W. Langelier

## 2.2.2. Marco Referencial

### 2.2.2.1. Localización geográfica

El municipio de Guatemala se encuentra a una altitud de 1,5000 m s.n.m., su latitud de 14° 37' 15" N y longitud 90° 31' 36" O, con una extensión de 996 km<sup>2</sup>. El municipio se encuentra rodeada por otros municipio del departamento, al norte colinda con Chinautla, San Pedro Ayampuc y Palencia, al Este Palencia, Al Sur Santa Catarina Pinula, Villa Canales y Petapa, y al Oeste Mixco (muniguat, 2017), (figura 13).

El municipio de Guatemala está conformado por 22 zonas, con la finalidad de descentralizar y modernizar la prestación de servicios municipales (muniguat, 2017).

El presente estudio se realizó específicamente en las zonas 24 y 25, ubicadas en la parte noreste del municipio, (figura 14).

La zona 24 posee 17.62 km<sup>2</sup> de área, su latitud es 14°37'29" N y longitud 90° 26' 58" O. La zona 25 posee 30.91 km<sup>2</sup> de área, ubicada latitud a 14°42'16" N y longitud 90° 23' 49" O (muniguat, 2017).

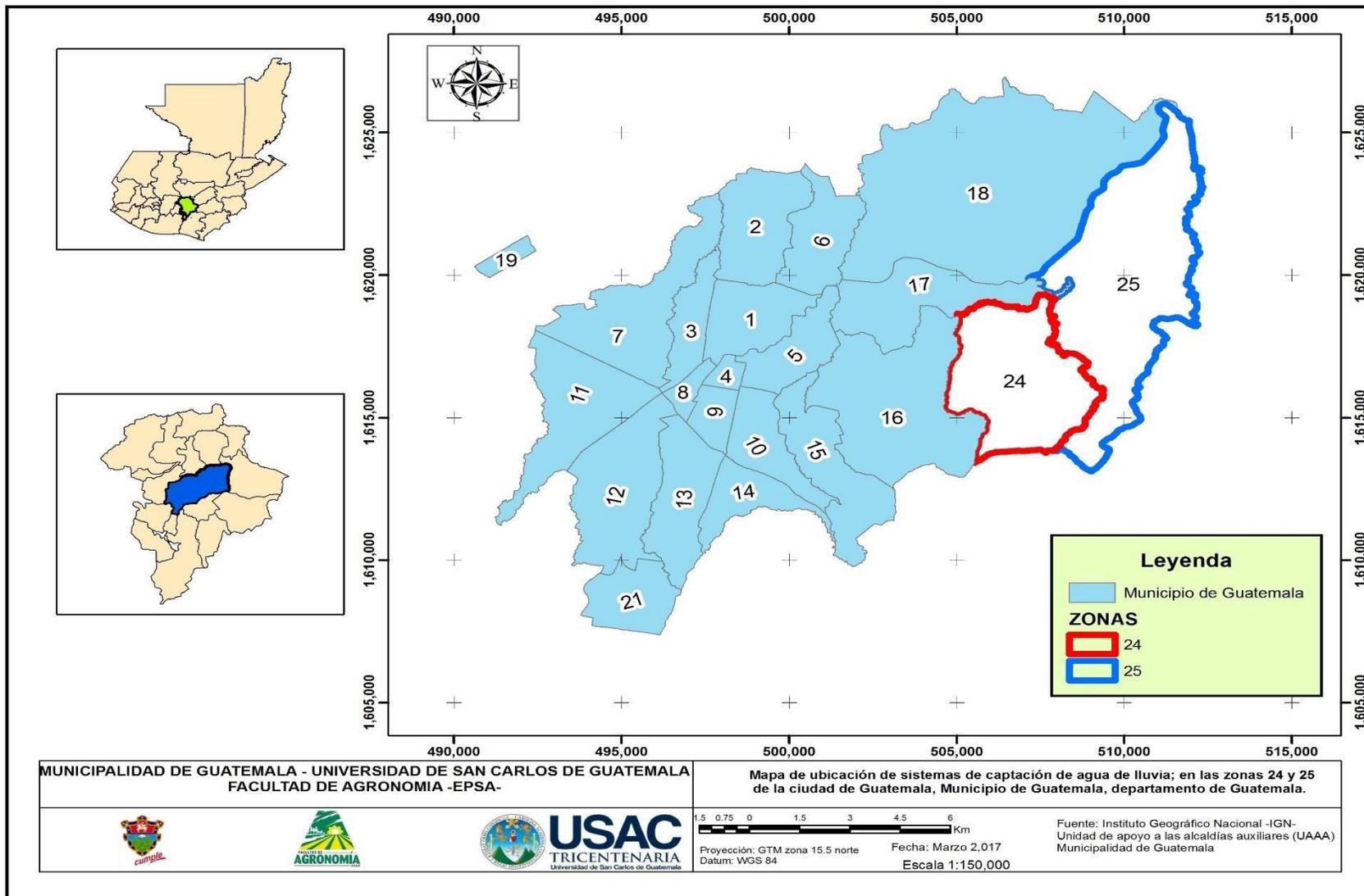


Figura 13. Mapa del municipio de Guatemala por zonas.

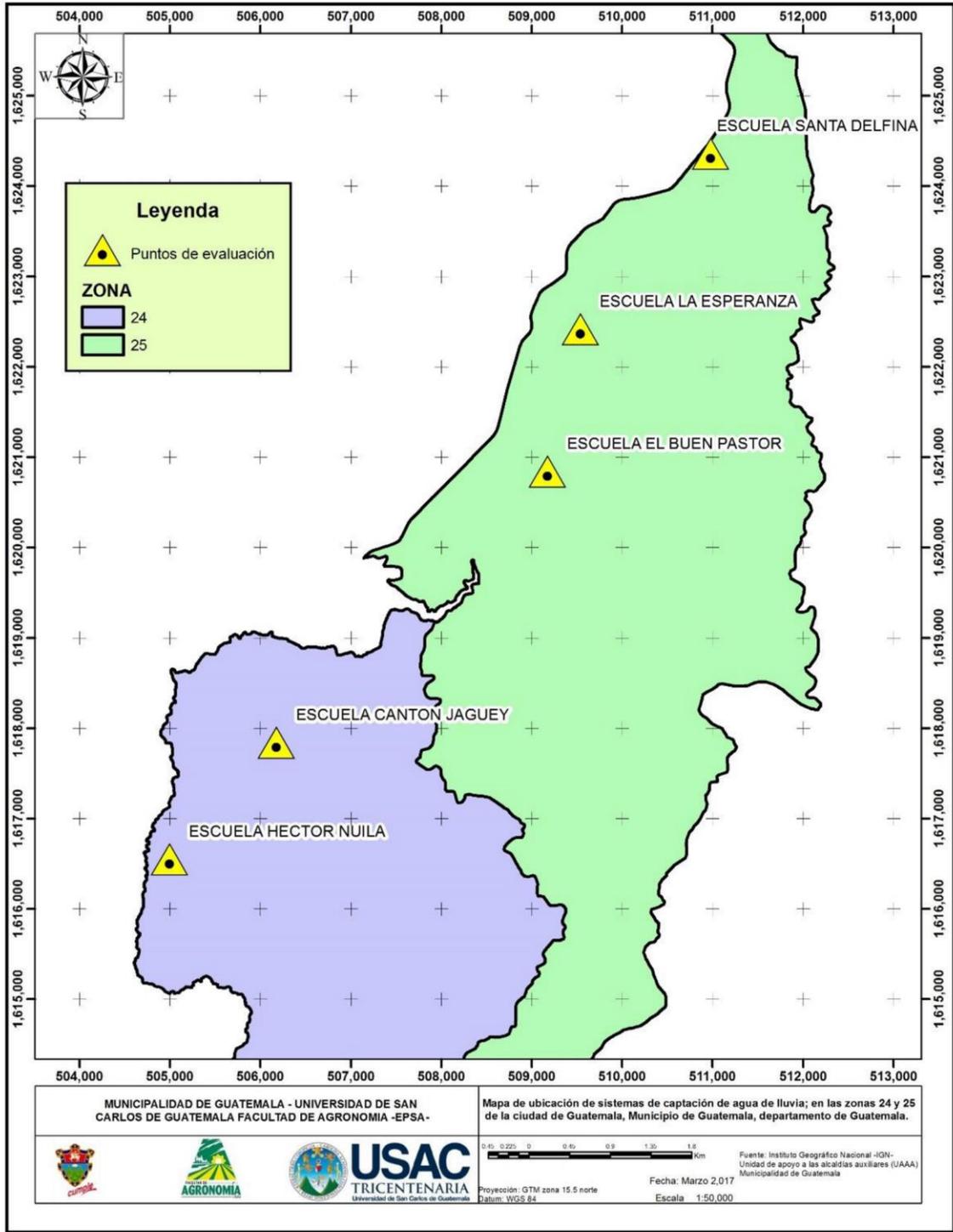


Figura 14. Zonas 24 y 25 del municipio de Guatemala.

### 2.2.2.2. Características climáticas

#### a. Comportamiento de la precipitación

Las condiciones climáticas en el área metropolitana son variantes, pero debido a su elevación goza con clima subtropical. Generalmente la época de lluvia se manifiesta de mayo a octubre, con precipitaciones desde 41.30 mm hasta 470.8 mm tal como se muestra en el cuadro 7, del comportamiento pluvial en la República de Guatemala.

*Cuadro 7. Comportamiento de la lluvia de junio-octubre del 2000-2016, Guatemala.*

<b>Año</b>	<b>Mayo</b>	<b>Junio</b>	<b>Julio</b>	<b>Agosto</b>	<b>Septiembre</b>	<b>Octubre</b>
2000	231,4	306,0	62,1	130,4	220,2	41,5
2001	129,5	162,8	175,1	223,3	152,7	137,6
2002	76,4	208,4	163,7	109,3	242,9	108,6
2003	159,9	303,1	186,8	109,4	374,2	42,1
2004	24,3	314,5	197,2	97,6	228,2	165,9
2005	141,9	211,8	415,1	278,3	180,2	128,7
2006	153,5	449,8	192,6	94,3	211,7	216,9
2007	84,8	206,7	219,6	333,0	287,0	114,4
2008	169,6	460,3	410,6	187,3	354,8	67,4
2009	161,0	189,6	94,4	141,5	90,2	81,2
2010	427,4	376,9	317,4	470,8	342,9	26,8
2011	101,5	222,6	238,6	414,2	246,8	384,5
2012	135,8	165,5	121,1	397,5	128,9	71,9
2013	167,1	166,9	262,1	300,2	273,7	224,3
2014	178,40	358,30	52,00	151,50	300,40	239,80
2015	194,40	174,30	159,30	104,70	333,40	156,90
2016	62,40	225,80	97,70	177,20	352,70	41,30

*Fuente: Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología de Guatemala, 2017.*

### 2.2.2.3. Situación de los recursos hídricos

La situación en la que se encuentran los recursos hídricos, es determinante tanto para su estudio, como utilización y aprovechamiento (Quevedo, 2013).

### **a. Características del recurso hídrico**

Para entender el punto óptimo en la gestión de los recursos hídricos es necesario basar el análisis en tres características fundamentales:

- Seguridad de acceso al agua que ofrece el recurso hídrico, este depende proporcionalmente a la intensidad de lluvia y a las condiciones hidrológicas del entorno, que garanticen el uso y consumo del mismo (Quevedo, 2013).
- Costo económico y ambiental, indica la sostenibilidad de los diferentes sistemas de abastecimiento de agua, el cual genere impactos positivos al ambiente, al menor costo (Quevedo, 2013).
- La calidad del agua, se refiere a las condiciones en que se encuentra respecto a características físicas, químicas y biológicas, en su estado natural o después de ser alteradas por el accionar humano (Quevedo, 2013).

Los recursos hídricos en Guatemala son abundantes, si se considera la disponibilidad por habitante; se producen períodos de escasez en determinadas épocas del año y en determinados locales. Debido a su posición geográfica, Guatemala se encuentra en el tránsito de los vientos húmedos que se originan en el mar Caribe y en el océano Pacífico; y por su cercanía con las fuentes de humedad, la precipitación en el país es abundante en las laderas de las montañas expuestas al tránsito de estos vientos (Quevedo, 2013).

### **b. Situación del recurso hídrico a nivel nacional**

Los recursos hídricos juegan un papel importante en el desarrollo de Guatemala, dentro del complejo contexto nacional agrícola, económico, demográfico, ambiental, energético, industrial, legal, político e institucional. Aun cuando no se han cuantificado los valores de participación de los recursos naturales en la economía nacional (entre ellos el agua), fácil es suponer que más de la mitad del producto interno bruto (PIB Q 522,085.50 millones, 2016) de la nación proviene del uso y aprovechamiento de los recursos naturales que posee (Quevedo, 2013).

### **c. Usos del recurso hídrico**

Los recursos hídricos son aprovechados por diferentes sectores en la Ciudad Capital y de diferente forma. A continuación se mencionan sus principales usos:

- Riego: se utiliza menos del 10 % del área con potencial de regadío (130 000 Ha); la técnica de riego suele ser ineficiente, pues la mayor parte es riego por inundación. De acuerdo con IARNA/URL (2002) se estima (con poca certeza) que en la actualidad se consumen 2 200 mm<sup>3</sup>, sobre estimando el tiempo de riego como criterio para compensar los vacíos de información (Quevedo, 2013).
- Energía: el Ministerio de Energía y Minas indica que el potencial hidroeléctrico estimado del país es de 10,900 Mw (de los que son aprovechables cerca de 5 000 Mw) y que en el año 2001 se utilizaban 563 Mw, que equivale al uso de aproximadamente 3,067 millones de metros cúbicos. Se estima que el 43 % de la energía producida en el país es hidroeléctrica (Quevedo, 2013).
- Industria: debido a la escasa información estadística sobre el uso industrial del agua se han hecho estimaciones basadas en el uso del recurso por parte de las principales industrias de bebidas del país, de esta manera el IARNA/URL indica que se estima un rango de uso del agua en el sector industrial entre 425 mm<sup>3</sup> - 850 mm<sup>3</sup> por año (Quevedo, 2013).
- Pesca, turismo, recreación y transporte: en el país existe poca conciencia sobre la importancia del recurso hídrico para la actividad pesquera, recreativa, turística o de transporte así como escasez de información estadística que refleje la demanda de agua de estos sectores. Aunque para la nación representa ingresos significativos: turismo (US\$ 31.4 millones de dólares, INGUAT, abril de 2012), puerto (Q 90 millones, Puerto Quetzal, agosto 2012) (Quevedo, 2013).
- Vivienda: el agua de lluvia acumulada es susceptible de ser utilizada en viviendas y en exteriores. En el interior de las viviendas hay diversos puntos donde es posible sustituir el agua potable por agua de lluvia: inodoros, lavadoras, lavaderos, tomas de agua para limpieza. Los usos exteriores están relacionados con el riego de zonas verdes y limpieza (calles, edificios, lavado de coches) (Quevedo, 2013).

Se calcula que las descargas de los inodoros suponen del 35 % al 40 % del gasto de agua potable en un hogar medio. El volumen liberado en cada uso oscila entre 0.006 m<sup>3</sup> y 0.0010 m<sup>3</sup>, aunque cada vez es más común la instalación de pulsadores de control de descarga o de corte de flujo. Una lavadora utiliza aproximadamente 17 L en cada lavado (Quevedo, 2013).

Una familia de 4 miembros consume diariamente un mínimo de 0.125 m<sup>3</sup> de agua potable susceptibles de ser sustituidos por agua de lluvia, almacenada y filtrada convenientemente (Quevedo, 2013).

#### **d. Disponibilidad del recurso hídrico**

Guatemala cuenta con una superficie de agua de 950,0 km<sup>2</sup>, existen 23 lagos, 119 pequeñas lagunas y cuenta con más de 191 humedales identificados. Por su relieve, el país posee dos regiones hidrográficas determinadas por el sistema orográfico. Una de estas regiones es la conocida como vertiente del Océano Pacífico y el otro llamado como la vertiente del Océano Atlántico, que se divide en la vertiente del Golfo de México y la vertiente del Mar de Antillas.

El área total de la vertiente del Pacífico es de 23,990 km<sup>2</sup>, la vertiente del Caribe 34,105 km<sup>2</sup> y la del Golfo de México de 50,803 km<sup>2</sup> (INSIVUMEH, 2016).

#### **e. Legislación existente, relativa al recurso hídrico**

En Guatemala el marco legal del agua es complicado, pese a que la Constitución Política de la República, declara públicas todas las aguas y manda emitir una ley especial en la materia.

En la actualidad no existe una Ley general de aguas y no hay seguridad jurídica en los derechos de uso, más del 40 % de la población carece de agua potable, y los ríos y mantos acuíferos cada día están más contaminados. El marco institucional del recurso hídrico se caracteriza por ser sectorial y con la marcada ausencia de un ente rector.

La tarea del Estado es regular el acceso al agua para la vida (consumo humano, alimentos, salud, riesgos y ecosistemas) y al desarrollo (usos agropecuarios, industria, hidroelectricidad y otros) de todos los habitantes del país. Como avance significativo, se puede mencionar que en enero de 2012, se presenta la política nacional del agua de Guatemala y su estrategia, donde se pretende garantizar a sus habitantes: primero, el acceso al vital recurso y segundo, medidas para protegerlo de los impactos producidos por eventos hídricos extraordinarios; pero la limitante radica en que no se ha aprobado como política de estado.

Los Acuerdos de Paz, reconocidos legalmente como compromisos de Estado, se refieren de manera directa y expresa a la regularización y titulación de los derechos de aprovechamiento del agua de las comunidades desarraigadas por el conflicto armado e implícitamente a la necesidad de considerar un conjunto de acciones relativas a la gestión del agua (Quevedo, 2013).

En el cuadro 8, se muestra una síntesis de la legislación relacionada con el agua en Guatemala.

*Cuadro 8. Legislación de Guatemala relacionada con el agua.*

Tema	Leyes
<b>Propiedad y servidumbres</b>	Constitución Política de la República de Guatemala; Ley de Expropiación, Ley de Reservas Territoriales del Estado, Código Civil (1933, 1963); y Código Penal.
<b>Usos común</b>	Código Civil de 1963
<b>Aprovechamiento</b>	Constitución Política de la República de Guatemala; Código Civil 1933; Código Municipal; Código de Salud; Ley de Transformación Agraria; Ley de Minería; Ley de Hidrocarburos; Ley de Pesca; Ley General de Energía; y Ley orgánica de INGUAT.
<b>Conservación</b>	Constitución Política de la República de Guatemala; Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente; Ley Forestal; y Ley de Áreas Protegidas.

*Fuente: SEGEPLAN. Estrategia para la Gestión Integral de los Recursos Hídricos de Guatemala.*

*Diagnostico. p.54.*

## **2.3. OBJETIVOS**

### **2.3.1. Objetivo General**

Formular una propuesta de uso para del agua obtenida por medio de los sistemas de captación pluvial de techo, ubicados en la zona 24 y 25 del municipio de Guatemala.

### **2.3.2. Objetivos Específicos**

- 2.3.2.1. Determinar la calidad del agua, según las Normas COGUANOR NGO 29 001:99, que se cosecha de los sistemas de captación de agua de lluvia implementados por la municipalidad de Guatemala en las escuelas de la zona 24 y 25.
- 2.3.2.2. Determinar la eficiencia de los filtros empleados en los sistemas, según la calidad del agua.
- 2.3.2.3. Elaborar una propuesta, que incluya lineamientos para el uso del agua obtenida de los sistemas de captación de agua pluvial en techos.

## 2.4. METODOLOGÍA

### 2.4.1 Selección de puntos de muestreo

De las 22 zonas del área Metropolitana, se seleccionaron 2 zonas (24 y 25) de una forma no probabilístico, para la toma de las muestras de agua, teniendo como base el insuficiente servicio de agua y debido a ello, los estudiantes consumen del agua obtenida de los sistemas de captación de agua de lluvia.

El cuadro 9 menciona los lugares con sus respectivas coordenadas donde se tomaron las 26 muestras.

*Cuadro 9. Nombre de escuelas y coordenadas donde se realizaron las muestras.*

zona 24	
ESCUELA	COORDENADAS
Escuela Cantón Jaguey	14°37'51.71"N 90°26'33.38"O
Escuela Héctor Nuila	14°37'9.79"N 90°27'12.96"O
zona 25	
ESCUELAS	COORDENADAS
Escuela Santa Delfina	14°41'23.90"N 90°23'52.82"O
Escuela La Esperanza	14°40'20.69"N 90°24'40.99"O
Escuela El Buen Pastor	14°65'66.81"N 90°41'54"O

En la figura 15, se encuentra los puntos de muestreo que se realizaran en la zona 24 y 25 de la ciudad capital.

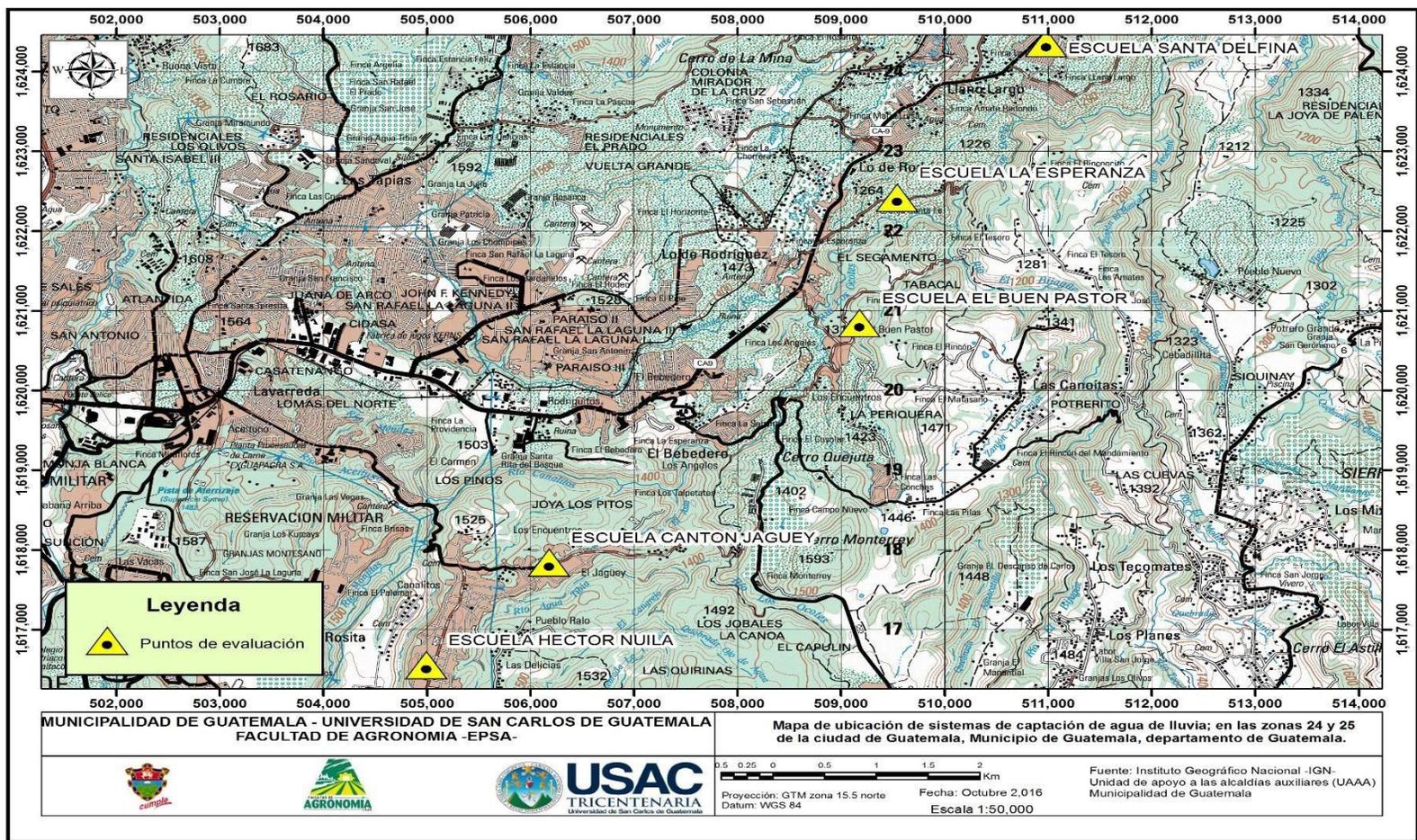


Figura 15. Mapa de ubicación de los puntos de muestreo.

### 2.4.2 Toma y transporte de muestras

Para la toma de muestras del agua; se utilizó recipientes de plástico (polietileno) establecidos según Standard Methods, 1975; de 750 ml.

Para observar los cambios en la calidad del agua cuando pasa por cada filtro del sistema; se tomó muestras en tres puntos diferentes de cada sistema, al inicio del sistema (primer recipiente), en la parte media (tercer recipiente) y al final (cuarto recipiente).

La muestra que se utilizó para el análisis microbiológico, se conservó en una hielera para mantener una temperatura uniforme desde la toma hasta la entrega para su debido estudio. En cuanto a las muestras con fin de estudio fisicoquímico, se conservaron y trasladaron en una caja de cartón.

Las muestras se entregaron el mismo día de la toma; cada una debidamente identificadas con una etiqueta que llevaban los datos que se muestran en la figura 16.

<b>MUESTRA DE AGUA</b>	
<b>Lugar:</b>	
<b>Fuente:</b>	
<b>Día:</b>	
<b>Hora:</b>	
<b>Condiciones de Transporte:</b>	
<b>Temperatura:</b>	
<b>Examen:</b>	
<b>Tomado por:</b>	
<b>Municipio:</b>	<b>Depto.</b>

*Fuente: FIUSAC, ERIS, 2016.*

*Figura 16. Etiqueta a utilizar para entrega de muestras de agua.*

### 2.4.3 Análisis de muestras

Los análisis *in situ* realizados fueron los siguientes; pH, conductividad, turbidez, sólidos totales, alcalinidad, sulfatos, dureza, coliformes totales y *Escherichia coli*.

El estudio de las muestras se realizó en el laboratorio de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, de la Universidad de San Carlos de Guatemala, ciudad Universitaria, zona 12, Guatemala.

#### **2.4.4 Análisis de la información**

Los datos se interpretaron a partir de un criterio analítico, en base a la comparación de los resultados obtenidos del laboratorio con los parámetros que exige la norma guatemalteca, COGUANOR NGO 29 001:99, agua potable; además el uso de gráficas para la visualización de las tendencias en los niveles de contaminación del agua de cada uno de los sistemas, esto con el fin de determinar la calidad del agua tratada que se obtiene de los sistemas de captación de agua de lluvia y la eficiencia de los filtros empleados.

#### **2.4.5 Formulación de propuesta**

Los resultados, y el análisis de los mismos, fueron base fundamental para la formulación de la propuesta para el uso del agua obtenida de los sistemas de captación de agua de lluvia en techos, bajo un criterio analítico fundamentada en los estudios presentados por la OMS en el 2009, con la cantidad mínima de agua requerida para los estudiantes, lo cual pretenden mejorar el servicio y cubrir las necesidades de los beneficiados.

### **2.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Se presenta los resultados y su discusión de los parámetros evaluados en los cinco sistemas de captación de agua de lluvia en techo, implementados por la municipalidad de Guatemala; en las zonas 24 y 25 de la ciudad capital, bajo la dirección de la Unidad de Apoyo a las Alcaldías Auxiliares.

Es importante mencionar que en el caso de la escuela Héctor Nuila (zona 24) no fue posible realizar el muestreo en el punto de salida del sistema (recipiente de almacenamiento), debido a que el sistemas de filtrados fue adaptado a la cisterna de la escuela, y en la escuela La Esperanza (zona 25), no se realizó el muestreo del punto medio, debido a que el tubo se encontraba directamente conectado al desagüe, y aumentaba la probabilidad de obtener información incorrecta (poco confiable).

## 2.5.1 Análisis fisicoquímicos

### 2.5.1.1 Temperatura °C

En la figura 17, se presentan los resultados correspondientes al análisis de la temperatura en los puntos de muestreo en las zonas 24 y 25.

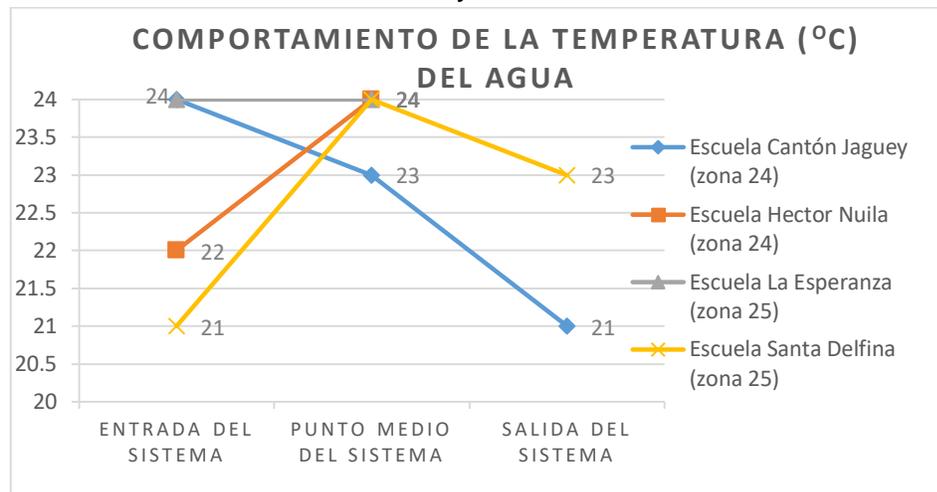


Figura 17. Gráfica del resultado de la temperatura de las cinco escuelas.

En el presente estudio, se puede observar que las diferencias entre las temperatura no son mayores a los 3 °C de las muestras recolectadas de los distintos puntos de los sistemas evaluados; tanto en la zona 24 como en la zona 25 de la ciudad capital de Guatemala.

La figura 17, presenta dos perspectivas lógicas para comprender los resultados; la primera, desde una visualización horizontal, que representa el comportamiento del agua en los tres puntos de análisis (entrada, punto medio y salida del sistema). Y la otra desde un aspecto vertical, la comparación de los parámetros entre cada sistema instalados en las diferentes escuelas.

El mayor punto de temperatura se encontró en el punto medio del sistema, correspondientes a las escuelas Santa Delfina y Héctor Nuila con un valor de

24 °C, pero a pesar de ello se mantuvo en el rango aceptable según la norma COGUANOR NGO 29 001.

A pesar de que existen cambios de 1 °C a 2 °C de temperatura no es significativo y no afecta el comportamiento de las bacterias según Aguilar, 2001. En general no se observaron variaciones sobre las tendencias en los valores de temperatura.

Los cambios estacionales se encuentran bien marcados al existir una variación de casi 6 °C.

Según Harrison, los microorganismos que pueden desarrollarse en rangos de temperatura de 0 °C – 25 °C en el caso de las muestras estudiadas, son los criófilos o psicrófilos (*Serratia*, *Microoccus*, *Pseudomonas*, *Flavobacterium*, *Achromobacter*). Desde de un punto de vista clínico, los microorganismos capaces de producir infecciones en los consumidores son los mesófilos y los psicrófilos que sus temperaturas óptimas de crecimiento coinciden con las corporales. La temperatura en la escuela el Buen Pastor no se determinó debido a la inexistencia de agua almacenada en el sistema el día que se contaba con el equipo para dicha medición.

### 2.5.1.2 pH

En la figura 18, se presentan los resultados correspondientes al análisis del pH en los puntos de muestreo en las zonas 24 y 25.

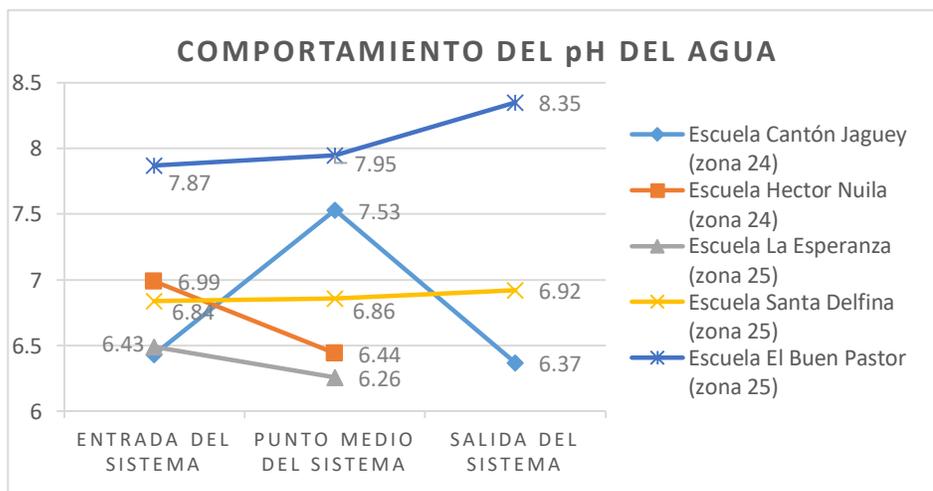


Figura 18. Gráfica del resultado de pH de las cinco escuelas evaluadas.

El pH es un parámetro que influye en el crecimiento de microorganismo, esto se da porque cada tipo de microorganismo tiene un rango de pH en el que puede desarrollarse adecuadamente. Según los resultados obtenidos en este estudio existe la probabilidad que los organismos neutrófilos (6.5 – 7.0) y los alcalinófilos (7.5 – 8.0) se desarrollen (Harrison, 1980).

En el estudio se encontró que la Escuela el Buen Pastor posee los valores de pH mayores, denominándole a esta agua cosechada **alcalina**, al hacer la observación horizontal se puede visualizar que el comportamiento del pH en esta escuela aumenta significativamente, tal es el caso de las escuelas Cantón Jagüey y Santa Delfina en el punto medio, a diferencia de las escuelas Héctor Nuila y La Esperanza, las cuales disminuyen su pH en este punto.

En el caso de ser un agua básica como el caso de la Escuela del Buen Pastor, ésta no es recomendable utilizarla en actividades domésticas, pues no produce espuma lo cual provoca un uso excesivo de jabones y detergentes, y consecuentemente un efecto secundario ambiental y económico (Roland, 1992).

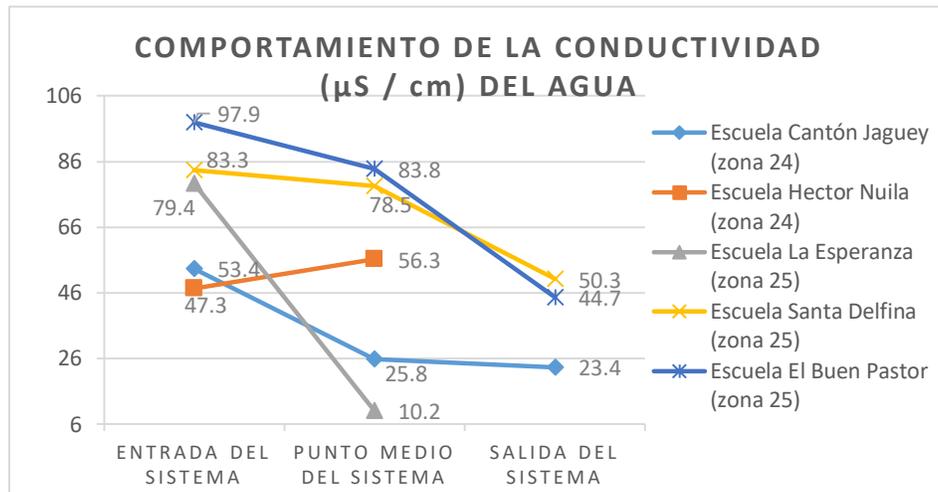
En el caso de la escuela La Esperanza, posee un pH inferior a 6.5 la cual tiende a producir intensa corrosión si se utilizara con el metal, debido a que este posee electrones libres que son capaces de establecer pilas electroquímicas dentro de los mismos generando una reacción electroquímica al contacto del agua y genera la denominada corrosión acuosa (Calidad y Normativa del agua para consumo humano, 2006).

El rango de pH encontrado en las muestras analizadas oscila entre 6.26 y 8.35, valores encontrados en ecosistemas acuáticos naturales (pH de 5 a 9). Este pH es el permitido en las aguas de consumo humano, sin embargo también favorece el desarrollo de ciertos microorganismos como el grupo coliformes (Roldan, 1992).

A pesar del comportamiento del pH de las distintas muestras analizadas de los diferentes puntos de distribución, los valores permanecieron dentro de los límites máximo permisible que establece la norma COGUANOR 29001.

### **2.5.1.3 Conductividad**

En la figura 19, se presentan los resultados correspondientes al análisis de conductividad en los puntos de muestreo en las zonas 24 y 25.



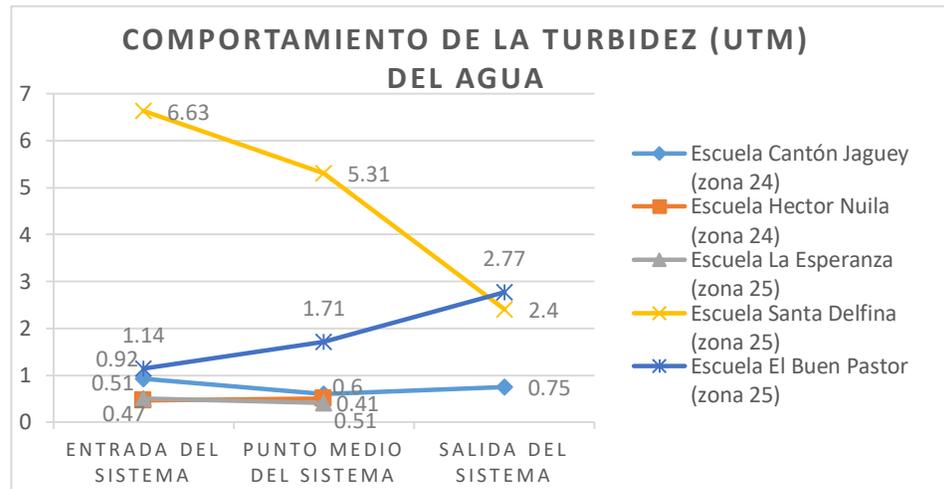
*Figura 19. Gráfica del resultado de conductividad de las escuelas.*

Con respecto al comportamiento de la conductividad del agua analizada, se puede observar según en la figura 19, que cuatro de las cinco escuelas disminuyen significativamente el valor de los parámetros, a diferencia de la escuela Héctor Nuila que aumentó un 16 % al movilizarse del primer recipiente de filtrado al segundo.

Los valores de conductividad obtenidos son reflejo de los electrolitos o sales que tiene disueltos el agua. La conductividad interacciona con la temperatura, y el pH. El primer factor a considerar es la temperatura, la cual es relativamente aceptable según la norma COGUANOR en el momento de efectuar la medición. Lo que no favorece la solubilización (Martínez, 2006).

#### 2.5.1.4 Turbidez

En la figura 20, se presentan los resultados de los análisis de turbidez en los puntos de muestreo realizados en las zonas 24 y 25.



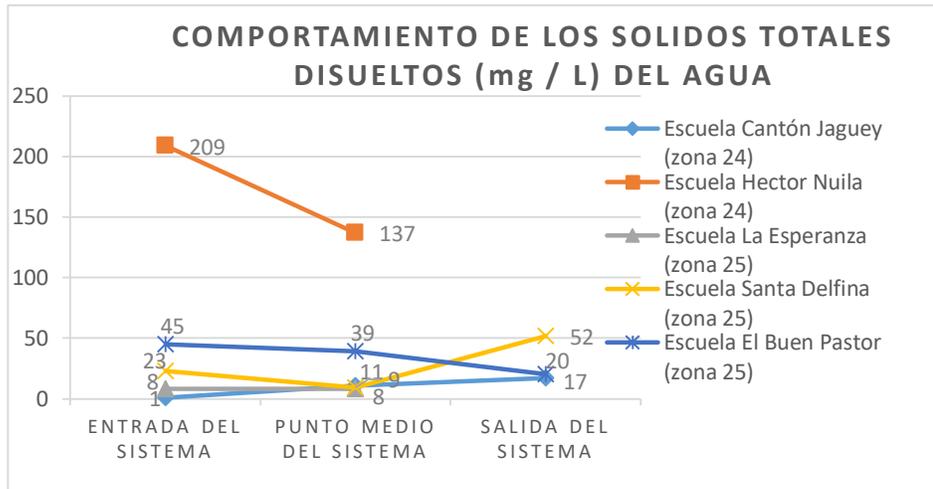
*Figura 20. Gráfica del resultado de turbidez de las cinco escuelas evaluadas.*

La turbidez, permite evaluar el material en suspensión y que también puede tener un efecto directo sobre el equilibrio que mantiene el agua. Un exceso de este material impide la fotosíntesis en el caso que el agua se utilice para riego, también favorece la disminución de la cantidad de oxígeno disuelto lo que provoca el proceso de eutrofización (Harper, 1992).

En este estudio la escuela Santa Delfina presentó los resultados más altos en el parámetro de turbidez, es evidente la presencia de sólidos suspendidos (materia orgánica), los cuales se adhirieron al agua durante todo el proceso de filtración, desde su captación (en techo), traslación (canales de metal galvanizado) hasta el final. En cuanto a las otras escuelas no presentan cambios reveladores, debido a que estos mantuvieron o disminuyeron un poco su valor. A pesar de lo descrito anteriormente, la turbidez del agua cosechada en los cinco sistemas de agua pluvial, cumplen con el límite máximo permisible regulado por la norma COGUANOR 29001.

#### **2.5.1.5 Sólidos totales disueltos**

En la figura 20, se presentan los resultados de sólidos totales disueltos realizados en los puntos de muestreo correspondientes a la zona 24 y 25.



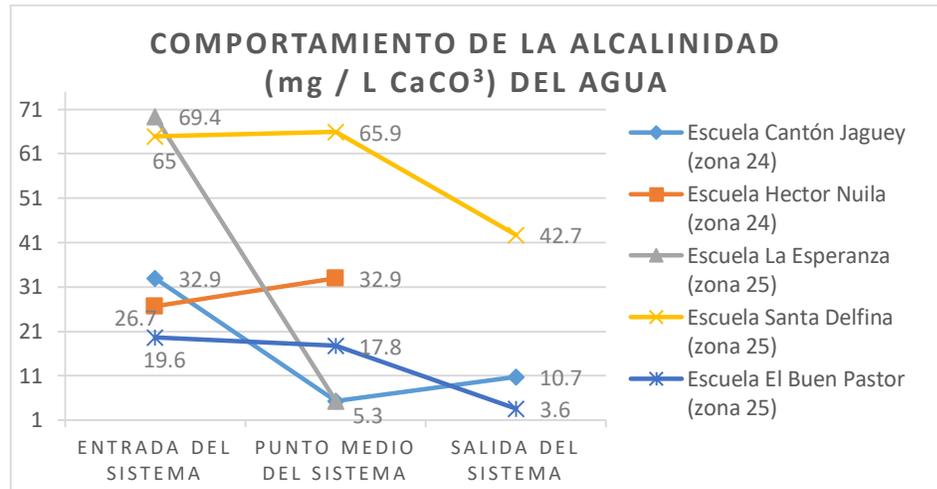
*Figura 21. Gráfica del resultado de sólidos totales disueltos.*

Los sólidos totales disueltos, es un indicador de la cantidad total de materia orgánica e inorgánica presente en las aguas superficiales de fuentes naturales (Martínez, 2006).

El agua filtrada de la escuela Héctor Nuila presenta mayor índice de presencia de sólidos totales, a pesar que ingresa con una cantidad alta (209 mg/l) disminuye su valor a través de los primeros filtros, con ello se comprueba, la eficiencia de los materiales contenidos en estos tales como gravas, geotextil y carbón activado. En la figura 20 de horizontalmente, los resultados de la escuela Santa Delfina en lugar de disminuir su valor, aumenta; esto a consecuencia del ineficiente mantenimiento de las instalaciones del sistema de captación, donde queda material inerte y ésta adhiriéndose al agua.

#### **2.5.1.6 Alcalinidad total**

En la figura 22, se presentan los resultados de alcalinidad total realizados en los puntos de muestreo correspondientes a la zona 24 y 25.



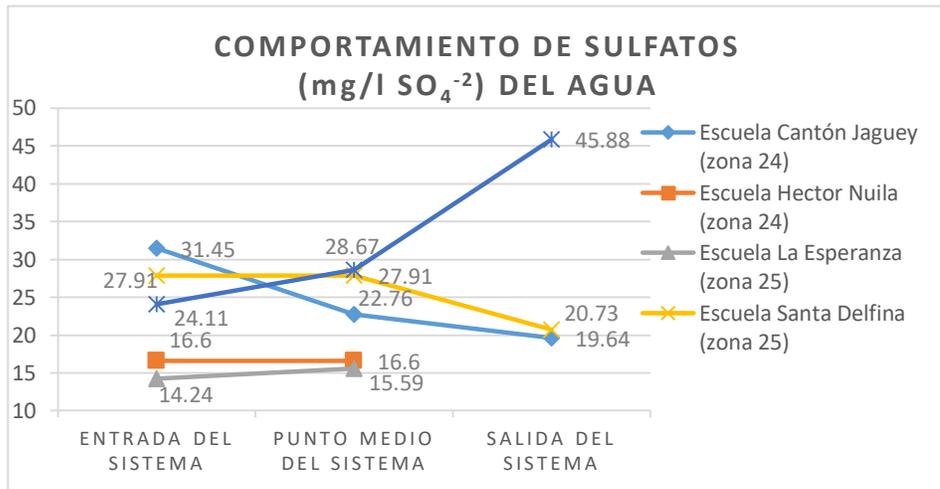
*Figura 22. Resultado de alcalinidad de las cinco escuelas evaluadas.*

La alcalinidad total es la capacidad del agua para neutralizar ácidos y representa la suma de las bases que pueden ser tituladas. Se determina generalmente por el contenido de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos (Goyenola, 2007).

En la figura 22, se puede observar que la escuela La Esperanza, presentaba en la entrada del sistema 69.4 mg/l CaCO<sub>3</sub> el cual disminuye en el punto medio hasta 5.3 mg/l CaCO<sub>3</sub>, aunque según Goyenola, no es recomendable tener una alcalinidad mínima de 20 mg/l CaCO<sub>3</sub> porque el agua se vuelve muy sensible a la contaminación, perdiendo la capacidad de resistir modificaciones del pH. Es el caso de la escuela El Buen Pastor y la escuela Cantón Jagüey en el punto medio y salida del sistema las cuales presentan alcalinidad bajas de 20 mg/l CaCO<sub>3</sub>. A diferencia de la escuela Santa Delfina que según Goyenola es considerada muy amortiguadora, es decir, posee la capacidad de apenas variar al añadir ácidos o bases fuertes. Este parámetro no está normada en la norma COGUANOR 29001.

#### 2.5.1.7 Sulfato

En la figura 23, se presentan los resultados de sulfato realizados en los puntos de muestreo correspondientes a la zona 24 y 25.



*Figura 23. Gráfica del resultado de sulfatos de las cinco escuelas evaluadas.*

Los sulfatos son indicadores sobre todo de contaminación de tipo industrial. Sin embargo se utilizan para caracterizar las condiciones fisicoquímicas de los cuerpos de agua y su relación con las cuencas hidrológicas en las que se ubican. Según Marín (2003) la concentración de sulfatos es variables y oscila entre 20 y 50 mg/l en cuerpos de agua natural y son éstas precisamente las concentraciones dentro de las cuales se obtuvieron los resultados que se presentan a partir de la cuadro no. 7.

Las Normas internacionales para el agua potable de la OMS de 1958 sugirieron que concentraciones de sulfato mayores que 400 mg/l afectarían notablemente a la potabilidad del agua. Las Normas internacionales de 1963 y 1971 mantuvieron este valor como concentración máxima admisible o permisible. Las dos primeras ediciones de las Normas internacionales también sugirieron que concentraciones de magnesio y sulfato de sodio mayores que 1000 mg/l afectarían notablemente a la potabilidad del agua de consumo.

En la primera edición de las Guías para la calidad del agua potable, publicada en 1984, se estableció un valor de referencia para el sulfato de 400 mg/l, basado en consideraciones gustativas. En las Guías de 1993 no se propuso ningún valor de referencia basado en efectos sobre la salud para el sulfato. No obstante, debido a los efectos gastrointestinales de la ingestión de agua de consumo con altas concentraciones de sulfato, se recomendó notificar a las autoridades de salud las fuentes de agua de consumo en las que las concentraciones de sulfato rebasen los 500 mg/l.

La presencia de sulfato en el agua de consumo también puede producir un sabor apreciable en concentraciones mayores que 250 mg/l y contribuir a la corrosión de los sistemas de distribución (OMS, 2003). La norma guatemalteca para agua potable COGUANOR NGO 29 001, no establece un límite máximo permisible para este parámetro.

En este caso al observar los resultados obtenidos del agua evaluada de cada una de las escuelas se obtuvo concentraciones, de 28 y 45 mg/l, con una disminución de hasta 20 mg/l en promedio. Ningún resultado excede los límites sugeridos por la Organización Mundial de la Salud, por lo que se consideran aceptables.

### 2.5.1.8 Dureza Total

En la figura 24, se presentan los resultados de sulfato realizados en los puntos de muestreo correspondientes a la zona 24 y 25.

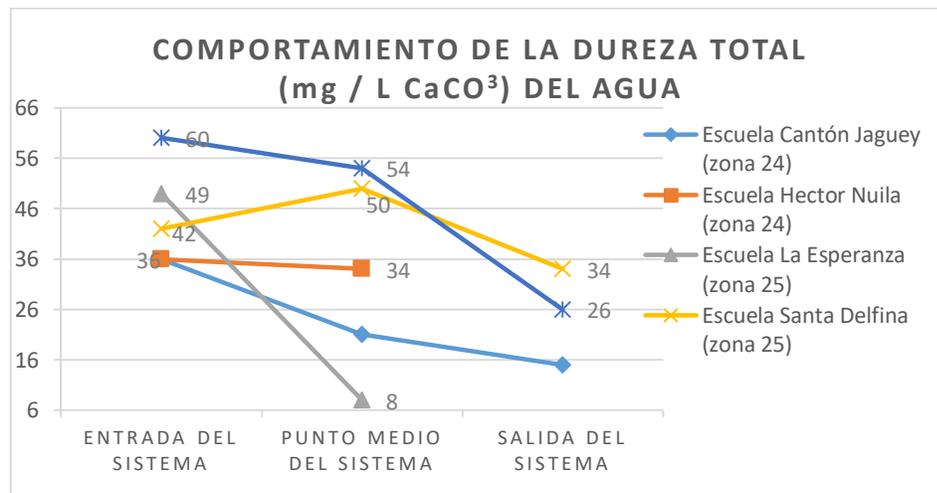


Figura 24. Gráfica de resultado de dureza total de las cinco escuelas evaluadas.

En el caso del agua evaluada de los sistemas de captación de agua de lluvia, hay dureza pero no en cantidades suficientes como para catalogarla como agua dura.

El agua es blanda, debido a que tiene dureza menor de 100mg/l; cuando se habla de dureza medianamente, esta tiene de 100 a 200 mg/l; y dura, cuando tiene de 200 a 300 mg/l(en todos los casos, como CaCO<sub>3</sub>). El agua dura puede formar depósitos en las tuberías y hasta obstruirlas completamente: las cuales presentan estas característica aguas de alimentación

de calderas, las alta temperatura, favorecen la formación de sedimentos (Organización Panamericana de la Salud (OPS). 1996) (Maldonado, 2006).

La dureza del agua no produce efectos nocivos desde un punto de vista fisiológico, aun en cantidades que se consideran muy grandes para usos domésticos, tal como 300 ppm; sin embargo la dureza incide en proporción directa a la economía doméstica, en consideración que a mayor dureza mayor gasto de jabón. Esto se produce porque las sales de calcio y magnesio, principales constituyentes minerales del agua dura, consumen el jabón y lo precipitan en forma de compuestos insolubles o grumos, y mientras no se haya precipitado todo el calcio y magnesio, no se obtendrá espuma (Archila, 1967).

La dureza en los resultados son bajos, debido a la evaporación y evo transpiración que tuvo lugar dentro del ciclo hidrológico antes de que el agua fuera captada como agua de lluvia (precipitación). Esto provoca que el arrastre de dicho vapor solo mantenga poca concentración de calcio y magnesio.

## 2.5.2. Análisis microbiológicos

### 2.5.2.1 Coliformes totales y E. coli

En la figura 25, se presentan los resultados de Coliformes totales en los puntos de muestreo correspondientes a la zona 24 y 25.

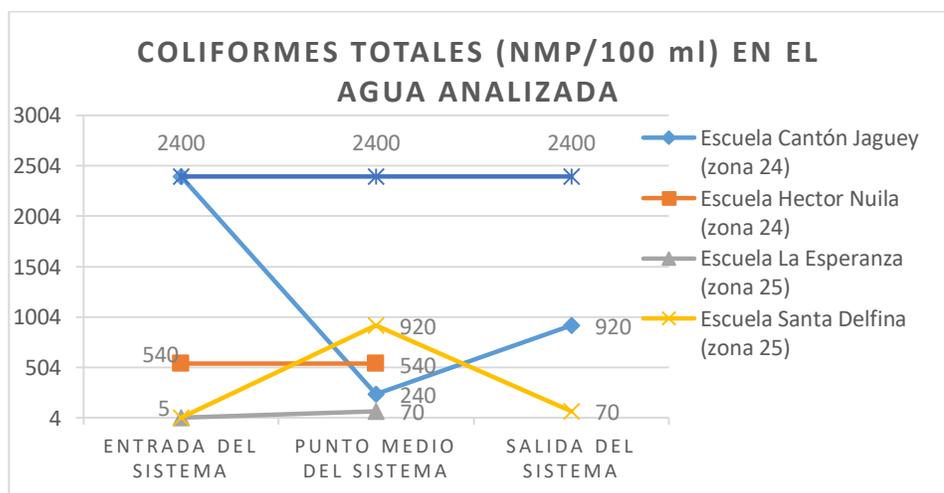


Figura 25. Resultado de coliformes totales de las cinco escuelas evaluadas.

En la figura 26, se presentan los resultados de *E. Coli* en los puntos de muestreo correspondientes a la zona 24 y 25.

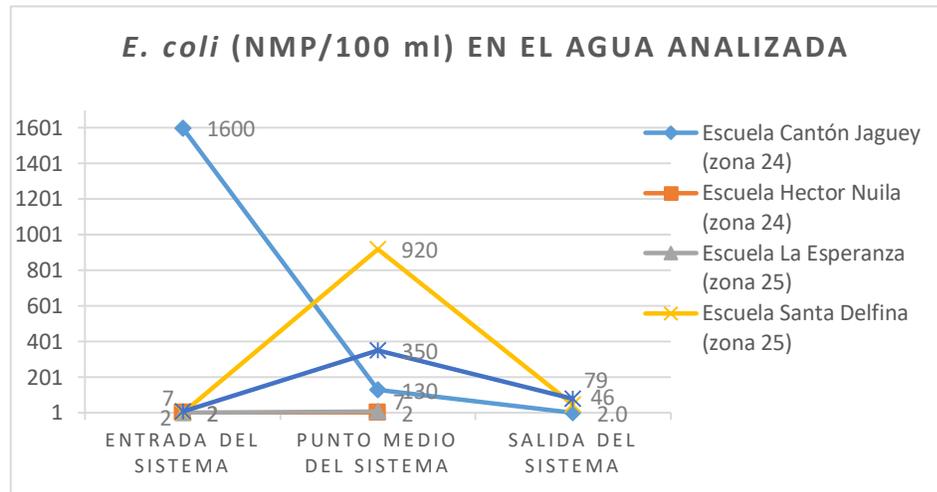


Figura 26. Gráfica del resultado de *E. coli* de las cinco escuelas evaluadas.

Coliformes total, es un grupo de bacterias presente en las fuentes de agua, donde la mayoría ostentan peligro a la salud humana. Las bacterias no están naturalmente presente en las aguas y son un indicador de que más organismos dañinos pueden estar presentes. El coliformes fecal y la *E. coli* son subgrupos de coliformes totales quienes se originan en las heces de animales de sangre caliente. La presencia de *E. coli* indica que el agua ha sido expuesta a heces y por tanto genera riesgo a la salud del consumidor.

Si *E. coli* se encuentra presente en la muestra de agua, se recomienda tratarla antes de ingerirla, y hervir el agua por un minuto. De esta forma se podría beber, lavar vegetales o frutas, e higiene personal (Sigler, 2016).

*E. coli* es un microorganismo cuyo rango de temperatura oscila entre 7 °C – 50 °C, pero su temperatura óptima de crecimiento es de 37 °C, y con un pH neutro (Adams, 1997).

En la norma COGUANOR 29 001, el valor paramétrico tanto de coliformes totales como *E. coli* es; no ser detectable a 100 ml.

La concentración de las bacterias se incrementó en la punto medio del sistema porque existe un arrastre de sólidos desde el área de captación (techo), hasta este punto (Singler, 2016).

Los resultados obtenidos de los parámetros microbiológicos que se encuentran en las figuras 24 y 25, no cumplen con los límites máximos permisibles, de la norma COGUANOR NGO 29 001, por lo que dicha agua no es apta para consumo humano.

### 2.5.3 Análisis general de resultados

El cuadro número 10 muestra los resultados obtenidos de cada escuela evaluada y los parámetros estudiados. Este denota la similitud que existe en el comportamiento del agua en cada sistema.

*Cuadro 10. Resumen de resultados, escuelas y parámetros evaluados.*

Escuelas		Escuela Cantón Jaguey (zona 24)			Escuela Hector Nuila (zona 24)		Escuela La Esperanza (zona 24)		Escuela Santa Delfina (zona 25)			Escuela El Buen Pastor (zona 25)		
Aspecto:	Unidades	Entrada del Sistema	Punto medio del Sistema	Salida del Sistema	Entrada del Sistema	Punto medio del Sistema	Entrada del Sistema	Salida del Sistema	Entrada del Sistema	Punto Medio del Sistema	Salida del Sistema	Entrada del Sistema	Punto medio del Sistema	Salida del Sistema
Parámetros evaluados														
pH		6.43	7.53	6.37	6.99	6.44	6.49	6.26	6.84	6.86	6.92	7.87	7.95	8.35
Temperatura	(oC)	24	23	21	22	24	24	24	21	24	23	0	0	0
Conductividad	(µS/cm)	53.4	25.8	23.4	47.3	56.3	79.4	10.2	83.3	78.5	50.3	97.9	83.8	44.7
Turbidez	(UNT)	0.92	0.6	0.75	0.47	0.51	0.51	0.41	6.63	5.31	2.4	1.14	1.71	2.77
Sólidos totales	(mg/L)	1	11	17	209	137	8	8	23	9	52	45	39	20
Alcalinidad Total	(mg/L CaCO <sub>3</sub> )	32.9	5.3	10.7	26.7	32.9	69.4	5.3	65	65.9	42.7	19.6	17.8	3.6
Sulfatos	(mg/L SO <sub>4</sub> -2)	31.45	22.76	19.64	16.6	16.6	14.24	15.59	27.91	27.91	20.7	24.11	28.67	45.88
Dureza Total	(mg/L CaCO <sub>3</sub> )	36	21	15	36	34	49	8	42	50	34	60	54	26
Coliformes Totales	(NMP/100ml)	2400	240	920	540	540	5	70	5	920	70	2400	2400	2400
Escherichia coli	(NMP/100ml)	1600	130	2.0	2	2	2	7	2	920	46	7	350	79

- Según los resultados fisicoquímicos del sistema implementados en las 5 escuelas, el agua de lluvia que se capta y se filtra es considerablemente aceptable teniendo como base la norma COGUANOR 29 001; en cuanto la parte microbiológica no es aceptable por lo tanto el agua se rechaza para su consumo siguiendo los parámetros anteriormente mencionados.
- Para poder obtener el equilibrio del agua de los sistemas en las 5 escuelas, se utilizó el índice de Saturación de Langelier; tomando en cuenta en este la temperatura, el pH, la alcalinidad y la dureza. En la escuela Cantón Jaguey se obtuvo como resultado - 4.23, escuela Héctor Nuila -2.66, escuela El Buen Pastor -4.24, escuela La Esperanza -2.28 escuela El Buen Pastor -1.55. Estos resultados indican que el agua tratada en los cinco sistemas es altamente corrosiva según Langelier, y dado a esa condición este tipo de agua tiende a aumentar el pH en el suelo, y en cuanto a la parte industrial, afecta a los metales más fácilmente oxidables, como el acero galvanizado o el cobre, teniendo como condición la cantidad de compuestos inorgánicos disueltos.

#### **2.5.4 Propuesta de uso del agua cosechada**

Los resultados obtenidos para el análisis fisicoquímico y microbiológico fueron comparados con la norma COGUANOR 29 001, norma vigente para agua potable en Guatemala. De esta comparación se presenta a continuación un resumen general de los usos del agua y la respectiva propuesta.

##### **2.5.4.1 Uso del agua para consumo**

Al tomar como base los límites máximos permisibles establecidos en la norma CONGUANOR 29 001, el agua cosechada por los 5 diferentes sistemas de captación de agua pluvial en techos ubicados en las zonas 24 y 25 no es apta para consumo humano debido al incumplimiento de los parámetros microbiológicos, que indica la presencia de coliformes totales y la bacteria *E. coli*, lo cual está estrechamente ligado a las heces fecales de origen animal de sangre caliente.

##### **2.5.4.2 Uso industrial**

De acuerdo al índice de Langelier presentado en el cuadro 5, los resultados muestran un valor negativo indicando que el agua obtenida de los sistemas es ligeramente corrosiva, lo cual aumenta las picaduras en las superficies metálicas en las que se conduce.

A pesar que los resultados evidencian una mínima presencia de sólidos, esto podría causar daño al equipo mecánico de cualquier proceso industrial (Aceituno, 1988).

#### 2.5.4.3 Uso del agua para riego

Tomando en cuenta los parámetros bacteriológicos, el agua no es apta para riego, a pesar de ello se pudiese utilizar para plantas ornamentales como petunia (*Petunia sp*), violeta (*Saintpaulia ionantha sp*), rosas (*Rosa sp*), etc., gramíneas como la grama común (*Cynodon dactylon sp*) y bosques como pino (*Pinus sp*), cedro (*Cedrus sp*), encino (*Quercus sp*), etc., debido a que estos no implican el consumo humano. (COGUANOR, 29001)

El agua es limitada, e indispensable para el desarrollo de la vida, por ello es importante administrar responsablemente dicho recurso. El cuadro siguiente presenta una propuesta para el uso del agua colectada en sistemas de captación de lluvia localizados en escuelas de la zona 24 y 25 en función de los resultados fisicoquímicos y microbiológicos de las muestras.

En el cuadro 11, se presenta la propuesta de uso del agua cosechada en los sistemas evaluados en las zonas 24 y 25 de la ciudad de Guatemala, basados en el análisis tanto como la comparación de resultados fisicoquímicos y microbiológicos del agua con la norma COGUANOR 29001 y en los estudios presentados por la OMS, en la cual estima la cantidad mínima de agua requerida para las estudiantes.

Cuadro 11. Propuesta del uso del agua tratada en los sistemas evaluados.

Tipo de uso	Tratamiento previo necesario para su uso	Cantidad necesaria
Para consumo (beber agua, lavar frutas y verduras, lavar utensilios de cocina)	Es necesario eliminar los microorganismos anteriormente mencionados, y para ello la solución recomendable para estos casos es elevar la temperatura del agua a 65 grados Celsius, es decir hervir el agua durante un minuto, esto permite la inactivación de la bacteria <i>E.coli</i> (González, 2004). Si no se cuenta con los medios necesarios para hervir el agua se sugiere utilizar cloro comercial (hipoclorito de sodio), el desinfectante más efectivo para obtener agua potable, tomando en cuenta que en los sistemas evaluados el pH es menor de 8 y el agua tratada es clara, esta metodología es eficaz contra las bacterias relacionadas con enfermedades transmitidas por el agua. Es necesario recordar que el cloro se encuentra disponible en diferentes porcentajes, (ver cuadro 9) para utilizar la cantidad idónea según la necesidad (Lucena, 2002).	Según la Organización mundial de la salud, la cantidad necesaria por estuante debe de ser 0.002 a 0.003 m <sup>3</sup> diarios
<b>PROPUESTA DE VOLUMEN A UTILIZAR</b>		
En consideración que los sistemas implementados en las escuelas evaluadas en las zonas 24 y 25 del municipio de Guatemala posee 1,25 m <sup>3</sup> de capacidad para almacenar. Al utilizar el 75% del agua total captada (0-938 m <sup>3</sup> ), para consumo, esto cubriría a 469 estudiantes con posibilidad de ingerir 0.002 m <sup>3</sup> /día. Si se utilizan los porcentajes anteriores, el agua almacenada tendría la capacidad de solventar las necesidades durante el día.		
Tipo de uso	Tratamiento previo necesario para su uso	Cantidad necesaria
Para limpieza	En este caso no es necesaria la aplicación de algún tratamiento, por lo tanto se puede disponer del agua directamente del sistema a su uso	Según la Organización mundial de la salud, es necesario que en las escuelas exista de 0.008 a 0.012 m <sup>3</sup> diarios, para utilizar en los baños de dichos establecimientos
<b>PROPUESTA DE VOLUMEN A UTILIZAR</b>		
El 25% que representa 0.312 m <sup>3</sup> disponibles para emplearse para lavar baños y utilizar para las descargas de los mismos		

Fuente: OMS, 2009.

El volumen propuesto a utilizarse (75 % consumo y 25 % limpieza), surge de la propuesta que alude la OMS, el volumen de agua captada por el sistema (1,25 m<sup>3</sup>) y el promedio de estudiantes en las escuelas seleccionadas, al dar prioridad al consumo de agua potable al cual se le asigna el mayor porcentaje para cubrir con un mínimo de 0.002 m<sup>3</sup> por niño.

Siguiendo los lineamientos presentados por la OMS, se proponen dos metodologías para purificar el agua y utilizarla efectivamente.

Si la opción para tratar el agua es la cloración, es importante seguir con los siguientes aspectos:

### Metodología de cloración

- En estos casos se realizará la cloración subsiguiente, donde se añade el cloro después de la filtración o en los depósitos de almacenamiento.
- Se procede a trasladar a otro reservorio el volumen de agua sugerida, (0.938 m<sup>3</sup>), 75 % del volumen total almacenado.
- Se aplica el cloro comercial, en el cuadro 12 se muestra la cantidad de (hipoclorito de sodio), según su % de cloro libre o activo.

*Cuadro 12. Cloración de agua según porcentaje de cloro.*

Concentración Inicial	Cantidad de agua a depurar			
	0.002 m <sup>3</sup>	0.010 m <sup>3</sup>	8.1 m <sup>3</sup>	0.001 m <sup>3</sup>
Cloro libre o activo/litro				
0.2 % (20gr. cloro libre/litro)	6 gotas	30 gotas	15 cc	150 cc
0.5 % (50gr. cloro libre/litro)	2 gotas	12 gotas	6 cc	60 cc
0.8 % (50gr. cloro libre/litro)	1 gota	7 gotas	3.5 cc	35 cc
1 % (100gr. cloro libre/litro)	1 gota	6 gotas	3 cc	30 cc

*Fuente: Lucena, 2002.*

- Dejar actuar el cloro por 30 min, no importando el volumen clorado o la cantidad de cloro utilizado.
- Para disminuir el sabor desagradable, se puede agitar con vigor el agua tratada en una botella o poner en una refrigeradora durante unas horas
- Utilizar el agua.

### Material

- Reservorios para depositar el agua a utilizar
- Hipoclorito convencional (0.5 %)

- Guantes de látex
- Refrigeradora o reservorios extras para agitar el agua tratada

Es necesario que se asignen como máximo a dos personas para realizar todo el proceso, con el fin de evitar mayor contaminación del agua.

En el cuadro 13, se muestran las ventajas y desventajas de la cloración del agua.

*Cuadro 13. Ventajas y desventajas de clorar el agua.*

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>-Tratamiento rápido</li> <li>-Poco costoso</li> <li>-Relativamente sencillo</li> <li>-Se puede utilizar a escala individual, familiar o colectiva.</li> <li>-El agua tratada por cloración está protegida frente a microorganismos y gérmenes durante unos días.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Los productos no están disponibles en todas partes, y en ocasiones las indicaciones sobre concentraciones no son seguras.</li> <li>-Tratar cantidades grandes de agua resultan difícil.</li> <li>- La dosis de cloro no es siempre fácil de determinar.</li> <li>-La cloración del agua puede crear subproductos considerados nocivos desde el punto de vista sanitario.</li> </ul>

*Fuente: Grondin, 2005.*

Es importante tomar en cuenta la dosificación exacta que se muestra en el cuadro 12, para evitar cualquier daño o reacciones secundarias.

Si la opción para tratar el agua es hervirla, es importante seguir los siguientes aspectos:

### **Metodología para hervir el agua**

- Trasladar el agua a un reservorio adecuado que resista altas temperaturas, ejemplo una olla.
- Colocar el reservorio con agua en una fuente de calor (fuego, estufa).
- Cuando las burbujas empiecen a formarse, significa que el agua está iniciando a hervir.
- Dejar hervir de 1 a 3 min, para lograr la eliminación de los organismos que puedan existir en el agua.
- Los reservorios deben encontrarse perfectamente limpios antes de verter el agua a almacenar y se deberán de limpiarse de nuevo al vaciarlos.

- Sacar el reservorio con agua del fuego.
- Si el agua tiene alguna partícula suspendida, dejar reposar por unos minutos en reservorios con tapa.
- Para eliminar el sabor que provoca hervir el agua, es recomendable cambiar de envase a otro varias veces (esto se conoce como aireación), se deja reposar por 2 h y se le añade una pizca de sal/ Lde agua hervida (Reygadas, 2004).
- Evitar sacar el agua con otros utensilios como vasos, tasas u otros.

### Material

- 1 Olla
- Guantes de látex
- Fuego o cocina
- Reservorios o envases limpios de plástico u vidrio
- 1 o 2 personas encargadas

Es recomendable conservar el agua en el mismo reservorio en el que se hirvió, si el propósito es almacenarlo.

En el cuadro 14, muestra las ventajas y desventajas de purificación del agua por medio de llevarla al punto de ebullición.

*Cuadro 14. Ventajas y desventajas de hervir el agua.*

<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>-Tratamiento rápido</li> <li>-Relativamente sencillo</li> <li>-Logra destruir agentes patógenos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-No proporciona protección contra la re- contaminación (por lo que se recomienda tener cuidado al conservarla y al posterior uso de la misma)</li> <li>-Poco práctico para realizar en grandes cantidades.</li> </ul>

*Fuente: González, 2004.*

En el cuadro 15, se presenta el promedio de lluvias en litros por día, en la ciudad capital de Guatemala.

Cuadro 15. Promedio de lluvia en litros por día.

Mes	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre
Promedio						
de lluvia en (mm)	24.39	10.18	11.71	11.45	11.91	10.14
Promedio de lluvia en (m)	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Litros de lluvia/día	3,171.33	1,322.89	1,522.38	1,487.97	1,548.63	1,317.77

Fuete: INSIVUMEH, 2016.

Para obtener los resultados, fue necesario realizar el promedio de lluvias por día en los últimos 25 años en la Ciudad capital, y el área de techos (130 m<sup>2</sup>) que sirve como captador. Estos datos muestran que los sistemas evaluados que poseen 1.25 m<sup>3</sup> de volumen de almacenamiento, tienen la capacidad de llenado de un día.

En el cuadro 16, se muestra el promedio de días de lluvia por mes, que se registran según el INSIVUMEH.

Cuadro 16. Promedio de días de lluvia por mes.

Mes	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre
Días promedio de lluvia	12	21	18	19	21	15

Fuente: INSIVUMEH, 2016.

Estos datos reflejan que en el mes de Mayo, el sistema de almacenamiento puede llenarse en 9.5 horas. Si el agua captada se traslada a otros recipientes el sistema se podría aprovechar dos veces y medio por día durante los 12 días promedio que llueve en este mes.

En el mes de junio a octubre, el sistema tiene la posibilidad de llenarse solo una vez al día (ver cuadro 15), pero en dichos meses son más días de lluvia en comparación al mes de mayo (ver cuadro 16), por lo tanto, hay margen de disponer con más agua.

### Medidas de limpieza para el sistema

Para que el sistema cumpla a cabalidad con su cometido es indispensable que los encargados consideren el mantenimiento frecuente adecuado a la superficie de captación, canaletas, a los tanques de filtrado y almacenamiento.

Es necesario no utilizar desinfectante para evitar residuos en el agua.

## 2.6. CONCLUSIONES

- 2.6.1 Según los parámetros fisicoquímicos, el agua es apta para consumo humano; pero en cuanto a los parámetros microbiológicos las muestras se consideran no aptas para el consumo. Al incumplir con los requerimientos microbiológicos descritos por la norma COGUANOR 29 001, el agua cosechada de los sistemas de captación pluvial en techos no es recomendable para su consumo.
- 2.6.2 Los filtros implementados en los 5 sistemas de captación de agua pluvial en techo, analizados en las zonas 24 y 25 del municipio de Guatemala, son eficientes para disminuir los parámetros fisicoquímicos, estos fueron eficaces un 72 % en los parámetros estudiados. En el caso de los parámetros microbiológicos, los filtros no cumplen con su función, puesto que fue detectable la presencia de coliformes totales y *E. coli*.
- 2.6.3 Se estableció una propuesta de uso del agua obtenida de dichos sistemas, el cual se enfoca en el uso de consumo, donde es necesario asegurar la eliminación de los agentes microbiológicos identificados tales como *E. coli*. En el caso de utilizar el agua para limpieza, no hay necesidad de realizar un tratamiento previo.

## 2.7. RECOMENDACIONES

- 2.7.1. Es necesario modificar el sistema, instalando en el canal receptor del agua pluvial malla para evitar el ingreso directo de las hojas y residuos de gran tamaño, esto con el fin de disminuir desde el inicio, el ingreso de bacterias que alteran la calidad del agua cosechada (García, 2012).
- 2.7.2. Se recomienda a los encargados de las escuelas dar por lo menos una limpieza exhaustiva a los techos durante la etapa media de lluvia, eliminando en este todos los residuos existentes de heces de aves y roedores, con el interés de disminuir la probabilidad de conducción la bacterias (*E. coli*) identificada en los análisis.
- 2.7.3. Debido al tiempo destinado para esta investigación solo se realizó un análisis de agua por lo que es pertinente realizar otro análisis, tanto fisicoquímico como microbiológico al inicio de la época de lluvia, para comparar los cambios de dichos parámetros.
- 2.7.4. En base a lo recomendado por la OMS, ninguna de las escuelas cuenta con el volumen mínimo de agua por estudiante, por lo tanto, se recomienda al Ministerio de Educación a tomar medidas preventivas y auxiliar este tipo de deficiencias.

## 2.8. BIBLIOGRAFÍA

1. Aceituno, M. 1988. Estudio de la calidad del agua del río El Cometa de la finca Sabana Grande, Escuintla para determinar sus usos potenciales. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC. 67 p.
2. Aguilar, ME. 2001. Análisis bacteriológico y fisicoquímico del agua de distribución en la clínica dental de la Facultad de Odontología de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Tesis Ciruj. Dentista. Guatemala, USAC. 91 p.
3. American Public Health Association. 1975. Standard methods of chemical analysis. USA. v. 2, tomo 1, 200 p.
4. Anaya Garduño, M. 1998. Sistemas de captación de agua de lluvia para uso doméstico en América Latina y El Caribe; manual técnico (en línea). México, IICA. Consultado 13 set. 2016. Disponible en <http://repiica.iica.int/DOCS/B1218E/B1218E.PDF>
5. Archila, M. 1967. Consideraciones sobre la dureza del agua. Tesis Ing. Civil. Guatemala, USAC. 66 p.
6. ASEDECHI (Asociación de Servicios y Desarrollo Económico de Chiquimula, Guatemala). 2008. Captación de agua de lluvia (en línea). Consultado 20 set. 2016. Disponible en <http://asedechi.org/2009/04/proyecto-de-captacionde-agua-de-lluvia/>
7. Ayora Cañada, MJ. 2007. Caracteres fisicoquímicos (en línea). España, Universidad de Jaen, Facultad de Ciencias Experimentales, Departamento de Química y Física Analítica. Consultado 8 ene. 2017. Disponible en [http://www4.ujaen.es/~mjayora/docencia\\_archivos/Quimica%20analitica%20ambiental/tema%2010.pdf](http://www4.ujaen.es/~mjayora/docencia_archivos/Quimica%20analitica%20ambiental/tema%2010.pdf)
8. Ballén, J. 2006. Historia de los sistemas de aprovechamiento de agua lluvia (en línea). *In* Seminario Iberoamericano sobre Sistemas de Abastecimiento Urbano de Agua (2006, João Pessoa, Brasil). Brasil. Consultado 7 nov. 2016. Disponible en

<http://www.lenhs.ct.ufpb.br/html/downloads/serea/6serea/TRABALHOS/trabalhoH.pdf>

9. BANGUAT (Banco de Guatemala, Guatemala). 2016. Producto interno bruto (en línea). Guatemala. Consultado 31 oct. 2016. Disponible en [https://www.banguat.gob.gt/estaeco/boletin/envolver.asp?karchivo=boescu5\\_1](https://www.banguat.gob.gt/estaeco/boletin/envolver.asp?karchivo=boescu5_1)
10. Chávez, H. 2013. Documento básico y práctico para desinfectar el agua de consumo humano, dirigido a líderes y lideresas del caserío Chuatzam, del cantón Pahaj, Santa Lucía Utatlán, Sololá. Tesis Lic. Ped. y Admon. Guatemala, USAC. 61 p.
11. COGUANOR (Comisión guatemalteca de normas). 1999. COGUANOR 29001: 99. norma guatemalteca obligatoria; Agua potable. Guatemala, Ministerio de Economía. 15 p.
12. División de Salud Pública de Carolina del Norte, US. 2009. Agua de los pozos; hoja informativa (en línea). Chile. Consultado 27 oct. 2016. Disponible en [http://epi.publichealth.nc.gov/oeo/docs/Las\\_Bacterias\\_Coliformes\\_WellWaterFactSt.pdf](http://epi.publichealth.nc.gov/oeo/docs/Las_Bacterias_Coliformes_WellWaterFactSt.pdf)
13. Embajada de Alemania. 2016. Cooperación para el desarrollo Sierra de las Minas (en línea). Guatemala. Consultado 6 oct. 2016. Disponible en [http://www.guatemala.diplo.de/Vertretung/guatemala/es/05/Entwicklungszusammenarbeit/seite\\_sierra\\_de\\_las\\_minas\\_okt\\_2015.html](http://www.guatemala.diplo.de/Vertretung/guatemala/es/05/Entwicklungszusammenarbeit/seite_sierra_de_las_minas_okt_2015.html)
14. FAO, Italia. 2000. Manual de captación y aprovechamiento del agua de lluvia (en línea). Chile. 14 set. 2016. Disponible en <http://ftp.fao.org/docrep/fao/010/ai128s/ai128s00.pdf>
15. Fawell, JK; Ohanian, E; Giddings, M; Toft, P; Magara, Y; Jackson, P. 2003. Sulfate in drinking-water; background document for development of WHO guidelines for drinking-water quality (en línea). United Kingdom, WHO. 16 p. Consultado 13 set. 2016. Disponible en [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/dwq/chemicals/sulfate.pdf](http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/chemicals/sulfate.pdf)

16. García, J. 2012. Sistemas de captación y aprovechamiento pluvial para un ecobarrio de la CD. de México. México, Isla Urbana. 115 p. Consultado 7 nov. 2016. Disponible en <http://islaurbana.mx/contenido/biblioteca/investigaciones/Captacion-lluviatesisHiram-Garcia.pdf>
17. Garrido, S. 2005. Captación de agua para uso doméstico en la tierra: captación y tratamiento de agua en Morelos (en línea). *Hypatia* 14. Consultado 7 nov. 2016. Disponible en [http://hypatia.morelos.gob.mx/no14/Rescatando\\_agua/aquadelcielo.html](http://hypatia.morelos.gob.mx/no14/Rescatando_agua/aquadelcielo.html)
18. González Díaz, C. 2004. La desinfección y el almacenamiento domiciliario del agua: intervención fundamental de la salud pública. Reporte Técnico de Vigilancia 9(4). Consultado 3 abr. 2017. Disponible en <http://www.sld.cu/galerias/pdf/sitios/vigilancia/rtv0404.pdf>
19. González, HM. 2009. Evaluación de campo de los materiales de los proyectos ejecutados para la captación de agua de lluvia en los departamentos de Alta Verapaz y Chiquimula. Tesis Ing. Civil. Guatemala, USAC.152 p.
20. Goyenola, G. 2007. Red de monitoreo ambiental participativo de sistemas acuáticos; versión 1. Uruguay, Ministerio de Educación y Cultura, Dirección de Innovación, Ciencia y Tecnología / Asociación Civil "Investigación y Desarrollo". 4 p. Consultado 7 nov. 2016. Disponible en [http://imasd.fcien.edu.uy/difusion/educamb/propuestas/red/curso\\_2007/cartillas/tematicas/alcalinidad.pdf](http://imasd.fcien.edu.uy/difusion/educamb/propuestas/red/curso_2007/cartillas/tematicas/alcalinidad.pdf)
21. Grondin, P. 2005. Chloration en milier rural dans les pays en voie de développement; versión 1. Paris, Francia, Programme Solidarite Eau. 197 p. Consultado 3 nov. 2017. Disponible en [http://www.pseau.org/outils/ouvrages/cahier10\\_chloration.pdf](http://www.pseau.org/outils/ouvrages/cahier10_chloration.pdf)
22. Guzmán, S. 2014. Sistema de captación de agua pluviales adaptable a casas habitación. Tesis Ing. Diseño. México, Universidad Tecnológica de la Mixteca. 12 p.

23. Holding, BV. 2006. Los elementos de la tabla periódica ordenados por su densidad  $\text{g/cm}^3$  (en línea). *In* Lenn-Tech. Agua residual & purificación del aire. Holanda, Rotterdamseweg. Consultado 8 ene. 2017. Disponible en <http://www.lenntech.com/espanol/tabla-periodica/densidad.htm>
24. INSIVUMEH (Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología, Guatemala). 2016. División hidrológica de Guatemala (en línea). Consultado 12 set. 2016. Disponible en <http://www.insivumeh.gob.gt/hidrologia/rios%20de%20guate.htm#HIDROLOGIA>
25. Lucena, A. 2002. Guía sanitaria. Madrid, España, Instituto Social de la Marina. Consultado 29 mar. 2017. Disponible en [http://www.segsocial.es/ism/sanitaria\\_es/presentacion.htm](http://www.segsocial.es/ism/sanitaria_es/presentacion.htm)
26. Martínez, RO. 2006. Determinación de la calidad fisicoquímica del agua del Canal de Chiquimulilla en la Reserva Natural de Usos Múltiples, Monterrico. Tesis Lic. Quím. Guatemala, USAC. 146 p.
27. Municipalidad de Guatemala, Guatemala. 2016. Imagen de la localización del municipio de Guatemala (en línea). Guatemala. Consultado 13 set. 2016. Disponible en <http://gis.muniguate.com/geolocalizador/>
28. OMS, Suiza. 2009. Cantidad mínima de agua necesaria para uso doméstico; guía técnica sobre saneamiento, agua y salud. Ginebra, Suiza.
29. ONU, Suiza. 2015. Calidad de agua (en línea). Consultado 20 set. 2016. Disponible en <http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/quality.shtml>
30. Palau Miguel, M; Guevara Alemany, E. 2011. Calidad de las aguas de baño en España; informe técnico (en línea). España, Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad. Consultado 20 set. 2016. Disponible en [https://www.msssi.gob.es/profesionales/saludPublica/docs/INFORME\\_2013\\_AG\\_UACONSUMO.pdf](https://www.msssi.gob.es/profesionales/saludPublica/docs/INFORME_2013_AG_UACONSUMO.pdf)

31. Prensa Libre, Guatemala. 2014. Aprovechan el agua de lluvia (en línea). New York, US, Relief Web. Consultado 6 oct. 2016. Disponible <http://reliefweb.int/report/guatemala/aprovechan-el-agua-de-lluvia>
32. Quevedo, P. 2013. Propuesta metodológica para evaluar sistemas de aprovechamiento de agua de lluvia, como alternativa para el ahorro de agua potable, en viviendas e instalaciones con alta demanda del suministro, en la República de Guatemala. Tesis Ing. Civil. Guatemala, USAC. 136 p.
33. Ramos Maldonado, FJ. 2006. Análisis de la calidad del agua para consumo humano en el área urbana del Puerto de San José, departamento de Escuintla. Tesis Ing. Quím. Guatemala, USAC. 97 p. Consultado 12 set. 2016. Disponible en [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_1008\\_Q.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_1008_Q.pdf)
34. Reygadas, F; Tovar, E; A; Hansen, Cassassuce, F; Markiewicz, E. Nastich, S. 2004. Agua salud (en línea). California, US, Universidad de California Berkeley, Proyecto CONAFE-Berkeley. Consultado 6 oct. 2016 Disponible en <https://web.stanford.edu/~twmark/agua/home.htm>
35. Roberge, PR. 2008. Handbook of corrosion engineering. New York, US, McGraw-Hill. 1130 p.
36. Roldan, G. 1992. Fundamentos de limnología neo tropical. Colombia, Universidad de Antioquia. p. 467-479.
37. Sigler, WA; Bauder, J. 2016. Coliforme total y la bacteria *E. coli*. Montana, USA, Northern Plains & Mountains Programa Regional de Agua, Well Educate. Consultado 10 mar. 2017. Disponible en [http://region8water.colostate.edu/PDFs/we\\_espanol/Coliform\\_Ecoli\\_Bacteria%202012-11-15-SP.pdf](http://region8water.colostate.edu/PDFs/we_espanol/Coliform_Ecoli_Bacteria%202012-11-15-SP.pdf)
38. Simón, A. 2004. Capacitan a niños en respeto a la ecología (en línea). El Universal, México, agosto, 9. Consultado 7 nov. 2016. Disponible en [http://www2.eluniversal.com.mx/pls/impreso/noticia.html?id\\_notas=61572&tabla=ciudad](http://www2.eluniversal.com.mx/pls/impreso/noticia.html?id_notas=61572&tabla=ciudad)

39. Tavico L, D. 2014. Desarrollo de captadores de agua de lluvia para la producción familiar de hortalizas en el corredor seco. Guatemala, USAC, DIGI / USAC, Facultad de Agronomía, IIA. Consultado 6 oct. 2016. Disponible en <http://digi.usac.edu.gt/bvirtual/informes/puirna/INF-2013-27.pdf>
40. TECA (Tecnologías y Prácticas para Pequeños Agricultores Productores, Chile). 2004. Aljibes implementados en Guatemala (en línea). Chile. Consultado 21 set. 2016. Disponible en <http://teca.fao.org/read/3812>
41. UN-Water International Conference (1., 2011, España). 2011. Gabinete específico del agua de la Presidencia de la República de Guatemala. Guatemala. 12 p.
42. UNATSABAR (Unidad de Apoyo Técnico en Saneamiento Básico Rural, Perú). 2001. Guía de diseño para la captación del agua de lluvia (en línea). Lima, Perú. Consultado 14 set. 2016. Disponible en <http://www.aguasinfronteras.org/PDF/AGUA%20DE%20LLUVIA.pdf>
43. Vargas, L. 2004. Tratamiento de agua para consumo humano (en línea). Perú, OPS. 284 p. Consultado 26 oct. 2016. Disponible en <http://bibliotecavirtual.minam.gob.pe/biam/bitstream/id/5657/BIV00012.pdf>
44. Villegas Q, M. 1990. Aspectos generales del clima. Guatemala, Instituto de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología. 27 p.





**3. CAPÍTULO III**

**INFORME DE SERVICIOS REALIZADOS**

### **3.1. MANUAL TÉCNICO**

#### **SISTEMAS DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA**

##### **3.1.1. Objetivos**

###### **3.1.1.1. General**

- 3.1.1.1.1. Realizar un manual técnico del funcionamiento e importancia de los sistemas de captación de agua de lluvia, que funcione como base para la toma de decisiones operativas de las personas interesadas en implementar un sistema.

###### **3.1.1.2. Específicos**

- 3.1.1.2.1 Seleccionar información obtenida del diagnóstico e investigación relacionada con los sistemas de captación de agua de lluvia implementados por la municipalidad de Guatemala.
- 3.1.1.2.2. Formular un documento de manera didáctica y con un enfoque práctico, para facilitar la información a los lectores interesados en el sistema de captación de agua de lluvia en techos.

#### **DEFINICIÓN DEL PROBLEMA**

El sistema de captación de agua de lluvia implementada por la municipalidad de Guatemala, es una de los cuatro proyectos técnicos de la Unidad de Apoyo a las Alcaldías Auxiliares, la cual se encarga de la evaluación, diseño, instalación y mantenimiento de dicho sistema. De la misma forma que en otros proyectos, éste cuenta con coordinador, subcoordinador, supervisor, diseñador y un delegado de personal de apoyo para su ejecución.

Este proyecto tiene como objetivo alcanzar el desarrollo sustentable aprovechando el agua de lluvia a través de un sistema de filtrado brindando un servicio a lugares tanto públicos como municipales.

Este proyecto inicia como una idea a nivel municipal, con la intención de disminuir la demanda de agua, el cual iba a consistir en captar el agua en todos los techos de toda un área, esta agua se conducía y se almacenaba, para luego hacer infiltración al suelo o para conducirla algunas fuentes de EMPAGUA y que ellos la potabilizaran, pero la inversión era muy grande, otra idea era el aprovechar la topografía y que se inundaran esas áreas en el tiempo de invierno para provocar la infiltración directa, pero de la misma forma se necesita de una inversión muy elevada y para la brevedad que se necesitaba

iniciar, esta opción no era la más recomendable, de todas estas iniciativas nace la idea de realizar el proyecto a nivel individual estacionario directamente en las escuelas por la precariedad de los servicios y en los mercados municipales por la alta demanda de agua que tienen, específicamente en los servicios sanitarios.

El primer aljibe que se implementó está en la plaza amate, el cual se estableció hace cuatro años. Allí hay cuadro sistemas captando 10,000 L. Estos sistemas están conectados directamente a la cisterna que distribuye el agua en toda la plaza. El segundo en realizarse fue en la zona 25, en el 2013.

Luego en el 2014 aumento la cantidad de sistemas implementados, en los cuales colaboraron Fundación Solar y Global Water Partnership en esta oportunidad se colocaron 15 sistemas de los cuales la mayoría se colocaron en mercados.

Actualmente la Unidad de apoyo a las alcaldías auxiliares de la municipalidad de Guatemala no cuenta con documentos técnicos que presente información actualizada, ordenada y específica del proyecto de sistema de captación de agua de lluvia, el cual sustente el funcionamiento e importancia de dicho sistema.

### **3.1.2. Metodología**

Para crear el manual técnico que presente información necesaria de aspectos y características de los sistemas de captación de agua de lluvia, se realizaron las siguientes actividades:

#### **3.1.2.1. Definir lineamientos del manual**

Se realizaron entrevistas semi-estructurales a las autoridades; subcoordinador de la Unidad de Apoyo a las Alcaldías Auxiliares, y al supervisor del proyecto Jorge Molina, para crear un listado de información indispensable para el manual técnico, definiendo su uso y el tipo de lectores.

Las preguntas claves para realizar la entrevista fueron: ¿Qué finalidad tendrá el manual?, ¿Qué tipo de lectores tendrán acceso al manual?, ¿Qué información es necesaria incluir en el manual?

#### **3.1.2.2. Redacción del manual**

Este manual se redactó con frases cortas y sencillas; que simplifica su comprensión, evitando errores de redacción, y con el ideal de facilitar la traducción en un futuro. Como

parte fundamental de este manual se incluirán varias ilustraciones, actualizadas y de buena resolución, considerándolas como ayuda inestimable.

### **3.1.2.3. Revisión de supervisor y autoridades de la unidad**

Para las mejoras de este manual; tanto de estilo, forma y redacción, fue importante considerar la opinión de terceras personas; como las autoridades de la unidad, subcoordinador de la Unidad de apoyo a las alcaldías auxiliares, el supervisor del proyecto, el especialista en diagramación Cesar Tamup y la correctora de estilo María Mazariegos.

### **3.1.2.4. Impresión de Manual**

La impresión, encuadernado y reproducción del documento final estuvo a cargo de la Unidad de apoyo a las alcaldías auxiliares, de la municipalidad de Guatemala.

## **3.1.3. Resultado**

Se finalizó el manual técnico, el cual se encuentra dividido en tres capítulos; I. ¿Qué es la captación de agua de lluvia?; II. ¿Cómo funciona la captación de agua de lluvia?; III. ¿Por qué es importante la captación de agua de lluvia?

El manual técnico cuenta con trece temas, este producto está elaborado con un lenguaje sencillo, dirigido a todo tipo de lector, con una gama de imágenes y graficas que refuerzan la lectura. (Manual completo, ver anexo 36A)

## **3.1.4. Conclusiones**

- 3.1.4.1.** Se logró recolectar información de los sistemas de captación de agua de lluvia a través de consulta bibliográfica, realización de entrevistas semi-estructuradas a las autoridades y personal vinculada con el proyecto, recaudación, y ordenamiento de información ya generada por la unidad.
- 3.1.4.2.** Se estructuró el manual, con tres capítulos totalmente independiente para poder compartir la información según la necesidad específica de quien lo requiera. En cuanto al diseño del documento, se utilizaron los colores y el logo establecidos por la municipalidad de Guatemala, haciendo uso de la información previamente adquirida, realizando es de esta forma un documento práctico.

### 3.1.5. Recomendaciones

- 3.1.5.1. Se recomienda a la Unidad de apoyo a las alcaldías auxiliares de la municipalidad de Guatemala, seguir retroalimentando la base de datos ya estructurada con información valiosa, sobre los sistemas de captación de agua de lluvia ya implementados.
- 3.1.5.2. Hacer uso de la información generada, realizando talleres o conferencias con el objeto de transmitir a la población la importancia del aprovechamiento del agua de lluvia y de los sistemas de captación de agua de lluvia.

### 3.1.6. Medios de verificación

A continuación encontrará las figuras 27, 28 y 29 que muestran las diferentes caratulas que contiene el manual técnico realizado en el tiempo de E.P.S. para ver el manual completo, ver anexo 36A.



*Figura 27. Carátula de manual técnico elaborado.*

<b>ÍNDICE</b>	
GLOSARIO	5
LISTADO DE ACRÓNIMOS	5
PRESENTACIÓN	6
<b>CAPÍTULO 1</b>	
Historia de la captación de agua de lluvia	8
Antecedentes del proyecto	9
¿Qué es captación de agua de lluvia?	10
¿Dónde están ubicados los sistemas de captación?	11
¿Cuál es el procedimiento de implementación?	13
Número de beneficiados	13
<b>CAPÍTULO 2</b>	
¿Cómo funciona el sistema?	19
Materiales necesarios	22
Calidad del agua cosechada y utilidad	24
<b>CAPÍTULO 3</b>	
Beneficio sociales	27
Beneficios económicos	29
Beneficios ambientales	30
Ventajas	31
Bibliografía	32

Figura 28. Contenido general del manual técnico.



**¿QUÉ ES LA CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA?**

Historia de la captación de agua de lluvia	8
Antecedentes del proyecto	9
¿Qué es captación de agua de lluvia?	10
¿Dónde están ubicados los sistemas de captación?	11
¿Cuál es el procedimiento de implementación?	13
Número de beneficiarios	13

**¿CÓMO FUNCIONA LA CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA?**

¿Cómo trabaja el sistema?	16
Materiales	17
Calidad del agua cosechada y utilidad	21

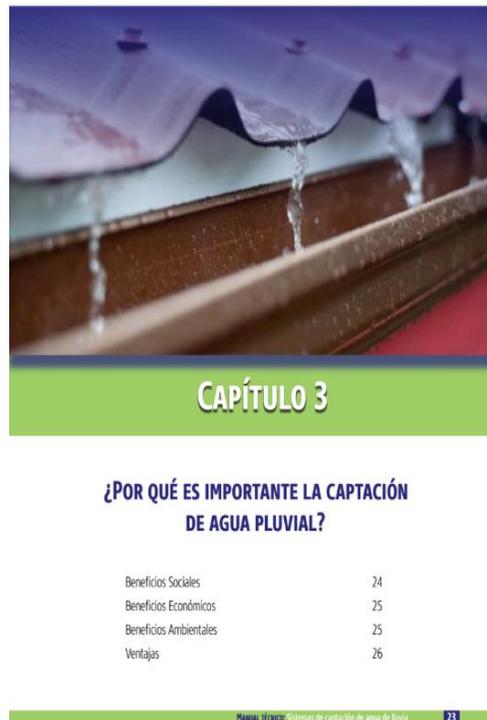


Figura 29. Carátulas de los tres capítulos del manual técnico.

## 3.2. ESTRATEGIA PARA DIVULGACIÓN

### 3.2.1. Objetivos

#### 3.2.1.1. Objetivo General

- 3.2.2.1.1. Diseñar una estrategia de divulgación para la unidad de apoyo a las alcaldías auxiliares, con la finalidad de concientizar e informar a la población en general, sobre la importancia de los sistemas de captación de agua pluvial en techos implementados en el municipio de Guatemala.

#### 3.2.1.2. Específicos

- 3.2.1.2.1. Elegir una estrategia acorde a los recursos de la municipalidad, para difundir la importancia de los sistemas de captación de agua de lluvia.
- 3.2.1.2.2. Realizar propuesta sugerida por autoridades de la unidad de apoyo a las alcaldías auxiliares.

## **DEFINICIÓN DEL PROBLEMA**

Los sistemas de captación de agua de lluvia implementados favorecen a 87,198 usuarios. Las entrevistas semi-estructuradas que se realizaron para obtener un diagnóstico general del funcionamiento del sistema, dirigidas tanto a directores (as) encargados en las escuelas; como a los administradores (as) en los mercados municipales evidenciaron que, tenían problemas con la infraestructura porque existían algunas obstrucciones en el sistema, y eso hacía que el agua no fluyera como debiese. El 4.84 % hace referencia a la cantidad de sistemas que no son utilizados porque según los encargados, no es necesaria; ya que tienen abundancia de agua directamente de EMPAGUA. El 6% mencionó que no tenían idea de cómo se utilizaba el sistema y dado a eso no lo utilizaban aun teniendo necesidad, sin embargo el 88.71 % de la población está satisfecha con el servicio.

La Unidad de apoyo a las alcaldías auxiliares de la municipalidad de Guatemala no ha realizado la divulgación necesaria para informar a la población sobre los sistemas de captación de agua de lluvia implementados en la mayoría de las zonas de la ciudad.

### **3.2.2. Metodología**

En el caso de la propuesta de estrategia para realizar la divulgación, sobre la importancia de los sistemas implementados se realizan las siguientes actividades:

#### **3.2.2.1. Establecer tipo de divulgación**

Esta etapa sirvió para establecer qué tipo de divulgación, y de esta forma detectar cual es más conveniente, o más factible según los recursos que posea la Unidad de apoyo a las alcaldías auxiliares; tiempo y materiales. Esto se obtuvo por medio de la realización de una entrevista semi-estructurada al subcoordinador de la Unidad Arq. Cristian Rashjal; las preguntas realizadas fueron: ¿Qué tipo de divulgación es factible según los recursos de la unidad?, ¿Qué medios son accesibles de adquirir información para los vecinos, según experiencias anteriores?, ¿Qué información relevante se va a publicar?

#### **3.2.2.2. Presentación de propuesta**

Para ello se presentaron las propuestas al subcoordinador de la Unidad de Apoyo a las Alcaldías Auxiliares con el fin de definir el material a utilizar.

### **3.2.2.3. Puntos para el esparcimiento de información**

Los puntos estratégicos para la difusión de información de este material, serán las alcaldías auxiliares, llevando a cada uno de los sectores del municipio la información de dichos sistemas.

### **3.2.3. Resultado**

Se realizaron cuatro propuestas de trifoliar, el cual presenta 6 temas importantes sobre los sistemas de captación de agua de lluvia, este con el fin de exponer los puntos relevantes de dicho sistema. Los temas que posee el trifoliar 1 son: Aljibe, ¿Qué es captación de agua de lluvia?, Funcionamiento, Ubicación de los sistemas, Beneficiados y Procedimiento de implementación.

El tema diferente que posee el trifoliar 2 es: Beneficios de los aljibes. El trifoliar 3 y 4: la diferencia de estos con los colores y diseño.

Este producto está elaborado con varias imágenes y diferentes gráficos, el cual va dirigido a todo tipo de lector y con un lenguaje sencillo.

A continuación se desarrolla los temas presentes en los trifoliales.

#### **a. Aljibe**

Es un diseño arquitectónico que tiene como función almacenar agua de cualquier fuente, en este caso se trata del agua de lluvia.

Es por ello que la Municipalidad de Guatemala utiliza este término para referirse a los sistemas de captación de agua de lluvia, el cual reutiliza el recurso natural para un bien común en las necesidades diarias de las personas.

#### **b. ¿Qué es captación de agua de lluvia?**

Es la acción de captar agua durante una precipitación pluvial por medio de un sistema cuyo objetivo es reciclar el agua de lluvia. La Municipalidad de Guatemala utiliza en sus sistemas de captación de agua de lluvia, tres tipos de filtros, lo cual permite mejorar las propiedades fisicoquímicas del agua.

### c. Funcionamiento

A continuación encontrará la figura 30 funcionamiento general de los sistemas.



*Figura 30. Funcionamiento general de los sistemas.*

El sistema de captación implementado por la Municipalidad de Guatemala funciona por medio de gravedad.

Se utilizan toneles como filtros, el agua captada por los techos es conducida por canales y tuberías PVC hacia el primer reservorio que poseen piedra bola de 3 " reteniendo materiales no deseadas de tamaño considerado.

Por rebalse pasa al segundo reservorio que contiene pedrín de ¼ ", piedra pómez de 1 ", pedrín de 1 " cubierta con geo textil.

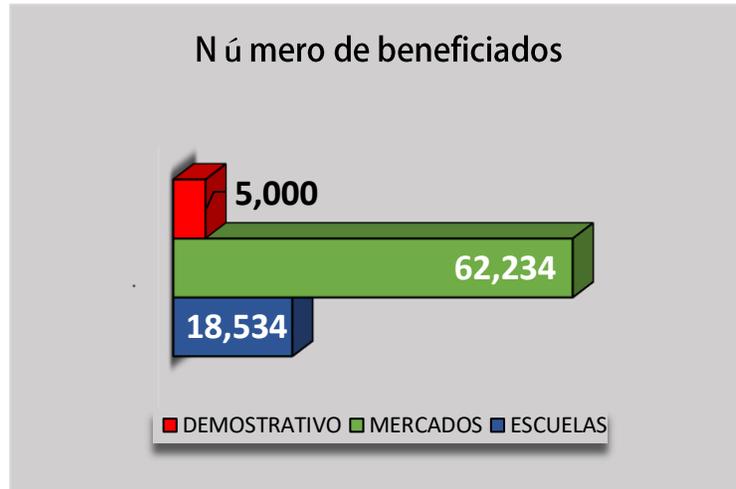
En el tercer reservorio contiene piedra bola de 3 ", carbón activado, arena sílice grado 8 y grado 16 con una cobertura de geo textil. Este es el último proceso que el agua recibe donde las condiciones fisicoquímicas son aceptables según la norma COGUANOR 29 001, agua potable.

### d. Ubicación de los sistemas implementados

Actualmente se han implementado 41 sistemas en escuelas, 20 en mercados y uno de carácter demostrativo en el Zoológico La Aurora, zona 13. Estos sistemas se encuentran ubicados alrededor del municipio de Guatemala con excepción de las zonas 4, 9, 14 y 16.

### e. Total de beneficiados

La figura 31. No de beneficiados, presenta la distribución de beneficiados por área en las que fue implementado.



*Figura 31. No de beneficiados.*

El total de beneficiados por los sistemas implementados es de 87,198 vecinos.

#### **f. Procedimiento de implementación**

En la figura 32 se encuentran descritas los procedimientos necesarios para implementar un sistema.



*Figura 32. Procedimiento de implementación de sistema.*

### **3.2.4. Conclusiones**

- 3.2.4.1.** Se llegó a un acuerdo con las autoridades para realizar un trifoliar, el cual expusiera temas importantes y relevantes del sistema de captación de agua de lluvia "Aljibes", este con el fin de utilizarlo de forma impresa y digital.
- 3.2.4.2.** Se realizaron dos propuestas de trifoliar, con datos anteriormente adquiridos a través del diagnóstico e investigación, optando por una forma gráfica y con poco texto, para hacerlo agradable a la vista.

### **3.2.5. Recomendaciones**

- 3.2.5.1. Se recomienda utilizar este material para difundir la información sobre los sistemas de captación de agua de lluvia, a través de las alcaldías auxiliares existentes en el área de jurisdicción de la municipalidad de Guatemala.
- 3.2.5.2. Es importante considerar que este material está en disposición de hacer los cambios necesarios para su mejora o difusión.
- 3.2.5.3. Los puntos estratégicos para la difusión de información de este material, es por medio de las alcaldías auxiliares, llevando a cada uno de los sectores del municipio la importancia de conocer dichos sistemas.

### **3.2.6. Medios de verificación**

En la figura 33 y 34, se encuentra el trifoliar realizado para la divulgación de los sistemas de captación de agua de lluvia.

## SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA

### ALJIBE

Es un diseño arquitectónico que tiene como función almacenar agua de cualquier fuente, en este caso se trata del agua de lluvia.

Es por ello que la Municipalidad de Guatemala utiliza este término para referirse a los sistemas de captación de agua de lluvia, el cual reutiliza el recurso natural para un bien común en las necesidades diarias de las personas.



### ¿QUÉ ES CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA?

Es la acción de captar agua durante una precipitación pluvial por medio de un sistema cuyo objetivo es reciclar el agua de lluvia. La Municipalidad de Guatemala utiliza en sus sistemas de captación de



### FUNCIONAMIENTO

Las condiciones fisicoquímicas del agua obtenida de los sistemas es aceptable según la norma COGUANOR 29 001, agua potable.



### SISTEMAS IMPLEMENTADOS EN ESCUELAS DE LA CIUDAD:



### UBICACIÓN DE SISTEMAS IMPLEMENTADOS

Actualmente se han implementado 41 sistemas en escuelas, 20 en mercados y uno de carácter demostrativo en el Zoológico La Aurora, zona 13. Estos sistemas se encuentran ubicados alrededor del municipio de Guatemala con excepción de las zonas 4, 9, 14 y 16.

### BENEFICIOS DE LOS ALJIBES

Los aljibes aportan a los guatemaltecos en tres aspectos de gran importancia para su desarrollo, tales como:



Figura 33. Lado B, trifoliar realizado.

### BENEFICIADOS POR LOS ALJIBES



El total de beneficiados por los sistemas implementados es de 87,198 vecinos.

### PROCEDIMIENTO DE IMPLEMENTACIÓN





### SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA (ALJIBE)





[www.muniguate.com](http://www.muniguate.com)

ELABORADO POR: Laura Susely García Lima
UNIDAD DE APOYO A LAS ALCALDÍAS AUXILIARES

Figura 34. Lado A, trifoliar realizado.

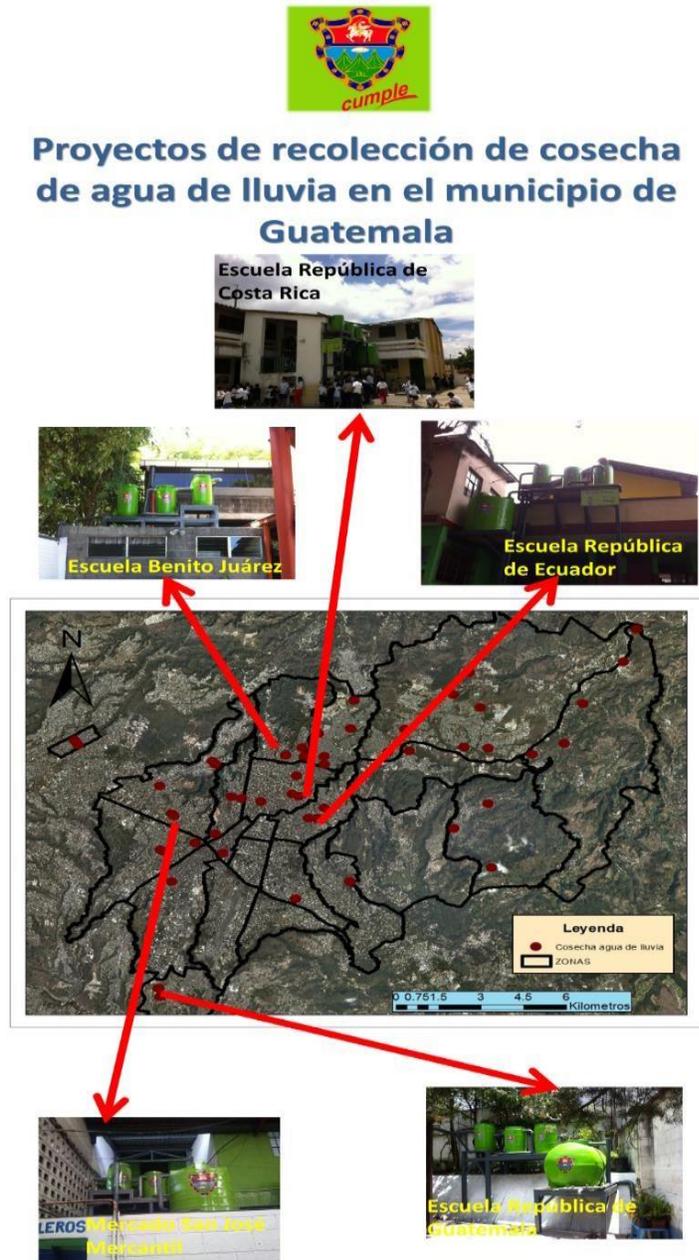
### 3.3. BIBLIOGRAFÍA

1. Aqua, México; Fundación Gonzalo Río Arronte, México. 2008. Guía del agua y la construcción sustentable (en línea). México. Consultado 22 mar. 2017. Disponible en <http://agricultura.uprm.edu/escorrentia/Material%20educativo/Agua%20de%20escorrentia%20estudiantes%20elemental.pdf>
2. CONAGUA (Comisión Nacional del Agua, México). 2005. La cuenca (en línea). Torreón Coahuila, México, CONAGUA, Publicaciones Semestrales de la Gerencia Regional Cuenca Central del Norte.
3. Correa Avendaño, G. 2014. Importancia de incluir las aguas lluvias como abastecimiento de redes hidrosanitarias, en las normas y documentos de estudio y diseño del país (en línea). Antioquía, Colombia, Colegio Mayor, Especialización en Construcción Sostenible. Consultado 15 feb. 2017. Disponible en [http://www.colmayor.edu.co/archivos/315\\_gustavo\\_correaaguas\\_lluvia\\_5kzom.pdf](http://www.colmayor.edu.co/archivos/315_gustavo_correaaguas_lluvia_5kzom.pdf)
4. Del Barrio, R. 2016. La cosecha de agua de lluvia (en línea). España, ABENGOA (Soluciones Tecnológicas Innovadoras para el Desarrollo Sostenible). Consultado 10 feb. 2017. Disponible en <http://www.laenergiadelcambio.com/dia-a-dia/>
5. González, C.; Lozada, W. 2009. Manejo y control de las aguas de escorrentía para mantener la calidad del agua. Puerto Rico, Universidad de Puerto Rico, Servicio de Extensión Agrícola.
6. González, M. 2009. Evaluación de campo de los materiales de los proyectos ejecutados para la captación de agua de lluvia en los departamentos de Alta Verapaz y Chiquimula. Tesis Ing. Civil. Guatemala, USAC. 152 p.
7. USDA, US; NAS (National Agricultural Library, US). 1967. Agua, su aprovechamiento en la agricultura. 2 ed. Trad. por J. Meza Nieto. México, Herrero.

8. Molina, J. 2017. Temas trascendentales sobre los sistemas de captación de agua de lluvia (entrevista). Guatemala, Municipalidad de Guatemala, UAAA.
9. Palacio, M. 2016. 7 beneficios de las ciudades sensibles al agua de lluvia (en línea). Ciudades Sostenibles Blog. Consultado 17 feb. 2017. Disponible en <http://blogs.iadb.org/ciudadessostenibles/2016/04/19/agua-de-lluvia/>
10. Rashjal, C. 2017. Lineamientos sobre el manual técnico los sistemas de captación de agua de lluvias (SCALL) (entrevista). Guatemala, Municipalidad de Guatemala, UAAA.
11. Sierra Ramírez, CA. 2011. Calidad del agua: evaluación y diagnóstico. Medellín, Colombia, Universidad de Medellín. 457 p.

TESIS Y DOCUMENTOS DE GRADUACIÓN  
FAUSAC  
REVISIÓN  
Polando Barrera

3.4. ANEXO



Fuente Elaboración: UAAA, 2016.

Figura 35 A. Ubicación de algunos sistemas de captación de agua de lluvia.

Cuadro 17 A. Resultados de parámetros de la Escuela Cantón Jagüey, zona 24.

<b>Escuela Cantón Jagüey (zona 24)</b>					
<b>Aspecto:</b>	Unidades	Entrada del Sistema	Punto medio del Sistema	Salida del Sistema	LMP*
<b>Parámetros evaluados</b>					
<b>pH</b>		6.43	7.53	6.37	6.5
<b>Temperatura</b>	(°C)	24	23	21	34
<b>Conductividad</b>	( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	53.4	25.8	23.4	750
<b>Turbidez</b>	(UNT)	0.92	0.6	0.75	15
<b>Sólidos totales</b>	(mg/L)	1	11	17	1,000
<b>Alcalinidad Total</b>	(mg/L $\text{CaCO}_3$ )	32.9	5.3	10.7	-----
<b>Sulfatos</b>	(mg/L $\text{SO}_4^{-2}$ )	31.45	22.76	19.64	250
<b>Dureza Total</b>	(mg/L $\text{CaCO}_3$ )	36	21	15	500
<b>Coliformes Totales</b>	(NMP/100ml)	2400	240	920	No detectable
<b>Escherichia coli</b>	(NMP/100ml)	1600	130	2.0	No detectable
<b>*LMP = Límite máximo permisible según norma COGUANOR 29001.</b>					

Fuente: Datos de campo, COGUANOR 29001.



Cuadro 18 A. Resultados de parámetros de la Escuela Héctor Nuila, zona 24.

<b>Escuela Héctor Nuila (zona 24)</b>				
<b>Aspecto:</b>	<b>Unidades</b>	<b>Entrada del Sistema</b>	<b>del Segundo Reservorio</b>	<b>LMP*</b>
<b>Parámetros evaluados</b>				
<b>pH</b>		6.99	6.44	8.5
<b>Temperatura</b>	(°C)	22	24	34
<b>Conductividad</b>	( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	47.3	56.3	750
<b>Turbidez</b>	(UNT)	0.47	0.51	15
<b>Sólidos totales</b>	(mg/L)	209	137	1,000
<b>Alcalinidad Total</b>	(mg/L $\text{CaCO}_3$ )	26.7	32.9	
<b>Sulfatos</b>	(mg/L $\text{SO}_4^{-2}$ )	16.6	16.6	250
<b>Dureza Total</b>	(mg/L $\text{CaCO}_3$ )	36	34	500
<b>Coliformes Totales</b>	(NMP/100ml)	540	540	No detectable
<b>Escherichia coli</b>	(NMP/100ml)	2	2	No detectable

\*LMP = Límite máximo permisible según norma COGUANOR 29001.

Fuente: Datos de campo, COGUANOR 29001



Cuadro 19 A. Resultados de parámetros de la Escuela El Buen Pastor, zona 25.

<b>Escuela El Buen Pastor (zona 25)</b>					
<b>Aspecto:</b>	<b>Unidades</b>	<b>Entrada del Sistema</b>	<b>Punto medio del Sistema</b>	<b>Salida del Sistema</b>	<b>LMP*</b>
<b>Parámetros evaluados</b>					
<b>pH</b>		7.87	7.95	8.35	6.5 - 8.5
<b>Conductividad</b>	( $\mu\text{S/cm}$ )	97.9	83.8	44.7	50 - 750
<b>Turbidez</b>	(UNT)	1.14	1.71	2.77	15
<b>Solidos totales</b>	(mg/L)	45	39	20	1,000
<b>Alcalinidad Total</b>	(mg/L $\text{CaCO}_3$ )	19.6	17.8	3.6	
<b>Sulfatos</b>	(mg/L $\text{SO}_4^{-2}$ )	24.11	28.67	45.88	250
<b>Dureza Total</b>	(mg/L $\text{CaCO}_3$ )	60	54	26	500
<b>Coliformes Totales</b>	(NMP/100ml)	2400	2400	2400	No detectable en 100mL
<b>Escherichia coli</b>	(NMP/100ml)	7	350	79	No detectable en 100mL

Fuente: Datos de campo, COGUANOR 29001.



Cuadro 20 A. Resultados de parámetros de la Escuela La Esperanza, zona 25.

<b>Escuela La Esperanza (zona 25)</b>				
<b>Aspecto:</b>	Unidades	Entrada del Sistema	Salida del Sistema	LMP*
<b>Parámetros evaluados</b>				
<b>pH</b>		6.49	6.26	6.5 - 8.5
<b>Temperatura</b>	(°C)	24	24	34
<b>Conductividad</b>	( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	79.4	10.2	50 - 750
<b>Turbidez</b>	(UNT)	0.51	0.41	15
<b>Sólidos totales</b>	(mg/L)	8	8	1,000
<b>Alcalinidad Total</b>	(mg/L $\text{CaCO}_3$ )	69.4	5.3	
<b>Sulfatos</b>	(mg/L $\text{SO}_4^{-2}$ )	14.24	15.59	250
<b>Dureza Total</b>	(mg/L $\text{CaCO}_3$ )	49	8	500
<b>Coliformes Totales</b>	(NMP/100ml)	5	70	No detectable
<b>Escherichia coli</b>	(NMP/100ml)	2	7	No detectable
<b>*LMP = Límite máximo permisible según norma COGUANOR 29001.</b>				

Fuente: Datos de campo, COGUANOR 29001.



Cuadro 21 A. Resultados de parámetros de la Escuela Santa Delfina, zona 25.

<b>Escuela Santa Delfina (zona 25)</b>					
<b>Aspecto:</b>	<b>Unidades</b>	<b>Entrada del Sistema</b>	<b>Punto Medio del Sistema</b>	<b>Salida del Sistema</b>	<b>LMP*</b>
<b>Parámetros evaluados</b>					
<b>pH</b>		6.84	6.86	6.92	6.5 - 8.5
<b>Temperatura</b>	(°C)	21	24	23	34
<b>Conductividad</b>	(μS/cm)	83.3	78.5	50.3	50 - 750
<b>Turbidez</b>	(UNT)	6.63	5.31	2.4	15
<b>Sólidos totales</b>	(mg/L)	23	9	52	1,000
<b>Alcalinidad Total</b>	(mg/L CaCO <sub>3</sub> )	65	65.9	42.7	
<b>Sulfatos</b>	(mg/L SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> )	27.91	27.91	20.73	250
<b>Dureza Total</b>	(mg/L CaCO <sub>3</sub> )	42	50	34	500
<b>Coliformes Totales</b>	(NMP/100ml)	5	920	70	No detectable
<b>Escherichia coli</b>	(NMP/100ml)	2	920	46	No detectable

\*LMP = Límite máximo permisible según norma COGUANOR 29001.

Fuente: Datos de campo, COGUANOR 29001.

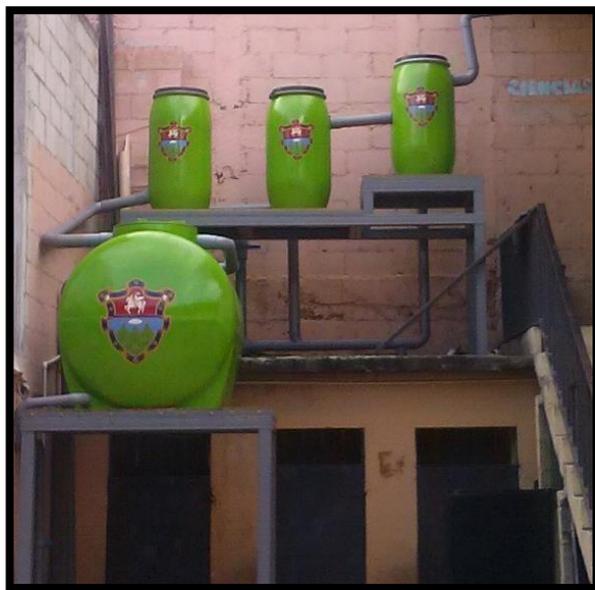


Figura 36 A. Manual técnico, de los sistemas de captación de agua de lluvia.





## **MANUAL TÉCNICO:**

### **Sistemas de captación de agua de lluvia**

Este manual incorpora el enfoque de aprovechamiento del agua pluvial como una alternativa ecológicamente sustentable para las actividades cotidianas de los guatemaltecos.

## **MUNICIPALIDAD DE GUATEMALA**

Unidad de Apoyo a las Alcaldías Auxiliares (UAAA)  
Área Técnica, UAAA  
Guatemala, Guatemala

## **ELABORACIÓN DEL MANUAL TÉCNICO**

Laura Susely García Lima  
Epesista de Ingeniería en Gestión Ambiental Local, Facultad de Agronomía  
Universidad de San Carlos de Guatemala

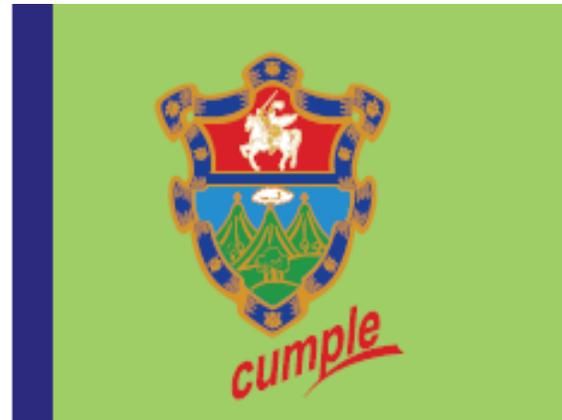
## **REVISIÓN Y ESTILO**

María Mazariegos

## **DIAGRAMACIÓN**

Cesar Tamup

Guatemala, marzo del 2017



# **MANUAL TÉCNICO:**

## **Sistemas de captación de agua de lluvia**

Laura Susely García Lima

## ÍNDICE

GLOSARIO	5
LISTADO DE ACRÓNIMOS	5
PRESENTACIÓN	6
<b>CAPÍTULO 1</b>	
Historia de la captación de agua de lluvia	8
Antecedentes del proyecto	9
¿Qué es captación de agua de lluvia?	10
¿Dónde están ubicados los sistemas de captación?	11
¿Cuál es el procedimiento de implementación?	13
Número de beneficiados	13
<b>CAPÍTULO 2</b>	
¿Cómo funciona el sistema?	19
Materiales necesarios	22
Calidad del agua cosechada y utilidad	24
<b>CAPÍTULO 3</b>	
Beneficio sociales	27
Beneficios económicos	29
Beneficios ambientales	30
Ventajas	31
Bibliografía	32

## GLOSARIO

**Adaptación.** Se refiere al acomodamiento de alguien o algo a una situación o circunstancia que en ese momento es importante. En este manual se utiliza esta palabra para hacer referencia a la manera en que el ser humano debe ajustarse a las condiciones de determinada situación ambiental, como una medida preventiva o de sobrevivencia.

**Captación.** Es la acción de capturar. En este documento se habla específicamente de la captura del agua de lluvia.

**Cosecha de agua.** Esta es una modalidad de captación de agua de lluvia conocida como aprovechamiento de agua de lluvia. Consiste en captar la escorrentía de superficies impermeables o poco permeables, tales como techos de viviendas y establos, patios de tierra batida, superficies rocosas, hormigón, mampostería o plástico. La captación de agua en los techos permite obtener un líquido de mejor calidad para consumo doméstico.

**Escorrentía.** Agua que corre libremente por la superficie (suelo, carreteras, techos, aceras, estacionamientos, etc.) después de una precipitación pluvial que no logra filtrarse por el suelo.

**Microcaptación.** Sistema de captación de agua de lluvia que consiste en la recolección o acumulación de agua precipitada, a través de los techos o el escurrimiento de suelos, para darle diversos usos posteriormente.

**Mitigación.** Es el esfuerzo por reducir la pérdida de vida y propiedad disminuyendo el impacto de

los desastres. Este se logra ejecutando acciones.

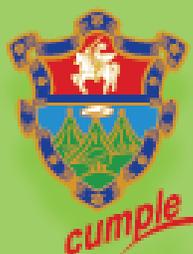
**Pluvial.** Término que se utiliza específicamente para referirse al agua de lluvia.

**Recurso hídrico.** Es un término científico que se utiliza para referirse al agua, la cual es esencial para la supervivencia y el desarrollo de todo ser vivo.

**Sistema.** Se refiere a la totalidad de un objeto conformado por distintos elementos que se relacionan entre sí. Un sistema puede referirse a un conjunto material o conceptual.

## LISTADO DE ACRÓNIMOS, SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS

APRESAL	Proyecto Europeo de Obra Social Centroamericana
COGUANOR	Comisión Guatemalteca de Normas
CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono
EMPAGUA	Empresa Municipal de Agua
<i>E.coli</i>	<i>Escherichia coli</i>
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
IARNA	Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente
ICTA-UAB	Instituto de Ciencia y Tecnología Ambiental de la Universidadde Barcelona
ONG	Organización no gubernamental
SCAPT	Sistemas de captación de agua pluvial en techos



## PRESENTACIÓN

Este manual técnico pretende instruir, de manera didáctica y con un enfoque práctico, en la funcionalidad de los sistemas de captación de agua de lluvia, abordando su importancia, procedimientos de implementación y sus beneficiarios.

La Unidad de Apoyo a las Alcaldías Auxiliares, por medio de este trabajo, busca proporcionar las herramientas necesarias para mejorar los sistemas ya establecidos y la calidad del agua proveniente de los mismos.

El sistema de captación, independientemente del lugar de su implementación, siempre ofrecerá beneficios, pues satisface necesidades básicas mediante la obtención de un recurso vital para la supervivencia, como lo es el agua.

Se espera que este manual proporcione los conocimientos suficientes para que las personas

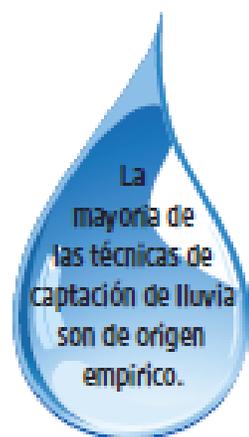
interesadas en este tipo de sistemas puedan adaptarlos a sus necesidades particulares.

La difusión de este material facilitará información útil y sencilla acerca de los sistemas de captación de agua de lluvia.

El contenido se encuentra dividido en tres capítulos:

- I. ¿Qué es la captación de agua de lluvia?
- II. ¿Cómo funciona la captación de agua de lluvia?
- III. ¿Por qué es importante la captación de agua de lluvia?

El manual está dirigido a todo tipo de lector, con el fin de adquirir herramientas para optimizar y hacer buen uso de los sistemas de captación de agua de lluvia, que están instalados dentro del área metropolitana de la Ciudad de Guatemala y los que se deseen implementar.



## HISTORIA DE LA CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA

A lo largo de los siglos han existido varias formas de captación de agua de lluvia. Pero recientemente se han comenzado a estudiar y publicar técnicas científicamente evaluadas. Según la FAO, en Israel se descubrieron sistemas de captación de agua de lluvia que tienen 4,000 años o más. En el caso del sur de Túnez, utilizaron la microcaptación para el crecimiento de los árboles.

La captación para uso doméstico se inició principalmente en Europa como parte de un desarrollo urbano a gran escala, recuperando el agua en los techos de algunos edificios y almacenándola en tanques subterráneos. En Asia, mitigaron la escasez de agua controlando las inundaciones y asegurando la existencia del recurso para emergencias.

En el continente africano, ya existen grandes proyectos con sistemas que cubren la vasta necesidad que poseen los pobladores en Botswana, Togo, Mali, Sudáfrica, Namibia, Zimbawe, Mozambique, Sierra Leona y Tanzania.

La India no es la excepción, puesto que posee uno de los mayores índices de población, el suministro de servicios básicos es un gran problema, por lo que han considerado el aprovechamiento del agua de lluvia para cubrir esta necesidad.

En Honduras se pueden encontrar viviendas con sistemas precarios, pero que, a pesar de ello, logran mejorar el nivel de vida de los habitantes que los utilizan.

De esta forma, se podrían mencionar varias experiencias de diferentes países, como es el caso de Estados Unidos, México, Brasil, entre otros.

Considerando la variabilidad climática, el crecimiento poblacional, la contaminación y el agotamiento del recurso hídrico, se ratifica que la opción de los sistemas de captación de agua de lluvia es óptima para la adaptación.

En 1997, en el departamento de Alta Verapaz, Guatemala, fue implementado el primer sistema de captación de agua por un proyecto europeo conocido como APRESAL, beneficiando con ello a 3,500 personas. De la misma forma, esta idea ha sido bien aceptada y aprovechada en los departamentos de Chiquimula y el Quiché.

En el oriente de Guatemala, se implementaron sistemas aéreos o subterráneos, con apoyo de la ONG Helvetas. La zona del corredor seco ha sido beneficiada con captadores de estructuras metálicas y láminas de zinc, PVC y madera con láminas plásticas.



## CAPÍTULO 1

### ¿QUÉ ES LA CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA?

Historia de la captación de agua de lluvia	8
Antecedentes del proyecto	9
¿Qué es captación de agua de lluvia?	10
¿Dónde están ubicados los sistemas de captación?	11
¿Cuál es el procedimiento de implementación?	13
Número de beneficiarios	13

## ANTECEDENTES DEL PROYECTO

El sistema de captación de agua de lluvia implementado por la Municipalidad de Guatemala es uno de los cuatro proyectos técnicos de la Unidad de Apoyo a las Alcaldías Auxiliares, la cual se encarga de la evaluación, diseño, instalación y mantenimiento de dicho sistema. Al igual que en otros proyectos, cuenta con un coordinador, subcoordinador, supervisor, diseñador y un delegado de personal de apoyo para su ejecución.

Este proyecto tiene como objetivo alcanzar un desarrollo sustentable aprovechando el agua de lluvia a través de un sistema de filtrado, y brindar servicio a lugares tanto públicos como municipales.

Los sistemas de captación (cosecha) de agua de lluvia comenzaron como una idea a nivel municipal, la intención fue disminuir la demanda de agua en el municipio de Guatemala.

En un inicio se plantearon varias posibilidades, una de ellas consistía en captar el agua de los techos en toda un área. El líquido se transportaría y se almacenaría, para luego hacer infiltración al suelo o conducirlo a algunas fuentes de EMPAGUA para potabilizarlo.

Sin embargo, esta propuesta requería de una gran inversión. De esta y otras iniciativas nace la idea de realizar el proyecto a nivel local, ubicándolo directamente en escuelas, por la precariedad de los servicios, y en los mercados municipales, por la alta demanda de agua que tienen, específicamente en los servicios sanitarios.

El primer sistema que se construyó se ubicó en la plaza El Amate, zona 1 de la ciudad capital. Comenzó a funcionar hace cuatro años con una capacidad de 10,000 litros. Este sistema está conectado directamente a la cisterna que distribuye el agua en toda la plaza, beneficiando a un total de 60,000 usuarios al mes. El segundo en realizarse fue en la escuela "La Esperanza", zona 25, en el año 2013. Luego, en el 2014 aumentó la cantidad de sistemas implementados, para lo cual colaboraron la Fundación Solar y Global Water Partnership. En esta oportunidad se colocaron 15 sistemas; la mayoría se situaron en mercados.

Actualmente, están en funcionamiento 62 sistemas, distribuidos en diferentes zonas del municipio de Guatemala.

El funcionamiento de estos sistemas se basa en la captura del agua por medio de los techos. La conducción se hace a través de canales y tuberías de PVC, que depositan el agua en un primer recipiente que contiene en su interior piedra bola, la cual funciona como trampa para retener los desechos grandes, como bolsas y hojas de árboles. Luego, por gravedad, el agua pasa al segundo filtro que contiene grava gruesa y geotextil. Por último, el agua se conduce al tercer recipiente, que contiene dos elementos: arena de sílice de dos tamices, carbón activado y geotextil. Este sistema está diseñado para ser autosostenible y cuenta con rebalses y llaves de paso para su mantenimiento.

La población satisfecha con este servicio es de 88.71%. Los usuarios restantes tienen algún problema de infraestructura, desconocen el funcionamiento o no lo utilizan.



Imagen 1. Sistema implementado por municipio de Guatemala.  
Fuente: UAAA 2016.

## ¿QUÉ ES CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA?

Es la acción de captar agua durante una precipitación pluvial por medio de un sistema cuyo objetivo principal es reciclar el agua de lluvia. La Municipalidad de Guatemala utiliza en sus sistemas, tres tipos de filtros, lo cual permite mejorar las propiedades fisicoquímicas del agua.



Este sistema es conocido con diferentes nombres: sistema de captación de agua de lluvia y su acrónimo SCALL; sistema de captación de agua pluvial y su acrónimo SCAP, y cuando se hace referencia al método de captación se puede mencionar el sistema de captación de agua pluvial en techos, conocido como SCAPT. En el caso particular de la municipalidad, utiliza la palabra "aljibe" para referirse a estos sistemas.

Un factor importante de este proyecto es que contribuye en tres aspectos fundamentales del desarrollo de cualquier persona: el económico, el ambiental y el social.

La captación de agua de lluvia consiste básicamente en la recolección, transporte y almacenamiento del agua de lluvia que cae sobre una superficie natural o hecha por el hombre. En otras palabras, la captación de agua pluvial consiste en reutilizar el agua de lluvia.

Las superficies que captan el agua en las ciudades pueden ser techos de casas, edificios, salones, polideportivos, etc.

El agua almacenada puede destinarse a usos básicos como limpieza de ropa, pisos, sanitarios y riego.



## ¿DÓNDE ESTÁN UBICADOS LOS SISTEMAS DE CAPTACIÓN?



Considerando que el servicio de agua, en algunas zonas de la ciudad de Guatemala, es irregular o inexistente, la municipalidad decidió implementar sistemas de captación de agua de lluvia como métodos complementarios y estacionales. Esto pretende resolver, durante la época de lluvia, el desabastecimiento tanto

en escuelas como en los mercados municipales, y promover el uso del agua pluvial en zonas urbanas.

Actualmente se han implementado 41 sistemas en escuelas, 20 en mercados y uno de carácter demostrativo en el Zoológico La Aurora, zona 13, (ver imagen 2). Estos sistemas se encuentran ubicados alrededor del municipio de Guatemala con excepción de las zonas 4, 9, 14 y 16.

## NÚMERO DE SISTEMAS IMPLEMENTADOS EN EL MUNICIPIO DE GUATEMALA



Gráfica 1. Número de sistemas implementados en el municipio de Guatemala  
Fuente: UAAA 2016. Elaboración: Propia.



Imagen 2. Proceso de filtración de agua, Zoológico la Aurora  
Fuente: UAAA 2016.



Imagen 3. Mapa de ubicación de los sistemas implementados en el municipio de Guatemala

Fuente y Elaboración: UAAA 2016.

## ¿CUÁL ES EL PROCEDIMIENTO DE IMPLEMENTACIÓN?

Para la implementación de un sistema de captación de agua de lluvia, el establecimiento interesado debe de solicitar por medio de la alcaldía auxiliar la instalación de dicho sistema, un supervisor de la municipalidad analiza el lugar y evalúa si cumple con los requerimientos mínimos, como un área disponible para colocar los cuatro recipientes, y la altura, que puede variar dependiendo de las condiciones de cada lugar. Si el agua filtrada va a una cisterna, la altura mínima de techo puede ser de 2.50 m. Si se busca almacenar el agua en un depósito, la altura

mínima debe ser de 3.00 m. Estas dimensiones son aplicables para un aprovechamiento de agua de 3 a 5 m<sup>3</sup>/día con un área de techo mínima de 120 m<sup>2</sup>.

Luego de realizar la evaluación, se procede al diseño arquitectónico del sistema. Una vez finalizado este paso, se inicia la etapa administrativa: si el proyecto es aprobado se procede a su instalación.

Para un mejor servicio existe un encargado de supervisar los sistemas, este designa al personal que dará mantenimiento cuando sea necesario, para asegurar que en época de lluvia el sistema cumpla con su objetivo.

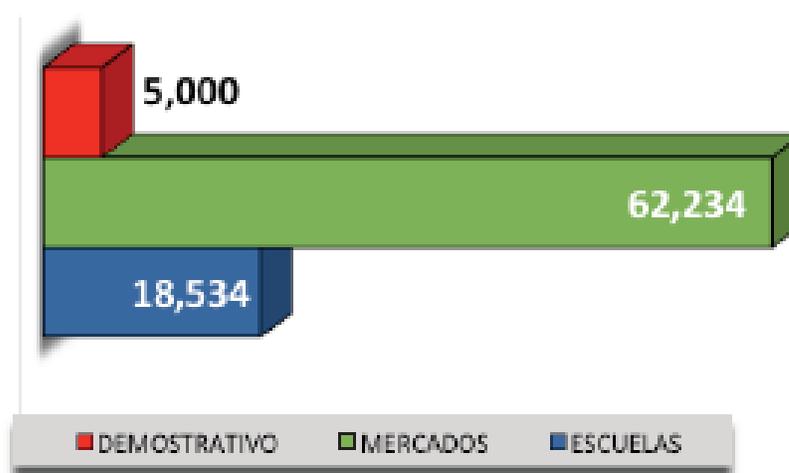


## NÚMERO DE BENEFICIARIOS

El número de beneficiarios hace referencia a la cantidad de personas que hace uso directo o indirecto del agua que se cosecha por cada uno de los sistemas implementados, ya sea en escuelas o mercados. El total de beneficiarios es de 87,198 (ver gráfica 2).



## NÚMERO DE BENEFICIARIOS



Gráfica 2. Número de beneficiados por los sistemas de captación de agua de lluvia  
Fuente: UAAA 2016. Elaboración: Propia.



## CAPÍTULO 2

### ¿CÓMO FUNCIONA LA CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA?

¿Cómo trabaja el sistema?	16
Materiales	17
Calidad del agua cosechada y utilidad	21

## ¿CÓMO TRABAJA EL SISTEMA?

Se utilizan toneles que funcionan como filtros. El agua captada en los techos es conducida por canales y tuberías de PVC de 3" hacia el primer recipiente, que contiene piedra bola de 3", la cual actúa como una trampa que retiene materiales no deseados, como hojas de árboles o bolsas. Este filtro tiene un tubo perforado que ayuda a disipar el agua que ingresa. Mide aproximadamente 30 cm de largo. El diámetro de las perforaciones es de ¼" y guardan una distancia de ½" entre cada una de ellas.

El agua que se almacena en este recipiente pasa al segundo filtro, por rebalse, a través de una tubería de 3". Este segundo recipiente contiene grava gruesa de diferentes proporciones y geotextil entre cada una de ellas. El agua ya captada en el segundo recipiente, por efecto de la gravedad, pasa al tercero. Estos dos están interconectados con una tubería de PVC de 3". Este recipiente contiene arena de sílice de dos tamices, geotextil y carbón activado con cierta carga iónica que mejora las propiedades del agua.



Todo el sistema cuenta con un diseño de autosostenibilidad: si la precipitación llegara a superar la capacidad del sistema, este tiene rebalses para que no colapse; también cuenta con llaves de globo de 2", ya sea para su mantenimiento o si no se requiriera almacenar agua.

A todas las perforaciones que se realizan en los recipientes para instalar los accesorios de PVC hembras y machos, se les coloca un empaque de hule y se les aplica un sellador elástico (sikaflex) para evitar fugas de agua.

La circulación del agua se logra por medio de la gravedad.

Dependiendo del espacio disponible y la necesidad, se utilizan cuatro aljibes de distinta capacidad de almacenamiento: de 1100 L, 1250 L, 2500 L y 5000 L (ver imagen 4).

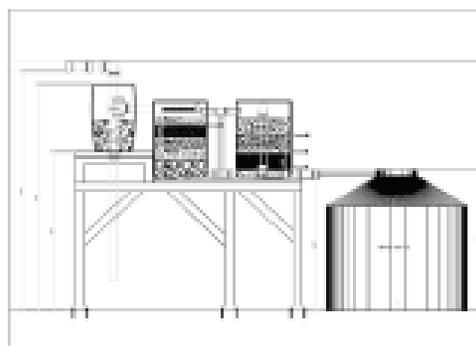


Imagen 4. Diseño arquitectónico de un sistema de captación de agua de lluvia

Fuente y Elaboración: UAAA 2016



Imagen 5. Sistema de captación de agua de lluvia implementado en la plaza El Amate, zona 1  
Fuente: UAA 2015

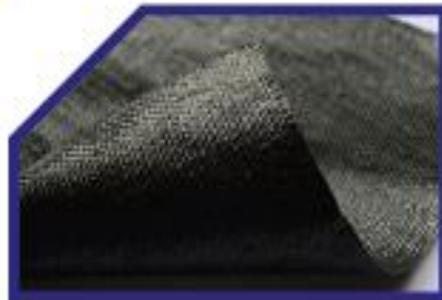
## MATERIALES

Para realizar un sistema de captación de agua de lluvia, se necesita lo siguiente:

LISTADO DE MATERIALES			
No.	MATERIAL	UNIDAD	CANTIDAD
1	tubo de drenaje de 4"	unidad	24
2	tubo de 3"	unidad	6
3	tubo de 2"	unidad	3

4	codo de 90° de 4"	unidad	20
5	codo de 90° de 3"	unidad	34
6	codo de 90° de 2"	unidad	4
7	te de 4"	unidad	19
8	te de 3"	unidad	14
9	te de 2"	unidad	10
10	reducidor de 4" a 3"	unidad	20
11	reducidor de 3" a 2"	unidad	12
12	tonel plástico con tapadera	unidad	12
13	pegamento de PVC	1/4	4
14	arena de río	m3	0.5
15	pedrín de 1/2"	m3	1
16	pedrín de 1"	m3	1
17	piedra grande	m3	0.5
18	llave de paso de 2"	unidad	10
19	tapón de 3"	unidad	8
20	tabla de 9'x1'x2"	unidad	12
21	costanera de 4x2x1/16	unidad	20
22	electrodo	libra	10
23	tomillo busca rosca de 2 1/2x1/4	unidad	50

24	concreto	m3	1
25	thinner	galón	4
26	anclaje de metal	unidad	20
27	codo de 45° de 3"		8
28	pliegos de lija grano medio	unidad	5
29	brochas de 4"	unidad	5
30	tubo PVC, 125 psi de 2"	unidad	6
31	perno hiltin 3/8"x3"	unidad	88
32	adaptador macho con rosca 3"	unidad	25
33	adaptador hembra con rosca 3"	unidad	25
34	válvula de flote de 2"	unidad	1
35	sikaflex	unidad	1
36	tinaco de 2500 litros	unidad	2
37	carbón activado	m3	0.5
38	arena sílica -16	m3	0.5
39	arena sílica -8	m3	0.5
40	adaptador macho con rosca 2"	unidad	15
41	adaptador hembra con rosca 2"	unidad	15
42	alfombra plástica	m2	2
43	geotextil	m2	15



## CALIDAD DEL AGUA COSECHADA Y UTILIDAD

Según Sierra 2011, la calidad del agua depende del uso que se le quiera dar, y el agua, a su vez, está determinada por diferentes parámetros que caracterizan su calidad.

Los parámetros de calidad varían en importancia dependiendo del tipo de uso. Así, por ejemplo, los problemas y, por tanto, los criterios, para el uso del agua en la agricultura están relacionados principalmente con la salinidad, los metales pesados, los nutrientes, los sólidos suspendidos y los patógenos.

En el año 2016, se realizó un análisis fisicoquímico y microbiológico del agua cosechada en los sistemas implementados en las escuelas de las zonas 24 y 25 de la ciudad de Guatemala. Los resultados revelaron que los filtros son efectivos en la parte fisicoquímica,

disminuyendo significativamente los valores, según la norma guatemalteca COGUANOR 29001 para agua potable. En el caso de los resultados microbiológicos, el sistema no es efectivo, ya que no disminuye o elimina los parámetros evaluados (coliformes totales y *E.coli*).

Estos resultados revelan que el agua analizada en estas escuelas no es apta para el consumo, pues no cumple con todos los requerimientos descritos por la norma COGUANOR 29001, el agua cosechada en los sistemas de captación pluvial en techos no es recomendable para el consumo humano.

Sin embargo, puede destinarse a usos domésticos, como la limpieza de baños, el riego de plantas ornamentales, servicios sanitarios, y limpieza de infraestructura.

Con respecto al uso del agua en la industria, no es recomendable debido a que tiene propiedades corrosivas.







## CAPÍTULO 3

### ¿POR QUÉ ES IMPORTANTE LA CAPTACIÓN DE AGUA PLUVIAL?

Beneficios Sociales	24
Beneficios Económicos	25
Beneficios Ambientales	25
Ventajas	26



## BENEFICIOS SOCIALES

Según Tierramor (2005), la disponibilidad del agua dulce para consumo humano, la ganadería y el riego de los cultivos es el factor más indispensable para la vida.

El agua y sus características permitieron la evolución en este planeta, sin ella no habría vida, es nuestro recurso más precioso y debe tratarse como tal.

Considerando lo anterior, y que el servicio de agua potable es variable alrededor del área metropolitana, los SCAPT se convierten en el mejor instrumento para minorar la extrema desigualdad de distribución, que lamentablemente existe en torno al agua, sufragar las necesidades de las personas que sufren de un servicio irregular y mejorar con ello la calidad de vida.

Al utilizar esta alternativa se logra disminuir el volumen de agua llovediza que entra al sistema de drenaje combinado (agua residual y pluvial), evitando su saturación, reduciendo las inundaciones y el volumen de descargas de aguas negras, y aumentando la disponibilidad de agua para otros usos.

Esta opción ayuda a reducir la utilización de energía y de químicos para tratar el agua de

lluvia en la ciudad capital, disminuyendo también el gasto que genera desplazar y tratar las aguas residuales del drenaje a distancias lejanas.

Asimismo, reduce el volumen de agua potable destinada a usos de agua no potable (sanitarios, riego, limpieza), lo que conlleva a una reducción directa en el monto de la factura de agua del hogar.

Según los estudios recientemente publicados por el ICTA-UAB (Instituto de Ciencia y Tecnología Ambiental de la Universidad de Barcelona), los hogares con sistemas de recuperación de agua pluvial ahorran más de 5 euros por cada 10 ciclos de lavado. Esto se debe a que el agua de lluvia tiene características distintas a las del agua proveniente de otras fuentes. El nivel de dureza, o proporción de minerales que posee, es bajo, y esto hace posible reducir la cantidad de detergentes y suavizantes utilizados durante el lavado, lo que explica dicho ahorro.

Por otra parte, el uso de estos sistemas domésticos de aprovechamiento del agua de lluvia despierta en la población una conciencia acerca del uso racional de este recurso, lo cual promueve una cultura de conservación de las fuentes de agua como ríos, lagos y otras reservas de agua potable.



## BENEFICIOS ECONÓMICOS

Los beneficios económicos que se obtienen al implementar sistemas de captación de agua de lluvia en techos son los siguientes:

- Ahorro económico
- Beneficio fiscal
- Menor gasto en servicios de pipas o distribución de agua entubada
- Reserva de agua en caso de escasez o emergencia
- Ahorro de energía
- Plusvalía a la construcción
- Gratuidad del servicio y fácil mantenimiento
- Utilización del agua en actividades que no impliquen su consumo
- Reducción en las tarifas de agua potable entubada, debido a la disminución de su uso en tareas para agua no potable.
- Generación de empleo y uso de materiales locales, al implementar el sistema



## BENEFICIOS AMBIENTALES

- Recarga los acuíferos abatidos
- Conservación de las reservas de agua potable (ríos, lagos, humedales)
- Fomento de una cultura de conservación y uso óptimo del agua
- Cuidado del agua y medio ambiente
- Uso alternativo del agua de lluvia
- Mayor disponibilidad de agua potable
- Reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>
- Reciclaje del agua de lluvia
- Reducción de sobreexplotación de mantos acuíferos

- Contribución a la reducción de la extracción de agua del subsuelo
- Reducción de la escorrentía y erosión del suelo
- Reducción de criaderos de mosquitos

## VENTAJAS

Los sistemas de captación de agua de lluvia presentan las siguientes ventajas:

- Alta calidad fisicoquímica del agua de lluvia
- Sistema independiente y, por lo tanto, ideal para comunidades dispersas y alejadas
- Empleo de mano de obra y/o materiales locales
- No requiere energía para la operación del sistema
- Fácil de mantener
- Comodidad y ahorro de tiempo en la recolección del agua de lluvia
- Aprovechamiento del agua de lluvia
- Accesibilidad para obtener recursos de mantenimiento y funcionamiento.

## BIBLIOGRAFÍA

- Herrero, S. Agua, su aprovechamiento en la agricultura. 1955. México, D.F. Segunda edición. J. Meza Nieto.
- Sierra, C. Calidad del Agua. 2011. Medellín, Colombia. Edición de la U. Primera edición.
- Agua de lluvia. Consultado el 17 de febrero 2017 (en línea): <http://blogs.iadb.org/ciudadessostenibles/2016/04/19/agua-de-lluvia/>
- Agua Pluvial. Consultado el 15 de febrero 2017 (en línea): [http://www.colmayor.edu.co/archivos/315\\_gustavo\\_correaaguas\\_lluvia\\_5kzom.pdf](http://www.colmayor.edu.co/archivos/315_gustavo_correaaguas_lluvia_5kzom.pdf)
- CONAGUA. La Cuenca. Publicaciones semestrales de la Gerencia Regional Cuenca Central del Norte. 2005. Torreón Coahuila, México.
- Periódico digital de divulgación de la red del agua UNAM, número 1. Sistemas de captación de agua de lluvia Rain wáter. 2017. México.
- Del Barrio, R. La cosecha de agua de lluvia. 2016. España. ABENGOA Consultado el 10 de febrero 2017 (en línea): <http://www.laenergiadelcambio.com/dia-a-dia/>
- González, M. 2009. Evaluación de campo de los materiales de los proyectos ejecutados para la captación de agua de lluvia en los departamentos de Alta Verapaz y Chiquimula. Ing. Civil. Guatemala, USAC. 152 p.
- González, C., Lozada, W, (2009) Manejo y control de las aguas de escorrentía para mantener la calidad del agua, Servicio de Extensión Agrícola -UPR.
- Guía del agua y la construcción sustentable, publicado por Agua.org y la Fundación Gonzalo Río Arrente. 2008. México. Consultado el 22 de marzo 2017 (en línea): <http://agricultura.uprm.edu/escorrentia/Material%20educativo/Agua%20de%20escorrentia%20estudiantes%20elemental.pdf>

