



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

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE TANQUES  
DE ALMACENAMIENTO DE AGUA PLUVIAL, PARA RIEGO DE JARDINES,  
EN EDIFICIOS RESIDENCIALES DE LA CIUDAD DE GUATEMALA**

**Christian Manuel Berganza León**

Asesorado por el Ing. MSc. Juan Carlos Fuentes Montepeque

Guatemala, agosto de 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE TANQUES  
DE ALMACENAMIENTO DE AGUA PLUVIAL, PARA RIEGO DE JARDINES,  
EN EDIFICIOS RESIDENCIALES DE LA CIUDAD DE GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

**CHRISTIAN MANUEL BERGANZA LEÓN**

ASESORADO POR EL ING. MSC. JUAN CARLOS FUENTES MONTEPEQUE

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO CIVIL**

GUATEMALA, AGOSTO DE 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
VOCAL V	Br. Sergio Alejandro Donis Soto
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Carlos Salvador Gordillo García
EXAMINADOR	Ing. Ronald Estuardo Galindo Cabrera
EXAMINADOR	Ing. Alejandro Castañón López
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

## HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

### **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE AGUA PLUVIAL, PARA RIEGO DE JARDINES, EN EDIFICIOS RESIDENCIALES DE LA CIUDAD DE GUATEMALA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Posgrado, con fecha 24 de julio de 2013.



Christian Manuel Berganza León



Escuela de Estudios de Postgrado  
Facultad de Ingeniería  
Teléfono 2418-9142

000015

ADSE-MEAPP-0023-2013

Guatemala, 24 de julio de 2013.

Director:  
Hugo Leonel Montenegro Franco  
Escuela de Ingeniería Civil  
Presente.

Estimado Director:

Reciba un atento y cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado. El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado los cursos aprobados del primer año y el Diseño de Investigación del estudiante **Christian Manuel Berganza León** con carné número **2002-12098**, quien opto la modalidad del **"PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO"**. Previo a culminar sus estudios en la **Maestría de Energía y Ambiente**.

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

Sin otro particular, atentamente,

"Id y enseñad a todos"

Ing. Juan C. Fuentes M.  
M.Sc. Hidrología  
Colegiado No. 2,504

Ing. Juan C. Fuentes M.  
M.Sc. Hidrología  
Colegiado No. 2,504

MSc. Ing. Juan Carlos Fuentes M.  
Asesor (a)

MSc. Ing. Juan Carlos Fuentes Montepeque  
Coordinador de Área  
Desarrollo social y energético

Dra. Mayra Virginia Castillo Montes  
Directora  
Escuela de Estudios de Postgrado



Cc: archivo/la



Guatemala,  
8 de agosto de 2013  
Ref. IC. 043.13

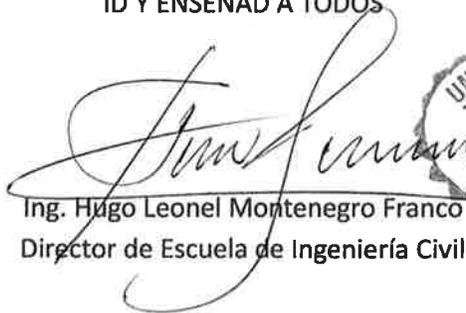
Ingeniero  
Hugo Humberto Rivera Pérez  
Secretario Académico  
Facultad de Ingeniería  
Guatemala

Ingeniero Rivera.

De manera atenta informo a usted que el estudiante Christian Manuel Berganza León, Carnet No. 200212098, ha cumplido con el proceso de graduación de Licenciatura mediante la modalidad "Estudio de Postgrado", presentando a esta Dirección de Escuela el DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE AGUA PLUVIAL, PARA RIEGO DE JARDINES, EN EDIFICIOS RESIDENCIALES DE LA CIUDAD DE GUATEMALA, asesorado por el MSc. Ing. Juan Carlos Fuentes Montepeque, debidamente aprobado por la Dirección de Escuela de Estudios de Postgrado, por lo que en calidad de Director de la Escuela de Ingeniería Civil, doy mi visto bueno para continuar con el procedimiento correspondiente.

Sin otro particular me suscribo de usted.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

  
Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco  
Director de Escuela de Ingeniería Civil



/bbdeb.

**Mas de 134 años de Trabajo Académico y Mejora Continua**



Universidad de San Carlos  
de Guatemala



Facultad de Ingeniería  
Decanato

DTG. 554.2013

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE AGUA PLUVIAL, PARA RIEGO DE JARDINES, EN EDIFICIOS RESIDENCIALES DE LA CIUDAD DE GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario **Christian Manuel Berganza León**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos  
Decano

Guatemala, 9 de agosto de 2013

/gdech



## **ACTO QUE DEDICO A:**

- Dios** Por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mí camino aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.
- Mis padres** Nicolás Berganza y Elida de Berganza. Por estar a mi lado apoyándome y aconsejándome en cada momento de mi carrera, además de su amor incondicional.
- Mi esposa** Maria Gabriela Escalante de Berganza. Por su amor excepcional, además de ser mi inspiración para lograr la meta en este camino tan arduo.
- Mis hermanos** Elmer, Lesbia, Byron Berganza. Por ser una importante influencia en mi carrera, apoyándome y aconsejándome siempre.
- Mis amigos** Jorge Zamora, Mauricio Palomo, José Quan. Porque de una u otra manera, sus consejos fueron usados a lo largo de la carrera para fortalecer mis estudios.

**Resto de familia**

Porque de una u otra manera me han llenado de sabiduría.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Dios</b>	Por permitirme llegar hasta donde he llegado y por estar siempre a mi lado.
<b>La Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por ser mi casa de estudios.
<b>Facultad de Ingeniería</b>	Por haberme formado profesionalmente, en especial a las escuelas de Ingeniería Civil y de Estudios de Postgrado por todo lo enseñado.
<b>Mis amigos de la facultad</b>	Israel Peinado, Ana Lucía Sánchez, Luis Sazo, Abel Mancilla, María Santizo, Paolo Contenti, Roger Ríos, Nery Contreras, Fabián Salatino, Gabriel Aguilar, Rolando Diaz. Por los momentos de esfuerzo para lograr nuestras metas
<b>Ing. Juan Carlos Fuentes Montepeque</b>	Por aceptar asesorar este trabajo y por toda su ayuda desinteresada.
<b>Mi familia</b>	Por estar siempre pendientes de mí y compartir conmigo mis penas y alegrías.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	III
LISTA DE SÍMBOLOS .....	V
GLOSARIO .....	VII
RESUMEN .....	IX
1. INTRODUCCIÓN .....	01
2. ANTECEDENTES .....	03
3. OBJETIVOS .....	07
4. JUSTIFICACIÓN .....	09
5. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	11
6. ALCANCES .....	17
7. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL .....	19
7.1. Generalidades del agua.....	19
7.1.1. Razones de escasez .....	19
7.1.1.1. La temporalidad del recurso agua .....	19
7.1.1.2. La contaminación de la misma .....	19
7.1.2. Fuentes de agua.....	20
7.1.2.1. Agua subterránea .....	20
7.1.2.2. Agua superficial .....	20

7.1.2.3.	Agua de lluvia .....	21
7.2.	Tarifas y costo del agua en la ciudad de Guatemala .....	22
7.3.	El agua y el urbanismo .....	22
7.4.	Principios de captación de agua de lluvia.....	23
7.4.1.	Captación .....	24
7.4.2.	Recolección y conducción .....	25
7.4.3.	Interceptor de primeras lluvias.....	25
7.4.4.	Almacenamiento .....	26
7.4.5.	Red de distribución de agua lluvia y sistema de bombeo.....	27
7.5.	Precipitación en la ciudad de Guatemala .....	27
7.6.	Consumo de agua de las plantas .....	28
7.7.	Consumo energético de distribución de agua.....	28
8.	HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN .....	29
9.	CONTENIDO PROPUESTO DEL INFORME FINAL.....	31
10.	MÉTODOS Y TÉCNICAS.....	33
11.	RESULTADOS ESPERADOS.....	45
12.	CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES .....	47
13.	RECURSOS NECESARIOS.....	49
14.	BIBLIOGRAFÍA .....	51

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Distribución global del agua .....	11
2.	Sistema típico de captación de agua de lluvia en techos .....	24
3.	Precipitación total anual de la estación pluviométrica INSIVUMEH zona 13.....	36
4.	Precipitación promedio mensual de la estación pluviométrica INSIVUMEH zona 13.....	37

### TABLAS

I.	Parámetros para la reutilización del agua desde el punto de vista agrícola .....	43
II.	Costo para la realización de investigación.....	49



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>Cd</b>	Cadmio
<b>COD</b>	Carbono orgánico disuelto
<b>Cl</b>	Cloro
<b>CFU</b>	Colony-forming unit o unidad formadora de colonias
<b>BOD</b>	Demanda bioquímica de oxígeno o DBO
<b>mg</b>	Magnesio
<b>MWh</b>	Mega Vatio hora
<b>Hg</b>	Mercurio
<b>m</b>	Metro
<b>m<sup>2</sup></b>	Metro cuadrado
<b>m<sup>3</sup></b>	Metro cúbico
<b>NTU</b>	Nephelometric Turbidity Unit, medida de medición para turbidez de agua
<b>N</b>	Nitrógeno
<b>TDS</b>	Sólidos disueltos totales
<b>TSS</b>	Total de sólidos en suspensión
<b>U.</b>	Unidad



## GLOSARIO

<b>Amianto</b>	Material fibroso, también es llamado asbesto
<b>Bio-fouling</b>	Es la acumulación de microorganismos indeseables, como bacterias, hongos, algas entre otras, que se adhieren a superficies a las superficies principalmente degradadas.
<b>Captación</b>	Forma o estructura para el almacenamiento de agua.
<b>Ciclo hidrológico</b>	Período de transformación del agua desde su estado sólido, pasando por líquido y gaseoso.
<b>Corredor seco</b>	Franja interoceánica de la República de Guatemala, comprendida principalmente por los departamentos de Baja Verapaz, Zacapa, El Progreso, Jalapa, Chiquimula, Jutiapa y Santa Rosa.
<b>Elemento traza</b>	Bioelementos presentes en pequeñas cantidades en el agua, en exceso llegan a ser perjudiciales a la salud humana.
<b>Escorrentía</b>	Se define como el agua de lluvia escurrida hacia una cuenca o lugar determinado.
<b>Ferro-cemento</b>	Mezcla de materiales o fibras metálicas con cemento.

<b>Fitotóxico</b>	Toxicidad de algún producto químico para plantas cultivadas.
<b>Permafrost</b>	Capa de hielo permanente en los niveles superficiales del suelo.
<b>Precipitación</b>	Para la ciudad de Guatemala es la lluvia que llega a la superficie de la tierra.
<b>Primeras aguas</b>	Se les llama a las primeras lluvias presentes en la época de lluvias.
<b>Propiedad horizontal</b>	Régimen legal utilizado para las propiedades de edificios.

## RESUMEN

En el 2013, no se tienen estudios realizados sobre la captación de agua de lluvia en la ciudad de Guatemala. Se tiene registros sobre estudios de captación de agua de lluvia en regiones rurales principalmente en el oriente de la república, esto debido a que en el llamado corredor seco, los meses de lluvia son menores que en las demás regiones del país.

Se han realizado estudios que analizan que la construcción de tanques de almacenamiento de agua de lluvia es factible y rentable según las condiciones específicas de cada proyecto o condición.

Por lo tanto la utilización de sistemas para el aprovechamiento de agua de lluvia en los sistemas de riego de los edificios de la ciudad de Guatemala puede evitar, por distintos efectos el mal uso del recurso hídrico, el cual está decreciendo cada día; es decir que aunque la cantidad disponible de agua siempre sea la misma, la calidad es cada día menor. De esta manera se puede evitar, según la escala del uso esta investigación, el cambio climático del planeta.

Los principios básicos para la captación de agua de lluvia vienen dados por las variables de la arquitectura, forma y área de los edificios, principalmente la superficie de recolección del agua o de captura. Un sistema básico está compuesto por los siguientes componentes:

- Captación
- Recolección

- Interceptor de primeras aguas
- Almacenamiento

La principal evaluación es la revisión de las condiciones de la ciudad de Guatemala para verificar si se cumple con las condiciones de precipitación necesarias para el almacenamiento y posterior uso por las plantas de los jardines según el área de captación así como el área de riego.

# 1. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo se realiza dentro de las líneas de investigación de la Maestría en Energía y Ambiente de la Escuela de Posgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, dentro de la línea de investigación de la “Gestión y tratamiento de agua” y la temática “Captación y tratamiento de agua para consumo” y puntualmente en edificios de ciudad de Guatemala. De tal forma que se harán análisis de posibles áreas de captación de agua de lluvia de los edificios y los volúmenes de captación que los mismos pueden generar según las condiciones de precipitación específicas de la ciudad de Guatemala, ya que debido estas condiciones se puede reutilizar el agua para el riego en jardines de los mismos.

Se hará un análisis de los parámetros meteorológicos y físicos que intervienen en el volumen de captación y su posterior reutilización, específicamente área de captación de edificios, que constituye el tema central de investigación. Asimismo, se consultarán los conceptos básicos de volúmenes de captación según el área de captación y precipitación existente en la literatura, para poder determinar los volúmenes de captación según las condiciones específicas de la ciudad de Guatemala. Además se deberá evaluar el área de los jardines, como el consumo de agua de las diferentes especies utilizadas en el mismo. Todo lo anterior para generar una guía metodológica para el diseño de estos tanques debido a las condiciones específicas de cada edificio.

Se plantea como objetivo de este trabajo, establecer las condiciones mínimas para satisfacer las necesidades de los jardines, según su área y condiciones específicas en edificios residenciales. La misma pretende comprobar que las condiciones meteorológicas de la ciudad de Guatemala, satisfacen las necesidades de agua de las plantas de los jardines de un edificio, para poder captarla y reutilizarla para su posterior reutilización para los días que las necesites las mismas, como complemento de la red original de distribución.

El procedimiento exploratorio se realizará en cuatro fases siendo estas: bases para el aprovechamiento del agua de lluvia, análisis del área de los edificios, elaboración de guía para diseño, análisis de ahorro energético en la utilización de estos sistemas.

El análisis se enfoca en obtener la idoneidad de los tanques de almacenamiento en función de:

- Área de captación de lluvia
- Área de jardines en los edificios
- Altura del edificio
- Tipos de plantas utilizadas en los jardines

Asimismo, se espera desarrollar una guía metodológica para que pueda ser aprovechada por posteriores lectores con el fin de ampliar en este tema.

Además se realizará un análisis de los posibles impactos ambientales que se pueden mitigar tras los ahorros de consumo eléctrico del uso de estos tanques.

## 2. ANTECEDENTES

La mayor parte de los estudios sobre la captación y reutilización del agua de lluvia se han realizado para sistemas agrícolas, esto debido a que por las extensiones de tierra utilizadas por la agroindustria se puede realizar el almacenaje de volúmenes que satisfacen la necesidad de grandes extensiones de cultivos, así como la construcción tanques de almacenaje a un costo bajo. (Ballen, Galarza, & Ortiz, 2006).

En el 2013, no se tienen estudios realizados sobre la captación de agua de lluvia en la ciudad de Guatemala. Se tiene registros sobre estudios de captación de agua de lluvia en regiones rurales principalmente en el oriente de la república, esto debido a que en el llamado corredor seco, los meses de lluvia son menores que en las demás regiones del país. Además, esto se agrava ya que existen pocas afluentes superficiales para poder abastecer en la época seca y en la mayoría de los casos, la ubicación de las viviendas se encuentra lejos de un afluente superficial, para satisfacer las necesidades de consumo durante todo el año.

En el oriente del país se han promovido varios sistemas de captación de agua de lluvia a través de sistemas de canales en techos y recolección o almacenaje en tanque plásticos, con recomendaciones principalmente por organizaciones internacionales. (Landívar, 2004).

En la India y en países europeos es donde se ven los principales avances de promoción de estos sistemas por parte de los gobiernos, e inclusive el caso específico de la India obliga a los nuevos edificios a establecer sistemas de

captación de agua de lluvia para su reutilización de forma obligatoria. (Arroyo, 2010).

El concepto básico para la realización de la captación de agua es que exista una zona de techo o de suelo duro o compactado donde exista escorrentía superficial y la misma se pueda conducir hacia un punto, ya sea a través de conducción superficialmente o entubada, con el fin de almacenarla para su uso o consumo posterior principalmente durante la época de escases. Este fin da como resultado que debe existir un balance entre la cantidad de agua que llueve, la cantidad que se puede almacenar y la cantidad que va a consumir. (Arroyo, 2010).

Se han realizado estudios que analizan que la construcción de tanques de almacenamiento de agua de lluvia es factible y rentable según las condiciones específicas de cada proyecto o condición. (Lara, Torres, Campos, Duarte, Echeverri, & Villegas, 2007).

En Australia, considerado el país más árido del mundo, se han realizado estudios sobre la viabilidad de sistemas de almacenamiento de agua de lluvia para edificios de varios niveles, dando como resultados datos estadísticos sobre su viabilidad y posible construcción. (Rahman, Dbais, & Imteaz, 2010).

Palacio Natalia (2010) estableció un diseño de captación de agua lluvia para un establecimiento público en Antioquia, Colombia, dando como resultado que el mismo puede suplir el 100 % del agua durante 9 meses y 90 % del total del agua necesaria por la institución en los 3 meses restantes. Así solo se es necesario un 10 % del consumo total durante 3 meses.

Adbulla y Al-Shareef (2006) investigaron sobre el potencial de la utilización de agua de lluvia recolectada en techos de casas almacenándola en tanques residenciales, para su posterior uso en uso domestico, en un país árido como Jordania. Sus resultados fueron que la variabilidad de ese país hace complicada la construcción de los mismos y se consiguen resultados desde un ahorro de 0,27 % a 19,7 % de agua potable para las viviendas, lo cual no representa una condición estable.



### **3. OBJETIVOS**

#### **General**

Establecer los parámetros para implementar tanques de captación de agua de lluvias en edificios residenciales de la ciudad de Guatemala como alternativa de ahorro energético y agua potable.

#### **Específicos**

1. Establecer las condiciones mínimas para satisfacer las necesidades de los jardines según su área y condiciones específicas en edificios residenciales.
2. Establecer la factibilidad técnica de construir tanques de almacenamiento de agua de lluvia en edificios residenciales en la ciudad de Guatemala.
3. Establecer si las condiciones ambientales en la ciudad de Guatemala representan un ahorro energético y de recursos hídricos, utilizando tanques de almacenamiento de agua de lluvia.



## 4. JUSTIFICACIÓN

La presente investigación se realiza debido al poco o vago conocimiento sobre la captación del agua de lluvia en la ciudad de Guatemala, la cual puede ser reutilizada para distintas actividades que no necesiten un agua con tratamiento de potabilización, como lo es el riego de jardines.

Esta investigación está basada en las líneas de investigación de gestión y tratamiento del agua, conservación y uso eficiente de la energía así como del cambio climático.

En el país se hace uso de sistemas de captación de agua de lluvia pero en su mayor parte en regiones donde el agua potable es inaccesible lo que la hace una práctica importante para el sostenimiento de las familias.

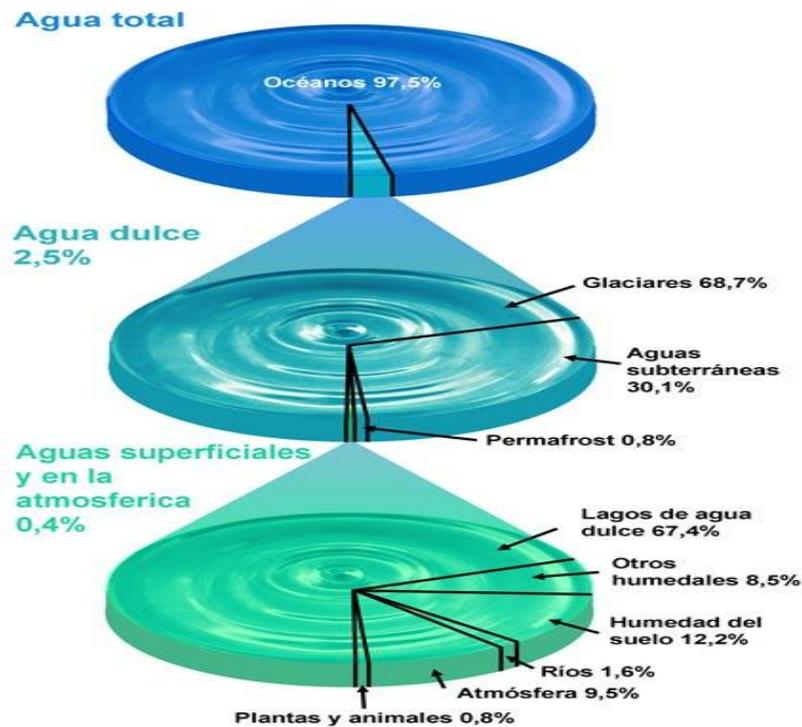
En sectores donde el agua potable no es escasa, no se ha desarrollado sistemas para el aprovechamiento del agua de lluvia. Es decir, se ha tendido a dar solución a las poblaciones con alto nivel de escasez de agua, pues se dan solo; cuando no existe red de agua potable, el suministro es deficiente o el agua tiene un costo muy alto. Se piensa en buscar sistemas alternativos de abastecimiento” (Ballen, Galarza, & Ortiz, 2006), pero no se han difundido dichas prácticas en las regiones donde, aunque haya buena disponibilidad, también se puede reducir la el consumo sobre las agua superficiales y subterráneas, y dar un mejor uso al recurso, en materia de ahorro y uso eficiente del mismo.

Por lo tanto la utilización de sistemas para el aprovechamiento de agua de lluvia en los sistemas de riego de los edificios de la ciudad de Guatemala puede evitar, por distintos efectos el mal uso del recurso hídrico, el cual está decreciendo cada día; es decir que aunque la cantidad disponible de agua siempre sea la misma, la calidad es cada día menor. De esta manera se puede evitar, según la escala del uso esta investigación, el cambio climático del planeta.

## 5. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El agua existe de manera natural en el mundo, y la misma se encuentra en distintas formas y lugares: en el aire, en la superficie, bajo el suelo y en los océanos, pero sólo el 2,5 % del agua total en el planeta es agua dulce, y aun más alarmante es que de éste valor solo el 0,4 % del agua dulce está en condiciones aptas para ser utilizadas por los seres vivos (figura 1).

Figura 1. Distribución global del agua



Fuente: Shiklomanov y Rodda. UNESCO. The United Nations World Water Development Report.

Además de esto, el cambio climático y las condiciones naturales en la distribución y la presencia del agua, son las situaciones naturales que complican el desarrollo sostenible de las comunidades. Algunas de los principales factores que afectan al recurso hídrico son:

- El crecimiento de la población
- Grandes cambios demográficos a medida que la población se desplaza de áreas rurales a urbanas.
- Mayores demandas de seguridad alimentaria y nivel de vida mayor
- Mayor competencia entre usuarios y usos
- Contaminación de origen industrial, municipal y agrícola
- Cambio climático o calentamiento global

En la actualidad aún se cree que el agua es un recurso renovable, pero esta es una mala interpretación del ciclo hidrológico, pues aunque el agua se encuentra en la Tierra en la misma cantidad (cambiando continuamente de estados), se hace a un lado de esta teoría la calidad del agua. Es por eso que aún se cree que el agua está recuperándose automática y continuamente mediante el ciclo hidrológico. Lo que conlleva en gran parte a que haya despilfarros y usos inadecuados del recurso hídrico. Se debe tomar en consideración que el presente ritmo de contaminación de las fuentes es mucho mayor que el tiempo de renovación del agua.

Es por esto que para lograr reducir un poco la problemática asociada con la presión existente sobre las cuencas hidrográficas, y dar un uso eficiente al recurso hídrico, se plantea la posibilidad de desarrollar una investigación para el diseño de tanques de almacenamiento de agua pluvial para riego de jardines en edificios residenciales, como una alternativa de ahorro de agua potable en

lugares de alto consumo de esta, como lo es por ejemplo, en edificios de ciudad de Guatemala.

La captación y aprovechamiento de las aguas lluvias es una técnica de la ingeniería que como tal tiene sus ventajas y desventajas. (Angrill, Rieradevall, Gabarell, & Farreny, 2010) (Abdulla & Al-Shareef, 2006) (Palacio, 2010) (Arroyo, 2010).

Entre las muchas razones que se han expresado anteriormente, los principales beneficios que se obtienen de almacenar y utilizar el agua lluvia, son los siguientes:

- Algunos sistemas no requieren de energía (eléctrica o mecánica) para operar ya que funcionan por gravedad.
- El agua lluvia es gratis, los únicos costos son los de recolección, almacenamiento y distribución.
- Alta calidad físico-química del agua lluvia
- Facilidad en la construcción debido a que se pueden utilizar materiales de la región, además implica bajos mantenimientos.
- El uso final del agua recolectada está situado cerca de la fuente, eliminando la necesidad de sistemas de distribución complejos y costosos.
- Se reduce, hasta cierto punto, las inundaciones y la erosión.
- El agua lluvia es ideal para riego de los jardines.
- Al recolectarse el agua lluvia, se reduce el caudal del alcantarillado pluvial, evitando así el ingreso de altos volúmenes a los sistemas de tratamiento de agua.
- La recolección y utilización del agua lluvia reduce los costos que se deben pagar a las empresas que distribuyen el agua o el consumo

directo de energía para obtención del mismo, debido a la disminución de los consumos de agua potable.

Algunas de las desventajas que presenta la utilización de las aguas lluvias para riego de jardines son:

- El agua captada depende de la precipitación del lugar, la cual puede ser incierta, especialmente en regiones urbanas, debido en parte, al cambio climático.
- Los altos costos iniciales de construcción del sistema (especialmente del tanque de almacenamiento), lo que puede volverlo financieramente no aceptado para algunos diseños de edificios.

Además en la actualidad las normas de construcción de algunos países del primer mundo como los son algunos países europeos, Estados Unidos y otros, están proponiendo mejorar las condiciones ambientales de los edificios, normando los diseños de las nuevas construcciones, buscando utilizar al máximo los recursos naturales, dentro de estos se encuentra la reutilización del agua de lluvia, almacenándola para su posterior uso.

Este estudio resolverá la desinformación sobre la captación de agua de lluvia en la ciudad de Guatemala, principalmente para edificios y así evitar los consumos energéticos que generan las bombas de riego y reutilizando el agua de lluvia. Esto evitará en gran medida, la sustracción de agua de los mantos freáticos, hasta evitar generar carbono debido al no consumo de energía eléctrica.

Por lo cual surgen las siguientes preguntas de investigación:

- ¿Existe un método para el diseño de tanques de captación de agua de lluvia en edificios de la ciudad de Guatemala?
- ¿Existen en la ciudad de Guatemala, las condiciones ambientales mínimas para satisfacer las necesidades de los jardines en edificios?
- ¿Es factible construir tanques de almacenamiento de agua de lluvia en edificios de la ciudad de Guatemala?
- ¿Las condiciones ambientales de la ciudad de Guatemala representan un ahorro energético e hídrico al utilizar tanques de almacenamiento de agua de lluvia?



## 6. ALCANCES

Al ser este un estudio exploratorio, por la escasa información que existe sobre el tema, se busca dar a conocer las condiciones aprovechables que existen en la actualidad en la ciudad de Guatemala sobre el almacenamiento de agua de lluvia.

De esta manera se podrá diseñar tanques de captación de agua de lluvia para las condiciones ambientales predominantes en la ciudad de Guatemala y su posterior uso en los jardines de los edificios específicamente.

Esto conllevará a disminuir el consumo energético, al no utilizar energía para el bombeo de agua de fuentes subterráneas. En las últimas dos décadas (Décadas del 2000 y 2010) ha existido un auge en el diseño de edificios verdes, es decir ambientalmente eficientes. Con lo cual se apoya a mejorar los diseños de los mismos.

Los alcances de la presente investigación están enfocados especialmente a los edificios residenciales de la ciudad de Guatemala, además de diferentes áreas como:

- Sistemas de almacenamiento de agua
- Ingenieros sanitaria
- Ingenieros hidrólogos
- Estudiantes de la carrera de Ingeniería Civil y Ambiental de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala
- Ingenieros civiles, ambientales, agrónomos y arquitectos en general.

- Proyectos de investigación, tanto de la Escuela de Posgrado como de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

## **7. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL**

### **7.1. Generalidades del agua**

En el mundo el agua dulce es el recurso renovable más importante para la vida humana y lamentablemente su escasez no es perceptible por todas las personas. Es más, existe regiones del planeta donde la idea popular es que este recurso es ilimitado. (Universidad Rafael Landívar, 2005).

#### **7.1.1. Razones de escasez**

Guatemala tiene la capacidad de ser un país exportador de agua, pero siempre se escucha que existe escasez en sectores específicos, tales como el oriente del país y directamente en las zonas urbanas muy pobladas, la ciudad de Guatemala es la primera en el país. Las razones principales son dos, siendo las siguientes:

##### **7.1.1.1. La temporalidad del recurso agua**

Existe una época de lluvias establecida de 4 meses que comprende de junio a septiembre.

##### **7.1.1.2. La contaminación de la misma**

Los ríos Las Vacas, Villa Lobos y Los Plátanos (comúnmente llamado Río Platanitos) en la ciudad de Guatemala están contaminados por actividades Industriales. (Universidad Rafael Landívar, 2005).

## **7.1.2. Fuentes de agua**

Esto da como resultado que las fuentes de agua potable en la ciudad de Guatemala, para consumo o utilización de los diferentes sectores que lo requieren sean dos:

### **7.1.2.1. Agua subterránea**

En la actualidad por no existir una norma reguladora de agua, cualquier persona puede perforar un pozo hacia el manto freático para la extracción de agua y hacer uso de este recurso a su conveniencia. Debido a que la Empresa Reguladora de Agua de la Municipalidad de Guatemala no es capaz de cumplir con todos los requerimientos de usuarios nuevos, sugiere que en los proyectos nuevos, los mismos sean abastecidos de agua subterránea. Los registros de 2009 indican que la extracción de pozos de agua municipales fue de más de 63 000 000 metros cúbicos en el año. En el presente, EMPAGUA no tiene registros del los pozos privados perforados en la ciudad y por consiguiente no existen datos de la extracción total de los mismos.

### **7.1.2.2. Agua superficial**

Esta se extrae de los embalses de ríos existentes. En la actualidad existen 5 embalses y plantas de tratamiento que abastecen la ciudad: Lo de Coy, Brigada, Santa Luisa, Cambray e Ilusiones. Las mismas extraen un volumen total de 63 000 000 metros cúbicos de agua para ser tratada y distribuida para su consumo. Sin embargo este trabajo cada día ha sido más costoso ya que las fuentes de extracción superficial están más contaminadas, principalmente por la actividad domestica e industrial. (Universidad Rafael Landívar, 2005) (Landívar, 2004) (EMPAGUA) (Instituto Nacional de Estadística de Guatemala).

### **7.1.2.3. Agua de lluvia**

Con respecto a la cantidad de agua proveniente de las precipitaciones en la ciudad de Guatemala, se presenta una precipitación media en los últimos 12 años de 1 275 milímetros. Sin embargo esta es muy variable e impredecible ya que en el 2009 considerado como seco, la precipitación total fue de 939 milímetros y el año siguiente (2010) catalogado como un año muy lluvioso con un total de 2 078 milímetros, recordado por la ocurrencia de la tormenta Agatha. (INSIVUMEH).

Esto da como análisis, el desaprovechamiento del recurso natural del agua de lluvia para almacenamiento y su posterior uso en la época de escasez. Así se podría evitar consumir agua con tratamiento de desinfección para su potabilización en actividades que no lo requieran.

Actualmente la reutilización del agua solo es realizada en casos extremos en comunidades donde es necesario o demandante por la época de escasez. Esto se da en casos donde se usan aguas grises de las pilas, lavaderos (lavado de ropa) y duchas para usos secundarios como inodoros u otros.

Y es más crítica la situación de la reutilización del agua de lluvia ya que esta solo se reutiliza para la actividad humana en pequeños casos. En algunas comunidades se han implementado sistemas de captación de techos cuando las mismas sufren condiciones extremas de sequia y no existe un sistema eficiente o adecuado de agua potable ya sea entubada municipal o privada. (Universidad Rafael Landívar, 2005).

## **7.2. Tarifas y costo del agua en la ciudad de Guatemala**

La tarifa de EMPAGUA (Empresa Municipal de Agua) es un tabla equivalente al uso del volumen de agua, es decir que esta está determinada a través del consumo mensual o medido. Para usuarios que con sumen una paja de agua (dos metros cúbicos de agua diarios o treinta metros cúbicos de agua al mes) el costo del metro cúbico es de Q. 3,13 sobre metros cúbicos es decir que al mes su pago total se encuentra en el orden de los Q. 187,80 más Q. 21,00 de cargo fijo y un 20 % del consumo por alcantarillado para un total de Q. 246,36. Esto se puede reducir drásticamente si consideramos que en la época de escases las viviendas, colonias, barrios, condominios y edificios con jardines, emplean el agua potable para el riego de jardines, actividades que conlleva a un gasto innecesario del recurso agua potable. (EMPAGUA) (Instituto Nacional de Estadística de Guatemala).

## **7.3. El agua y el urbanismo**

En la actualidad la ciudad de Guatemala se encuentra en un auge de construcción del sistema de propiedad horizontal (nombre legal del sistema constructivo vertical o edificios) debido a la densificación y a la necesidad de las personas por estar cerca de sus trabajos. Esto crea áreas que son tapizadas de concreto y a la vez se convierte en impermeables al efecto de la lluvia. Con el objetivo de llevar una vida sana mental (efecto de las áreas verdes con plantas), ambiente cómodo y sensación de no estar en un área muerta, los diseñadores han buscado la forma de presentar áreas verdes internas (dentro del terreno del edificio) en las edificaciones ya sea jardines en terrazas o áreas verdes perimetrales. Sin embargo estas son regadas con el agua del sistema de la edificación ya sea con agua privada, es decir del mismo edificio o con agua municipal.

En la búsqueda de la reutilización del agua de lluvia para evitar hacer uso innecesario del agua potable, se presenta la idea de la captación de la misma en tanque para su posterior uso en los jardines del complejo. Sin embargo para poder llevar a cabo dicho estudio se deben establecer los parámetros con los cuales se puede realizar, ya que la misma se debe establecer considerando: el área a abastecer (área de riego), el área de captación, el volumen de captación, la precipitación anual, mensual, diaria, días de secos, tipos de plantas, optimización del sistema de riego entre otros. (Ballen, Galarza, & Ortiz, 2006).

#### **7.4. Principios de captación de agua de lluvia**

Los principios básicos para la captación de agua de lluvia vienen dados por las variables de la arquitectura, forma y área de los edificios, principalmente la superficie de recolección del agua o de captura. Como primer segundo punto se debe de tener una red de conducción hacia el siguiente punto que es la recolección. El sistema de recolección o de almacenamiento es la parte más importante de este sistema ya que en esta parte se mantiene la cantidad y calidad del agua necesaria recolectada. En algunos casos se colocan sistemas de filtrado antes o después del almacenaje, esto será tanto sobre todo por la calidad del agua de la lluvia, como por la condición de los techos de captación. Como último punto del sistema está la línea de distribución que es muy importante ya que debe de distribuir solo la cantidad necesaria en el área destinada para evitar saturación en algunos lados y mala distribución que haga que se evapore el agua y no sea aprovechada por las plantas. (Arroyo, 2010) (Ventura, 2010).

Un sistema básico está compuesto por los siguientes componentes:

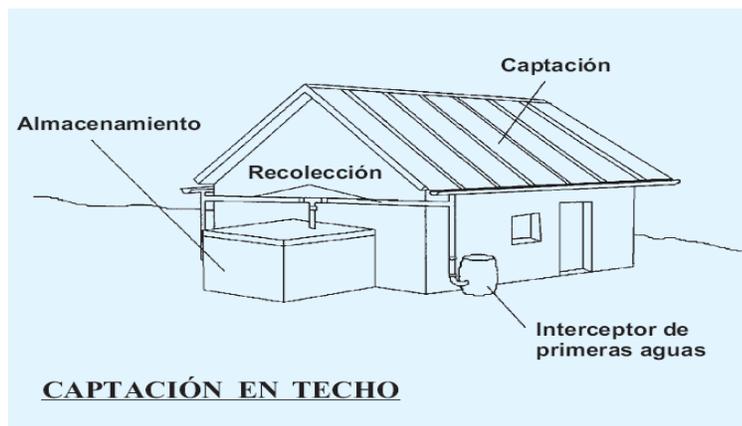
- Captación

- Recolección
- Interceptor de primeras aguas
- Almacenamiento

#### 7.4.1. Captación

Es la superficie destinada para la recolección del agua lluvia. La mayoría de los sistemas utilizan la captación en los techos, los cuales deben tener adecuada pendiente (no inferior al 5 %) y superficie, que faciliten el escurrimiento del agua lluvia hacia el sistema de recolección. Sin embargo en los edificios a estudiar por ser de losas planas las pendientes de las mismas son inferiores a estos valores (entre 0,5 % y 2 %).

Figura 2. Sistema típico de captación de agua de lluvia en techos



Fuente: Guía de Diseño para Captación de Agua de Lluvia. CEPIS, 2004.

Los materiales empleados para los techos pueden ser las tejas de arcilla, madera, paja, concreto, entre otros. Los techos de concreto y de teja son los más comunes debido a su durabilidad, el precio relativamente bajo y porque

proveen agua de buena calidad; los que tienen compuestos de asfalto, amianto o los que están pintados por condiciones de impermeabilización, se recomienda utilizarlos sólo cuando el agua captada no es para consumo humano, ya que pueden desprender materiales tóxicos en el agua lluvia (Abdulla & Al-Shareef, 2006).

#### **7.4.2. Recolección y conducción**

En las condiciones para edificios por tener losas planas se debe de conducir hacia la bajadas de agua o alcantarillas la cuales esta conectadas por tubería de PVC, en edificios modernos, dependiendo del área de captación se debe calcular el diámetro de las tubería así como una posible red conducción hasta el cuerpo receptor. Se recomienda que las tuberías sean como mínimo de 3 pulgadas y buscar que las áreas de captación no sobrepasen las 6 pulgadas (dependiendo el área de influencia), ya que puede volverse muy costoso a partir de ese diámetro.

#### **7.4.3. Interceptor de primeras lluvias**

Es el dispositivo que tiene como fin principal captar las primeras aguas de las lluvias que hacen el lavado del área de captación, para evitar el almacenamiento de aguas impuras. En el diseño de este tanque se debe tener en cuenta el volumen de agua requerido para lavar el techo y que se estima en 1 litro por metro cuadrado de techo. Se debe tener en cuenta que el agua recolectada temporalmente por el interceptor, también puede utilizarse para el riego de plantas o jardines.

El interceptor consta de un tanque, al cual entra el agua por medio de los bajantes. El tanque interceptor debe contar con una válvula de flotador que permita su llenado, cuando éste se llene, la válvula impedirá el paso del agua hacia el interceptor y la dirigirá hacia el tanque de almacenamiento. Adicionalmente debe tener una válvula de salida en la parte inferior del tanque para hacer el lavado o limpieza después de cada lluvia. (Palacio, 2010).

#### **7.4.4. Almacenamiento**

Es el depósito destinado para la acumulación, conservación y abastecimiento del agua lluvia a los diferentes usos. La unidad de almacenamiento debe ser duradera y debe cumplir con las especificaciones siguientes:

- Impermeable para evitar la pérdida de agua por filtraciones o transpiración.
- De no más de 2 metros de altura para minimizar las sobre presiones.
- Que el mismo sea cerrado para impedir el ingreso de polvo, insectos y de la luz solar.
- Que tenga registro con tapadera, lo suficientemente grande para que permita el ingreso de una persona para la limpieza y reparaciones necesarias.
- La entrada debe contar con mallas o filtros para evitar el ingreso de insectos y animales.
- Debe de tener un dispositivo para drenaje.

Los tipos de tanques de almacenamiento de agua lluvia a ser empleados pueden ser contruidos con los siguientes materiales:

- Mampostería para volúmenes menores (100 a 500 L)
- Ferro-cemento para cualquier volumen
- Concreto reforzado para cualquier volumen

#### **7.4.5. Red de distribución de agua lluvia y sistema de bombeo**

“La red debe ir paralela a la red hidráulica de agua potable, y debe llegar a los puntos hidráulicos donde se utilizará el agua lluvia, así que deberá protegerse la red de suministro de agua potable con una válvula de cheque para evitar que el agua lluvia se mezcle con el agua potable. El sistema de bombeo distribuirá el agua desde el tanque de almacenamiento hacia las unidades requeridas. Se debe tener presente que la tubería de succión de la bomba debe estar al menos 50cm por encima del fondo del tanque para evitar el arrastre de material sedimentado en caso sea por bombeo”. (Palacio, 2010) Para los sistemas por gravedad no existe problema debido a no existir bombas que puedan dañarse, sin embargo siempre es recomendable para poder hacer lavados o limpiezas de los tanques.

#### **7.5. Precipitación en la ciudad de Guatemala**

En la ciudad de Guatemala existe una variabilidad de la precipitación Pluvial de ya que dentro del mismo valle existes condiciones modificadas por el Urbanismo, así como variabilidad por la altura de cada sector (norte, sur, oriente y occidente). Sin embargo, las variaciones no son tan considerables por lo que existe la estación central de Medición en el Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH), en donde existen datos históricos de la precipitación pluvial en el valle de la Ermita.

## **7.6. Consumo de agua de las plantas**

En Barcelona, se ha estudiado que en los jardines se siembra diferentes especies de plantas y estas depende en gran medida del nivel socioeconómico de donde se encuentren los mismos. Esto por tema social y económico, ya que existen plantas con un mayor mantenimiento que para un nivel socioeconómico alto puede no representar una alta carga monetaria, sin embargo sucede lo contrario con el nivel socioeconómico bajo. Por lo mismo es complicado tener un parámetro exacto de las plantas que se siembran en los jardines. (Domene & David, 2003).

## **7.7. Consumo energético de distribución del agua**

Según estudio realizados en plantas de tratamiento de agua potable, se puede estimar que el consumo energético para producir y transportar 1 m<sup>3</sup> de agua potable se encuentra en el valor de 1,32 KWh. Según datos de consumo de 23 MWh para producir y transportar 29 522 m<sup>3</sup> de las plantas Mentzita y Vista Valle a la colonia Chapultepec Sur. (Arroyo, 2010)

## **8. HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN**

En la ciudad de Guatemala existen las condiciones necesarias para construir tanques de captación de agua de lluvia para satisfacer el riego de jardines de los edificios residenciales durante los días secos.



## **9. CONTENIDO PROPUESTO DE INFORME FINAL**

El contenido general del presente trabajo, se concentra en la construcción de una guía metodológica para el diseño de tanques de captación de agua de lluvia en los edificios residenciales de la ciudad de Guatemala.

El índice preliminar propuesto para el Informe Final se detalla a continuación:

1. ÍNDICE DE ILUSTRACIONES
2. GLOSARIO
3. INTRODUCCIÓN
4. ANTECEDENTES
5. OBJETIVOS
6. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN
7. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA
8. ALCANCES DEL TEMA
  
9. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL
  - 9.1. Generalidades del agua
    - 9.1.1. Temporalidad del recurso agua
    - 9.1.2. Contaminación del agua
  - 9.2. Fuentes de captación
    - 9.2.1. Agua subterránea
    - 9.2.2. Agua superficial
    - 9.2.3. Agua pluvial
  - 9.3. Tarifas y costo del agua en la ciudad de Guatemala
  - 9.4. El agua y el urbanismo

- 9.5. Principios de captación de agua de lluvia
  - 9.5.1. Captación
    - 9.5.1.1. Materiales y condiciones
  - 9.5.2. Recolección y conducción
    - 9.5.2.1. Condiciones
  - 9.5.3. Interceptor de primeras lluvias
  - 9.5.4. Almacenamiento
    - 9.5.4.1. Características de los tanques
    - 9.5.4.2. Materiales de construcción
  - 9.5.5. Red de distribución de agua de lluvia y sistemas de Bombeo
- 9.6. Precipitación en la ciudad de Guatemala
- 9.7. Consumo de agua de las plantas y jardines
- 9.8. Consumo energético de distribución del agua
  
- 10. HIPÓTESIS
- 11. DISCUSIÓN DE RESULTADOS
- 12. CONCLUSIONES
- 13. RECOMENDACIONES
- 14. BIBLIOGRAFÍA
- 15. ANEXOS

## 10. MÉTODOS Y TÉCNICAS

### Tipo de investigación

El presente estudio es de carácter exploratorio, ya que pretende analizar la aptitud de los edificios en la ciudad de Guatemala para tener tanques de captaciones de agua de lluvia y su posterior reutilización, debido a que no existen estudios sobre este tema.

### Tipo de hipótesis de investigación

La hipótesis de esta investigación es una hipótesis general, ya que pretende encontrar la relación de las variables ambientales climáticas de la ciudad de Guatemala para la captación de agua de lluvia.

### Tipos de variables

Las variables a evaluar son las siguientes:

Área de captación de los edificios: se realizarán el análisis con 3 tamaños o áreas de captación, con el fin de tomar un parámetro para la guía de diseño. Estos son de 1 000 m<sup>2</sup>, 2 000 m<sup>2</sup> y 3 000 m<sup>2</sup>.

Precipitación: según las condiciones específicas de la ciudad de Guatemala existen datos históricos de precipitación tanto de los volúmenes mensuales, así como de los días máximos de lluvia, esto servirá para determinar el volumen de captación.

Volumen de captación: los valores iniciales son el consumo de agua necesario por las plantas, para después verificar si la precipitación dan como resultado un volumen de captación que satisfaga las mismas, sin embargo se deberá verificar la condicionante de área necesaria para construirlo ya que la misma puede ser no factible.

Área de jardines en los edificios: se pretende analizar un análisis de 5 %, 10 %, 15 % y 20 % de área de jardines con relación al área de captación para poder establecer el área que se puede regar y durante cuánto tiempo, según la relación.

Tipos de plantas utilizadas en los jardines: se analizarán los consumos de las plantas comunes en los jardines haciendo una combinación de las plantas usadas comúnmente y analizando su consumo mixto por metro cuadrado.

Calidad del agua almacenada: se realizarán análisis de agua para verificar las condiciones físico-químicas del agua almacenada dependiendo el posible tiempo de almacenamiento.

Materiales de construcción de los tanques: por condiciones de filtraciones o permeabilidad y dependiendo el nivel del edificio (por el peso) se debe evaluar los materiales de construcción de los tanques así como su posible volumen para evaluar la factibilidad.

## Metodología

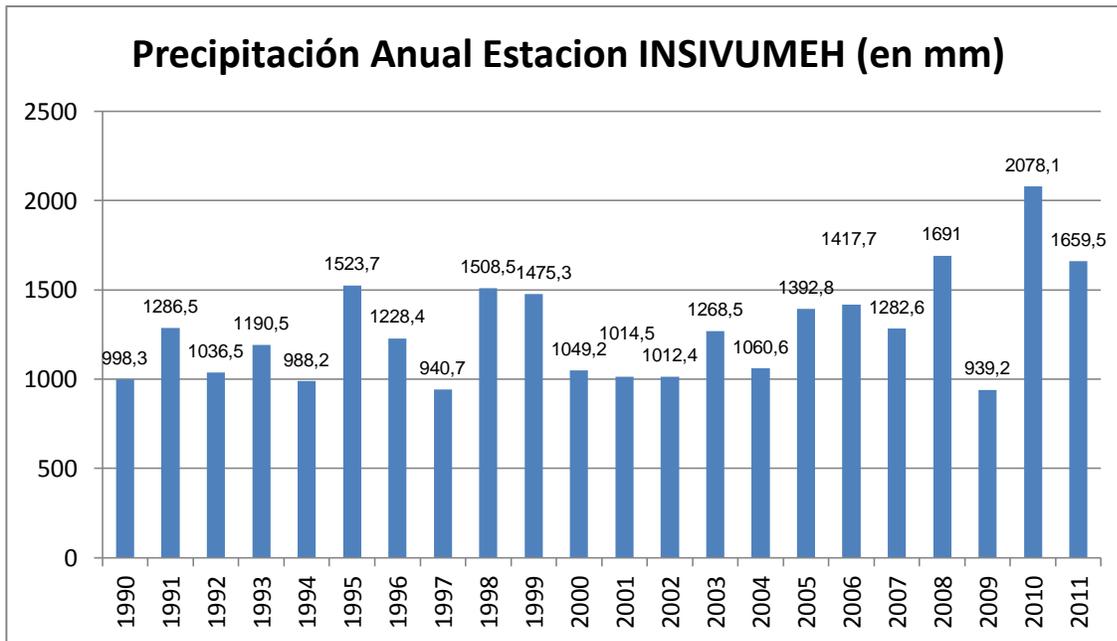
El procedimiento exploratorio se divide en las siguientes fases:

## Fase 1: Estudio de bases para aprovechamiento de agua de lluvia

El principio básico para el aprovechamiento de agua de lluvia en áreas urbanas se da a través de los techos de los edificios. Se deben estudiar las áreas de captación, materiales de construcción de los techos así como las formas y diseños de conducción del agua a captar. El principal factor es el volumen a captar que está dado a través de las condiciones específicas históricas de la ciudad de Guatemala. Se utilizará la precipitación histórica de la estación INSIVUMEH zona 13, para establecer: media, moda, mínimo, máximo, días de lluvia, total mensual, total anual. De los cuales se analizarán datos para establecer los volúmenes de captación.

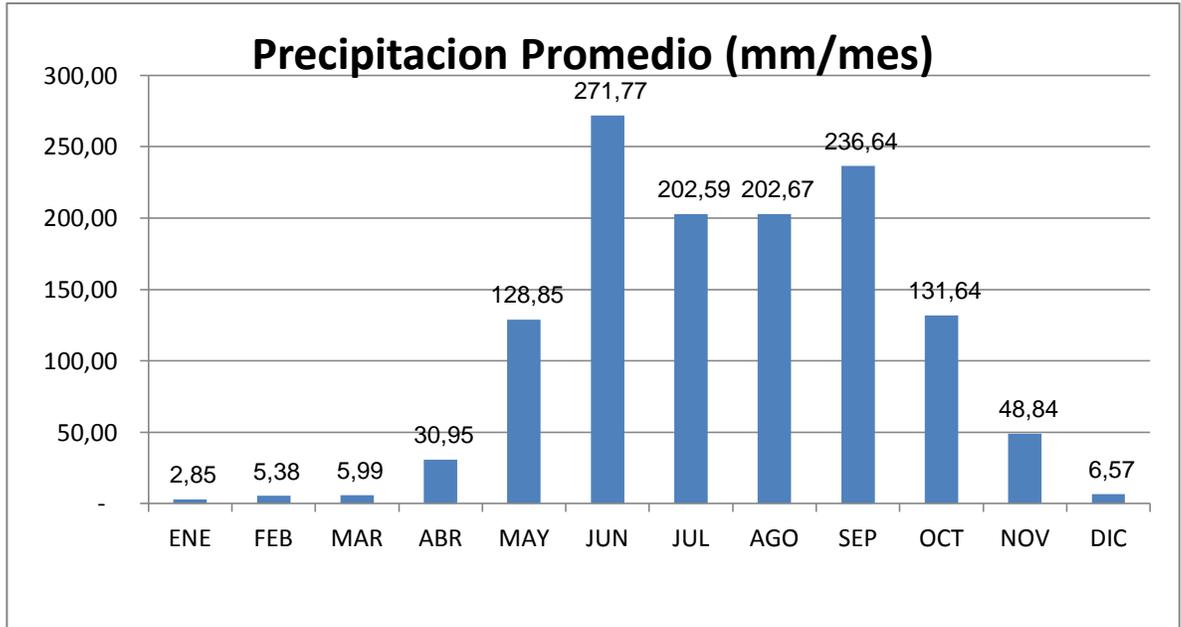
Gráficas para la Estación pluviométrica INSIVUMEH zona 13 de la ciudad de Guatemala.

Figura 3. Precipitación total anual de la estación pluviométrica  
INSIVUMEH zona 13



Fuente: (INSIVUMEH) datos promedio de 1990 a 2012.

Figura 4. **Precipitación promedio mensual de la estación pluviométrica INSIVUMEH zona 13**



Fuente: (INSIVUMEH) datos promedio de 1990 a 2012.

Con los datos diarios obtenidos, se estiman los promedios mensuales de precipitación, de acuerdo con la ecuación 1:

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

Donde:

$P_{pi}$ : precipitación promedio mensual del mes "i" de todos los años evaluados (mm/mes)

n: número de años evaluados

$p_i$ : valor de precipitación mensual del mes "i", (mm)

La demanda de agua se puede estimar de diferentes maneras, una de ellas, como la plantea el (Naciones Unidas, 2006), es la siguiente: a partir de la dotación asumida por persona se calcula la cantidad de agua necesaria para atender las necesidades de las personas a ser beneficiadas en cada uno de los meses.

$$Di = \frac{Nu * Nd * Dot}{1000} \quad (2)$$

Donde:

Di: demanda mensual (m<sup>3</sup>)

Nu: M<sup>2</sup> de de jardines (variable, según el mes, como se indicó anteriormente).

Nd: número de días del mes analizado

Dot: dotación (L/m<sup>2</sup>/día)

## Fase 2: Análisis de áreas de los edificios

Se realizará un análisis de tres tamaños de edificios, uno con un área de 1 000 m<sup>2</sup>, 2 000 m<sup>2</sup> y 3 000 m<sup>2</sup> de área de techos (área de captación), esto con el fin de establecer un parámetro de análisis de captación. Además se hará un análisis para estos modelos de edificios de 10 %, 15 % y 20 % de áreas de jardines (áreas promedio de jardines en edificios residenciales de la ciudad de Guatemala), para establecer sus necesidades de riego.

Teniendo en cuenta los promedios mensuales de precipitaciones de todos los años evaluados, el material del techo y el coeficiente de escorrentía, se procede a determinar la cantidad de agua captada para diferentes áreas de techo y por mes.

$$A_i = \frac{P_{pi} * C_e * A_c}{1000} \quad (3)$$

Donde:

$A_i$ : oferta de agua en el mes "i" ( $m^3$ )

$P_{pi}$ : precipitación promedio mensual ( $L/m^2$ )

$C_e$ : coeficiente de escorrentía

$A_c$ : área de captación ( $m^2$ )

De acuerdo con (Abdulla & Al-Shareef, 2006), muchos diseñadores asumen un valor del 20 % anual en evaporación, por la textura del material del techo, a las pérdidas en las canaletas y en el almacenamiento, y a la ineficiencia del sistema de captación, por lo que se modifica el volumen de la cantidad disponible por ese porcentaje para no sobredimensionar el sistema y se incluyen en el diseño estas pérdidas. De esta manera ese valor porcentual se distribuye uniformemente durante los doce meses del año para determinar la oferta mensual, de la siguiente manera.

$$A'_i = A_i - \left( A_i * \frac{0.2}{12} \right) \quad (4)$$

Donde:

$A'_i$ : oferta de agua en el mes "i" teniendo en cuenta las pérdidas ( $m^3$ )

$A_i$ : oferta de agua en el mes "i" ( $m^3$ )

Se determina la demanda acumulada de acuerdo con:

$$D_{ai} = D_{a(i-1)} + D_i \quad (5)$$

Donde:

Dai: demanda acumulada al mes "i" (m<sup>3</sup>).

Da (i-1): demanda acumulada al mes anterior "i-1" (m<sup>3</sup>).

Di: demanda del mes "i" (m<sup>3</sup>)

Posteriormente se determina la oferta acumulada de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$Aai = Aa_{(i-1)} + A'i \quad (6)$$

Donde:

Aai: oferta acumulada al mes "i" (m<sup>3</sup>).

Aa<sub>(i-1)</sub>: oferta acumulada al mes anterior "i-1" (m<sup>3</sup>).

A" i: oferta del mes "i" teniendo en cuenta las pérdidas (m<sup>3</sup>)

Fase 3: Elaboración de guía de diseño de tanques

Se realizará una guía de aplicación de los tanques de retención con condiciones mínimas y optimas según el área y consumos, para el diseño de los mismos.

Para conocer el volumen necesario de almacenaje se debe encontrar la diferencia entre la oferta acumulada (Aai) y la demanda acumulada (Dai) para cada mes, de ésta manera el mayor valor de diferencia será el volumen del tanque. Si las diferencias dan valores negativos, quiere decir que las áreas de captación no son suficientes para satisfacer la demanda.

$$Vi = Aai - Dai \quad (7)$$

Donde:

$V_i$ : volumen de almacenamiento del mes "i" (m<sup>3</sup>)

$A_{ai}$ : oferta acumulada al mes "i" (m<sup>3</sup>)

$D_{ai}$ : demanda acumulada al mes "i" (m<sup>3</sup>)

#### Fase 4: Análisis de consumos energéticos

Se realizará el análisis de consumo energético relacionado con los posibles volúmenes aprovechados para regar.

El potencial de ahorro de agua potable se determina de acuerdo con el volumen de agua lluvia posible de ser recolectada y la demanda existente, en un mes, como se expresa en la siguiente ecuación

$$PPWS = 100 * \frac{VR}{PWD} \quad (8)$$

Donde:

PPWS: Potencial de Ahorro de Agua Potable (por sus siglas en inglés) (%)

VR: Volumen mensual de agua lluvia que puede ser recolectado (m<sup>3</sup>/mes)

PWD: Demanda mensual de agua potable (m<sup>3</sup>/mes).

En base a guía (Palacio, 2010)

De esta manera se puede establecer los consumos energéticos que se están evitando ya que se tiene establecido que existe un valor energético establecido por metro cúbico distribuido o utilizado.

## Fase 5: Análisis de agua

Para establecer si no existe generación de factores que afecten a las plantas debido al tiempo de almacenamiento del agua se debe de realizar los análisis necesarios del agua, pero debido a que la misma solo será utilizada para el riego de plantas solo debe de cumplir con ciertos parámetros.

Los factores que se deberán solicitar al laboratorio serán los siguientes:

- PH
- Riesgo de salinidad
- Riesgo de sodio (Relación de absorción de sodio o RAS; en ingles se conoce con las siglas SAR)
- Riesgo de carbonato y bicarbonato en relación con el contenido en Calcio y Magnesio
- Elementos traza
- Elementos tóxicos
- Nutrientes
- Cloro libre

Los mismos deberán cumplir con los mínimos parámetros que se deberán cumplir como agua de uso para riego de plantas (parámetros agrícolas).

Tabla I. **Parámetros para la reutilización del agua desde el punto de vista agrícola**

Parámetro	Importancia para el regadío	Rango Necesario
Sólidos totales en suspensión Turbidez	La medida de partículas se pueden relacionar con la contaminación microbiana; pueden interferir con la desinfección; obstrucción de los sistemas de regadío; deposición.	<5-35TSS/L
		<0.2-35NTU
DBO5 DQO	Substrato orgánico para el crecimiento microbiano; puede generar crecimiento bacteriano en los sistemas de distribución y deposición microbial (bio-fouling).	<5-45mgBOD/L
		<20-200mgCOD/L
Coliformes totales	Medida del riesgo de infección debido a la presencia potencial de patógenos; puede dar lugar a bio-fouling.	<1-200cfu/10mL
Metales pesados	Algunas sales disueltas son nutrientes beneficiosos para el crecimiento de la plata, mientras otros pueden ser fitotóxicos o convertirse en fitotóxicos a ciertas concentraciones. Elementos específicos (Cd, Ni, Hg, Zn, etc.) son tóxicos para plantas, y por lo tanto existen límites máximos de concentración de estos elementos para el agua utilizada para irrigación.	< 0.001mgHg/L <0.01mgCd/L <0.02-0.1mgNi/L
Inorgánicos	Alta salinidad y boro son dañinos para el agua de regadío de cultivos vulnerables.	<450-4000mgTDS/L <1mgB/L
Cloro residual	Recomendado para prevenir el crecimiento bacteriano; la concentración excesiva de cloro libre (>0.05mg/L) puede dañar algunos cultivos vulnerables	0.5->5mgCl/L
Nitrógeno	Fertilizantes para regadío; puede contribuir a crecimiento bacteriano y eutrofización de depósitos de almacenamiento, corrosión(N-NH4) o incrustación (P)	<10-15mgN/L
Fósforo		<0.1-2mgP/L

Fuente: Valentina Lazarova Akiçca Bahri; *Water Reuse for irrigation: agriculture, landscapes, and turf grass*; CRC.



## **11. RESULTADOS ESPERADOS**

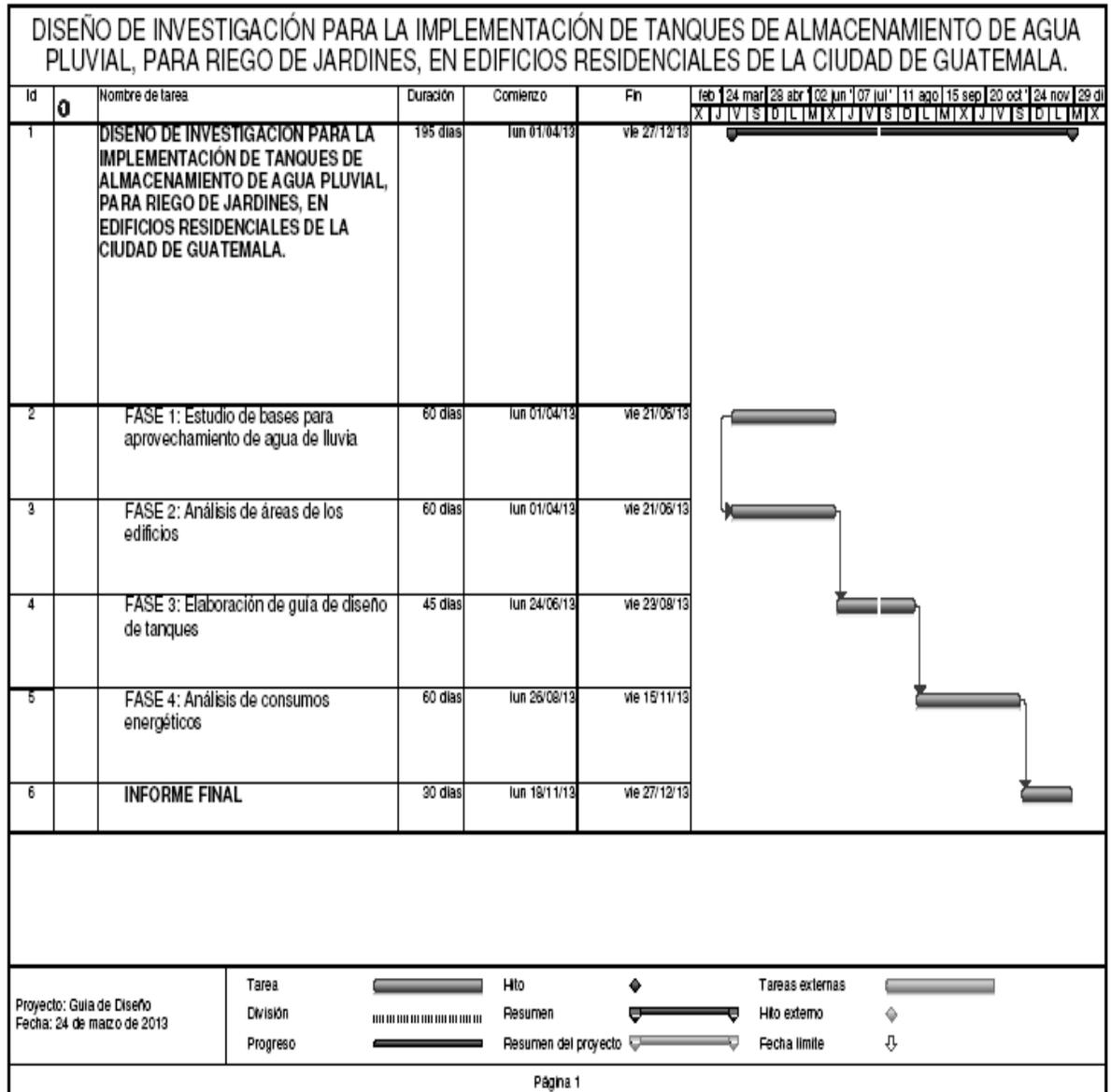
Se pretende establecer parámetros para el diseño de tanques de captación de agua de lluvia para la utilización de la misma en el diseño de edificios residenciales nuevos con el fin del ahorro energético y de agua potable.

Que los análisis reflejen una factibilidad para la construcción de los tanques de almacenamiento para su diseño en nuevos edificios o implementarlo en edificios existentes.

Que el agua mantenga un grado de pureza necesario por las plantas y la que la misma no genere inconformidad para los residentes durante su uso por factores bacteriológicos, en caso existan.



## 12. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES





### 13. RECURSOS NECESARIOS

Tabla II. Costo para realización de investigación

<b>RECURSOS HUMANOS</b>	<b>COSTO MENSUAL</b>	<b>Total por 6 meses</b>
Asesor	Q 1 000,00	Q 6 000,00
Estudiante	Q 500,00	Q 3 000,00
Imprevistos	5%	Q 450,00
	<b>TOTAL RRHH</b>	<b>Q 9 450,00</b>
<b>MATERIALES E INSUMOS</b>	<b>COSTO POR UNIDAD</b>	<b>TOTAL</b>
Análisis de agua (3u.)	Q 200,00	Q 600,00
Impresiones (1u.)	Q 500,00	Q 500,00
Combustible para traslados (3u.)	Q 100,00	Q 300,00
	<b>TOTAL DE M.I.</b>	<b>Q 1 400,00</b>

<b>TOTAL DE PRESUPUESTO</b>	<b>Q 10 850,00</b>
-----------------------------	--------------------

Fuente: elaboración propia.



## 14. BIBLIOGRAFÍA

1. Abdulla, F., & Al-Shareef, A. (2006). Assessment of rainwater roof harvesting systems for household water supply in Jordan. Jordania.
2. Angrill, S., Rieradevall, J., Gabarell, X., & Farreny, R. (2010). Autosuficiencia hídrica en barrios de viviendas de la Mediterránea. *Estudio de Caso del municipio de Sitges*. Cataluña: SB10mad.
3. Arroyo, T. (2010). *Colecta de agua pluvial como medida para el aprovechamiento sustentable de la energía*. Morelia, Michoacan, México: UNAM.
4. Ballen, J., Galarza, M., & Ortiz, R. (2006). Historia de los sistemas de almacenamiento. *Seminario Iberoamericano sobre sistemas de abastecimiento urbano de agua*. Joao Pessoa, Brasil.
5. Domene, E., & David, S. (2003). *Modelos urbanos y consumos del agua. El riego de jardines privados en la región metropolitana de Barcelona*. Instituto Universitario de Geografía. Alicante: Investigaciones Geográficas.
6. EMPAGUA. (s.f.). *Historia: Empagua*. Recuperado el 25 de febrero de 2013, de sitio web de Empagua: <http://www.empagua.com/historia>

7. INSIVUMEH. (s.f.). *insivumeh*. Recuperado el 1 de marzo de 2013, de sitio web de INSIVUMEH: [http://www.insivumeh.gob.gt/meteorologia/ESTACIONES/GUATEMALA/insivumeh/Lluvia\\_Insivumeh.htm](http://www.insivumeh.gob.gt/meteorologia/ESTACIONES/GUATEMALA/insivumeh/Lluvia_Insivumeh.htm)
8. Instituto Nacional de Estadística de Guatemala. (s.f.). *Estadísticas Ambientales*. Recuperado el 25 de febrero de 2013, de sitio Web de INE: <http://www.ine.gob.gt/np/ambientales/index.htm>
9. Landívar, U. R. (2004). *Perfil ambiental de Guatemala*. Guatemala: URL.
10. Lara, J., Torres, A., Campos, M., Duarte, L., Echeverri, J., & Villegas, P. (2007). Aprovechamiento del agua lluvia para riego y lavado de zonas duras y fachadas en el campus de la Pontificia Universidad Javeriana (Bogotá). *Publicación semestral de la Universidad de Ingeniería* , 193-201.
11. Lentini, E. (2010). *Servicios de agua potable y saneamiento en Guatemala: beneficios potenciales y determinantes de éxito*. Santiago de Chile: Naciones Unidas.
12. Momparler, S., & Andrés-Domenech, D. (2012). *Los Sistemas Urbanos de drenaje sostenible: una alternativa a la gestión del agua de lluvia*. Valencia, España: PMEnginyeria.
13. Naciones Unidas. (2006). *El agua, una responsabilidad compartida*. ONU. Confluencia Revista Hispanica de Cultura y Literatura.

14. OPS. (2003). *Captacion de agua de lluvia para consumo humano*. Lima, Perú: CEPIS.
15. Palacio, N. (2010). *Propuesta de un sistema de aprovechamiento de agua lluvia, como alternativa para el ahorro de agua potable, en la institución Educativa Maria Auxiliadora de Caldas, Antioquia*. Medellin, Colombia: Universidad de Antioquia.
16. Rahman, A., Dbais, J., & Imteaz, M. (2010). Sustainability of Rainwater Harvesting Systems in Multistorey Residential Buildings. *Science Publications* , 73-82.
17. Universidad Rafael Landívar. (2005). *Situación del Recurson Hidrico en Guatemala*. Guatemala: URL/FCAA/IARNA & IIA.
18. Ventura, E. J. (2010). Captación de Agua de Lluvia. (pág. 35). San Salvador, El Salvador: Fiaes.