



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

**FORMULACIÓN Y EVALUACIÓN DE FACTIBILIDAD PARA UN PROYECTO DE
CAPTACIÓN DE AGUA PLUVIAL EN LA FACULTAD DE INGENIERÍA, USAC**

Luis Manuel Alonzo Delgado

Asesorado por la Inga. Priscila Yohana Sandoval Barrios

Guatemala, mayo de 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**FORMULACIÓN Y EVALUACIÓN DE FACTIBILIDAD PARA UN PROYECTO DE
CAPTACIÓN DE AGUA PLUVIAL EN LA FACULTAD DE INGENIERÍA, USAC**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

LUIS MANUEL ALONZO DELGADO

ASESORADO POR LA INGA. PRISCILA YOHANA SANDOVAL BARRIOS

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO INDUSTRIAL

GUATEMALA, MAYO DE 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Vladimir Armando Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Sergio Antonio Torres Méndez
EXAMINADOR	Ing. Ismael Homero Jerez González
EXAMINADORA	Inga. Rosa Amarilis Dubón Mazariegos
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

FORMULACIÓN Y EVALUACIÓN DE FACTIBILIDAD PARA UN PROYECTO DE CAPTACIÓN DE AGUA PLUVIAL EN LA FACULTAD DE INGENIERÍA, USAC

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, con fecha julio de 2015.



Luis Manuel Alonzo Delgado

Guatemala 17 de julio de 2018

Ingeniero
César Ernesto Urquizú Rodas
Director de la Escuela de Mecánica Industrial
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Respetable director:

Le informo que he procedido a revisar el trabajo de graduación elaborado por el estudiante **Luis Manuel Alonzo Delgado** con carné **200611512** de la carrera de Ingeniería Industrial, cuyo título es **FORMULACIÓN Y EVALUACIÓN DE FACTIBILIDAD PARA UN PROYECTO DE CAPTACIÓN DE AGUA PLUVIAL EN LA FACULTAD DE INGENIERÍA, USAC.**

Considero que el trabajo presentado por el estudiante ha sido desarrollado cumpliendo con los reglamentos y siguiendo las recomendaciones de la asesoría, por lo que doy la aprobación y solicito el trámite correspondiente.

Atentamente,



Inga. Priscila Yohana Sandoval Barrios
Colegiado No. 10592

*Priscila Yohana Sandoval Barrios
Ingeniera Industrial
Colegiada No. 10592*

Asesora



ESCUELA DE
INGENIERÍA MECÁNICA INDUSTRIAL
FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

REF.REV.EMI.024.022

Como Catedrático Revisor del Trabajo de Graduación titulado **FORMULACIÓN Y EVALUACIÓN DE FACTIBILIDAD PARA UN PROYECTO DE CAPTACIÓN DE AGUA PLUVIAL EN LA FACULTAD DE INGENIERÍA, USAC**, presentado por el estudiante universitario **Luis Manuel Alonzo Delgado**, apruebo el presente trabajo y recomiendo la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

Renaldo Giron Alvarado
Ingeniero Industrial
Colegiado No. 5977

Ing. Renaldo Giron Alvarado
Catedrático Revisor de Trabajos de Graduación
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

Guatemala, marzo de 2022.

/mgp



ESCUELA DE
INGENIERÍA MECÁNICA INDUSTRIAL
FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

LNG.DIRECTOR.118.EMI.2022

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el visto bueno del Coordinador de área y la aprobación del área de lingüística del trabajo de graduación titulado: **FORMULACIÓN Y EVALUACIÓN DE FACTIBILIDAD PARA UN PROYECTO DE CAPTACIÓN DE AGUA PLUVIAL EN LA FACULTAD DE INGENIERÍA, USAC**, presentado por: **Luis Manuel Alonzo Delgado**, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingeniería.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"



Firmada digitalmente por Cesar Ernesto Urquizu Rodas
Motivo: Ingeniero Industrial
Ubicación: Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería
Mecánica Industrial, USAC
Colegiado 4.272
Periodo: Junio a septiembre año 2022

Ing. César Ernesto Urquizú Rodas
Director
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

Guatemala, junio de 2022.



Decanato
Facultad de Ingeniería
24189101- 24189102
secretariadecanato@ingenieria.usac.edu.gt

LNG.DECANATO.OI.417.2022

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, al Trabajo de Graduación titulado: **FORMULACIÓN Y EVALUACIÓN DE FACTIBILIDAD PARA UN PROYECTO DE CAPTACIÓN DE AGUA PLUVIAL EN LA FACULTAD DE INGENIERÍA, USAC**, presentado por: **Luis Manuel Alonzo Delgado**, después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

A blue ink signature of Aurelia Anabela Cordova Estrada is written over an official stamp. The stamp is oval-shaped and contains the text 'UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA' at the top, 'DECANA' in the middle, and 'FACULTAD DE INGENIERÍA' at the bottom. A small circular emblem is also visible within the stamp.

Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada *

Decana

Guatemala, junio de 2022

AACE/gaoc

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	El ser supremo, por ser la chispa de energía vital que brinda vida a todo lo que conocemos.
Mis padres	Renato Alonzo y Rosa Delgado, por su amor, su ejemplo y apoyo incondicional en todo momento de mi vida.
Mi hija	Valentina Alonzo, por ser la luz de mis días, el mejor regalo que la vida me ha brindado y parte de mi motivación diaria personal para alcanzar mis objetivos en la vida.
Mis hermanos	Pedro Renato, José Antonio y Rosa Yolanda Alonzo Delgado; por su compañía, amor, apoyo y alegría a lo largo de todos estos años.
Mi familia en general	Abuelos, tíos, primos, sobrinos y cuñada; por todo el apoyo que me han brindado durante esta etapa.
Mis amigos	De toda la vida, de la universidad, del trabajo y en general a todas las personas que de alguna u otra manera me han brindado su apoyo durante mi vida y todo este proceso.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por brindarme la oportunidad de desarrollarme académicamente en busca de un desarrollo personal que permita, también ser utilizado en función de toda la sociedad guatemalteca.
Facultad de Ingeniería	Por ser una escuela de formación académica, profesional y personal en mi vida.
Mi asesora	Inga. Priscila Yohana Sandoval Barrios, por su colaboración y asesoría durante el desarrollo del presente trabajo para beneficio de todas las personas en la Facultad de Ingeniería.

1.5.1.	Fuentes de abastecimiento de agua potable.....	21
1.6.	Demanda de agua en FIUSAC.....	22
1.6.1.	Área que ocupa la Facultad de Ingeniería.....	23
1.6.1.1.	Edificios académicos y administrativos	23
1.6.1.2.	Jardines y áreas verdes	24
1.6.2.	Personal académico y administrativo	25
1.6.3.	Uso del agua potable en la Facultad de Ingeniería	27
1.6.4.	Determinación de agua empleada para el desarrollo de actividades académicas y administrativas	27
1.7.	Proyección de la oferta y demanda de agua en FIUSAC	29
2.	ESTUDIO TÉCNICO DE INGENIERÍA	
2.1.	Sistema de captación de agua pluvial.....	33
2.1.1.	Definición.....	33
2.1.2.	Antecedentes	34
2.1.3.	Clasificación	36
2.2.	Requisitos previos para el sistema.....	38
2.2.1.	Usos del agua pluvial recolectada.....	39
2.2.2.	Precipitación pluvial de la región	40
2.2.2.1.	Cantidad	40
2.2.2.2.	Frecuencia.....	42
2.2.2.3.	Distribución geográfica	43
2.2.3.	Captación	43
2.2.3.1.	Características	43
2.2.3.2.	Área de captación	45
2.2.3.3.	Materiales.....	46

2.2.4.	Recolección y conducción	48
2.2.4.1.	Características de los materiales.....	49
2.2.4.2.	Dimensiones	50
2.2.4.3.	Materiales	50
2.2.5.	Interceptor de primeras aguas/filtro	51
2.2.5.1.	Características.....	52
2.2.5.2.	Dimensiones	52
2.2.5.3.	Materiales	52
2.2.6.	Almacenamiento	53
2.2.6.1.	Características.....	54
2.2.6.2.	Dimensiones del tanque	54
2.2.6.3.	Volumen del tanque.....	55
2.2.6.4.	Materiales	56
2.2.7.	Bomba de agua	56
2.3.	Diseño propuesto del sistema de captación	57
2.3.1.	Características generales	59
2.3.2.	Localización y vida útil del proyecto.....	60
2.3.2.1.	Sistema de captación	61
2.3.2.2.	Sistema de almacenamiento.....	61
2.3.3.	Tratamiento para potabilización.....	62
2.3.3.1.	Características.....	62
2.3.3.2.	Sistemas de potabilización	62
2.3.4.	Mantenimiento del sistema	63
2.4.	Descripción del proceso	64
2.4.1.	Diagrama de flujo del proceso	66
2.4.2.	Capacidad de producción de agua	67

3.	ESTUDIO ADMINISTRATIVO-LEGAL	
3.1.	Universidad de San Carlos de Guatemala	69
3.1.1.	Antecedentes	69
3.1.2.	Ubicación.....	70
3.1.3.	Estructura organizacional	71
3.1.3.1.	Misión.....	72
3.1.3.2.	Visión.....	72
3.1.3.3.	Valores	72
3.1.3.4.	Organigrama	73
3.2.	Facultad de Ingeniería, USAC.....	75
3.2.1.	Antecedentes	75
3.2.2.	Ubicación.....	77
3.2.3.	Estructura organizacional	77
3.2.3.1.	Misión.....	79
3.2.3.2.	Visión.....	79
3.2.3.3.	Objetivos	79
3.2.3.4.	Organigrama	80
3.3.	Proyectos dentro de Facultad de Ingeniería.....	81
3.3.1.	Aspectos legales	81
3.3.2.	Aspectos civiles y de infraestructura	82
3.3.3.	Permisos universitarios	83
3.4.	Calidad del agua en Guatemala.....	84
3.4.1.	Norma COGUANOR NTG 29 001	86
3.4.2.	Análisis y comparación de agua pluvial y potable para uso en FIUSAC	86
4.	ASPECTOS RELACIONADOS AL IMPACTO AMBIENTAL	
4.1.	Definición	91
4.1.1.	Impacto positivo	93

4.1.2.	Impacto negativo	93
4.2.	Justificación ambiental.....	94
4.2.1.	El agua y el cambio climático.....	95
4.2.2.	Impactos positivos al ambiente en la región	96
4.2.2.1.	Ahorro de agua en FIUSAC	96
4.2.2.2.	Manejo y control del agua en FIUSAC	97
4.2.3.	Potencial industrial y agroindustrial	97
4.2.4.	Sistemas de captación pluvial.....	97
4.2.4.1.	Ventajas.....	98
4.2.4.2.	Desventajas.....	99
5.	ESTUDIO ECONÓMICO	
5.1.	Inversión inicial del estudio.....	101
5.1.1.	Inversiones fijas.....	101
5.1.1.1.	Costo de implementación del sistema	101
5.1.1.1.1.	Captación	102
5.1.1.1.2.	Recolección y conducción	103
5.1.1.1.3.	Interceptor de primeras aguas y filtro	104
5.1.1.1.4.	Almacenamiento.....	105
5.1.1.1.5.	Distribución.....	106
5.2.	Inversiones diferidas.....	106
5.2.1.	Estudios realizados.....	106
5.3.	Costos de operación.....	107
5.3.1.	Mano de obra.....	107
5.4.	Costos de mantenimiento.....	107

6.	ESTUDIO FINANCIERO	
6.1.	Valor presente neto	109
6.2.	Tasa interna de retorno	113
6.3.	Relación costo-beneficio	114
6.3.1.	Costo anual equivalente	114
	CONCLUSIONES	117
	RECOMENDACIONES	119
	BILIOGRAFÍA	121
	APÉNDICES	125

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Distribución del agua en el planeta Tierra	6
2.	Ciclo hidrológico de la Tierra	9
3.	Características físicas	10
4.	Características químicas	11
5.	Características bacteriológicas.....	12
6.	Población objetivo del proyecto.....	19
7.	Líneas de tendencia de la población	30
8.	Diseño chultun maya.....	35
9.	Sistemas de almacenamiento para uso agrícola y ganadero	37
10.	Sistemas de almacenamiento para recarga de acuíferos	37
11.	Gráfica de precipitación promedio mensual	42
12.	Estructura de soporte y captación FIUSAC.....	44
13.	Área de captación edificios T3, T4 y T5, FIUSAC	46
14.	Materiales soporte: hierro plano, tubos y pernos Hilty.....	47
15.	Materiales captación: lámina Cindurib It y tornillo Polser	47
16.	Recolección y conducción de SCAP FIUSAC	48
17.	Unión de canaleta de recolección y conducción de lluvia	49
18.	Canaleta PVC cuadrada o semicircular para SCAP.....	50
19.	Interceptor de primeras aguas para SCAP FIUSAC.....	51
20.	Cisternas rotoplas para SCAP FIUSAC.....	55
21.	Localización del SCAP en FIUSAC	60
22.	Sistema conducción y almacenamiento T3 Y T5.....	61
23.	Proceso del SCAP instalado en FIUSAC	65

24.	Flujo del proceso de captación	66
25.	Ubicación USAC	71
26.	Organigrama USAC	74
27.	Ubicación FIUSAC	77
28.	Organigrama FIUSAC	80
29.	Política ambiental sobre agua pluvial USAC.....	95

TABLAS

I.	Distribución agua terrestre	7
II.	Puntos de muestreo	13
III.	Resultados fisicoquímicos muestra núm. 1.....	15
IV.	Resultados fisicoquímicos muestra núm. 2.....	16
V.	Resultados bacteriológicos muestra núm. 1	17
VI.	Resultados bacteriológicos muestra núm. 2	18
VII.	Instalaciones incluidas en el proyecto.....	20
VIII.	Pozos universitarios.....	22
IX.	Edificios de la Facultad de Ingeniería	23
X.	Jardines y áreas verdes.....	25
XI.	Personal docente FIUSAC.....	26
XII.	Dotación teórica de agua	28
XIII.	Estudiantes inscritos FIUSAC.....	29
XIV.	Resultados análisis de regresión	31
XV.	Estadísticas de lluvia por mes y año en milímetros	41
XVI.	Área para captación en techo	45
XVII.	Tanques de almacenamiento.....	54
XVIII.	Coeficientes de escorrentía	57
XIX.	Oferta diaria / mensual de agua pluvial.....	58
XX.	Tanques requeridos para almacenamiento.....	59

XXI.	Terrenos de la USAC	70
XXII.	Programas de pregrado FIUSAC	76
XXIII.	Junta directiva FIUSAC	78
XXIV.	Comparación fisicoquímica del agua pluvial	87
XXV.	Análisis fisicoquímico del agua pluvial	88
XXVI.	Comparación y análisis bacteriológico del agua pluvial	89
XXVII.	Tipos de impacto ambiental.....	92
XXVIII.	Materiales para captación	102
XXIX.	Materiales para recolección y conducción.....	103
XXX.	Materiales para intercepción de aguas.....	104
XXXI.	Materiales para almacenamiento	105
XXXII.	Costos de inversión del SCAP	109
XXXIII.	Costos diversos del SCAP	110
XXXIV.	Datos para evaluación financiera	111
XXXV.	Flujos de caja evaluados.....	112
XXXVI.	Indicadores financieros SCAP FIUSAC.....	115

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolos	Significado
A_c	Área de captación pluvial
A_o	Área ocupada y en consideración para el proyecto.
C_e	Coefficiente de escorrentía
D_t	Dotación de agua potable
°C	Grado centígrado
Kg	Kilogramo
Km²	Kilómetro cuadrado (describe área)
Km³	Kilómetro cúbico (describe volumen)
LMA	Límite máximo aceptable
LMP	Límite máximo permisible
Mg/L	Miligramos/litro
Mt²	Metro cuadrado (describe área)
N	Número de años evaluados
N_d	Número de días analizados
O_{pd}	Oferta diaria de agua pluvial
μs/cm	Ohmios/centímetros
P_i	Precipitación del mes evaluado, según año evaluado
P_m	Precipitación promedio del mes evaluado
P_{pi}	Precipitación promedio diaria del mes evaluado
pH	Potencial de hidrógeno
Plg	Pulgadas
U	Unidades
V_t	Volumen total de agua

GLOSARIO

APHA	Asociación Americana de Salud Pública, por sus siglas en inglés.
AWWA	Asociación Americana de Obras con Agua, por sus siglas en inglés.
Capa freática	Una parte del subsuelo que se encuentra a una profundidad relativamente pequeña y que permite la saturación y acumulación de agua dulce subterránea.
Chultuns	Sistema antiguo para la captación de agua de lluvia utilizado por la cultura maya, consistía en un reservorio de agua previamente impermeabilizada y cuya entrada estaba rodeada por canalizaciones que dirigían el agua hacia el interior de la estructura.
CII	Centro de Investigaciones de Ingeniería
COGUANOR	Comisión Guatemalteca de Normas, entidad adscrita al Ministerio de Economía, cuya misión es la de proporcionar soporte técnico por medio de documentos y normas técnicas que competen a los sectores público y privado de la nación.

Coliformes	Grupo de especies bacterianas que poseen características bioquímicas en común e importancia relevante como indicadores de contaminación del agua y de los alimentos.
EMPAGUA	Empresa Municipal de Agua.
Escorrentía	Lámina de agua que circula sobre una superficie natural o artificial, producida por el escurrimiento de agua pluvial en una cuenca de drenaje.
FIUSAC	Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.
INSIVUMEH	Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología de Guatemala, organización científica creada en 1976. Sus funciones se refieren al estudio y monitoreo de fenómenos y eventos atmosféricos, geofísicos e hidrológicos relevantes para el riesgo de la sociedad guatemalteca.
Isoyeta	Curva de nivel o isolínea que une los puntos en un plano cartográfico, generalmente de un país o región, y que presentan las mismas precipitaciones meteorológicas (lluvia) en una unidad de tiempo determinada.

LMA	Límite máximo aceptable, valor de la concentración de cualquier característica del agua, arriba de la cual estas características son percibidas por los consumidores desde el punto de vista sensorial, pero sin que impliquen riesgo o daño a la salud del consumidor.
LMP	Límite máximo permisible, valor de la concentración de cualquier característica del agua, arriba de la cual esta no es adecuada para consumo humano, por lo que representa un alto riesgo y daño a la salud del consumidor.
NTG	Norma Técnica Guatemalteca.
ODM	Objetivos de Desarrollo del Milenio.
ODS	Objetivos de Desarrollo Sostenibles.
OMS	Organización Mundial de la Salud.
OPS	Organización Panamericana de la Salud.
Pluviometría	Estudio y análisis de los datos relacionados a la precipitación pluvial registrada en un área determinada, cuyo objetivo es obtener información para la región y la regulación de las cuencas fluviales y evitar desastres naturales.

Polietileno

Termoplástico de excelente resistencia química al agua y a gran variedad de químicos corrosivos; se denomina un polímero de adición debido a que está conformado por unidades repetitivas de etileno sometidas a un proceso de polimerización donde los compuestos de bajo peso molecular (monómeros) se agrupan entre sí por reacciones químicas o térmicas.

Potabilización

Proceso mediante el cual se transforman las características generales del agua común y se eliminan organismos y residuos patógenos de ésta; a fin de que sea apta para el consumo humano y se pueda beber sin ningún peligro para la salud.

SCAP

Sistema de captación de agua pluvial, es cualquier estructura desarrollada por el ingenio humano que es destinada para la recolección y el almacenamiento del agua de lluvia de la región, generalmente con fines de uso personales y cuya viabilidad depende de la pluviometría de la zona de captación.

Tinaco

Recipiente para almacenamiento de agua que se instala a nivel del suelo o en la terraza de los edificios. Producidos de polietileno y en diferentes medidas de capacidad que van desde 450 litros hasta los 25, 000 litros.

UNT

Unidad nefelométrica de turbidez.

USAC

Universidad de San Carlos de Guatemala.

WEF

Federación ambiental por el agua (siglas en inglés).

ZOPP

(Zielorientierte Projektplanung) Planeación de Proyectos Orientada a Objetivos; metodología y conjunto de técnicas para planificar un proyecto y alcanzar unos objetivos determinados.

RESUMEN

El proyecto de captación pluvial para la Facultad de Ingeniería propuesto en el presente trabajo se realizó a través de la modalidad de un estudio de factibilidad; en el primer capítulo se presentan los datos relacionados a la determinación teórica de la demanda de agua dulce para el desarrollo de las actividades diarias, asimismo, se presentan los datos relativos a la oferta actual de agua en la Facultad.

En el segundo capítulo se desarrollaron todos los componentes relativos al estudio técnico de ingeniería, e incluye la descripción y diseño de cada uno de los componentes de captación, recolección, conducción y almacenamiento del SCAP propuesto para la Facultad; del mismo modo se determinó la oferta de agua pluvial que el sistema es capaz de abastecer y el uso que se puede brindar al agua pluvial recolectada dentro de las actividades de la Facultad de Ingeniería.

El tercer capítulo presenta los datos relacionados a la institución encargada del funcionamiento y mantenimiento del sistema propuesto, se describe información pertinente a la implementación del proyecto dentro del campus universitario; finalmente se presenta el análisis y comparación de las características físicas, químicas y bacteriológicas del agua pluvial con base en la Norma Técnica para Calidad del Agua para Consumo Humano, COGUANOR NTG 29 001, en la cual se determina el límite máximo permitido para que el agua sea apta para el consumo humano.

En el cuarto capítulo, el tema se enfoca en el desarrollo de aspectos ambientales, el impacto y los efectos que se producen con el desarrollo de cualquier proyecto en una determinada región; de la misma manera se presentan los beneficios esperados por el sistema de captación pluvial en la Facultad de Ingeniería; así como la justificación para el desarrollo del proyecto dentro del campus de la Facultad de Ingeniería.

En el capítulo quinto se presenta toda la información relacionada a los costos de inversión propuestos para la implementación del sistema en los edificios T3, T4 y T5 y otros costos relacionados al desarrollo del proyecto. En el sexto capítulo se desarrolla toda la evaluación financiera del proyecto, basado en los indicadores financieros pertinentes para determinar si el proyecto es rentable para la Facultad.

Al final del trabajo se encuentra la metodología que se utilizó para la formulación y desarrollo del proyecto; basado en la planificación y evaluación de proyectos orientada a objetivos (ZOPP) en donde se desarrollaron todas y cada una de las etapas que incluye la metodología utilizada.

OBJETIVOS

General

Formular y evaluar la factibilidad de implementación de un sistema de captación de agua pluvial en la Facultad de Ingeniería, USAC.

Específicos

1. Determinar la cantidad mínima teórica de agua necesaria para el desarrollo de las actividades académicas y administrativas de la Facultad de Ingeniería.
2. Determinar las características fisicoquímicas y bacteriológicas del agua pluvial de la región y compararlas con los parámetros de calidad establecidos para determinar cuál será el uso de esta dentro de la Facultad de Ingeniería.
3. Calcular la cantidad máxima de agua pluvial que el sistema de captación propuesto puede recolectar para la Facultad de Ingeniería y definir el tipo de uso que se le dará dentro de la Facultad.
4. Diseñar un sistema de captación y almacenamiento de agua pluvial adecuado para la Facultad de Ingeniería.
5. Calcular el costo de inversión y mantenimiento del sistema de captación y los indicadores financieros necesarios para evaluar el mismo.

INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso natural valioso para el desarrollo de toda clase de vida y también el componente más abundante e importante del planeta, ya que todos los seres vivos dependen de la existencia y acceso a la misma para sobrevivir, en esto radica la importancia del elemento vital del agua para el desarrollo de cualquier sociedad.

La Universidad de San Carlos de Guatemala es la única universidad pública-estatal del país y junto con la Facultad de Ingeniería están comprometidas con la población guatemalteca en el desarrollo de propuestas, proyectos y tecnologías que brinden soluciones viables a la problemática ambiental que cada año aumenta en niveles dramáticos y que está relacionada con la explotación desmedida e irracional de los recursos naturales con los que se cuentan en el territorio nacional.

La problemática ambiental analizada en este proyecto se debe al inadecuado uso y sobreexplotación del agua en las capas freáticas de la región en donde se encuentra actualmente la Universidad de San Carlos, por tanto, el objetivo principal de este trabajo es formular y evaluar la factibilidad de implementar un sistema de captación de agua pluvial en las inmediaciones de la Facultad de Ingeniería para combatir la sobreexplotación del agua subterránea y aprovechar el agua de lluvia como fuente alternativa dentro del campus universitario; contribuyendo con el manejo adecuado y sostenible de los recursos naturales de la región y evitando su depredación absoluta.

1. ESTUDIO DE MERCADO

1.1. Caracterización del recurso hídrico

El agua es un elemento básico y esencial para la vida humana, por lo que, en 1977, la Asamblea General de las Naciones Unidas la incluyó en la lista de temas críticos internacionales debido a los vínculos directos de esta con el desarrollo social de cada país perteneciente a esta organización mundial.

Durante el año 2000, el Gobierno de Guatemala, como parte de la asamblea de la Organización de las Naciones Unidas acuerda gestionar sus esfuerzos y alinearlos con los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM); dando paso a la creación de la Secretaria General de Planificación de la Presidencia (Segeplan); para que las políticas e instituciones nacionales, la inversión pública y la cooperación internacional se enfoquen en alcanzar los compromisos, objetivos y metas adquiridos por el país con anterioridad y que incluyen directamente a la USAC, como la única universidad estatal de la nación.

En septiembre de 2015, Guatemala junto con 192 países pertenecientes a la ONU, se comprometieron en cumplir y alcanzar para el año 2030 los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), entre los cuales se plantean varios objetivos específicos relacionados con el medio ambiente y el manejo adecuado y sostenible de los recursos naturales para garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible junto con el saneamiento de todos en un ámbito nacional y con alcance para la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Entre las metas específicas de los Objetivos de Desarrollo Sostenible relacionado y con relevancia para esta investigación se encuentran:

- Para 2030: aumentar considerablemente el uso eficiente de los recursos hídricos en todos los sectores y asegurar la sostenibilidad de la extracción y el abastecimiento de agua dulce para hacer frente a la escasez de agua y reducir considerablemente el número de personas que sufren falta de agua.
- Para 2030: ampliar la cooperación internacional y el apoyo prestado a los países en desarrollo para la creación de capacidad en actividades y programas relativos al agua y el saneamiento, como los de captación de agua, desalinización, uso eficiente de los recursos hídricos, tratamiento de aguas residuales, reciclado y tecnologías de reutilización¹.

Todos los esfuerzos públicos para alcanzar el objetivo planteado, se encuentran contenidos en el *Plan Nacional de Desarrollo K'atun Nuestra Guatemala 2032*, cuya meta general de desarrollo se refiere a la gestión sostenible de los recursos hídricos para el logro de objetivos sociales, económicos y ambientales de la nacional y que incluye las siguientes prioridades:

- En el 2032, las instituciones públicas y la sociedad disponen de una Ley de Aguas consensuada, con enfoque de gestión integrada de recursos hídricos.
- El 100 % de las zonas consideradas de muy alta capacidad de regulación y captación hidrológica es protegido y manejado sosteniblemente, con enfoque de cuencas hidrográficas y/o de ordenamiento territorial, con pertenencia de pueblos maya, xinka, garífuna, etaria y de género; de acuerdo con el contexto social.
- 10 000 millones de metros cúbicos de agua están siendo almacenados por medio de lagunetas y embalses, asimismo, se cuenta con un plan para el manejo integral de las aguas subterráneas y se han generado normas de aprovechamiento y medidas de manejo, protección y recuperación de esta.

¹ Naciones Unidas. *La agenda 2030 y los objetivos de desarrollo sostenible: una oportunidad para América Latina y el Caribe*; año 2018. p. 35.

- Incrementar al 90 % el acceso al agua potable a través de promover técnicas de captación de agua de lluvia para uso y consumo humano en áreas rurales y urbanas, como mecanismos de adaptación al cambio climático².

De acuerdo con todo lo mencionado, la Universidad de San Carlos de Guatemala junto con la Facultad de Ingeniería son parte fundamental en el análisis y desarrollo de propuestas para fomentar el uso adecuado del recurso hídrico en la región y promover soluciones que permitan captar y utilizar el agua de lluvia para las distintas actividades que se realicen dentro de las instalaciones de la Facultad y así contribuir con los objetivos de desarrollo del milenio a nivel nacional.

1.1.1. Agua

El agua es el elemento fundamental para el desarrollo de todo tipo de vida conocido en el planeta, entre ellos, los seres humanos quienes poseen entre un 65 a 75 % de peso en agua; es vital para la composición de todo tipo de ecosistemas e influye de manera directa en el desarrollo de las sociedades humanas con implicaciones en la agricultura, transporte, industria y supervivencia. Durante mucho tiempo, el agua era considerada un recurso natural inagotable y gratuito, pero actualmente, la sociedad se ha dado cuenta que el agua para uso y consumo humano es cada vez más escasa debido al manejo inadecuado del recurso y la sobreexplotación de este.

1.1.1.1. Definición

El agua es un compuesto químico inorgánico formado por dos átomos de hidrógeno (H) y un átomo de oxígeno (O); es la molécula esencial para la vida

² SEGEPLAN. *Plan nacional de desarrollo k'atun; nuestra Guatemala 2032*. pp.145, 285, 287.

en el planeta Tierra, ya que sirve de medio para metabolizar todas las biomoléculas que constituyen a los seres vivos.

Generalmente, se refiere a la sustancia en su estado líquido, su forma más útil, y que se encuentra por debajo de los 100° Celsius y se halla en los océanos, mares, ríos, lagos y en el subsuelo del planeta; también puede encontrarse en esta sólido (hielo) cuando ésta se congela a 0° Celsius sometida a 1 atmósfera de presión y en su estado gaseoso (vapor) debido al proceso de ebullición del agua líquida cuando su temperatura supera los 100° Celsius.

1.1.1.2. Tipos

Toda el agua que se encuentra dentro la Facultad de Ingeniería es la misma; sin embargo, pueden agruparse, según su forma y características de la siguiente manera:

- Estado físico: se clasifica en estado sólido (hielo), líquido (agua) y gaseoso (vapor de agua).
- Posición en el ciclo hidrológico: como el hidrometeoro, que es cualquier fenómeno acuoso que tiene lugar en la atmósfera o en la superficie terrestre e incluye las precipitaciones y suspensión o depósito de partículas de agua como: lluvia, llovizna, nieve, granizo, rocío, escarcha, congelación atmosférica y lluvia gélida.
- Según su procedencia: puede ser subterránea (capas freáticas), de deshielo glaciar, fósil, superficial, de mares y océanos, mineral y pluvial.
- Aspectos bacteriológicos y que se clasifica en agua potable, purificada y residual.
- Con base en otras propiedades puede ser dulce, blanda o dura.

Para efectos de esta investigación, el tipo de agua que se tomará en cuenta es el hidrometeoro, como la lluvia y llovizna, que tengan efecto y sucedan en el área que ocupan los edificios T3, T4 y T5 de FIUSAC.

1.1.1.3. Distribución del agua en el planeta Tierra

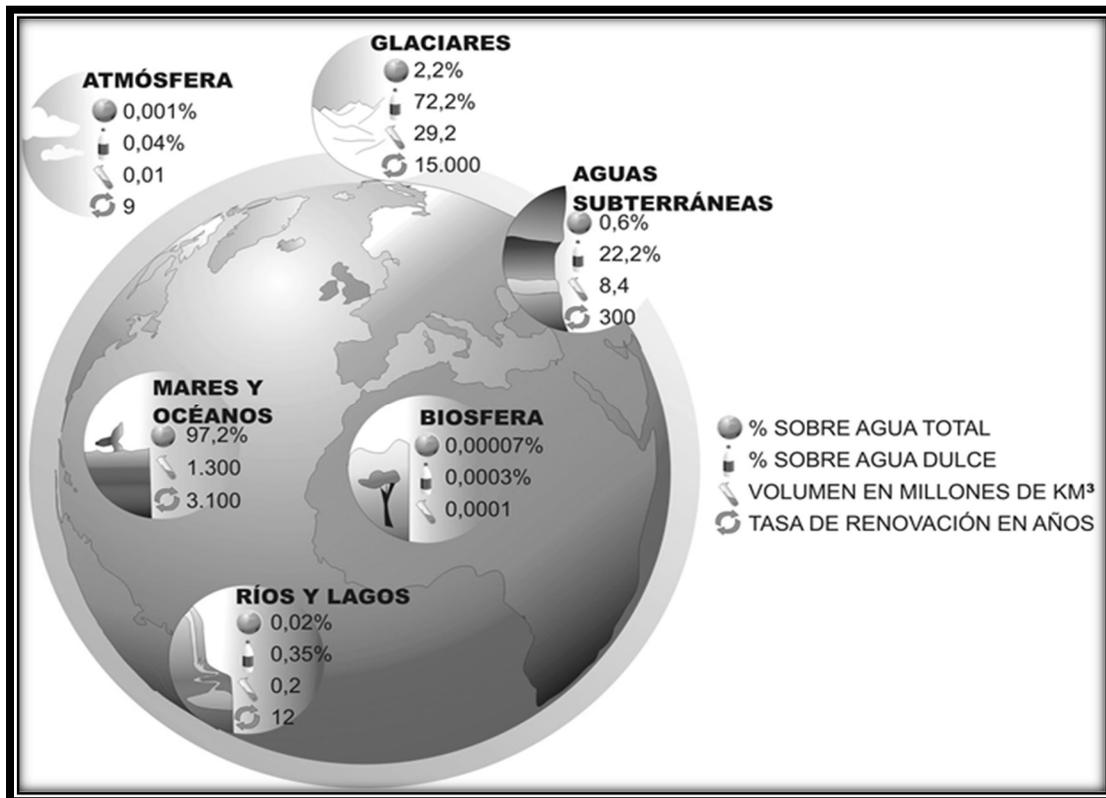
Más del 70 % del planeta Tierra está cubierto por agua en cualquiera de sus tres estados básicos, este enorme y complejo sistema constituido por agua se denomina hidrósfera y se encuentra conformado por:

- Océanos: grandes volúmenes de agua que cubren dos tercios de la superficie terrestre, por tanto, poseen la mayor parte líquida del planeta.
- Glaciares: enormes masas de hielo que se originan por la acumulación, compactación y recristalización de la nieve en la superficie terrestre.
- Escorrentía superficial: toda el agua pluvial que circula y se extiende sobre la superficie terrestre y que funciona como un enorme sistema dinámico formado por ríos, riachuelos, lagos y lagunas.
- Subterráneo: son la principal fuente de abastecimiento de agua para uso y consumo humano, ya que abastece a una tercera parte de la población mundial.
- Atmosférica: en forma de vapor de agua y nubes.
- Biósfera: formando parte esencial de todos los seres vivos en el planeta.

El volumen total de agua del planeta es aproximadamente de 1 386 000 000 kilómetros cúbicos (km³), de los cuales más del 97 % se encuentra almacenada en los océanos alrededor del globo y el 3 % restante es agua dulce.

Los acuíferos representan la principal reserva de agua para uso y consumo humano y una parte más pequeña representa el agua pluvial que puede ser captada por el sistema propuesto en la Facultad de Ingeniería; de esto se deriva la importancia del manejo adecuado y sostenible del agua para combatir su escasez y prevenir su contaminación.

Figura 1. **Distribución del agua en el planeta Tierra**



Fuente: Proyecto Educere. *Distribución del agua en la tierra.*

<https://proyectoeducere.files.wordpress.com>. Consulta: 1 de marzo de 2022.

La tabla I presenta la distribución aproximada de los cuerpos de agua existentes en el planeta Tierra y el porcentaje que representan del volumen total sobre y bajo la superficie:

Tabla I. **Distribución agua terrestre**

Cuerpo de agua	Volumen en km ³		Porcentaje (%)	
	Agua dulce	Agua salada	Agua dulce	Agua total
Océanos y mares	-----	1 338 000 000	-----	96,5
Glaciares polares	24 064 000	-----	68,7	1,75
Agua subterránea	-----	12 870 000	-----	0,94
Agua subterránea	10 530 000	-----	30,1	0,76
Glaciares continentales	300 000	-----	0,86	0,022
Lagos	91 000	-----	0,26	0,009
Lagos	-----	85 400	0,26	0,006
Humedad del suelo	16 500	-----	0,05	0,001
Atmósfera	12 900	-----	0,04	0,001
Embalses	11 470	-----	0,03	0,0008
Ríos	2 120	-----	0,006	0,0002
Agua biológica	1 120	-----	0,003	0,0001
Total de agua dulce y salada	35 029 110	1 350 955 400	100 000	1 000 000
Agua total en la tierra	1 386 000 000 aprox.		-----	-----

Fuente: Wiki. *Distribución del agua en la tierra.*

https://es.wikipedia.org/wiki/Agua#Distribuci%C3%B3n_del_agua_en_la_naturaleza. Consulta: 1 de marzo de 2022.

1.1.2. Ciclo hidrológico del agua

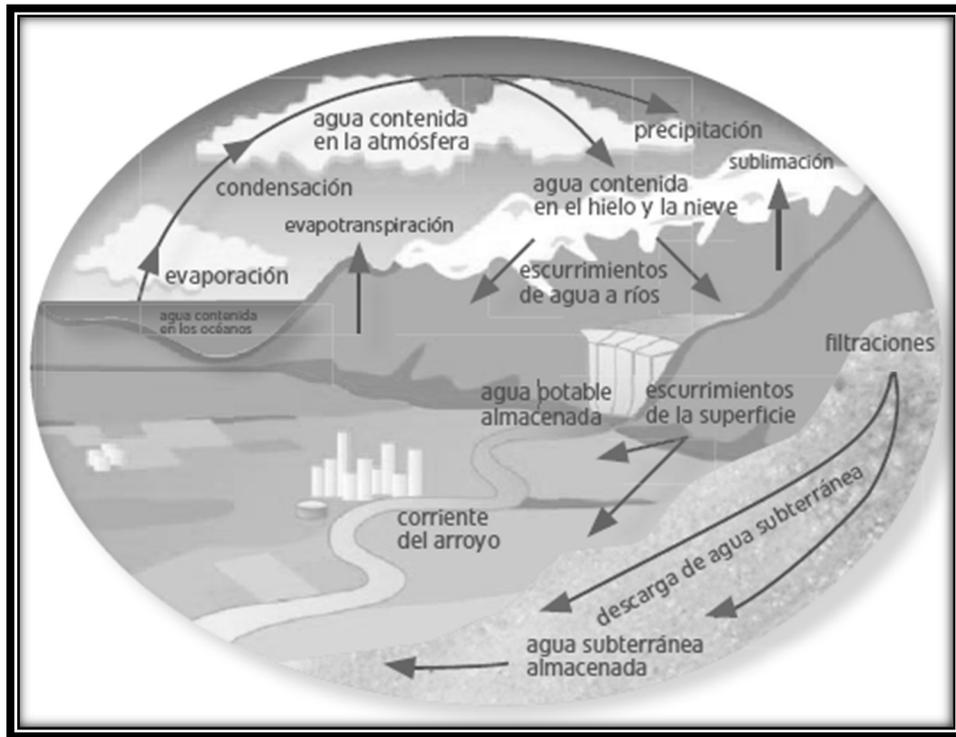
Es el proceso natural de circulación del agua entre los distintos cuerpos que componen la hidrósfera; es considerado un ciclo biogeoquímico debido a que integra procesos biológicos, geológicos y químicos durante los cuales el agua cambia de estado. Entre los principales procesos de este ciclo podemos encontrar: evaporación, condensación, precipitación, infiltración, escorrentía, fusión y solidificación.

Este ciclo natural está dividido en:

- Ciclo interno: comienza bajo la corteza terrestre donde el agua de origen magmático formada mediante reacciones químicas en el interior de la tierra sale a través de volcanes y fuentes hidrotermales; termina cuando el agua de los océanos se introduce por las zonas de subducción hasta el manto.
- Ciclo externo: se desarrolla sobre la corteza terrestre e inicia con la evaporación del agua desde la superficie del océano para luego condensarse en nubes formadas por gotas de agua que se precipitan a la tierra y que se extienden a través de esta en un proceso llamado escorrentía formando ríos, lagos, o capas de agua subterráneas.

A través del conocimiento de este ciclo hidrológico podemos determinar en qué momento el sistema de captación de agua pluvial propuesto para la Facultad de Ingeniería entrará en funcionamiento, alterando el ciclo natural para poder aprovechar de mejor manera parte del agua pluvial que recibe el área de la Facultad de Ingeniería y que contribuirá con el adecuado uso de los recursos con que cuenta la región.

Figura 2. **Ciclo hidrológico de la Tierra**



Fuente: Canal Educa. *El agua como elemento clave para el desarrollo*. p. 8.

1.2. Definición de agua potable

La demanda del recurso hídrico en la Facultad de Ingeniería estará representada por toda el agua; potable y no potable; que es necesaria para el desarrollo de las actividades académicas y operativas de la misma, por tanto el agua potable se refiere al agua destinada para el consumo humano que de acuerdo a sus características físicas, químicas y bacteriológicas no representa ningún riesgo para la salud del consumidor; específicamente se aplica al agua que cumple con las normas de calidad establecidas por las autoridades nacionales e internacionales; en el caso de Guatemala el ente encargado de regular y verificar la calidad del agua es el Ministerio de Salud Pública.

1.2.1. Características del agua potable

A nivel nacional, el ente encargado de velar por que la calidad del agua sea apta para el consumo humano es el Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social (MSPAS), que a través de la Norma COGUANOR NTG 29 001, determina las características necesarias del agua potable para todo nuestro territorio incluyendo la Universidad de San Carlos de Guatemala y todas sus unidades académicas. El agua potable es aquella que por sus características físicas, químicas y bacteriológicas no representa ningún riesgo para la salud del consumidor y cuyas características están expresadas por dos indicadores límite que determinan la calidad de una muestra de agua: límite máximo aceptable (LMA) y límite máximo permisible (LMP).

1.2.1.1. Fisicoquímicas

Físicas: son descripciones de las características físicas que tiene la materia en general y que pueden ser percibidas por los sentidos, entre ellas: sabor, textura, olor y color.

Figura 3. Características físicas

Características	LMA	LMP
Color	5,0 u	35,0 u ^(a)
Olor	No rechazable	No rechazable
Turbiedad	5,0 UNT	15,0 UNT ^(b)
Conductividad eléctrica	750 μ S/cm	1500 μ S/cm ^(d)
Potencial de hidrógeno	7,0-7,5	6,5-8,5 ^{(c) (d)}
Sólidos totales disueltos	500,0 mg/L	1000,0 mg/L

(a) Unidades de color en la escala de platino-cobalto
(b) Unidades nefelométricas de turbiedad (UNT).
(c) En unidades de pH
(d) Límites establecidos a una temperatura de 25°C.

Fuente: COGUANOR. *Norma técnica guatemalteca, NTG 29 001*. p. 6.

Características químicas: se refiere a la descripción y cuantificación de los elementos químicos; orgánicos e inorgánicos, y que se encuentran en una muestra de agua.

Figura 4. Características químicas

Características	LMA (mg/L)	LMP (mg/L)
Cloro residual libre ^(a)	0,5	1,0
Cloruro (Cl ⁻)	100,0	250,0
Dureza Total (CaCO ₃)	100,0	500,0
Sulfato (SO ₄ ²⁻)	100,0	250,0
Aluminio (Al)	0,050	0,100
Calcio (Ca)	75,0	150,0
Cinc (Zn)	3,0	70,0
Cobre (Cu)	0,050	1,500
Magnesio (Mg)	50,0	100,0
Manganeso total (Mn)	0,1	0,4
Hierro total (Fe) ^(b)	0,3	----

a) El Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social será el ente encargado de indicar los límites mínimos y máximos de cloro residual libre según sea necesario o en caso de emergencia.
b) No se incluye el LMP porque la OMS establece que no es un riesgo para la salud del consumidor a las concentraciones normales en el agua para consumo humano, sin embargo el gusto y apariencia del agua pueden verse afectados a concentraciones superiores al LMA.

Fuente: COGUANOR. *Norma técnica guatemalteca, NTG 29 001*. p. 7.

1.2.1.2. Bacteriológicas

Este tipo de características se refiere a todas aquellas originadas por presencia de microorganismos biológicos, principalmente las bacterias, que pueden afectar la salud del ser humano; y cuyos valores determinan la calidad del agua para su uso y consumo. Entre las bacterias patógenas que generalmente se encuentran en las muestras de agua se encuentran las del grupo coliforme, no obstante, existen otro tipo de organismos que pueden afectar la salud humana si se ingieren con el agua.

Figura 5. **Características bacteriológicas**

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

Fuente: COGUANOR. *Norma técnica guatemalteca, NTG 29 001*. p.10.

1.3. Definición de agua pluvial

Para efectos del proyecto propuesto, el agua pluvial se refiere al agua precipitada por causa de un fenómeno atmosférico que inicia con la condensación del vapor de agua contenido en las nubes dentro de la región en la que se encuentra ubicada la Facultad de Ingeniería y que, según la Organización Meteorológica Mundial, dichas partículas líquidas de agua precipitada deben tener un diámetro mayor de 0,5 milímetros para que sean consideradas como lluvia.

1.3.1. Características del agua pluvial de la región

Para efectos de esta investigación y según la Norma COGUANOR NTG 29 001, la prueba por realizar para determinar las características de cualquier muestra de agua pluvial captada está definida en el inciso 4.8 programa de análisis mínimo que indica que es necesario analizar los siguientes aspectos:

- Físicoquímico: color, turbiedad, potencial de hidrogeno (pH), conductividad, cloro residual libre, cloruros, dureza total, sulfatos, calcio, magnesio, nitratos, nitritos, hierro y manganeso totales.
- Bacteriológico: coliformes totales y grupo E. coli.

Es necesario aclarar que en la actualidad no existe ninguna normativa a nivel nacional o internacional que regule las características del agua pluvial, debido a que estas varían de acuerdo con la región donde fue captada; por tanto, las características del agua pluvial para la región de la Universidad de San Carlos de Guatemala serán determinadas por medio de un análisis físicoquímico y bacteriológico realizado a dos muestras de agua de lluvia.

Tabla II. **Puntos de muestreo**

Núm. de muestra	Lugar de recolección	Cantidad recolectada	Fecha y hora recolección	Fecha y hora entrega
1	Ciudad universitaria, zona 12	1 litro	15/10/2014 20:00 horas	16/10/2014 11:05 horas
2	Guatemala ciudad, zona 6	1 litro	09/10/2014 4:00 horas	09/10/2014 07:47 horas

Fuente: elaboración propia, empleando programa Excel.

Para determinar las características físicoquímicas y bacteriológicas del agua pluvial de la región se tomaron dos muestras de agua pluvial en distintas ubicaciones (ver tabla II), y el procedimiento para recolectar muestras de agua pluvial se describe a continuación

- Paso 1: Desinfección con agua y jabón del envase para recolectar el agua pluvial (1 litro), luego se esterilizó el envase con agua a 100° Celsius
- Paso 2: Colocar el envase en el techo del edificio, alejado de árboles y otras estructuras, a una altura mínima de 50 centímetros del suelo para evitar la contaminación de la muestra por salpicadura.
- Paso 3: Sellado y etiquetado del envase con la muestra de agua pluvial
- Paso 4: Traslado de la muestra de agua al Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria, Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC.

1.3.1.1. Físicoquímicas

Debido a que no existe ninguna norma que determine las características físicoquímicas del agua de lluvia en la región de la Universidad de San Carlos de Guatemala, éstas fueron determinadas por un análisis sanitario realizado en el Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria Dra. Alba Tabarini Molina, ubicado en el segundo nivel del edificio T5 de la Facultad de Ingeniería, USAC.

Durante el estudio administrativo-legal en el capítulo 3, se realizará el análisis de las muestra de agua tomadas en la región de la Universidad de San Carlos de Guatemala y con el objetivo de definir las características físicoquímicas y bacteriológicas de la misma para luego comparar los resultados obtenidos se realizara un análisis de los resultados físicoquímicos del agua pluvial recolectada, y se encuentra relacionado con la normativa legal y sanitaria respecto a la calidad del agua en Guatemala, según las especificaciones nacionales decretadas por el MSPAS y la Comisión Guatemalteca de Normas COGUANOR.

Los resultados obtenidos para las muestras de agua núm. 1 y 2 se presentan en las siguientes páginas, según tablas III y IV.

Tabla III. **Resultados fisicoquímicos muestra núm. 1**

RESULTADOS FISICOQUÍMICOS			
1. Aspecto:	Clara	5. Sabor:	Ninguno
2. Color:	16 U	6. pH:	7,11 U
3. Turbiedad:	0,88 UNT	7. Temperatura:	Ninguno
4. Olor:	Aromático	8. Conductividad eléctrica:	10,00 μ s/cm
SUSTANCIAS			
SUSTANCIAS	mg/lt	SUSTANCIAS	mg/lt
1. Amoniaco:	0	9. Hierro total:	0,08
2. Nitritos:	0,023	10. Dureza	0
3. Nitratos:	4,3	11. Sólidos totales:	19
4. Cloro residual:	0	12. Sólidos volátiles:	7
		13. Sólidos fijos	12
5. Manganeso:	0,007	14. Sólidos en suspensión	1
6. Cloruros	5		
7. Fluoruros	0	15. Sólidos disueltos:	5
8. Sulfatos	1		

Fuente: elaboración propia, con el análisis del Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC.

Tabla IV. **Resultados fisicoquímicos muestra núm. 2**

RESULTADOS FISICOQUÍMICOS			
1. Aspecto:	Clara	5. Sabor:	Ninguno
2. Color:	5 U	6. pH:	6,92 U
3. Turbiedad:	1,37 UNT	7. Temperatura:	Ninguno
4. Olor:	Inodora	8. Conductividad eléctrica:	23,30 $\mu\text{s/cm}$
SUSTANCIAS			
SUSTANCIAS	mg/lt	SUSTANCIAS	mg/lt
1. Amoníaco:	0,11	9. Hierro total:	0,01
2. Nitritos:	0	10. Dureza	30
3. Nitratos:	4,7	11. Sólidos totales:	34
4. Cloro residual:	0	12. Sólidos volátiles:	11
		13. Sólidos fijos	23
5. Manganeso:	0,005	14. Sólidos en suspensión	5
6. Cloruros	9		
7. Fluoruros	0,06	15. Sólidos disueltos:	12
8. Sulfatos	1		

Fuente: elaboración propia, con el análisis del Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC.

1.3.1.2. Bacteriológicas

Las características bacteriológicas del agua de lluvia en la región de la Universidad de San Carlos de Guatemala fueron determinadas por un análisis sanitario realizado en el Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria Dra. Alba Tabarini Molina, edificio T5 FIUSAC; los resultados obtenidos para la muestra de agua núm. 1, se muestran en la tabla V.

Tabla V. **Resultados bacteriológicos muestra núm. 1**

RESULTADOS BACTERIOLÓGICOS			
SABOR:	Ninguno	SUSTANCIAS EN SUSPENSIÓN:	Ligera cantidad
ASPECTO:	Clara	COLOR RESIDUAL:	Ninguno
OLOR:	Inodora		
INVESTIGACIÓN DE COLIFORMES (GRUPO COLI-AEROGENES)			
PRUEBAS NORMALES	PRUEBA PRESUNTIVA	PRUEBA CONFIRMATIVA	
		FORMACIÓN DE GAS	
Cantidad sembrada	Formación de gas -35 °C	Total	Fecal 44,5 °C
10,00 cm ³	+++++	+++++	+++++
1,00 cm ³	+++++	+++++	+++++
0,1 cm ³	+++++	+++++	+++++
RESULTADO:	NÚMERO MAS PROBABLE DE GÉRMENES COLIFORMES POR CADA 100 cm³	≥ 1 600	≥ 1 600

Fuente: elaboración propia, con el análisis del Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos por el mismo laboratorio para la muestra de agua núm. 2 y que permiten corroborar, validar y comparar los mismos con la muestra anterior y obtener datos promediados:

Tabla VI. **Resultados bacteriológicos muestra núm. 2**

RESULTADOS BACTERIOLÓGICOS			
SABOR:	Ninguno	SUSTANCIAS EN SUSPENSIÓN:	Ligera cantidad
ASPECTO:	Clara	COLOR RESIDUAL:	Ninguno
OLOR:	Inodora		
INVESTIGACIÓN DE COLIFORMES (GRUPO COLI - AEROGENES)			
PRUEBAS NORMALES	PRUEBA PRESUNTIVA	PRUEBA CONFIRMATIVA	
		FORMACIÓN DE GAS	
Cantidad sembrada	Formación de gas -35 °C	Total	Fecal 44,5 °C
10,00 cm ³	+++++	+++++	+++++
1,00 cm ³	+++++	+++++	+++++
0,1 cm ³	+++++	+++++	+++++
RESULTADO:	NÚMERO MAS PROBABLE DE GÉRMENES COLIFORMES POR CADA 100 cm³	≥ 1 600	≥ 1 600

Fuente: elaboración propia, análisis Centro de Investigaciones de Ingeniería

El análisis y comparación de los resultados bacteriológicos del agua pluvial recolectada se realizará en el capítulo núm. 3, relacionado con la calidad del agua en Guatemala, según las especificaciones nacionales decretadas por el MSPAS.

1.4. Población objetivo del proyecto

El sistema de captación pluvial propuesto pretende satisfacer parte de la demanda de agua dulce para el desarrollo de actividades académicas o administrativas en la Facultad de Ingeniería que no requieren del consumo o ingesta de esta; como población de referencia para el proyecto se tomó la Universidad de San Carlos de Guatemala, la figura 5 muestra las distintas áreas y edificios tomados en cuenta para la formulación del proyecto propuesto.

Figura 6. Población objetivo del proyecto



Fuente: elaboración propia, empleando programa Visio.

A continuación, se presenta la tabla VII con la descripción de los edificios incluidos en la realización del presente estudio, los departamentos y áreas que componen cada uno de los edificios de la Facultad son tomados en cuenta para el presente trabajo.

Tabla VII. **Instalaciones incluidas en el proyecto**

Edificio	Año de construcción	Nivel	Uso de instalaciones	Área ocupada
T3	1956 -1959	0	Oficinas administrativas, servicios generales y aulas	7 003,90 mt ²
		1	Aulas	
		2	Aulas	
		3	Aulas	
		4	Aulas	
		6	Terraza (tanques de agua)	
T4	1956-1959	1	Depto. de Matemática, servicios generales.	1 924,80 mt ²
		2	Administración central	
		3	Biblioteca FIUSAC, Centro de Cálculo, Oficina Idioma Técnico	
T5	1956-1959	1	Escuela de Química; Laboratorios de: Ingeniería Química / Físico-Química / Operaciones Unitarias / Mecánica de Suelos / Materiales de Construcción / Concreto / Aglomerantes y Morteros.	2 711,33 mt ²

Fuente: División de Servicios Generales, USAC.

1.5. Oferta de agua en FIUSAC

Se entiende por oferta de agua en la Facultad de Ingeniería, la acción de proveer el vital líquido para la realización de las distintas actividades académicas y administrativas propias de la Facultad; durante un tiempo previamente definido que permitirá estimar la oferta total de agua. El departamento de servicios de la facultad indica que el pozo que permanece en funcionamiento constante para abastecer la oferta de agua en FIUSAC es capaz de extraer setecientos cincuenta y siete litros por minuto (757 lt/min) aproximadamente; basados en la potencia en HP de la bomba de extracción instalada y el tiempo que estas se encuentran en funcionamiento, información proporcionada por el Departamento de Servicios Generales de FIUSAC.

1.5.1. Fuentes de abastecimiento de agua potable

Actualmente, las dos fuentes de abastecimiento que atienden la oferta de agua dulce en la universidad son: la Empresa Municipal de Agua de Guatemala, (EMPAGUA), por otra parte, existen pozos de explotación de agua subterránea pertenecientes a la USAC. Cada edificio dentro del campus universitario está diseñado con su propio sistema de distribución de agua dulce; este incluye una cisterna para almacenamiento de esta y la red de tuberías distribuida por todo el edificio.

Esta actividad no cuenta con un control sobre la cantidad de agua que se extrae de las capas subterráneas y que indican el uso excesivo e insostenible de los recursos naturales de la región; la demanda de agua que no puede ser atendida por este medio y de la cual tampoco se conoce es suplida por EMPAGUA.

Actualmente, la USAC cuenta con sus pozos propios para la extracción de agua subterránea, de los cuales no existe un registro o control de la capacidad de agua que proveen o al menos un control sobre el recurso utilizado, los pozos se encuentran ubicados como se muestran en la tabla VIII.

Tabla VIII. **Pozos universitarios**

UNIDAD ACADÉMICA	POZOS	UTILIDAD (edificios)
INGENIERÍA	2	T1, T3, T4, T5, T6, T7
AGRONOMÍA	1	T8, T9, áreas de cultivo y CEMA
ARQUITECTURA	1	T2, Rectoría
GRANJA	1	Riego áreas verdes de cultivo y CEMA
VETERINARIA	1	Abastece el resto del campus central junto con EMPAGUA

Fuente: División de Servicios Generales, USAC.

1.6. Demanda de agua en FIUSAC

La demanda de agua contemplada para la realización del presente estudio en la Facultad de Ingeniería incluye todas aquellas actividades administrativas que por su naturaleza hacen uso del agua para el desarrollo de las mismas y que incluye la limpieza y mantenimiento de los edificios y áreas comunes de la facultad, riego de jardines o el posible uso del agua para sanitarios y actividades académicas propias de cada carrera. Se toma en cuenta la demanda de agua para consumo humano en el desarrollo de las actividades académicas y administrativas de la Facultad; incluyendo a el personal administrativo, gremio de profesores y estudiantes en general.

1.6.1. Área que ocupa la Facultad de Ingeniería

La Facultad de Ingeniería cuenta con espacio disponible para la realización de actividades de carácter administrativo, académico y de investigación; para el presente estudio se incluye la infraestructura de los edificios T3, T4 y T5 y todas las áreas verdes y jardines circundantes pertenecientes a la Facultad.

1.6.1.1. Edificios académicos y administrativos

El edificio principal en donde se desempeña la mayoría de las actividades académicas es el T3, el edificio T4 funciona, principalmente, para funciones administrativas, mientras que el edificio T5 alberga laboratorios y aulas para uso de distintas escuelas de la Facultad. A continuación, se presenta la tabla IX que describe las dimensiones y área ocupada por cada uno de los edificios tomados en cuenta durante el estudio.

Tabla IX. Edificios de la Facultad de Ingeniería, USAC

EDIFICIO	DIMENSIONES (metro)	ÁREA OCUPADA (metro²)	NIVEL	ÁREA TOTAL (metro²)
Edificio T3	128,5 x 11	1 413,5	5	7 067,5
Edificio T4	41,7 x 10,5	438	2	876.0
Edificio T5	52 x 21	1 092	2	2 184,0
TOTAL ÁREA CONSTRUIDA:				10 127,5

Fuente: elaboración propia, empleando programa Excel.

El área total evaluada para los efectos de este estudio en la Facultad de Ingeniería es de diez mil ciento veintisiete metros cuadrados (10 127,5 mt²) y se refiere al área considerada para actividades académicas y administrativas.

De acuerdo con el dato anterior, se determina el volumen total de agua necesario para la realización de tareas de limpieza y mantenimiento en los edificios tomados en cuenta por el proyecto; multiplicando el área total y la dotación de agua necesaria para realizar la tarea de la siguiente manera:

$$V_t = A_o * D_t * N_d$$

$$V_t = 10\,127,5 \text{ mt}^2 * 6 \text{ lt/mt}^2 \text{ al día}$$

$$\text{Volumen total de agua} = 60\,765 \text{ litros / día}$$

1.6.1.2. Jardines y áreas verdes

El agua es un componente del jardín que forma parte estructural ya que es un elemento vital para las plantas que lo componen, formar parte de procesos tan importantes como la nutrición, la regulación térmica o el transporte de sustancias; esto hace que el riego sea esencial para el correcto mantenimiento de los jardines.

De acuerdo con el tipo de vegetación que se encuentra en los jardines de la Facultad de Ingeniería, se estima que para el mantenimiento de cada metro cuadrado (mt²) de área verde es necesario un volumen promedio de agua de tres litros al día.

A continuación, se presenta una tabla que describe el área de cada uno de los jardines que conforman la Facultad de Ingeniería.

Tabla X. **Jardines y áreas verdes**

No.	Descripción	Ubicación	Área ocupada
1	Grama, arbustos y arboles	Edificio T4 (frente)	334,08 mt ²
2	Grama, arbustos y arboles	Edificio T4 (parqueo)	14,40 mt ²
3	Grama, arbustos y arboles	Edificio T4 (parqueo)	14,40 mt ²
4	Grama, arbustos y arboles	Edificio T4 (parqueo)	231,00 mt ²
5	Grama, arbustos y arboles	Depto. Matemática	30,00 mt ²
6	Grama, arbustos y arboles	Depto. Matemática	45,00 mt ²
7	Grama, arbustos y arboles	Auditorio F. Vela	266,00 mt ²
8	Grama, arbustos y arboles	Auditorio F. Vela y T-5	618,75 mt ²
9	Grama, arbustos y arboles	Entre T3 y T5	816,20 mt ²
10	Grama, arbustos y arboles	Entre T3 y T5	1 117,05 mt ²
11	Grama, arbustos y arboles	T3	232,70 mt ²
12	Grama, arbustos y arboles	T3	185,25 mt ²
	TOTAL ÁREA DE JARDINES, FIUSAC		3 904,83 mt²

Fuente: elaboración propia, empleando programa Excel.

1.6.2. Personal académico y administrativo

Según información brindada por la Secretaría Académica de la Facultad de Ingeniería, para el segundo semestre del 2020, se cuenta con un total de setecientos sesenta y un (761) profesionales de la ingeniería, entre profesores titulares e interinos distribuidos, como se muestra en la tabla XI.

Tabla XI. **Personal docente FIUSAC**

FACULTAD DE INGENIERÍA CENTRO DE CÁLCULO E INVESTIGACIÓN EDUCATIVA LISTA DE PERSONAL DOCENTE CONTRATADO 2do SEMESTRE DE 2017			
Docentes	Departamento	Docentes	Departamento
17	Centro de Cálculo	74	Escuela Mecánica Industrial
28	Centro de Investigaciones de Ingeniería	19	Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria (ERIS)
7	C. E. S. E. M.	24	Escuela Técnica
55	Departamento de Física	7	Licenciatura de Matemática Aplicada
76	Departamento de Matemática	7	Prácticas de laboratorio CII
22	Departamento de Química	15	SAE/SAP
52	Escuela de Ciencias	10	SAE/SAPA autofinanciable
95	Escuela de Civil	6	Servicios de laboratorio y divulgación
50	Escuela de Sistemas	5	Difusión e Información Académica
30	Escuela de Mecánica	26	Unidad de E. P.S.
57	Escuela de Mecánica Eléctrica	26	Unidad de planificación
53	Escuela de Química		

Fuente: Centro de Cálculo e Investigación Educativa, FIUSAC.

Asimismo, según información brindada por el actual secretario adjunto de la Facultad de Ingeniería, Ingeniero Hugo Humberto Rivera Pérez; el personal administrativo que trabaja en el desarrollo de las actividades propias de los edificios descritos asciende a un total de 115 personas. Para el desarrollo de las actividades académicas y administrativas diarias, propias de la Facultad de Ingeniería, se cuenta con un total de ochocientos ochenta y seis (886) personas que trabajan en distintas jornadas laborales a lo largo del día.

1.6.3. Uso del agua potable en la Facultad de Ingeniería, USAC

El agua dulce que se extrae de los acuíferos situados bajo las instalaciones de FIUSAC se emplea en un diverso número de actividades administrativas y académicas que se describen a continuación:

- Actividades administrativas
 - Limpieza de edificios e instalaciones en general
 - Mantenimiento de sanitarios
 - Mantenimiento de jardines y áreas verdes
 - Uso y consumo del personal (trabajadores)

- Actividades académicas
 - Uso y consumo del personal (docentes y estudiantes)
 - Uso del líquido en laboratorios de la Escuela de Ingeniería Química
 - Uso del agua en realización de pruebas del CII en el T5
 - Uso del agua en laboratorios de Hidráulica y Mecánica de Fluidos

1.6.4. Determinación de agua empleada para el desarrollo de actividades académicas y administrativas

La dotación de agua se especifica en el *Reglamento para presentación de proyectos de agua potable*, elaborado por la Empresa Municipal de Agua de la Ciudad de Guatemala; este reglamento estipula la dotación mínima para diferentes actividades incluidos los planteles educativos.

A continuación, en la tabla XII, se describe la dotación mínima teórica de agua para las distintas actividades en la Facultad de Ingeniería.

Tabla XII. **Dotación teórica de agua**

No.	Tipo de uso	Consumo diario	Usuarios y m ²	Total agua consumida litros / día	% por día
1	Consumo alumnado	13,33 lts / persona	10 256 usuarios	136 712	65,36
2	Consumos trabajadores	13,33 lts / persona	876 usuarios	11 677	5,59
3	Limpieza de pisos y edificios	6 lts / m ²	10 127,5 m ²	60 765	29,05
DOTACIÓN DE AGUA DIARIA				209 154	100,00%

Fuente: elaboración propia, empleando programa Excel

Para el desarrollo de actividades académicas y administrativas de la Facultad de Ingeniería son necesarios:

- 148 389 litros de agua potable o el 70,95 % de la demanda diaria de agua potable.
- 60 765 litros de agua o el 29,05 % de la demanda diaria de agua para tareas de limpieza y mantenimiento de los edificios de la Facultad.

1.7. Proyección de la oferta y demanda de agua en FIUSAC

A continuación, se presentan los datos de estudiantes regulares (primer ingreso y reingreso) de los últimos 8 años, según información brindada por el Centro de Cálculo Estadístico de la Facultad de Ingeniería.

Esta información permitirá realizar la proyección de la población estudiantil para el año 2025 y con base en esta, definir la oferta y demanda de agua dulce en la Facultad de Ingeniería para el mismo año.

Tabla XIII. **Estudiantes inscritos FIUSAC**

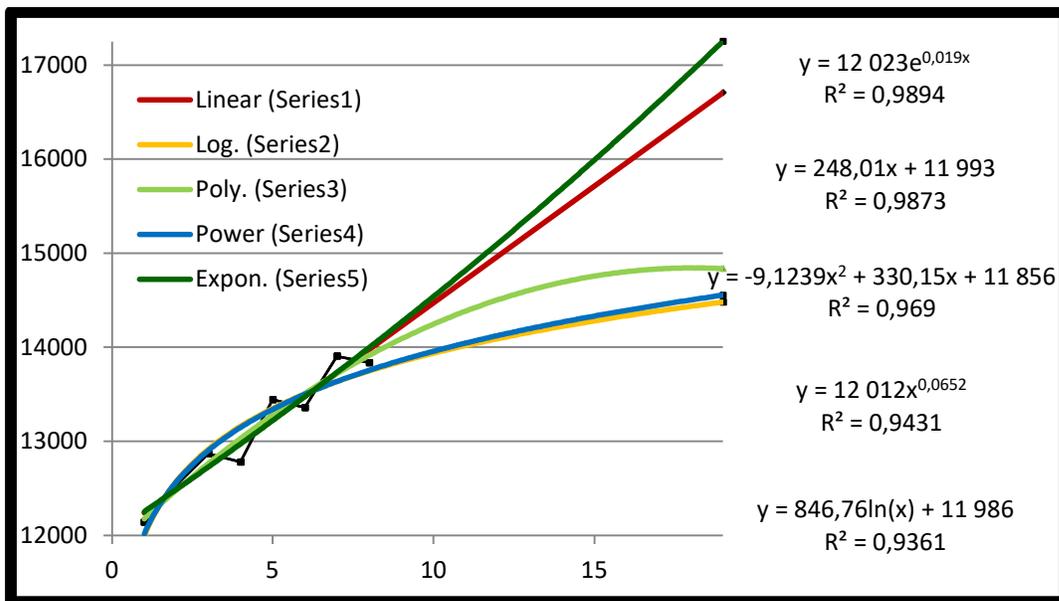
Año	Cantidad estudiantes
2013	12 143
2014	12 533
2015	12 870
2016	12 781
2017	13 445
2018	13 359
2019	13 905
2020	13 835

Fuente: Centro de Cálculo e Investigación Educativa, Facultad de Ingeniería.

La proyección de la población se realizará graficando distintas líneas de tendencia de acuerdo con el análisis de regresión utilizado por la ingeniería para calcular o pronosticar un valor futuro a través de valores existentes o históricos y el análisis de los resultados se realizará con base en las siguientes variables:

- Valor de proyección más adecuado al crecimiento de la Facultad para el año 2025.
- Línea de tendencia que mejor se ajuste visualmente a los datos históricos.
- Valor de R^2 .

Figura 7. Líneas de tendencia de la población



Fuente: elaboración propia, empleando programa Excel.

De acuerdo con las tres variables definidas con anterioridad; las líneas de tendencia de la ecuación lineal y exponencial presentan un valor lógico acorde para el crecimiento poblacional para el año 2025; ambas ecuaciones se ajustan correctamente a la distribución de los datos históricos y el valor R^2 se asemeja al valor esperado, ver tabla XIV.

Tabla XIV. **Resultados análisis de regresión**

núm.	Línea de tendencia	Ecuación para proyección	Valor R ²	Proyección para 2025
1	Lineal	y = 248,01x + 11 993	0,9873	16 705
2	Logarítmica	y = 846,76ln(x) + 11 986	0,9361	14 480
3	Polinómica	y = -9,124x ² + 330,15x + 11856	0,969	14 835
4	Potencial	y = 12 012x ^{0,0652}	0,9419	14 554
5	Exponencial	y = 12 023e^{0,019x}	0,9870	17 250

Fuente: elaboración propia, empleando programa Excel.

Sin embargo; debido a que una línea de tendencia es más fiable cuando su valor R² es más cercano al valor unitario (R² → 1) y en este caso dicho valor corresponde a la ecuación lineal; se indica que hasta un 98,73 % los valores proyectados de la línea corresponden a los datos históricos. Por tanto, la ecuación que permitirá proyectar la población para el año 2025 será la siguiente:

$$F(x) = 248,01(x) + 11 993$$

Esto indica que, para el año 2025 la población estudiantil en la Facultad de Ingeniería habrá incrementado en un treinta por ciento (30 %) respecto al año 2015; y por tanto, la demanda de agua dulce para la realización de las actividades diarias tendrá un incremento directamente proporcional a la población estudiantil, así también como su oferta.

2. ESTUDIO TÉCNICO DE INGENIERÍA

2.1. Sistema de captación de agua pluvial

Los sistemas de captación pluvial son una alternativa para el manejo adecuado y sostenible del recurso hídrico en la Facultad de Ingeniería, ya que permiten utilizar el agua dulce proveniente del ambiente en forma de lluvia para la realización de las distintas actividades académicas y administrativas de la Facultad; estos sistemas están compuestos por distintos componentes que funcionan de manera conjunta y permiten aprovechar el agua de lluvia en la región.

2.1.1. Definición

La captación de agua pluvial es una alternativa que permite el abastecimiento de agua para casi cualquier objetivo que requiera del vital líquido; este tipo de tecnología utiliza y habilita techos, pisos y otras áreas impermeables de las construcciones para captar el agua con propósitos de consumo humano, productivo y agrícola.

La implementación de un SCAP dentro de la Facultad de Ingeniería reduce la presión ejercida por la demanda de agua dulce en el subsuelo o capas freáticas; permite cultivar el agua de lluvia en situaciones de sequía y ser aprovechada por distintas actividades dentro de ella; reduce la erosión del suelo y, principalmente, es un método eficiente en favor de la conservación y uso adecuado de los recursos naturales con que cuenta un país o región.

2.1.2. Antecedentes

Desde sus comienzos el hombre aprovecha el agua superficial como primera fuente de abastecimiento de consumo y principalmente como vía de transporte, por ello el delta de los ríos es el lugar escogido para establecer algunas de las primeras civilizaciones, en donde el hombre aprende y desarrolla la agricultura encontrando con ello la primera aplicación al agua de lluvia.

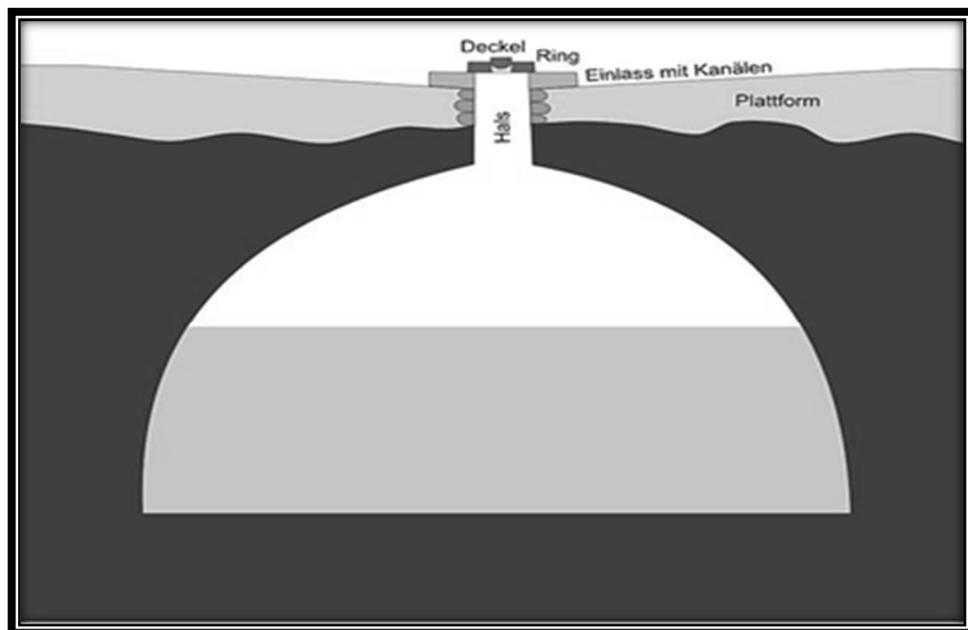
La captación de agua pluvial es un sistema ancestral que ha sido practicado en diferentes épocas y culturas; se han encontrado sistemas de captación pluvial con 4 000 años de antigüedad en Israel, Jordania, Perú, México, Guatemala y muchos otros países. Investigaciones realizadas a lo largo del mundo, con base en la distribución de restos de estructuras y edificaciones creadas por diferentes culturas, permiten concluir que las técnicas de captación de agua pluvial cumplen un papel importante en el desarrollo de estas, relacionado con la producción agrícola y el abastecimiento de agua dulce para satisfacer las necesidades domésticas de los integrantes de su sociedad.

En Centroamérica existen diversos ejemplos de las formas de aprovechamiento de agua pluvial por parte de la civilización maya:

- En el departamento de Petén se encuentra la ciudad maya de Tikal que cuenta con un dique de reservorio de agua de lluvia entre las pirámides I y III de esta ciudad, su tecnología para el aprovechamiento de agua de lluvia permitía el abastecimiento para la población y el riego de los cultivos; el agua era recogida en un área de 100 a 200 m² y almacenada en cisternas llamados chultuns, cuyo diámetro aproximado era de 5 metros y eran excavados en el subsuelo e impermeabilizados con yeso, todo esto en el siglo X A.C.

- En Belice se encuentra la ciudad y centro ceremonial Cerros, en donde los habitantes cavaron canales y diques de drenaje para administrar el agua de lluvia que era almacenada en un sistema de depósitos, (año 200 A. C.).

Figura 8. **Diseño chultun maya**



Fuente: Wikimedia. *Chultun*. <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Chultun.jpg>.

Consulta: 1 de marzo de 2022.

Durante los siglos XX y XXI, Guatemala experimentó un gran crecimiento demográfico y la explotación del agua subterránea se convirtió en la principal fuente de suministro del vital líquido, incluyendo a la Facultad de Ingeniería; por esta razón es necesario poner en práctica soluciones ancestrales como la captación de agua de lluvia para prevenir la depredación de fuentes subterráneas de agua y gestionar de manera sostenible los recursos hídricos de la región en donde se encuentra ubicada la Universidad de San Carlos.

2.1.3. Clasificación

Los sistemas de captación de agua pluvial SCAP son muy versátiles y han sido utilizados desde el inicio de las civilizaciones humanas para satisfacer las distintas necesidades de agua dulce en la realización de las actividades que contribuyen con el desarrollo propio; debido a esto existen diferentes sistemas de captación, entre los que se mencionan:

- Sistemas de almacenamiento para uso del consumo humano
 - Sistemas de captación de agua pluvial (presente proyecto de tesis)
 - Captación en manantiales con barriles

- Sistemas de almacenamiento para uso agrícola y ganadero (figura 9)
 - Lagunas con revestimiento de arcilla o polietileno
 - Minirepresas naturales
 - Diques de piedra o con sacos de arena
 - Zanjas revestidas con plástico
 - Terrazas de cultivo

- Sistemas de almacenamiento para recarga de mantos acuíferos (figura 10)
 - Franjas filtrantes
 - Superficies o pavimentos permeables
 - Humedales
 - Depósitos de infiltración, detención y estanques de retención

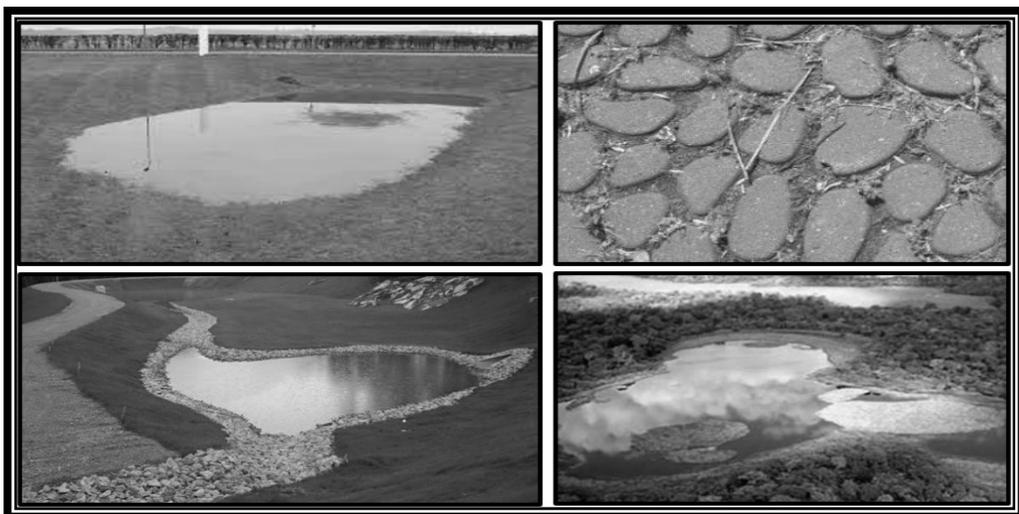
- Captación de agua de niebla

Figura 9. **Sistemas de almacenamiento para uso agrícola y ganadero**



Fuente: elaboración propia, empleando programa Picture Manager.

Figura 10. **Sistemas de almacenamiento para recarga de acuíferos**



Fuente: elaboración propia, empleando programa Picture Manager.

2.2. Requisitos previos para el sistema

- Factores sociales o de mercado, desarrollados en el capítulo 1
 - Demanda y oferta de agua

- Factores técnicos, desarrollados en el capítulo 2
 - Precipitación pluvial (cantidad, frecuencia y distribución)
 - Área de captación y sistema de conducción del agua
 - Destino o disposición del agua captada
 - Capacidad de almacenamiento
 - Filtros y calidad del agua pluvial
 - Espacios para instalación del sistema
 - Diseño estructural del sistema
 - Mantenimiento del sistema

- Factores legales y ambientales desarrollados en capítulos 3 y 4
 - Regulaciones nacionales e institucionales que deben tomarse en cuenta para la implementación del proyecto.
 - Contribución del sistema en la protección de los recursos naturales.
 - Maximización del uso del agua propia de una zona.
 - Disminución en la explotación de agua subterránea para el consumo humano.

- Factores económicos y financieros, desarrollados en los capítulos 5 y 6
 - Inversión inicial para implementación del proyecto
 - Costo de operación y mantenimiento del SCAP
 - Indicadores financieros para tomar en consideración

Todos los factores mencionados con anterioridad y relacionados al proyecto de captación de agua pluvial en la Facultad de Ingeniería, se desarrollarán a lo largo de los siguientes apartados de la investigación en donde se explicará cada uno de ellos.

2.2.1. Usos del agua pluvial recolectada

De forma general, el agua pluvial de acuerdo con sus características químicas, físicas y bacteriológicas puede utilizarse de distintas maneras; entre las que se encuentran las siguientes:

- Consumo doméstico: se refiere al consumo de agua relacionada a la alimentación personal, limpieza de la vivienda, aseo e higiene personal.
- Consumo público e industria: mantenimiento de edificios, limpieza de calles de la ciudad y riego de jardines públicos, así como para la fabricación de productos que en su proceso requieran uso del agua.
- Agricultura y ganadería: para el riego de campos de siembra, como elemento de consumo vital en ganadería y limpieza de las instalaciones dedicadas a la cría del ganado.

Para efectos de esta investigación de la Facultad de Ingeniería, el uso que se dará al agua pluvial recolectada por el sistema es de consumo público y que incluye actividades de limpieza y mantenimiento dentro de la Facultad, como se describe en el capítulo núm. 1, estudio de mercado; y que de acuerdo con el capítulo núm. 3, estudio administrativo-legal donde se determina que el agua pluvial captada en la región no es apta para consumo humano.

2.2.2. Precipitación pluvial de la región

Guatemala debido a la región que ocupa en el planeta, cuenta con una temporada lluviosa bastante abundante, principalmente la región suroccidental, según el INSIVUMEH; la precipitación pluvial de la zona tomada en cuenta para este estudio está determinada por la cantidad anual, en milímetros, de las precipitaciones pluviales en la región de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

La lluvia que cae se distribuye de forma irregular: una parte es aprovechada por las plantas para el desarrollo de sus funciones básicas; otra parte incrementa los caudales de los ríos por medio de la escorrentía mientras que otra parte se infiltrará a través del suelo por zonas de texturas porosas y formará corrientes subterráneas que irán a parar a depósitos naturales que constituirán los acuíferos o pozos de agua.

Estos pozos subterráneos son la principal fuente de abastecimiento de agua dulce del departamento de Guatemala e inclusive en la región de la USAC, por tanto, es conveniente diseñar programas que combatan su depredación y contaminación en beneficio de la sociedad.

2.2.2.1. Cantidad

Se define como la altura que tendría en agua precipitada sobre un metro cuadrado de superficie horizontal impermeable si la totalidad del agua precipitada no se escurriera; generalmente se expresa en milímetros, ya que 1 mm de agua sobre un metro cuadrado es equivalente a un litro de agua de lluvia. En la tabla XV se presentan los datos de precipitación mensual, anual y sus valores promedios en la región central del país durante los últimos 20 años.

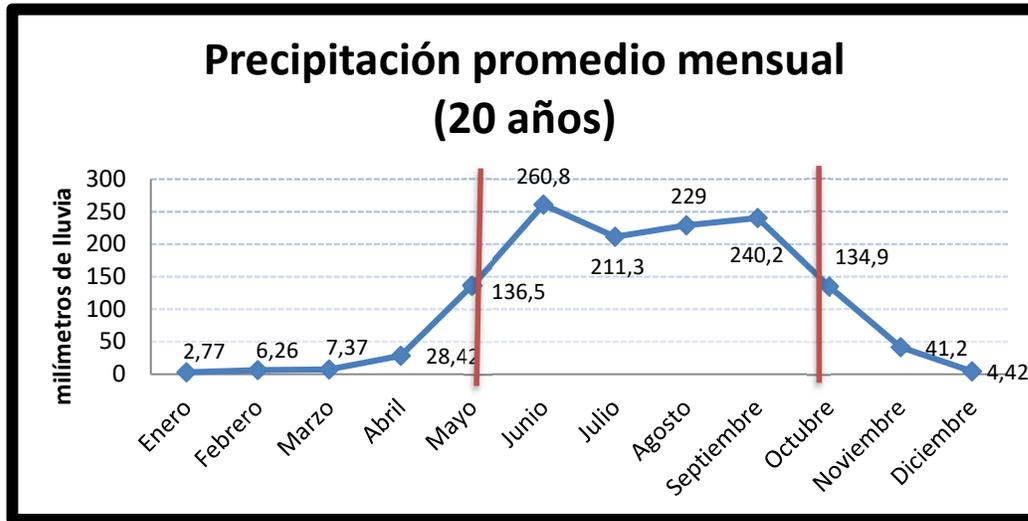
Tabla XV. **Estadísticas de lluvia por mes y año en milímetros**

Año	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total anual
2001	1,10	4,80	2,60	4,1	130	163	175	223	153	138	19,6	1,30	940,7
2002	0,00	6,60	0,00	12,7	76,4	208	164	109	243	109	83,6	0,20	1 508,5
2003	0,90	14,4	20,3	36,8	160	303	187	109	374	42,1	18,6	2,00	1 475,3
2004	0,20	0,50	23,9	5,2	24,3	315	197	97,6	228	166	2,9	0,20	1 049,2
2005	2,00	0,00	6,70	2,6	142	212	415	278	180	129	23,0	2,50	1 014,5
2006	11,3	0,40	6,30	32,6	154	450	193	94,3	212	217	39,2	9,10	1 012,4
2007	1,40	0,00	0,90	31,2	84,8	207	220	333	287	114	2,1	1,50	1 268,5
2008	3,30	11,9	3,40	22,4	170	460	411	187	355	67,4	0,00	0,00	1 060,6
2009	0,00	4,00	0,00	17,3	61	190	94,4	142	90,2	81,2	131	29,50	1 392,8
2010	0,00	1,30	0,00	108	427	377	317	471	343	26,8	6,4	0,00	1 417,7
2011	0,00	7,20	13,4	15,0	102	223	239	414	247	385	14,2	1,50	1 282,6
2012	3,20	5,30	5,10	40,9	136	166	121	398	129	71,9	3,2	1,10	1 691,0
2013	0,20	2,60	34,2	12,7	167	167	262	300	274	224	4,9	2,00	939,2
2014	5,00	0,4	0,9	12,5	122	170	125	257	188	101	3,3	3,10	2 078,1
2015	0,20	0,80	3,40	72,6	114	326	218	238	396	120	25,2	9,50	1 659,5
2016	10,6	10,7	2,10	13,4	58,9	171	148	255	91,4	131	37,0	12,30	1 079,5
2017	0,10	0,00	21,2	0,00	68,9	280	217	211	128	224	356	3,60	1 450,9
2018	1,00	52,2	0,40	6,4	96,8	295	278	222	327	174	19,7	3,00	988,2
2019	14,0	2,00	2,30	80,9	105	229	184	112	340	134	20,6	4,40	1 523,7
2020	5,0	0,4	0,9	12,5	122	170	125	257	188	101	3,3	3,10	1 228,4
P_m	2,79	6,3	7,32	29	136	260	212	229	239	136	41,6	4,2	

Fuente: INSIVUMEH. Centro de monitoreo en zona 13.

La información presentada en la tabla XV permitirá determinar la cantidad de lluvia en la región donde se encuentra ubicada la Universidad de San Carlos de Guatemala, haciendo uso de la información meteorológica proporcionada por la estación del INSIVUMEH, ubicada en las oficinas centrales de la institución en la zona 13.

Figura 11. Gráfica de precipitación promedio mensual



Fuente: elaboración propia, empleando programa Excel.

Para el cálculo de la cantidad de agua pluvial que puede ser captada por el sistema propuesto en la facultad, se tomarán en cuenta únicamente aquellos meses en que la precipitación promedio mensual de los últimos 20 años sea mayor a 100 milímetros por metro cuadrado (mm/m^2); esto determina que el sistema de captación pluvial propuesto para la Facultad de Ingeniería estará en funcionamiento durante los meses de mayo a octubre (6 meses); debido a que estos son los meses cuya precipitación promedio mensual es mayor a $100 \text{ mm}/\text{m}^2$.

2.2.2.2. Frecuencia

La frecuencia de un determinado evento de lluvia se define como el promedio de tiempo que transcurre entre los acaecimientos de dos eventos de tormenta de la misma característica; para estas determinaciones se toman en cuenta la duración, la altura y eventualmente ambas características.

2.2.2.3. Distribución geográfica

La distribución geográfica de las precipitaciones pluviales se representa a través de una isoyeta, y se refiere a una curva que conecta los puntos en que una función multivariable tiene un mismo valor constante; el INSIVUMEH utiliza este tipo de curvas para definir en un plano cartográfico las áreas que presentan la misma precipitación en una unidad de tiempo considerada. De acuerdo con el análisis del mapa descrito con anterioridad, para la región central del país y, específicamente, el departamento de Guatemala; la cantidad de precipitación de lluvia varía entre 1 500 y 2 000 milímetros anuales.

2.2.3. Captación

El proceso de captación consiste en interceptar, coleccionar, almacenar y liberar el agua de lluvia para uso futuro, antes de que ésta llegue a los acuíferos y reservas subterráneas; está determinado por la superficie destinada a la recolección del agua pluvial para un fin específico definido con anterioridad. Las áreas utilizadas para este fin son diversas, entre ellas: techos de casas y edificios, escuelas, hospitales o cualquier edificio con las características adecuadas de infraestructura donde se puede implementar un sistema de captación de agua pluvial.

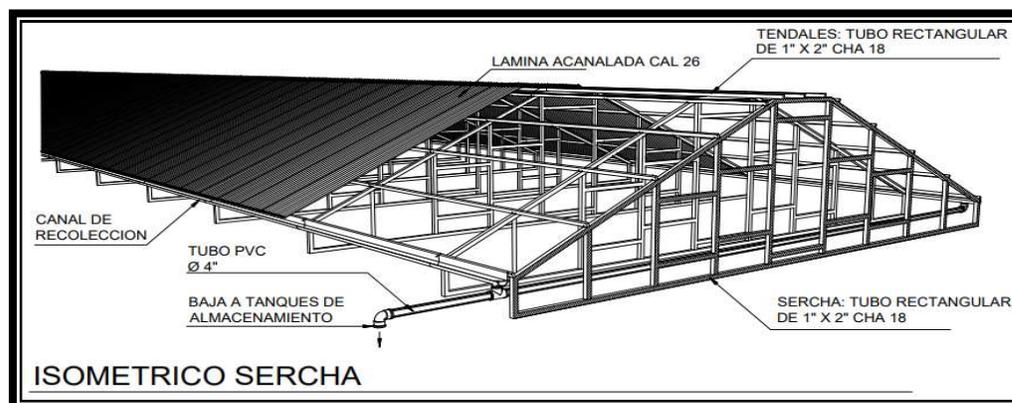
2.2.3.1. Características

La captación de agua pluvial en la Facultad de Ingeniería pretende realizarse en los techos de los edificios T3, T4 y T5, debido a que esta es la mejor localización encontrada en las instalaciones y que brinda espacio suficiente para el desarrollo del proceso.

El sistema propuesto está compuesto por dos estructuras básicas que permitirán la captación de agua pluvial en los techos de los edificios de la Facultad (ver figura 12), a continuación, se describen las estructuras utilizadas y el objetivo de estas:

- Estructura de soporte: compuesta por un conjunto de estructuras metálicas diseñadas para cada uno de los edificios tomados en cuenta para este proyecto, las estructuras llamadas serchas, se encontrarán ancladas a los techos de los edificios de la Facultad y conectadas entre sí para formar una red que brindará soporte al área de captación de agua pluvial (ver apéndices para planos de las estructuras).
- Estructura de captación: consiste en un conjunto de láminas de policarbonato y galvanizadas que se encontrarán sobrepuestas y ancladas a la estructura de soporte, a modo que se genera un área plana paralela al techo que permita la captación del agua pluvial y su posterior recolección y conducción.

Figura 12. Estructura de soporte y captación FIUSAC



Fuente: elaboración propia, empleando programa AutoCAD.

Los diseños y planos de las estructuras de captación para los techos de los edificios, así como el diseño de anclaje a los techos de los edificios pueden ser revisados en la parte de apéndices de la presente investigación.

2.2.3.2. Área de captación

El área teórica propuesta para la captación de agua pluvial en la Facultad de Ingeniería está constituida por el área total disponible en los techos de los edificios; es necesario que el sistema de captación cuente con una pendiente no mayor a 10 grados para que el proceso se realice efectivamente.

El área total disponible en las terrazas de las instalaciones se define como área de captación potencial y es necesario tenerla en cuenta para la formulación y evaluación del sistema de captación propuesto; aunque debe considerarse la posibilidad que no se utilice el área completa debido a condicionantes dentro del sistema; a continuación, se describe en la tabla XVI las áreas en consideración.

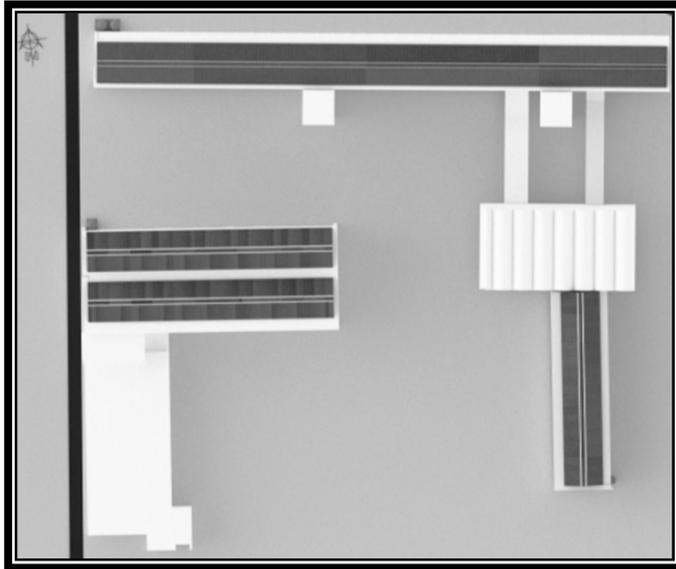
Tabla XVI. Área para captación en techo

INFRAESTRUCTURA	DIMENSIONES (metros)	ÁREA DISPONIBLE PARA CAPTACIÓN (mt²)
Edificio T3	125,2 x 8,2	1 133
Edificio T4	38,4 x 7,7	330
Edificio T5	49 x 7,95	865

Fuente: elaboración propia, empleando programa Excel.

Área para captación potencial = 2 684 mt²

Figura 13. **Área de captación edificios T3, T4 y T5, FIUSAC**



Fuente: elaboración propia, empleando programa AutoCAD.

2.2.3.3. Materiales

Los materiales por utilizar para la implementación de cada una de las estructuras de captación son:

- Estructura de soporte
 - Tubos metálicos de 2" x 1" pintados con anticorrosivo y de diferentes medidas para las estructuras triangulares.
 - Hierro plano de 2" x 3/8" para soporte de las láminas.
 - Pernos Hilty y sus tuercas para anclaje del sistema al piso.

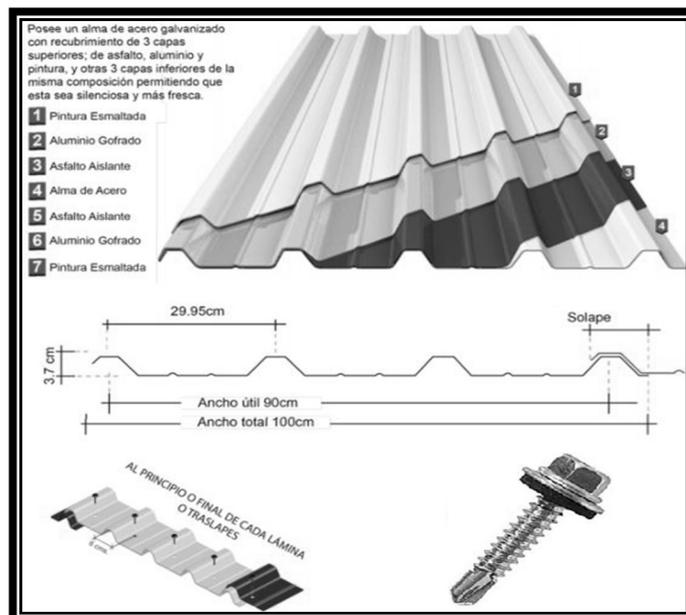
- Estructura de captación
 - Lámina termoacústica CINDURIB IT de 16, 17 y 18 pies
 - Tornillos Polser o punta de broca de 2 ½ x ¼ con aislante

Figura 14. **Materiales soporte: hierro plano, tubos y pernos Hilty**



Fuente: elaboración propia, empleando programa Picture Manager

Figura 15. **Materiales captación: lámina Cindurib IT y tornillo Polser**



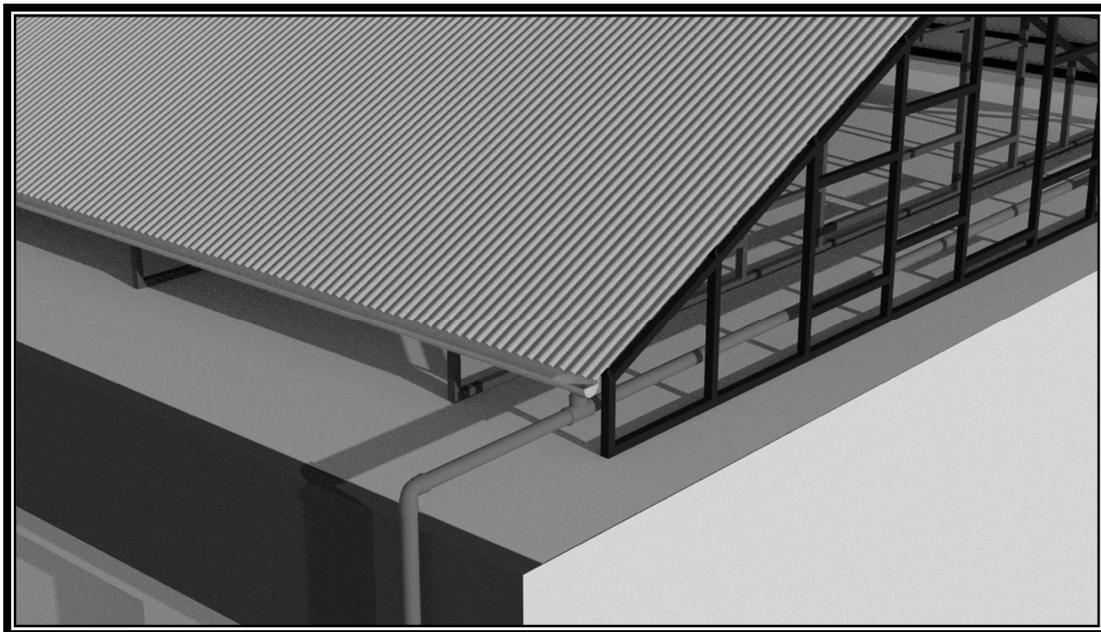
Fuente: CINDURIB. *Manual técnico*. p.12.

2.2.4. Recolección y conducción

Está compuesto por el conjunto de canaletas y tuberías de diferentes materiales, tamaños y formas; situadas en las partes más bajas del área de captación de agua de lluvia en los edificios de la Facultad de Ingeniería; con el objetivo de recolectar el agua de lluvia y conducirla hacia los tanques de almacenamiento del sistema propuesto

Este proceso toma la lluvia directamente del área de captación y la conduce al tanque en donde se almacena, generalmente el sistema de recolección y conducción se coloca en el borde inferior de los techos en donde el agua tiende a acumularse antes de caer al suelo.

Figura 16. **Recolección y conducción de SCAP FIUSAC**



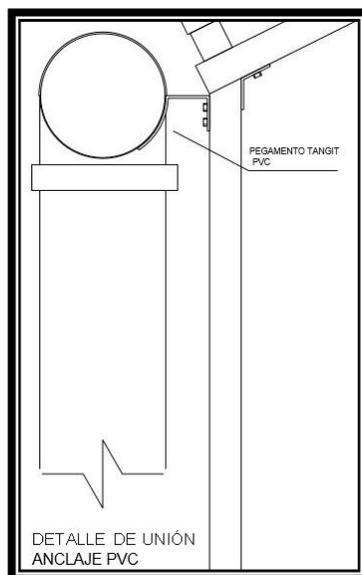
Fuente: elaboración propia, empleando programa AutoCAD.

2.2.4.1. Características de los materiales

El sistema de recolección estará acoplado en el extremo más bajo del sistema de captación compuesto por la estructura de soporte triangular y las láminas sobrepuestas; para evitar utilizar un sedimentador que reduzca la velocidad del agua en las canaletas, la pendiente de estas no debe exceder un diez por ciento (10 %) y así evitar que la velocidad del agua sea mayor de un metro por segundo (1 m/s). Las canaletas para la recolección y conducción del agua pluvial captada pueden ser plásticas, de aluminio y preferiblemente de metal o acero inoxidable, ya que presentan una mayor resistencia a cargas, no sufren ningún tipo de corrosión y poseen la mayor vida útil en el mercado.

Para el presente proyecto se utilizarán canaletas de PVC debido a su bajo costo, facilidad de instalación y tiempo de vida útil estimado para el proyecto.

Figura 17. **Unión de canaleta de recolección y conducción de lluvia**

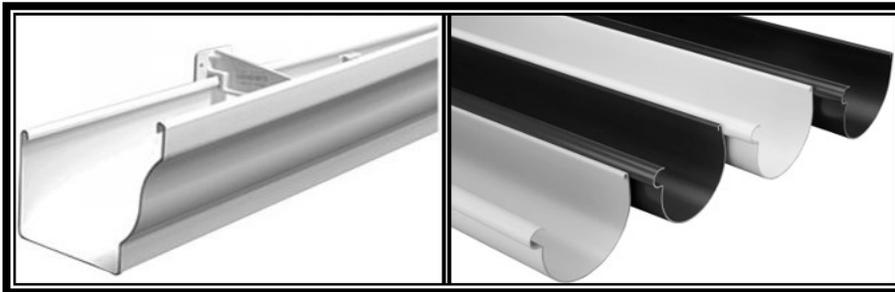


Fuente: elaboración propia, empleando programa AutoCAD.

2.2.4.2. Dimensiones

La geometría de las canaletas es, generalmente cuadrada o semicircular; el ancho mínimo para la construcción es de 5 a 6 pulgadas (ver figura 16); una consideración muy importante para tener en cuenta es que las canaletas deben tener el borde exterior de su cuerpo por arriba del borde exterior de la estructura de captación, de lo contrario la canaleta salpicará y se perderá parte del agua captada.

Figura 18. **Canaleta PVC cuadrada o semicircular para SCAP**



Fuente: elaboración propia, empleando programa Picture Manager.

2.2.4.3. Materiales

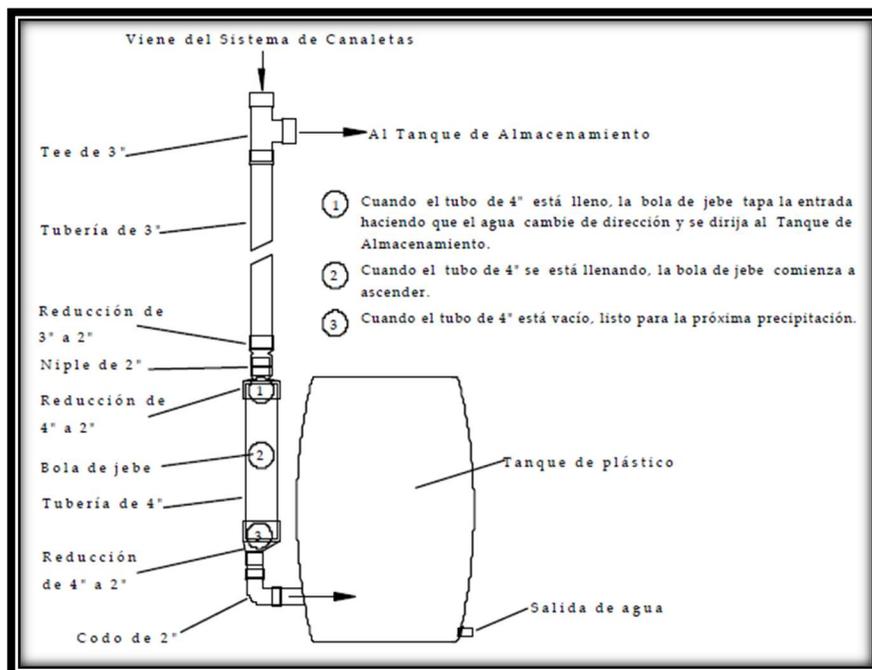
Ninguno de los edificios T3, T4 o T5 cuenta con sistema de recolección y conducción de agua pluvial, por lo que es necesario instalar un sistema nuevo que permita la recolección y conducción del agua captada; las canaletas a utilizar para el SCAP en FIUSAC están hechas con plástico o vinilo, ya que están libres de cualquier tipo de corrosión, tienen juntas herméticas y son relativamente baratas; aunque se vuelven frágiles debido a la exposición de estas a temperaturas altas.

2.2.5. Interceptor de primeras aguas/filtro

El sistema de tratamiento previo al almacenamiento del agua captada está compuesto por dos elementos fundamentales para el proceso y del cual dependen las características fisicoquímicas del agua pluvial captada.

- El interceptor de primeras aguas que se encarga de descargar el agua de lluvia con que se lavó el área de captación antes de iniciar a almacenar el líquido obtenido.
- Los filtros que se encargan de mejorar las características del agua pluvial captada.

Figura 19. Interceptor de primeras aguas para SCAP FIUSAC



Fuente: OPS. *Guía de diseño para captación pluvial*. p. 15.

2.2.5.1. Características

El objetivo principal del interceptor de primeras aguas es captar el agua de lluvia correspondiente al lavado del área de captación y que pueden contener polvo, hojas, material orgánico de animales y basura que puede alterar las características fisicoquímicas y bacteriológicas del agua captada por el sistema; cuando el dispositivo de descarga de primeras aguas ha cumplido su función, automáticamente se cierra el paso para el mismo y se permite que el agua de lluvia captada durante la precipitación pueda ser conducida hacia el sistema de almacenamiento diseñado para el sistema.

2.2.5.2. Dimensiones

Para el diseño del dispositivo interceptor de primeras aguas de lluvia captadas se debe tener en cuenta que por cada metro cuadrado de captación de lluvia es necesario como mínimo un litro (1 lt) de lluvia para limpiar dicha superficie de captación; esto requiere que el tanque interceptor de primeras aguas para cada edificio tenga una capacidad mínima de 1 000 litros de agua y los componentes del flote que funciona como válvula de paso.

2.2.5.3. Materiales

El material por utilizar para el interceptor de primeras aguas es el plástico PVC debido a que este es impermeable en sus uniones y se puede encontrar en una gran cantidad de formas y tamaños, lo que permite diseñar el sistema de manera óptima (ver figura 19). Las piezas por utilizar para la fabricación de la válvula de paso que permite el cambio en la dirección del agua captada entre el interceptor de primeras aguas y el tanque de almacenamiento son:

- Válvula de paso
 - T de 3 pulgadas
 - Tubería de 3 pulgadas
 - Reductor de paso de 3 a 2 pulgadas
 - Codo de 2 pulgadas
 - Reductor de paso de 4 a 2 pulgadas
 - Tubería de 4 pulgadas
 - Esfera plástica o de hule de 3 pulgadas

- Conexión del interceptor con el sistema de tuberías
 - Codo de 3 pulgadas
 - Reductor de paso de 6 a 3 pulgadas

2.2.6. Almacenamiento

Se refiere a la acción mediante la cual se pretende almacenar el agua pluvial captada por el sistema para posteriormente darle uso en el desarrollo de las actividades propias de FIUSAC; los componentes o tanques de almacenamiento en un proyecto de captación pluvial nunca están previstos en la construcción original de los edificios debido a que es una estructura que debe ser diseñada basada en las necesidades y limitantes propias del sistema.

Los tanques de almacenamiento generalmente representan la inversión más fuerte en lo que respecta al sistema de captación pluvial, debido a esto, deben ser del menor tamaño posible, pero sin descuidar la demanda de agua proyectada para su uso y consumo.

2.2.6.1. Características

El tanque o cisterna que compone el sistema de almacenamiento de agua pluvial captada para la Facultad de Ingeniería estará localizado a nivel del suelo y se construirá con una loza de concreto en donde se colocarán los tanques plásticos que almacenarán el agua pluvial captada siendo esta la manera más factible debido al espacio disponible alrededor de los edificios, la facilidad con que puede ser instalado y el fácil acceso para su mantenimiento. El mismo debe contar con tapa superior para su mantenimiento y limpieza al inicio de la época lluviosa, drenaje de fondo para eliminar el agua de lavado y evitar que pase a las cisternas de almacenamiento, llave de paso y salida de agua (rebose) para permitir desaguar el exceso de lluvia captada y evitar inundaciones indeseadas en los alrededores de los edificios T3, T4 y T5 de la Facultad de Ingeniería.

2.2.6.2. Dimensiones del tanque

El sistema de almacenamiento propuesto para la Facultad de Ingeniería está compuesto por tinacos fabricados con polietileno de la marca Rotoplas; debido a que esta empresa fabrica los mismos en diferentes tamaños, como se describen en la tabla XVII.

Tabla XVII. **Tanques de almacenamiento**

Capacidad	Altura	Diámetro	Diámetro tapa	Peso
2 800 lt	1,76 mt	1,55 mt	18 plg.	50 kg
5 000 lt	1,77 mt	2,20 mt	18 plg.	85 kg
10 000 lt	3,10 mt	2,20 mt	18 plg.	200 kg

Fuente: ROTOPLAS. *Ficha técnica tanques para agua y químicos*. p. 10.

Para efectos de maximizar el almacenamiento del agua de lluvia que puede captar el sistema propuesto para los techos en la Facultad; se propondrá hacer usos de varios tinacos con capacidades distintas con fin de almacenar toda el agua de lluvia que se puede captar y maximizar la efectividad del SCAP en la Facultad.

2.2.6.3. Volumen del tanque

Debido a la cantidad de agua que puede ser captada por el sistema dentro de la Facultad de Ingeniería, es necesario hacer uso de varios de estas cisternas de policarbonato; el cálculo y diseño del sistema de almacenamiento, incluyendo la cantidad y volumen de estos se desarrolla en el inciso 2.3 del presente capítulo.

Figura 20. Cisternas ROTOPLAS para SCAP FIUSAC



Fuente: ROTOPLAS. *Guía técnica cisternas*. p. 15.

2.2.6.4. Materiales

Los tanques fabricados en polietileno de alta densidad son la mejor opción para el almacenamiento de agua de lluvia dentro de la Facultad de Ingeniería debido a que presentan una mayor facilidad para la instalación de estos y es posible encontrarlos en diferentes tamaños de acuerdo con la necesidad de almacenamiento.

Las características del polietileno de alta densidad son:

- Es ligero y tenaz
- Excelente resistencia térmica y química
- Alta resistencia al impacto
- Es sólido, incoloro e inodoro
- Adaptabilidad a diferentes procesos de conformado
- Flexible incluso a bajas temperaturas
- Resistente al agua a 100 °C, disolventes ordinarios y sustancias ácidas
- Facilita su reciclaje mecánico y térmico

2.2.7. Bomba de agua

Debido a que el agua captada por el sistema en la Facultad de Ingeniería se utilizará, principalmente para tareas de limpieza y mantenimiento de los edificios tomados en cuenta para el proyecto, no es necesario agregar una bomba hidráulica al sistema de almacenamiento, debido a que la distribución de la misma se realizará a través de tuberías y llaves de paso colocadas directamente desde los tanques de almacenamiento y donde el agua captada será conducida por efecto de la gravedad y la presión del fluido dentro del tanque.

2.3. Diseño propuesto del sistema de captación

El primer paso para diseñar el sistema de captación pluvial para la Facultad de Ingeniería es determinar la precipitación promedio mensual para los meses de mayo a octubre, que son los meses de la época lluviosa en el país y durante los cuales el sistema estará en funcionamiento; para esto se hará uso de la información recolectada por el Insivumeh y descrita en la tabla XV. Estadísticas precipitación del país a través de la siguiente ecuación:

$$P_p = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} (P_i)}{n}$$

El coeficiente de escorrentía de los materiales indica la proporción de precipitación que se aprovecha al utilizar estos como parte del proceso de captación de lluvia; en la tabla XVIII, se presenta el valor para varios materiales.

Tabla XVIII. **Coefficientes de escorrentía**

Material	Coefficiente
Geomembrana de PVC	0,85 – 0,90
Azulejo, teja	0,80 – 0,90
Hojas de metal acanaladas	0,70 – 0,90

Fuente: OPS. *Guía de diseño para captación pluvial*. p.12.

Teniendo en cuenta la precipitación promedio mensual de los últimos 20 años, el material del techo para la captación y el coeficiente de escorrentía, se determinará la cantidad mensual de agua captada de acuerdo con la ecuación:

$$Opd = (P_{pi} - 1) * Ce * Ac$$

En el sistema de captación de agua pluvial propuesto para la Facultad de Ingeniería no se tomará en cuenta el área total de los techos de los edificios debido a consideraciones propias para el diseño de este; la principal limitación para el uso del área total es la de diseñar un pasillo a lo largo de cada edificio para transitar y que permita al personal de la Facultad realizar, adecuadamente, las tareas de mantenimiento de las canaletas y el área de captación.

A continuación, se presenta en la tabla XIX, la capacidad diaria y mensual de captación de agua pluvial del proyecto propuesto para la Facultad de Ingeniería:

Tabla XIX. **Oferta diaria/mensual de agua pluvial**

Mes evaluado	P _{pi}	Ce	Oferta diaria de agua pluvial (litros)		
			T3 1 133 m ²	T4 330 m ²	T5 865 m ²
MAYO	136/30	0,9	4 622,64	1 346,40	3 529,20
JUNIO	260/30	0,9	8 837,40	2 574,00	6 747,00
JULIO	210/30	0,9	7 137,90	2 079,00	5 449,50
AGOSTO	228/30	0,9	7 749,72	2 257,20	5 916,60
SEPTIEMBRE	239/30	0,9	8 123,61	2 366,10	6 202,05
OCTUBRE	134/30	0,9	4 554,66	1 326,60	3 477,30
Oferta diaria promedio			6 837,66	1 991,55	5 220,28
Oferta mensual promedio			205 129,65	59 746,5	156 608,25

Fuente: elaboración propia, empleando programa Excel.

El sistema de almacenamiento está compuesto por un conjunto de cisternas para almacenamiento de agua acorde con el requerimiento de capacidad en cada edificio de la Facultad y una cisterna aparte que funcionará como interceptor de primeras aguas; de manera que se pueda aprovechar toda el agua pluvial que el sistema puede captar durante la época lluviosa en la región.

A continuación, en la tabla XX, se describe el número de cisternas y su capacidad de almacenamiento de acuerdo con las especificaciones de captación de cada uno de los edificios tomados en cuenta para la formulación del proyecto.

Tabla XX. **Tanques requeridos para almacenamiento**

Edificio	Agua para lavar techos	Tinaco interceptor de primeras aguas	Agua de lluvia para almacenar	Tinaco para almacenar agua de lluvia
T3	1 130 litros	1 100 litros	6 838 litros / día	7 000 litros
T4	330 litros	450 litros	1 992 litros / día	2 500 litros
T5	865 litros	1 100 litros	5 220 litros / día	5 000 litros

Fuente: elaboración propia, empleando programa Excel.

2.3.1. Características generales

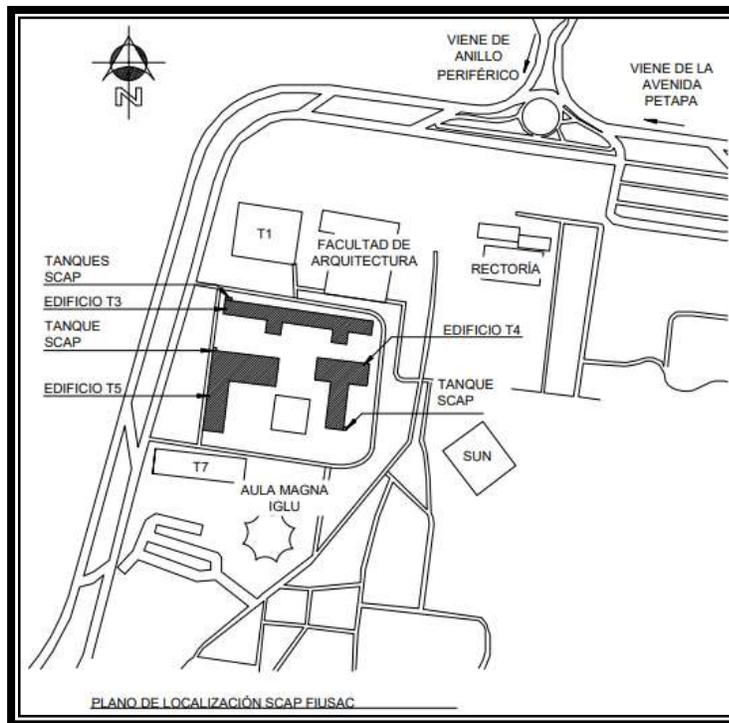
El sistema de captación pluvial para la Facultad es una adaptación de varios modelos de captación pluvial en techos; cada uno de los componentes de la captación, recolección y conducción del agua obtenida estarán instalados

en los techos de los edificios T3, T4 y T5; mientras que el sistema de almacenamiento y distribución del agua captada se encontrará a nivel de tierra.

2.3.2. Localización y vida útil del proyecto

La localización específica del SCAP será en los techos y alrededores de los edificios de la Facultad de Ingeniería tomados en cuenta para la formulación del proyecto y de acuerdo con los materiales estimados a utilizar para el desarrollo de este, la vida útil del proyecto se estima entre 20 y 25 años de tomando en cuenta la correcta implementación y mantenimiento del sistema por parte de la Facultad.

Figura 21. Localización del SCAP en FIUSAC



Fuente: elaboración propia, empleando programa AutoCAD.

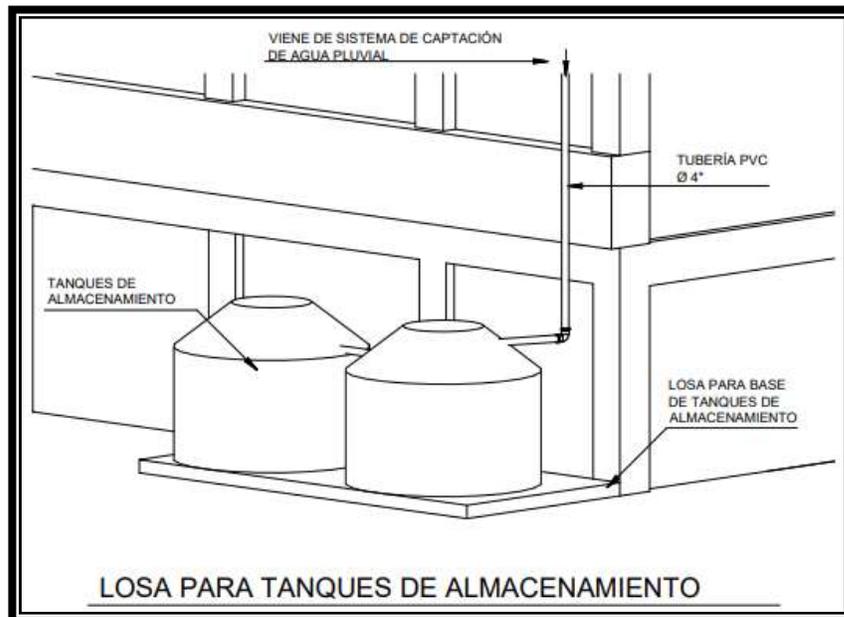
2.3.2.1. Sistema de captación

El sistema de captación pluvial compuesto por la estructura de soporte y la estructura de captación descritos con anterioridad (ver figura 16) estará ubicado en la terraza de los edificios T3, T4 y T5 de la Facultad de Ingeniería, asimismo, el sistema de recolección y conducción del agua captada también se encontrará adherida a la infraestructura propia de cada edificio.

2.3.2.2. Sistema de almacenamiento

Los tanques de almacenamiento de agua pluvial estarán ubicados en los alrededores cercanos de los edificios T3, T4 y T5 de la Facultad de Ingeniería, minimizando así el recorrido del agua pluvial captada.

Figura 22. Sistema conducción y almacenamiento T3 y T5



Fuente: elaboración propia, empleando programa AutoCAD.

2.3.3. Tratamiento para potabilización

En el capítulo núm. 3 se desarrolla el análisis de las características del agua pluvial captada en la región de la Facultad de Ingeniería y debido a que esta no cuenta con las características bacteriológicas necesarias, toda el agua de lluvia captada por el proyecto se destinara a cualquier actividad que no incluya su consumo humano. Este sistema de potabilización no será tomado en cuenta para la evaluación económica y financiera del proyecto debido a su alto costo de implementación y, también a que el agua captada será utilizada exclusivamente para actividades administrativas que no incluyan el consumo por parte de los estudiantes, profesores y trabajadores de la Facultad.

2.3.3.1. Características

Los sistemas de tratamiento para potabilización pueden ser de diversos tipos y se encuentran ubicados después del tanque de almacenamiento y antes de que el agua ingrese a la red de distribución general de los edificios de la Facultad; implican diversos procesos que eliminan las bacterias y gérmenes que puedan encontrarse en el agua recolectada.

2.3.3.2. Sistemas de potabilización

Debido a que el agua captada por el SCAP en la Facultad de Ingeniería no será utilizada para consumo personal, el sistema de potabilización incluyendo sus componentes o costos de implementación, no serán tomados en cuenta como parte del proyecto propuesto, sin embargo, es importante mencionar que la desinfección se refiere a la eliminación de microorganismos vivos patógenos como algas, hongos, parásitos, bacterias y virus en el agua pluvial captada, a través de distintos métodos entre los que se incluyen los siguientes:

- Cloro: hay que agregarlo al agua, y en caso de que se vaya a beber, se sugiere filtrar con carbón activado, ya que en exceso puede ser nocivo para la salud o irritante para la piel.
- Ozono (O₃): es un excelente desinfectante y además ayuda a eliminar o reducir ciertos metales pesados y compuestos químicos. Se requiere de electricidad para producirlo e inyectarlo en el agua a intervalos y regulado por un temporizador.
- Luz UV (ultravioleta): este método consiste en eliminar una variedad de microorganismos (aunque no todos) al exponerlos a radiaciones ultravioleta concentradas por una lámpara.

2.3.4. Mantenimiento del sistema

Se refiere a todas las acciones a implementar para el correcto funcionamiento del sistema de captación pluvial propuesto para la Facultad y cuyo objetivo es garantizar la calidad fisicoquímica del agua captada por el sistema.

Este proceso requiere del monitoreo, limpieza, mantenimiento o reparación de todos y cada uno de los componentes del sistema; incluyendo el área de captación, canaletas de recolección y conducción, filtros e interceptor de primeras aguas y los tanques de almacenamiento; debe realizarse al inicio de la temporada lluviosa tomando en cuenta las siguientes recomendaciones:

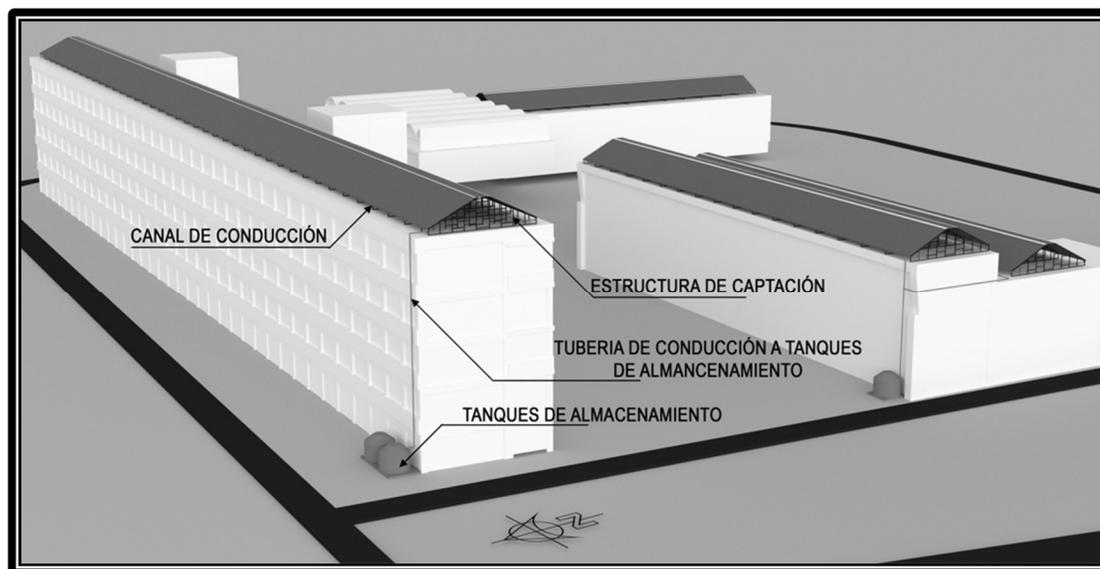
- Monitoreo semanal de los sistemas de captación, recolección, conducción y almacenamiento para su buen funcionamiento.

- Desarrollo de pruebas mensuales para determinar características físicas, químicas y bacteriológicas del agua pluvial captada por los edificios para llevar un control de la calidad de agua que brinda el proyecto.
- Limpieza de las láminas que forman la superficie de captación, eliminando polvo, hojas secas y cualquier otro material que pueda interferir en el proceso.
- Limpieza de canaletas, tuberías y conexiones del sistema de recolección, evitando la acumulación de sedimentos en las vías por donde se conduce el agua captada.
- Limpieza de rebosaderos y filtros de hojas en el sistema de conducción para permitir el paso correcto del agua hacia el sistema de almacenamiento.
- Desaguar el interceptor de primeras aguas y limpiar las cisternas de almacenamiento para maximizar la calidad del agua de lluvia, es necesario también monitorear los niveles de los tanques de almacenamiento.

2.4. Descripción del proceso

El agua precipitada o de lluvia será captada en el área paralela a los techos y constituida por la estructura de soporte y captación anclada a los edificios, luego escurrirán hacia las canaletas instaladas en la parte baja de la estructura de soporte y que constituyen el sistema de recolección y conducción; posteriormente el agua será conducida a través de tuberías y uniones plásticas hacia los tanques de almacenamiento.

Figura 23. **Proceso del SCAP instalado en FIUSAC**



Fuente: elaboración propia, empleando programa AutoCAD.

Las primeras aguas de lluvia captadas servirán para lavar el área de captación y luego serán hacia el interceptor de primeras aguas que almacenará todos los posibles residuos que puedan interferir y contaminar el agua en los tanques de almacenamiento.

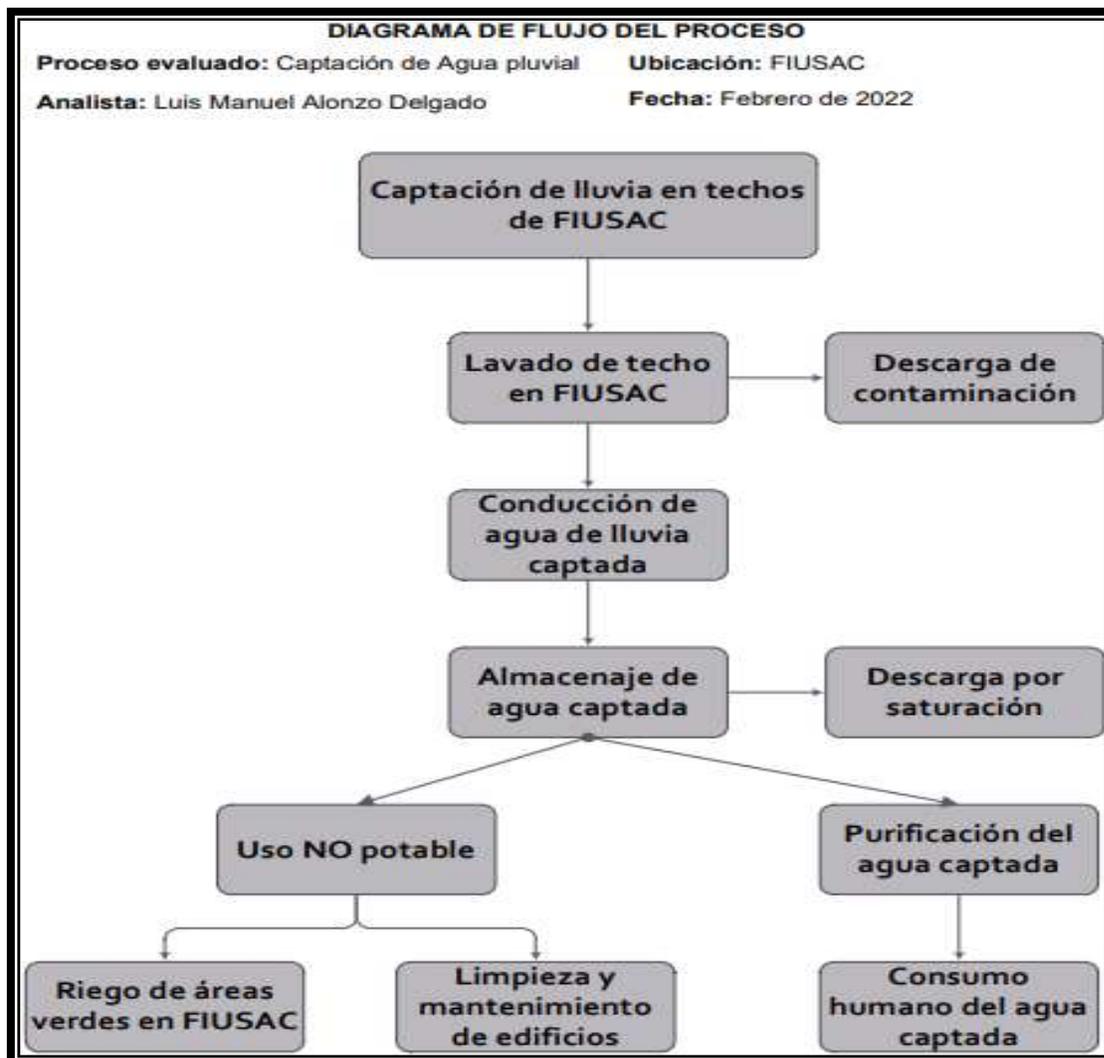
El agua captada se almacenará en tanques o cisternas ubicadas en los alrededores de los edificios de la Facultad de Ingeniería y será distribuida a través de llaves de paso conectadas directamente a la salida de los tanques de almacenamiento.

El proceso de captación de agua pluvial incluye la revisión de los componentes del sistema por parte de personal de servicios de la Facultad; su continua limpieza al inicio de la época lluviosa y reparación para su correcto funcionamiento.

2.4.1. Diagrama de flujo del proceso

A continuación, se muestra en la figura 24, una representación gráfica del proceso que se llevará a cabo durante la captación, recolección, conducción, almacenamiento y posterior uso del agua de lluvia propuesto en este proyecto.

Figura 24. Flujo del proceso de captación



Fuente: elaboración propia, empleando programa Visio.

2.4.2. Capacidad de producción de agua

La capacidad de producción de agua dulce por parte de un sistema de captación pluvial en techos se incrementa proporcionalmente con el área disponible para su uso en los techos de los edificios, por tanto, mientras más área se destine para ello mayor será el volumen de agua que se puede aprovechar.

Se estima que los sistemas de captación propuestos para los T3, T4 y T5 de la Facultad de Ingeniería, producirán aproximadamente un promedio de 421 500 litros de agua dulce mensual durante el período de tiempo que el sistema funciona a máxima capacidad durante la época lluviosa entre mayo y octubre de cada año.

3. ESTUDIO ADMINISTRATIVO-LEGAL

3.1. Universidad de San Carlos de Guatemala

La Universidad de San Carlos de Guatemala es la única universidad pública-estatal del país, por tanto está comprometida con la población guatemalteca en el desarrollo de propuestas, proyectos y tecnologías que brinden soluciones viables a la problemática económica, social y ambiental que vive nuestro país y que está relacionada con la explotación desmedida e irracional de los recursos naturales con que cuenta el territorio nacional; afectando la calidad de vida de toda la población guatemalteca.

3.1.1. Antecedentes

La Real Universidad de San Carlos fue fundada en enero de 1676, por Real Cédula de Carlos II, se convirtió en la tercera universidad real fundada en Hispanoamérica; se estableció en el reino de Guatemala, es decir, al territorio ocupado por el Virreinato de la Nueva España. Desde sus inicios, la universidad ha atravesado diversas épocas durante las cuales su nombre oficial ha ido cambiando hasta llegar al actual nombre, estos son:

- Universidad Real y Pontificia de San Carlos Borromeo; desde 1676 hasta 1829, tiempo durante el cual estuvo dirigida por la iglesia católica.
- Escuela de Ciencias; desde 1834 hasta 1840 durante el cual fungió como institución laica creada por el gobernador Mariano Gálvez.

- Universidad Pontificia de San Carlos Borromeo; entre 1840 y 1875.
- Universidad Nacional de Guatemala; ente 1875 y 1944 tiempo durante el cual estuvo dividida en las escuelas facultativas de Derecho, Medicina y Farmacia.
- Universidad de San Carlos de Guatemala, institución laica autónoma con enfoque social, instituida luego de la Revolución de 1944.

3.1.2. Ubicación

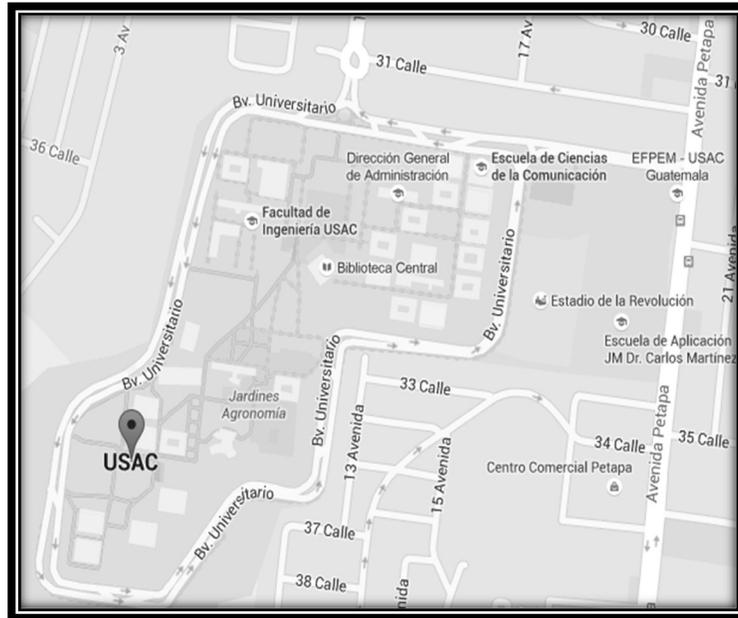
La actual ciudad universitaria se encuentra ubicada en la zona 12 de la capital de Guatemala y está constituida por diversas fincas que se describen a continuación.

Tabla XXI. **Terrenos de la USAC**

UBICACIÓN	FINCA	FOLIO	LIBRO	EXTENSIÓN
Fracción finca Liluca, calle Real Petapa, zona 12	7 772	128	509	558 991 mt ²
Terreno calle Real Petapa, zona 12	40 458	74	335	419 243 mt ²
Fracción finca Liluca, calle Real Petapa, zona 12	43 350	124	356	214 629 mt ²
Fracción finca El Portillo, zona 12	16 779	251	502	3 117,5 mt ²
Finca El Portillo, 31 calle, zona 12	19 406	188	770	1 864,8 mt ²
Fracción terreno 31 calle 10-00, zona 12	18 312	94	770	1 234,3 mt ²

Fuente: elaboración propia, empleando programa Excel.

Figura 25. **Ubicación USAC**



Fuente: Google Maps. *Ubicación*. www.Googlemaps.com. Consulta: 1 de marzo de 2022.

3.1.3. Estructura organizacional

El artículo 82 de la Constitución Política de la República de Guatemala indica que la Universidad de San Carlos de Guatemala es una institución autónoma y con personalidad jurídica; siendo la única universidad pública estatal sus deberes y responsabilidades conllevan la dirección, organización y desarrollo de toda la educación profesional superior universitaria del país. La autonomía universitaria otorgada después de la Revolución de 1944 indica que esta se rige por su Ley Orgánica y por todos los estatutos emitidos por la misma, debiendo conformarse los propios órganos de dirección y representación de sus catedráticos titulares, profesionales graduados y estudiantes con participación en la elección de sus autoridades académicas y administrativas.

3.1.3.1. Misión

En su carácter de única universidad estatal le corresponde con exclusividad dirigir, organizar y desarrollar la educación superior del estado y la educación estatal, así como la difusión de la cultura en todas sus manifestaciones; promoverá por todos los medios a su alcance la investigación en todas las esferas del saber humano y cooperará al estudio y solución de los problemas nacionales³.

3.1.3.2. Visión

La Universidad de San Carlos de Guatemala es la institución de educación superior estatal, autónoma, con cultura democrática, con enfoque multi e intercultural, vinculada y comprometida con el desarrollo científico, social, humanista y ambiental, con una gestión actualizada, dinámica, efectiva y con recursos óptimamente utilizados, para alcanzar sus fines y objetivos, formadora de profesionales con principios éticos y excelencia académica⁴.

3.1.3.3. Valores

La Universidad de San Carlos de Guatemala comparte distintos principios y creencias que forman los valores que permiten orientar e integrar el esfuerzo y comportamiento de los trabajadores y la institución; en función de alcanzar la misión y visión proyectada por la misma, los valores profesados son:

- **Responsabilidad:** Valor que permite al trabajador universitario interactuar, comprometerse y aceptar las consecuencias de sus acciones y decisiones. Sus actos responden íntegramente a sus compromisos, sin necesidad de tener supervisión, en cumplimiento de su deber con eficiencia y eficacia. La responsabilidad es uno de los valores y pilares más fuertes del éxito.
- **Respeto:** Es valorar a los demás, acatar los límites que impone el derecho ajeno como base para la convivencia armoniosa que exige de los trabajadores de la Universidad de San Carlos de Guatemala, actitudes positivas en las relaciones humanas, en el ambiente laboral y en cualquier relación interpersonal.

³ USAC. *Misión, Visión, Valores*. <https://www.usac.edu.gt/misionvision.php>. Consulta: 1 de marzo de 2022.

⁴ *Ibíd.*

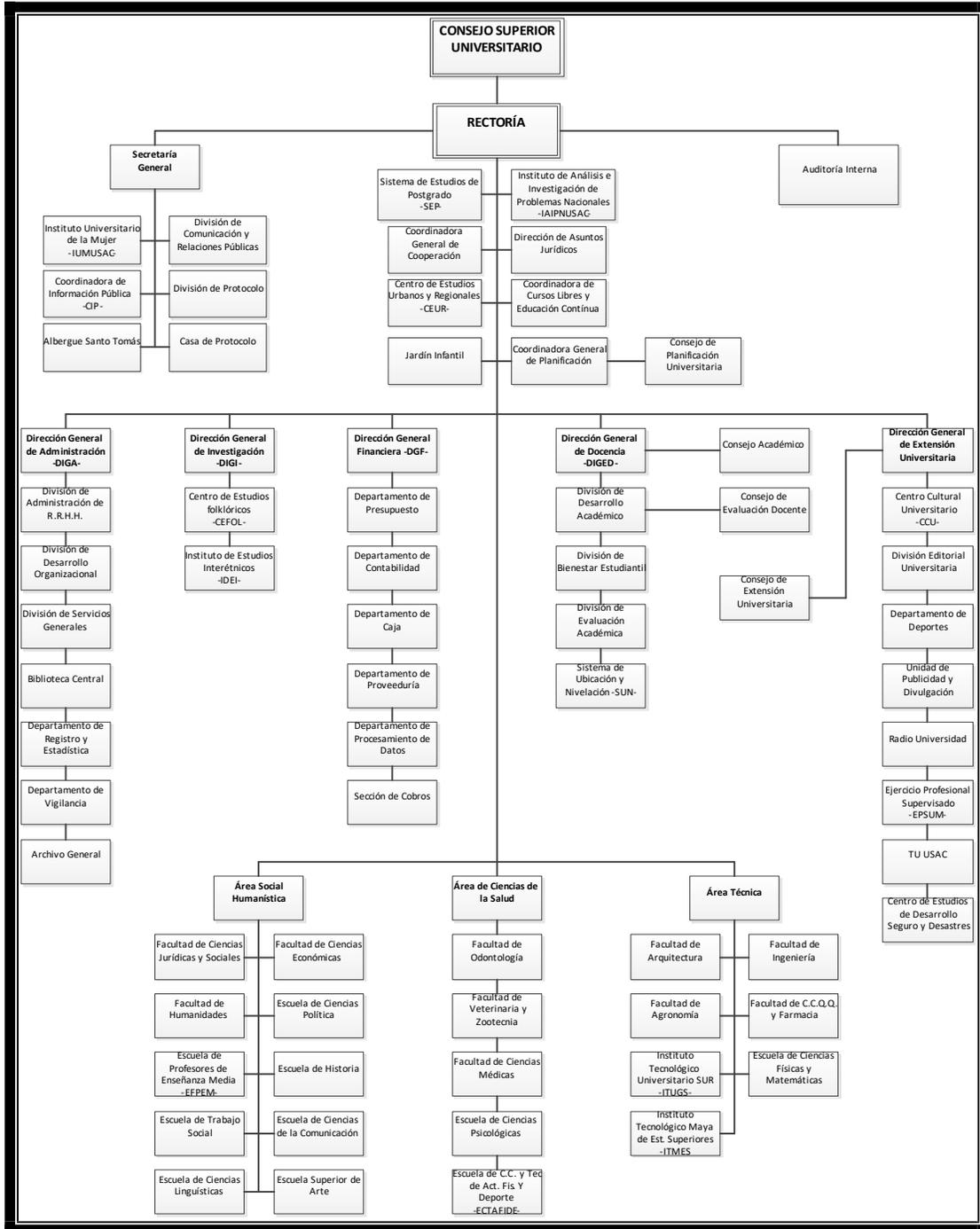
- Honestidad: El carácter de tu palabra es tu mejor bien y la honestidad, tu mejor virtud. Valor que distingue al trabajador de la Universidad de San Carlos de Guatemala por sus actos de probidad, rectitud, decoro y decencia.
- Excelencia: Valor que motiva a los trabajadores de la Universidad de San Carlos de Guatemala, a desarrollar sus labores cotidianas en forma sobresaliente y buscando continuamente la mejora del trabajo realizado. Es el conjunto de prácticas en la gestión de la Universidad que dan resultados relevantes y un servicio de alta calidad y pertinencia. Somos lo que hacemos constantemente. La excelencia, pues, no es una acción; es un hábito.
- Servicio: Es la disposición de los trabajadores universitarios de atender con agilidad, cordialidad, eficiencia y diligencia a la comunidad universitaria y a las personas que hacen uso de los servicios de la Universidad, en función de la misión institucional. Quien no vive para servir, no sirve para vivir⁵.

3.1.3.4. Organigrama

El siguiente diagrama describe las diferentes dependencias y departamentos que conforman la Universidad de San Carlos de Guatemala en su extensión central en la ciudad universitaria zona 12, asimismo, describe las líneas de mando que existen entre todos sus componentes:

⁵ USAC. *Misión, Visión, Valores*. <https://www.usac.edu.gt/misionvision.php>. Consulta: 1 de marzo de 2022.

Figura 26. Organigrama USAC



Fuente: elaboración propia, empleando programa Visio.

3.2. Facultad de Ingeniería, USAC

En sus inicios, la Facultad de Ingeniería atendía a un promedio de 100 estudiantes por semestre, cifra que año con año ha ido aumentando hasta alcanzar los más de 15 000 estudiantes regulares inscritos en el 2016 y que actualmente cursan algún pénsum de estudios ofrecidos por la Facultad de Ingeniería; esto implica un aumento considerable en la demanda de agua potable para el funcionamiento y desarrollo de actividades académicas y administrativas propias de la Facultad.

Actualmente, FIUSAC no cuenta con información relacionada a la cantidad de agua que se utiliza diariamente en el desarrollo de sus actividades; asimismo, se evidencia la inexistencia de sistemas de aprovechamiento de agua pluvial en la Facultad, lo que contribuye a la sobreexplotación de los recursos freáticos de la región.

3.2.1. Antecedentes

Durante el gobierno de Mariano Gálvez en 1834, se creó la Academia de Ciencias como sucesora de la Universidad de San Carlos y se inició con la enseñanza de álgebra, geometría, trigonometría y física; siendo estos actos los precursores de la actual Facultad de Ingeniería.

Para 1879, se había establecido la Escuela de Ingeniería como parte de la Universidad Nacional; esta fue elevada a la categoría de Escuela Facultativa por decreto de gobierno en 1882. Durante mucho tiempo la facultad de ingeniería sufrió muchos cambios hasta que en 1930 se reestructuran los estudios y se establece la carrera de Ingeniería Civil, dando paso a la época moderna de esta Facultad.

A partir de la Revolución de 1944, en donde se reconoció la autonomía universitaria y fueron asignados recursos financieros para la Universidad de San Carlos, la Facultad de Ingeniería se independizó de las instituciones de gobierno y se integró al régimen autónomo estrictamente académico y universitario. Debido a las múltiples necesidades sociales y tecnológicas que acontecían durante la época de los años setenta, se inicia con la reestructuración de la Facultad de Ingeniería y se impulsa la formación integral de los estudiantes para una participación más efectiva en el desarrollo del país, hecho que se ve reflejado en la actualidad con los distintos programas académicos de pregrado con que cuenta la Facultad de Ingeniería.

Tabla XXII. **Programas de pregrado FIUSAC**

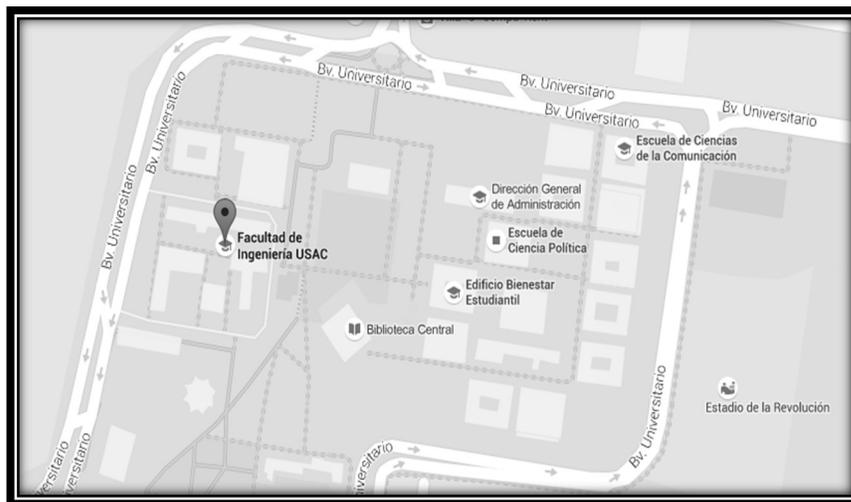
Nivel	Escuela	Carreras
Pregrado	Escuela Civil	<ul style="list-style-type: none"> • Ingeniería Civil
	Escuela Mecánica	<ul style="list-style-type: none"> • Ingeniería Mecánica
	Escuela Mecánica Industrial	<ul style="list-style-type: none"> • Ingeniería Industrial • Ingeniería Mecánica Industrial
	Escuela Mecánica Eléctrica	<ul style="list-style-type: none"> • Ingeniería Eléctrica • Ingeniería Electrónica • Ingeniería Mecánica Eléctrica
	Escuela Química	<ul style="list-style-type: none"> • Ingeniería Química • Ingeniería Ambiental
	Escuela de Ciencias y Sistemas	<ul style="list-style-type: none"> • Ingeniería en Ciencias y Sistemas

Fuente: elaboración propia, empleando programa Excel.

3.2.2. Ubicación

La Facultad de Ingeniería se encuentra ubicada en el extremo noroeste del campus dentro de la ciudad universitaria de la USAC, zona 12 de la Ciudad de Guatemala. La nomenclatura utilizada para identificar sus edificios (denominación T) se refiere a edificios donde se imparten carreras técnicas.

Figura 27. Ubicación FIUSAC



Fuente: Google Maps. *Ubicación.* www.Googlemaps.com Consulta: 1 de marzo de 2022.

3.2.3. Estructura organizacional

Debido a su carácter de autónoma, todas las facultades que conforman la Universidad de San Carlos siguen una estructura organizacional descentralizada en donde cada facultad elige sus propias autoridades. Internamente y de acuerdo con esta estructura, FIUSAC está organizada en: escuelas facultativas, centros, departamentos y unidades académico–administrativas.

Además, también está integrada por:

- Centro de Investigaciones de Ingeniería, CII
- Centro de Cálculo e Investigación Educativa
- Biblioteca Ing. Mauricio Castillo C.
- Unidad de Ejercicio Profesional Supervisado, EPS
- Unidad de Servicio de Apoyo al Estudiante y al Profesor, SAE-SAP

En la Facultad de Ingeniería, la máxima autoridad es la Junta Directiva, actualmente está conformada por:

Tabla XXIII. **Junta Directiva FIUSAC**

Facultad de Ingeniería	
DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Vladimir Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Inga. Hugo Humberto Rivera Pérez

Fuente: elaboración propia, empleando programa Excel.

3.2.3.1. Misión

Formar profesionales en las distintas áreas de la Ingeniería que, a través de la aplicación de la ciencia y la tecnología, conscientes de la realidad nacional y regional, y comprometidos con nuestras sociedades, sean capaces de generar soluciones que se adapten a los desafíos del desarrollo sostenible y los retos del contexto global⁶.

3.2.3.2. Visión

Ser una Institución académica con incidencia en la solución de la problemática nacional, formando profesionales en las distintas áreas de la Ingeniería, con sólidos conceptos científicos, tecnológicos, éticos y sociales, fundamentados en la investigación y promoción de procesos innovadores orientados hacia la excelencia profesional⁷.

3.2.3.3. Objetivos

General:

Formar el recurso humano dentro del área técnico-científica que necesita el desarrollo de Guatemala, dentro del ambiente físico, natural, social, económico, antropológico y cultural del medio que lo rodea, para que pueda servir al país eficiente y eficazmente como profesional de la Ingeniería⁸.

Específicos:

- Proporcionar, al estudiantado de la Facultad de Ingeniería las oportunidades para obtener una formación técnico-científica, para su aplicación al medio laboral y adaptación a la tecnología moderna.
- Fomentar la investigación científica y el desarrollo de la tecnología y ciencias entre los estudiantes y catedráticos de la Facultad de Ingeniería, con proyección y como resarcimiento para el pueblo de Guatemala.

⁶ FIUSAC. *Misión, Visión, Objetivos*. <https://portal.ingenieria.usac.edu.gt/index.php/antecedentes> (en línea) Consulta: 1 de marzo 2022.

⁷ *Ibíd.*

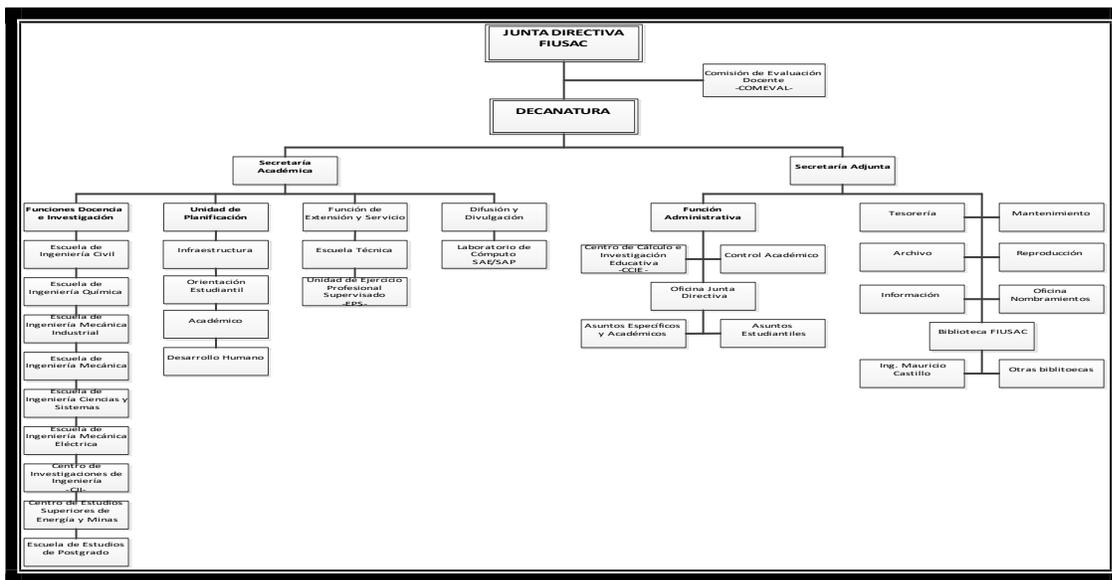
⁸ *Ibíd.*

- Fortalecer las relaciones con los sectores externos del país, que se vinculan con las diversas ramas de la ingeniería y contribuir a satisfacer sus necesidades, lo cual generará el beneficio mutuo⁹.

3.2.3.4. Organigrama

El siguiente diagrama describe las diferentes dependencias y departamentos que conforman la Facultad de Ingeniería en su extensión central en la ciudad universitaria zona 12 de la Ciudad de Guatemala; asimismo, describe las líneas de mando que existen entre todos sus componentes:

Figura 28. Organigrama FIUSAC



Fuente: elaboración propia, empleando programa Visio.

⁹ FIUSAC. *Misión, Visión, Objetivos*. <https://portal.ingenieria.usac.edu.gt/index.php/antecedentes>. Consulta: 1 de marzo de 2022.

3.3. Proyectos dentro de Facultad de Ingeniería

La Facultad de Ingeniería como escuela facultativa de la Universidad de San Carlos de Guatemala debe regirse por los mismos lineamientos legales que determinan la aprobación de cualquier tipo de proyecto, especialmente si este es financiado con la asignación presupuestaria que el gobierno central otorga a la universidad nacional. La solicitud para la aprobación de cualquier proyecto de construcción de infraestructura en la Facultad de Ingeniería debe ser presentada a la autoridad u órgano competente dentro de la misma junto con el perfil del proyecto; deben incluirse estudios y documentos técnicos que sustenten el desarrollo y evaluación de este para luego ser remitido a instancias superiores que evaluarán el proyecto y darán su aval para que la implementación de este siga su curso.

3.3.1. Aspectos legales

La Universidad de San Carlos de Guatemala a pesar de ser autónoma e independiente; con influencia y participación en distintos procesos sociales, políticos, legales y económicos de carácter nacional; depende de normativas y lineamientos legales de orden mayor, como la Constitución Política de la República de Guatemala desde donde se le confiere su carácter autónomo; se instituye el gobierno de la misma y se le asigna un presupuesto no menor al cinco por ciento del Presupuesto General de Ingresos Ordinarios del Estado.

La implementación de un sistema de captación pluvial para la Facultad de Ingeniería con recursos financieros propios de la universidad debe enmarcarse en el Decreto número 57-92 / Ley de Contrataciones del Estado, cuyo objeto se refiere a:

La compra, venta y contratación de bienes, suministros, obras y servicios que requieran los organismos del Estado, sus entidades descentralizadas y autónomas, unidades ejecutoras, las municipalidades y las empresas públicas estatales o municipales, se sujetan a la presente ley y su reglamento¹⁰.

3.3.2. Aspectos civiles y de infraestructura

La autoridad superior, en este caso, Dirección de Servicios Generales conjuntamente con la Facultad de Ingeniería, velarán porque los aspectos civiles, especificaciones generales, técnicas, disposiciones especiales y planos de construcción sean congruentes y se ajusten a las necesidades y normativas que motivan y permiten la implementación y desarrollo de cualquier proyecto dentro de la USAC; todos estos aspectos serán tomados en consideración dentro del costo del proyecto como inversiones diferidas del mismo, ya que únicamente requieren de la aprobación de las partes interesadas en el proyecto.

De acuerdo con el Reglamento del Sistema de Planificación Interno y cuyo objetivo consiste en identificar, diseñar, elaborar, aprobar, dar seguimiento y evaluar los planes, programas y proyectos para lograr mayor efectividad en el uso de los recursos en pro del desarrollo universitario se crea el Sistema de Planificación Universitaria integrado por:

- Consejo Superior Universitario
- Rector de la universidad
- Coordinadora General de Planificación
- Direcciones generales de la administración central
- Coordinadora General de Cooperación
- Consejo de Planificación de las Unidades Académicas

¹⁰ GUATEMALA. Artículo núm. 1, Decreto 57-92. *Ley de contrataciones del Estado*.

- Consejo de Planificación de la Administración Central
- Coordinadoras de planificación de las unidades académicas

Entre las funciones de la coordinadora de planificación de la Facultad de Ingeniería, pertinentes a la aprobación e implementación del proyecto propuesto, se encuentran:

- “Formular y evaluar de manera integral, proyectos relacionados con el desarrollo académico y la infraestructura de su unidad, gestionando la cooperación extrauniversitaria”¹¹.
- “Presentar a la Coordinadora General de Planificación, los proyectos para el desarrollo de su unidad académica, que deben incorporarse al Banco de Proyectos de la USAC”¹².

3.3.3. Permisos universitarios

La implementación de un sistema de captación de agua pluvial para la Facultad de Ingeniería necesita el visto bueno y aprobación de la División de Servicios Generales de la USAC por medio de su Unidad de Planificación, Junta Directiva y Unidad de Planificación interna de la Facultad de Ingeniería y finalmente del área de Tesorería con aspectos relacionados al presupuesto disponible para el desarrollo del proyecto.

¹¹ USAC. *Reglamento del sistema de planificación de la Universidad de San Carlos de Guatemala*. Artículo núm. 27 inciso h.

¹² *Ibíd.*

El presente trabajo funciona como el documento técnico que respalde la solicitud de aprobación del sistema de captación de agua pluvial para la Facultad de Ingeniería, ya que contiene todos los aspectos necesarios para considerar la implementación de dicho sistema en la Facultad; con la aprobación del proyecto se inicia una licitación de carácter abierto por medio de la Unidad Ejecutora, a cuya Junta Directiva corresponde la designación de los integrantes de la junta de licitación y la aprobación de la misma.

3.4. Calidad del agua en Guatemala

En Guatemala, la administración del agua se ve reflejada en una diversidad de normas legales que incorporan disposiciones relacionadas a distintas actividades y relativas a las atribuciones de los ministerios de Estado y a diferentes entes autónomos; todas ellas se derivan de la Constitución Política de la República que indica:

El Estado, las municipalidades y los habitantes del territorio nacional están obligados a propiciar el desarrollo social, económico y tecnológico que prevenga la contaminación del ambiente y mantenga el equilibrio ecológico. Se dictarán todas las normas necesarias para garantizar que la utilización y el aprovechamiento de la fauna, de la flora, de la tierra y del agua, se realicen racionalmente, evitando su depredación¹³.

El recurso hídrico del país, así como la cantidad y calidad de este es introducido al ordenamiento legal nacional a través de la aprobación del Decreto 68-86 *Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente*, cuya aplicación es responsabilidad del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales MARN y que indica en uno de sus artículos:

¹³ Guatemala. *Constitución política de la república de Guatemala*. Artículo núm. 97.

El Gobierno velará por el mantenimiento de la cantidad del agua para el uso humano y otras actividades cuyo empleo sea indispensable, por lo que emitirá las disposiciones que sean necesarias y los reglamentos correspondientes para:

Evaluar la calidad de las aguas y sus posibilidades de aprovechamiento mediante análisis periódicos sobre sus características físicas, químicas y biológicas.

Ejercer control para que el aprovechamiento y uso de las aguas no cause deterioro ambiental.

Promover el uso integral y el manejo racional de cuencas hídricas, manantiales y fuentes de abastecimiento de aguas.

Propiciar en el ámbito nacional e internacional las acciones para mantener la capacidad reguladora del clima en función de cantidad y calidad¹⁴.

De acuerdo con este artículo, el Gobierno de Guatemala está facultado para delegar y atribuir responsabilidades directas sobre las disposiciones relacionadas al manejo del recurso hídrico del país y en el caso específico de la calidad del agua para consumo humano y que consisten en proponer una normativa de calidad de agua potable y saneamiento ambiental, y es por esto que dentro de la estructura legal de un país es necesario contar con normas técnicas que permitan la aplicación de las leyes de una manera integral dentro del territorio nacional.

Esta es responsabilidad y atribución directa de la Comisión guatemalteca de normas, organismo nacional de normalización creado por el Decreto 1523 del Congreso de la República en mayo de 1962; sus funciones están definidas en el marco de la Ley del Sistema Nacional de la Calidad, Decreto 78-2005 del Congreso de la República.

¹⁴ Guatemala. *Ley de protección y mejoramiento del medio ambiente*. Artículo núm.15 incisos a, b, f y h; Decreto 68-86

3.4.1. Norma COGUANOR NTG 29 001

La normalización para el uso y consumo de agua está definida por la Norma COGUANOR NTG 29 001: Agua para consumo humano (agua potable); en donde se establecen los valores de las características que definen la calidad del agua para consumo humano y su campo de aplicación compete a toda agua para consumo humano, destinada para alimentación y uso doméstico, que provenga de fuentes como: pozos, nacimientos, ríos, entre otros y que podrá estar ubicada en una red de distribución, en reservorios o depósitos generales.

Su aplicación se encuentra sustentada y apoyada por los métodos normalizados establecidos en la técnica *Standard Methods for the Analysis of Water and Wastewater*, proporcionados y definidos por la Asociación Americana de Salud Pública (AHA, por sus siglas en inglés); la Asociación Americana de Obras con Agua (AWA, por sus siglas en inglés) y la Federación Ambiental por el Agua (WEF, por sus siglas en inglés); cuyo objetivo primordial es promover y mejorar la calidad del agua, su suministro y la reutilización de la misma dentro de los Estados Unidos de América.

3.4.2. Análisis y comparación de agua pluvial y potable para uso en FIUSAC

A nivel nacional no existe ninguna norma aceptada que determine las características del agua lluvia debido a que esta varía de acuerdo con la región en donde fue captada; y para efectos del proyecto SCAP FIUSAC, se presenta una comparación de los resultados obtenidos en el estudio de las muestras de agua lluvia captadas en la facultad y la Norma COGUANOR NTG 29 001. A continuación, se encuentra la comparación de los valores de agua potable y agua lluvia de la región de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

La primera columna de la tabla describe las características físicas y químicas del agua que deben ser analizadas, la segunda y tercera columna se refieren al límite máximo aceptable (LMA) y límite máximo permisible (LMP) de las características del agua, según COGUANOR NTG 29 001, la cuarta y quinta columna describen los valores obtenidos del análisis de las muestras de agua de lluvia captadas y la sexta columna representa el promedio de los valores anteriores.

Tabla XXIV. Comparación fisicoquímica del agua pluvial

Aspectos físicos	COGUANOR NTG 29 001		Muestras agua de lluvia		
	LMA	LMP	Zona 12	Zona 6	Promedio
Color	5,0 u	35,0 u	16,0 u	5,0 u	10,5 u
Olor	No rechazable	No rechazable	Inodora	Inodora	Inodora
Turbiedad	5,0 UNT	15,0 UNT	0,88 UNT	1,37 UNT	1,125 UNT
Conductividad eléctrica	750 μ S/cm	1 500 μS/cm	10,0 μ S/cm	23,3 μ S/cm	16,65 μS/cm
pH	7,0 - 7,5	6,5 - 8,5	7,11	6,92	7,015
Sólidos totales disueltos	500,0 mg/L	1000,0 mg/L	5,0 mg/L	12,0 mg/L	8,5 mg/L
Aspectos químicos	LMA (mg/L)	LMP (mg/L)	Zona 12 (mg/L)	Zona 6 (mg/L)	Promedio (mg/L)
Cloro residual	0,5	1,0	0,0	0,0	0,0
Cloruros	100,0	250,0	5,0	9,0	7,0
Dureza total	100,0	500,0	0,0	30,0	15,0
Sulfatos	100,0	250,0	1,0	1,0	1,0
Manganeso	0,1	0,4	0,007	0,005	0,006
Hierro total	0,3	*****	0,08	0,01	0,045
Nitratos	*****	50,0	4,30	4,70	4,5
Nitritos	*****	3,0	0,023	0,0	0,0115

Fuente: elaboración propia, empleando programa Excel.

A continuación, se presenta la comparación entre la normativa COGUANOR NTG 29 001 para agua potable y el agua pluvial captada en FIUSAC; la primera columna describe los aspectos físicos y químicos a evaluar; la segunda y tercera columna son los valores por comparar y la columna de análisis describe si los valores del agua de lluvia se encuentran dentro del límite aceptable para ser considerada en el consumo humano.

Tabla XXV. **Análisis fisicoquímico del agua pluvial**

	COGUANOR NTG 29 001	Agua de lluvia	ANÁLISIS
Aspectos físicos	LMP	Promedio	Aspectos físicos
Color	35,0 u	10,5 u	Valor dentro del límite
Olor	No rechazable	Inodora	Valor dentro del límite
Turbiedad	15,0 UNT	1,125 UNT	Valor dentro del límite
Conductividad eléctrica	1 500 µS/cm	16,65 µS/cm	Valor dentro del límite
Potencial de hidrógeno (pH)	6,5 - 8,5	7,015	Valor dentro del límite
Sólidos totales disueltos	1 000,0 mg/L	8,5 mg/L	Valor dentro del límite
Aspectos químicos	LMP (mg/L)	Promedio	Aspectos químicos
Cloro residual	1,0 mg/L	0,0 mg/L	Valor dentro del límite
Cloruros	250,0 mg/L	7,0 mg/L	Valor dentro del límite
Dureza total	500,0 mg/L	15,0 mg/L	Valor dentro del límite
Sulfatos	250,0 mg/L	1,0 mg/L	Valor dentro del límite
Manganeso	0,4 mg/L	0,006 mg/L	Valor dentro del límite
Hierro total	*****	0,045 mg/L	Valor dentro del límite
Nitratos	50,0 mg/L	4,5 mg/L	Valor dentro del límite
Nitritos	3,0 mg/L	0,0115 mg/L	Valor dentro del límite

Fuente: elaboración propia, empleando programa Excel.

Basados en el análisis de los datos se determina que el agua de lluvia captada para el presente trabajo sí cumple con las características fisicoquímicas para ser utilizada en el consumo humano, según la Norma técnica COGUANOR NTG 29 001.

Tabla XXVI. **Comparación y análisis bacteriológico del agua pluvial**

Aspectos bacteriológicos	COGUANOR NTG 29 001	Agua de lluvia	
	LMP	Zona 12	Zona 6
Agua de consumo directo Coliformes totales y E.coli	No deben ser detectables en 100 ml de agua	≥ 1 600	≥ 1 600
Agua tratada que entra al sistema de distribución coliformes totales y E.coli	No deben ser detectables en 100 ml de agua	≥ 1 600	≥ 1600
Agua tratada en el sistema de distribución coliformes totales y E.coli	No deben ser detectables en 100 ml de agua	≥ 1 600	≥ 1 600

Fuente: elaboración propia, empleando programa Excel.

Por medio de la comparación y posterior análisis de las características bacteriológicas del agua de lluvia captada se puede concluir que esta no cumple con los requerimientos determinados por la Norma técnica COGUANOR NTG 29 001 debido a que; para que esta sea utilizada para consumo humano no debe detectarse ningún microorganismo patógeno dentro de la muestra analizada.

4. ASPECTOS RELACIONADOS AL IMPACTO AMBIENTAL

4.1. Definición

Impacto ambiental se refiere a cualquier alteración significativa perpetrada contra cualquier componente del ambiente y que es provocada por acción directa del hombre en la región en donde se desarrolla la actividad agrícola o industrial; incluye cualquier efecto positivo o negativo que podría ocasionar la ejecución de un proyecto, obra, industria o actividad en la región donde este se está llevando a cabo y a todo el medio que le rodea incluidos aire, tierra, agua, sonido, ecosistema, fauna y flora.

El impacto ambiental tiene incidencia directa sobre dos tipos de recursos:

- Recursos no renovables: se encuentran en cantidades limitadas en el planeta tierra, los más demandados son petróleo, gas natural y carbón.
- Recursos potencialmente renovables: su capacidad de renovación depende directamente de la velocidad en que el hombre demande y explote los mismos; se incluye el agua, suelos y seres vivos.

Existen distintos tipos de impacto ambiental, como se describen en la tabla XXVII.

Tabla XXVII. **Tipos de impacto ambiental**

Tipo	Definición	Ejemplo
Directo	Efecto biofísico/socioeconómico en el ambiente que se origina del proyecto	Deforestación del área por proyecto de infraestructura
Indirecto	Cualquier efecto secundario que se deriva del impacto directo.	Migración de biodiversidad local.
A corto plazo	Genera efectos medibles en un plazo no mayor a 6 meses.	Fauna afectada por vertido de petróleo en el agua.
A largo plazo	Sus efectos significativos ocurren tiempo después de efectuada la acción originaria.	Emisión de dióxido de carbono y gases de efecto invernadero
Positivo	Genera consecuencias o efectos positivos en el ambiente o región.	Captación de agua lluvia versus otras fuentes.
Negativo	Genera consecuencias o efectos negativos al ambiente o región.	Contaminación de una fuente de agua potable.
Acumulativo	Impacto resultante de la acumulación de acciones particulares y repetidas.	Descarga de aguas residuales a un cuerpo de agua
Residual	Persiste después de la aplicación de las medidas de mitigación diseñadas.	Residuos por incineración o radioactividad en el área afectada
Sinérgico	Se produce cuando el efecto conjunto supone una incidencia mayor que la suma de las incidencias individuales.	Lluvia ácida

Fuente: elaboración propia, empleando programa Excel.

4.1.1. Impacto positivo

El sistema de captación de agua pluvial propuesto para la Facultad de Ingeniería pretende: combatir la depredación de las fuentes subterráneas de agua en la región brindando una fuente de agua alternativa dentro de la Facultad y crear conciencia en el alumnado acerca de los retos medioambientales a los que nos enfrentamos en la actualidad para proponer y desarrollar proyectos y estrategias en pro del beneficio de toda la universidad.

En conclusión, el sistema propuesto es una solución directa basada en la formulación de proyectos sobre temática ambiental, que busca aumentar la eficiencia relacionada al aprovechamiento de los recursos hídricos y gestionar la sostenibilidad del medio ambiente en la región de la Universidad de San Carlos de Guatemala empezando por la Facultad de Ingeniería.

4.1.2. Impacto negativo

Se refiere a cualquier efecto o consecuencia directa de actividades o proyectos que incluyan cualquier alteración del equilibrio de los recursos naturales de la región. Este tipo de impacto es producto directo de actividades humanas que inciden de manera negativa en los diversos aspectos medioambientales necesarios a tomar en cuenta para la implementación o desarrollo de un proyecto.

Para este caso en específico, el único impacto negativo por parte del proyecto de captación de agua pluvial en la Facultad de Ingeniería será el derivado de la contaminación visual por parte de los componentes del sistema instalados en los techos de los edificios T3, T4 y T5.

4.2. Justificación ambiental

El proyecto de captación pluvial para FIUSAC se enmarca dentro de la Política Ambiental de la Universidad de San Carlos de Guatemala aprobada por el Consejo Superior Universitario en el 2014, y cuyo fin consiste en lograr que la comunidad universitaria comparta las proposiciones filosóficas y la comprensión de la necesidad de acciones ambientales de acuerdo con la concepción del desarrollo sostenible del país para garantizar de esta manera una mejor calidad de vida y un ambiente saludable para el desarrollo de cualquier actividad.

Guatemala no cuenta con capacidad instalada para regular y almacenar el agua - el índice estacional de almacenamiento equivale al 1,5% de su capital hídrico, lo que significa precarias posibilidades de asegurar la dotación de agua a las diversas demandas y la gestión apropiada de los riesgos naturales, todo lo cual impacta la salud, el ambiente y las oportunidades productivas.

Para responder a los retos hídricos citados es necesario también enfocarnos en las oportunidades que tiene Guatemala, debido a su riqueza hídrica. Hoy más que nunca es necesario desarrollar capacidades nacionales de gestión y gobernanza para aprovechar el capital hídrico en beneficio del desarrollo humano y productivo y en función de mejorar y recuperar el ambiente¹⁵.

La política ambiental de la USAC pretende identificar y evaluar los impactos ambientales negativos y positivos de las actividades universitarias; promover el uso eficiente de los recursos y desarrollar proyectos y tecnologías que contribuyan con el uso eficiente de los recursos naturales, en este caso proyectos relacionadas al consumo de agua. Como profesional de la ingeniería se está comprometido con la sociedad guatemalteca en contribuir con el desarrollo del país a través del diseño de una gestión integral que incluya todo tipo de aspectos y campos relevantes, incluidos aspectos relacionados con la sostenibilidad ambiental.

¹⁵ Gabinete Específico del Agua. *Política nacional del agua de Guatemala y su estrategia; año 2011*. p. 4.

Figura 29. **Política ambiental sobre agua pluvial USAC**

POLITICA	Plan estratégico Todos los campus, los edificios nuevos, así como la reconversión de edificios existentes deberán contemplar criterios de certificación ambiental, que contemplen:	PROGRAMA	Ideas de Proyecto	Responsable
Eficiencia en el uso del agua y descarga de fluidos.	Buscar mayor eficiencia en el uso del agua, procurando el mejor manejo y reutilización de este recurso. (vinculada con línea estratégica C.0.8)	Programa de certificación del uso eficiente del agua en cada edificio, infraestructura, parques, jardines y espacios abiertos.	Proyecto de recolección y uso de agua de lluvia tratada, para el uso de servicios sanitarios y riego.	CGP, DIGA Y FI

Fuente: USAC. *Política ambiental de la Universidad de San Carlos de Guatemala*. p. 31.

4.2.1. El agua y el cambio climático

La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático llevada a cabo en New York en mil novecientos noventa y dos (1992) se refiere al término cambio climático como:

“Cambio de clima es atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables”¹⁶.

Las actividades humanas pueden alterar los patrones climáticos de la Tierra respecto a períodos de tiempo y región comparables; los distintos tipos

¹⁶ Organización de las Naciones Unidas. Definición núm. 2. *Convención marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático*.

de clima y su localización obedecen a ciertos factores, entre ellos: latitud geográfica, altitud, distancia promedio al mar, orientación del relieve respecto a la luz solar, corrientes marinas y dirección de los vientos; la variación en estos factores ocasiona cambios en los cinco principales elementos del clima: temperatura y presión atmosférica, humedad, vientos y precipitaciones pluviales.

4.2.2. Impactos positivos al ambiente en la región

La Universidad de San Carlos de Guatemala, siendo la única universidad pública y estatal, a través de su política ambiental promulgada en 2014; implica la participación directa del alumnado y profesionales de la Facultad de Ingeniería en la creación, ampliación y divulgación de conocimientos y soluciones que permitan a la sociedad hacer un mejor uso de los recursos naturales del país y el SCAP en FIUSAC será una fuente alternativa y gratuita de agua dulce al servicio de FIUSAC.

4.2.2.1. Ahorro de agua en FIUSAC

Con la implementación de un sistema de captación pluvial en los techos de los edificios T3, T4 y T5 de la Facultad de Ingeniería, se pretende ahorrar alrededor de medio millón (485 400) de litros de agua al mes y cuya actual fuente de abastecimiento son los depósitos freáticos bajo la universidad. Este ahorro será continuo durante el tiempo de vida útil del proyecto que se estima entre 20-25 años, permitirá la recuperación de los depósitos freáticos explotados por la Facultad; sin afectar las actividades administrativas de limpieza y mantenimiento en FIUSAC.

4.2.2.2. Manejo y control del agua en FIUSAC

Es necesario crear un sistema que permita el manejo adecuado del agua que utiliza la Facultad de Ingeniería en la realización de sus actividades diarias, esto permitirá un mejor control sobre la cantidad que es utilizada y evitará el desperdicio del recurso.

4.2.3. Potencial industrial y agroindustrial

Debido a la versatilidad de los sistemas de captación pluvial estos tienen diversas aplicaciones en procesos industriales y agroindustriales que requieran para el desarrollo de estos un flujo constante de agua limpia; este tipo de proyecto puede ser beneficioso para los agricultores del país en las regiones donde las sequías son causantes de la pérdida de las cosechas.

La captación de agua de lluvia es un medio fácil de obtener agua para consumo humano o uso agrícola. En muchos lugares del mundo con alta o media precipitación y en donde no se dispone de agua en cantidad y calidad necesaria para consumo humano, se recurre al agua de lluvia como fuente de abastecimiento. Al efecto, el agua de lluvia es interceptada, colectada y almacenada en depósitos para su posterior uso; adicionalmente, los excedentes de agua pueden ser empleados en pequeñas áreas verdes para la producción de algunos alimentos que puedan complementar su dieta¹⁷.

4.2.4. Sistemas de captación pluvial

Probablemente la fuente de agua dulce más importante y hasta ahora más desaprovechada es la lluvia. Si somos capaces de captar y almacenar, aunque sea una fracción de la precipitación anual, se puede contar con una reserva para los meses secos. La cantidad de agua de lluvia por captar es muy variable de una región a otra en nuestro país¹⁸.

¹⁷ Organización Panamericana de la Salud. *Guía del diseño para captación del agua de lluvia*; 2004. p. 3.

¹⁸ Proyecto Estratégico para la Seguridad Alimentaria (PESA). *Sistemas de captación y almacenamiento de agua en el hogar*; año 2008. p. 4.

Los sistemas de captación pluvial son un medio fácil y sensato de obtener agua para uso humano y agrícola debido a que no requiere de mayor tecnología para conseguir el recurso; en los sistemas de captación con fines personales e industriales, se acostumbra a utilizar la superficie del techo como captación, conociéndose a este modelo como SCAPT (sistema de captación de agua pluvial en techos).

Es importante recordar que el agua de lluvia es un recurso natural gratuito y que si se utiliza de forma adecuada para satisfacer las necesidades de la población del país; la presión ejercida por la explotación del agua subterránea de nuestra región podría disminuir, lo que contribuiría con el manejo adecuado y racional de los recursos naturales del país.

4.2.4.1. Ventajas

- Alta calidad fisicoquímica del agua de lluvia y que se puede utilizar en actividades industriales, de limpieza, riego o uso doméstico que no requieran del consumo de esta.
- Sistema independiente, libre de tecnología avanzada o energía extra para su funcionamiento, esto lo convierte en un sistema de operación versátil.
- Disminución del volumen de agua de lluvia que entra al sistema de alcantarillado, evitando así que se sature y previendo las inundaciones.
- Reducción en los costos de agua potable provenientes del servicio público de abastecimiento o en este caso ayuda a prevenir la sobreexplotación de los recursos de agua subterráneos.

- Uso de materiales de construcción básicos, de fácil acceso a la población y cuyo tiempo de vida se determina en al menos 25 años de duración y que representa un ahorro para la implementación del proyecto en beneficio de los recursos hídricos de la región.
- El sistema contribuye al desarrollo sostenible de la sociedad en relación con el medio ambiente, previene la erosión del suelo, no contamina el ambiente y la producción de agua es rentable desde el punto de vista económico tomando en cuenta que el acceso al agua en la actualidad es bastante limitado y costoso.

4.2.4.2. Desventajas

- Necesita de una inversión inicial relativamente alta que puede limitar o condicionar la implementación del proyecto por parte de financistas del proyecto.
- Alta variabilidad de la precipitación pluvial en la región y el área de captación que juntos determinan la cantidad de agua de lluvia que puede ser captada por el sistema.
- Debido a las características bacteriológicas del agua de lluvia, ésta no es apta para consumo humano sin un proceso previo de potabilización dentro de la Facultad de Ingeniería, y por ello el consumo de agua se limita a actividades como mantenimiento y limpieza de los edificios y riego de los jardines.
- Deben separarse las redes de distribución de agua si el recurso captado se utilizará para abastecer sanitarios y orinales en baños de la Facultad.

5. ESTUDIO ECONÓMICO

5.1. Inversión inicial del estudio

La inversión inicial para este proyecto de captación de agua pluvial es de Q 219 940,79 e incluye los costos y gastos de todos los materiales, estructuras, herramientas, mano de obra y otros costos necesarios para la implementación física de los componentes del sistema de captación pluvial; además de esto se tomaron en cuenta gastos realizados para efectuar los diferentes estudios previos y posteriores al desarrollo del diseño del sistema de captación de agua de lluvia para la Facultad de Ingeniería.

5.1.1. Inversiones fijas

Se refiere a todo tipo de bienes tangibles propios del proyecto y que garantizan la correcta operación de este; estos bienes sufren depreciación sobre su valor inicial durante toda su vida útil si esta es mayor a un año. La finalidad de estas inversiones es proveer las condiciones necesarias para que el proceso de captación pluvial diseñado para los edificios de la Facultad de Ingeniería se lleve a cabo correctamente, este monto asciende a Q 198 140,79.

5.1.1.1. Costo de implementación del sistema

El costo de los materiales que se utilizarán para la implementación del SCAP se detalla a continuación, seccionado en cada uno de los procesos que conformarán el sistema completo.

5.1.1.1.1. Captación

Está formado por las estructuras metálicas triangulares para el soporte del sistema y todos los materiales necesarios para diseñar el área de captación que se utilizara en el techo de cada uno de los edificios incluidos en el proyecto, en la tabla XXVIII, se describen los materiales, costo unitario y costo total.

Tabla XXVIII. **Materiales para captación**

MATERIALES	Cantidad (metro o unidad)	Costo unitario	TOTAL
EDIFICIO T3			
Sercha metálica # 1 para captación	64 U	Q 575,00	Q 36 800,00
Lámina policarbonato 12 pies (blanca)	287 U	Q 97,00	Q 27 839,00
Lámina galvanizada 12 pies	28 U	Q 75,00	Q 2 100,00
Tornillo Polser 1 1/2 por 1/4"	2 958 U	Q 0,55	Q 1 626,90
Perno Hilty 1/2 por 5" con tuerca	384 U	Q 7,00	Q 2 688,00
Costo captación			Q 71 053,90
EDIFICIO T4			
Sercha metálica # 2 para captación	22 U	Q 612,18	Q 13 468,00
Lámina policarbonato 12 pies (blanca)	88 U	Q 97,00	Q 8 536,00
Lámina galvanizada 12 pies	7 U	Q 75,00	Q 525,00
Tornillo Polser 1 1/2 por 1/4"	918 U	Q 0,55	Q 504,90
Perno Hilty 1/2 por 5" con tuerca	132 U	Q 7,00	Q 924,00
Costo captación			Q 23 957,86
EDIFICIO T5			
Sercha metálica # 3 para captación	50 U	Q 587,16	Q 29 358,00
Lámina policarbonato 12 pies (blanca)	224 U	Q 97,00	Q 21 728,00
Lámina galvanizada 12 pies	8 U	Q 75,00	Q 600,00
Tornillo Polser 1 1/2 por 1/4"	2 160 U	Q 0,55	Q 1 188,00
Perno Hilty 1/2 por 5" con tuerca	300 U	Q 7,00	Q 2 100,00
Costo captación			Q 54 974,00

Fuente: elaboración propia, empleando programa Excel.

5.1.1.1.2. Recolección y conducción

Está formado por las estructuras metálicas o canaletas al final del área de captación y que permiten conducir el agua captada hacia el sistema de almacenamiento general; en la tabla XIX, se describen los materiales, costo unitario y costo total.

Tabla XXIX. **Materiales para recolección y conducción**

MATERIALES	Cantidad (metro o unidad)	Costo unitario	TOTAL
EDIFICIO T3			
Tubo PVC 4" con campana	251 mt	Q 35,00	Q 8 785,00
Codo para PVC 4"	1 U	Q 43,00	Q 43,00
Tubo PVC 4" bajada de agua	25 mt	Q 35,00	Q 875,00
Soportes tubería bajada agua	25 U	Q 5,80	Q 145,00
Costo recolección y conducción			Q 9 848,00
EDIFICIO -4			
Tubo PVC 4" con campana	77 mt	Q 35,00	Q 2 695,00
Codo para PVC 4"	1 U	Q 43,00	Q 43,00
Tubo PVC 4" bajada de agua	20 mt	Q 35,00	Q 700,00
Soportes tubería bajada agua	20 U	Q 5,80	Q 116,00
Costo recolección y conducción			Q 3 554,00
EDIFICIO T5			
Tubo PVC 4" con campana	196 mt	Q 35,00	Q 6 860,00
Codo para PVC 4"	1 U	Q 43,00	Q 43,00
Tubo PVC 4" bajada de agua	20 mt	Q 35,00	Q 700,00
Soportes tubería bajada agua	20 U	Q 5,80	Q 116,00
Costo recolección y conducción			Q 7 719,00

Fuente: elaboración propia, empleando programa Excel.

5.1.1.1.3. Interceptor de primeras aguas y filtro

A continuación, en la tabla XXX, se describen los materiales, costo unitario y costo total para el interceptor de primeras aguas descrito en el capítulo núm. 2 y para la conexión con el sistema de almacenamiento final.

Tabla XXX. Materiales para intercepción de aguas

MATERIALES	Cantidad (metro o unidad)	Costo unitario	TOTAL
EDIFICIO T3			
Tinaco Rotoplas de 1 100 Lt	1 U	Q 1 154,38	Q 1 154,38
Válvula de paso del sistema	1 U	Q 245,00	Q 245,00
Conexión con almacenamiento	2 U	Q 86,00	Q 172,00
Costo intercepción y filtro			Q 1 571,38
EDIFICIO T4			
Tinaco Rotoplas de 450 Lt	1 U	Q 720,27	Q 720,27
Válvula de paso del sistema	1 U	Q 245,00	Q 245,00
Conexión con almacenamiento	1 U	Q 86,00	Q 86,00
Costo intercepción y filtro			Q 1 051,27
EDIFICIO T5			
Tinaco Rotoplas de 1 100 Lt	1 U	Q 1,154,38	Q 1,154,38
Válvula de paso del sistema	1 U	Q 245,00	Q 245,00
Conexión con almacenamiento	2 U	Q 86,00	Q 172,00
Costo intercepción y filtro			Q 1 571,38

Fuente: elaboración propia, empleando programa Excel.

5.1.1.1.4. Almacenamiento

A continuación, en la tabla XXXI, se describen los tinacos de la marca ROTOPLAS, son necesarios para almacenar el agua de lluvia captada por el sistema en los techos de los edificios:

Tabla XXXI. Materiales para almacenamiento

MATERIALES	Cantidad (metro o unidad)	Costo unitario	TOTAL
EDIFICIO T3			
Tinaco ROTOPLAS de 1 000 Lt	1 U	Q 1 242,97	Q 1 242,97
Tinaco ROTOPLAS de 6 000 Lt	1 U	Q 10 616,50	Q 10 616,50
Filtro para el tinaco	2 U	Q 115,00	Q 230,00
Costo almacenamiento			Q 12 089,47
EDIFICIO T4			
Tinaco Rotoplas de 2 500 Lt	1 U	Q 2 171,44	Q 2 171,44
Filtro para el tinaco	1 U	Q 115,00	Q 115,00
Costo almacenamiento			Q 2 286,44
EDIFICIO T5			
Tinaco Rotoplas de 5 000 Lt	1 U	Q 8 349,00	Q 8 349,09
Filtro para el tinaco	1 U	Q 115,00	Q 115,00
Costo almacenamiento			Q 8 464,09

Fuente: elaboración propia, empleando programa Excel

5.1.1.1.5. Distribución

Para la distribución del agua de lluvia captada por el SCAP se hará uso del actual sistema de distribución con que cuenta la Facultad de Ingeniería, teniendo en cuenta que el recurso captado solo se utilizará para actividades que no requieran el consumo de la misma por las personas de la Facultad.

5.2. Inversiones diferidas

Se refiere a todas las inversiones que se realizan en bienes y servicios intangibles que no intervienen directamente en el proceso de producción, pero que son indispensables para el desarrollo del proyecto; se encuentran sujetas a amortización y se recuperan a largo plazo tales como: estudios previos para el proyecto, gastos legales, administrativos, de organización y de montaje.

Para efectos de esta investigación el monto de estas inversiones asciende a Q 21 800, 00 y que incluye los estudios realizados a las muestras de agua pluvial captadas dentro de la Facultad de Ingeniería y el costo de la barandilla de seguridad que debe instalarse en los techos de los edificios para realizar el mantenimiento del SCAP.

5.2.1. Estudios realizados

Para la planeación del presente trabajo se realizó un análisis fisicoquímico y bacteriológico a las dos muestras de agua de lluvia captadas con un costo total de Q 800,00; además de esto se tomará en cuenta un gasto simbólico de Q1 000, 00 relacionados con las investigaciones, recopilación de datos y otros gastos incurridos durante el desarrollo de los capítulos que se incluyen en el presente trabajo de tesis.

5.3. Costos de operación

Debido a que el sistema de captación de agua pluvial diseñado para implementarse en los techos de los edificios T3, T4 y T5 es funcionalmente independiente de cualquier fuente de energía externa para su funcionamiento, este no requiere de ningún costo de operación para su funcionamiento.

5.3.1. Mano de obra

El Departamento de Servicios Generales de la Facultad de Ingeniería sería el encargado de la implementación y mantenimiento del SCAP para los edificios T3, T4 y T5: ya que dentro de sus responsabilidades se encuentra el mantenimiento de toda la infraestructura perteneciente a la Facultad.

5.4. Costos de mantenimiento

Según manuales y documentos desarrollados por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura; el costo de mantenimiento de un proyecto para captación de agua pluvial en techos que incluya estructuras de, plástico, piedra, ladrillo o metal; canales de agua, tanques de almacenamiento, pozos o estanques de decantación debe encontrarse entre el 2-3 % anual del costo de la inversión inicial, por lo que para este proyecto en particular se determinará un costo de mantenimiento de 2 % sobre la inversión y que representan Q 3 962,82 anuales para el mantenimiento del mismo.

6. ESTUDIO FINANCIERO

6.1. Valor presente neto

Antes de iniciar con el cálculo y desarrollo de los indicadores financieros para la evaluación del proyecto; es necesaria la identificación, cuantificación y valoración de los costos de este; como se detalla en la tabla XXXII.

Tabla XXXII. **Costos de inversión del SCAP**

EDIFICIO	Captación	Recolección y conducción	Intercepción y conexión	Almacenamiento	Costo por edificio
T3	Q 71 053,90	Q 9 848,00	Q 1 571,38	Q 12 089,47	Q 94 562,75
T4	Q 23 957,86	Q 3 554,00	Q 1 051,27	Q 2 286,44	Q 30 849,57
T5	Q 54 974,00	Q 7 719,00	Q 1 571,38	Q 8464,09	Q 72 728,47
Costo del proceso	Q 149 985,76	Q 21 121,00	Q 4 194,03	Q 22 840,00	Q 198 140,79

Fuente: elaboración propia, empleando programa Excel.

Existen otros costos que no intervienen directamente en el proceso de captación de agua por parte del SCAP propuesto para FIUSAC; sin embargo, es necesario describirlos como parte de las inversiones diferidas necesarias para la implementación y puesta en marcha del proyecto, para que este pueda funcionar de manera adecuada y todos los procesos relativos al mismo, sean llevados a cabo sin ningún inconveniente.

Entre estos costos se encuentran los que se describen en la tabla XXXIII.

Tabla XXXIII. **Costos diversos del SCAP**

DESCRIPCIÓN	Valor
Inversiones diferidas del proyecto	Q 1 800,00
Costos de baranda seguridad	Q 20 000,00
Costo de mantenimiento (anual)	Q 3 962,82
COSTO TOTAL	Q 25 762,82

Fuente: elaboración propia, empleando programa Excel.

También es necesaria la identificación, cuantificación y valoración de los beneficios obtenidos de parte del proyecto, estos se refieren principalmente al ahorro en costos de abastecimiento de agua potable para el desarrollo de las actividades de la Facultad; en este caso los costos incurridos por parte de FIUSAC para la provisión del recurso se derivan del servicio de extracción de agua subterráneo que funciona actualmente en la parte del estacionamiento del edificio T-7 y que incluye 2 bombas extractoras de agua de 30 y 25 HP respectivamente y según información proporcionada por el Departamento de Servicios Generales de la Facultad de Ingeniería.

Teniendo en cuenta que el precio del metro cúbico de agua extraído del suelo por medio de pozos de esta capacidad ronda el valor de Q 9 156,00 y que el sistema de captación de agua pluvial propuesto en este trabajo puede proveer un promedio de 421,5 metros cúbicos de agua pluvial al mes; entonces el ahorro promedio mensual estimado sobre los costos por extracción de agua es de Q 3 859,25 y que multiplicado por los 6 meses que se espera que el SCAP funcione a máxima capacidad; representan un ahorro total estimado por año de Q 23 155,52.

Tabla XXXIV. **Datos para evaluación financiera**

DESCRIPCIÓN	Valor
Inversión inicial del proyecto	Q 219 940,79
Costo mantenimiento por año	Q 3 962,82
Beneficios esperados por año	Q 23 155,53
Vida útil del proyecto	25 años
TMAR SEGEPLAN para proyectos sociales	12 %

Fuente: elaboración propia, empleando programa Excel.

El indicador generalmente relevante para la evaluación de este tipo de proyectos es el VPN, ya que determina si el proyecto genera beneficios en el tiempo proyectado y determina una medida de rentabilidad del proyecto en términos absolutos.

$$VPN = \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+k)^t} - I_0$$

Donde:

- VPN: valor presente neto del proyecto
- V_t : flujo de caja de cada año evaluado
- t : período de tiempo evaluado
- k : tasa interés evaluada (%)
- I_0 : inversión inicial

Tabla XXXV. **Flujos de caja evaluados**

T	Inversión inicial	Costos de mantenimiento	Beneficios esperados	Flujo neto	Flujo neto descontado
0	Q 219 940,79	Q 0,00	Q 0,00	Q 0,00	-Q 219 940,79
1		Q 0,00	Q 23 155,53	Q 23 155,53	-Q 196 785,26
2		Q 3 962,82	Q 23 155,53	Q 19 192,71	-Q 177 592,55
3		Q 3 962,82	Q 23 155,53	Q 19 192,71	-Q 158 399,84
4		Q 3 962,82	Q 23 155,53	Q 19 192,71	-Q 139 207,13
5		Q 3 962,82	Q 23 155,53	Q 19 192,71	-Q 120 014,42
6		Q 3 962,82	Q 23 155,53	Q 19 192,71	-Q 100 821,71
7		Q 3 962,82	Q 23 155,53	Q 19 192,71	-Q 81 629,00
8		Q 3 962,82	Q 23 155,53	Q 19 192,71	-Q 62 436,29
9		Q 3 962,82	Q 23 155,53	Q 19 192,71	-Q 43 243,58
10		Q 3 962,82	Q 23 155,53	Q 19 192,71	-Q 24 050,87
11		Q 3 962,82	Q 23 155,53	Q 19 192,71	-Q 4 858,16
12		Q 3 962,82	Q 23 155,53	Q 19 192,71	Q 14 334,55
13		Q 3 962,82	Q 23 155,53	Q 19 192,71	Q 33 527,26
14		Q 3 962,82	Q 23 155,53	Q 19 192,71	Q 52 719,97
15		Q 3 962,82	Q 23 155,53	Q 19 192,71	Q 71 912,68
16		Q 3 962,82	Q 23 155,53	Q 19 192,71	Q 91 105,39
17		Q 3 962,82	Q 23 155,53	Q 19 192,71	Q 110 298,10
18		Q 3 962,82	Q 23 155,53	Q 19 192,71	Q 129 490,81
19		Q 3 962,82	Q 23 155,53	Q 19 192,71	Q 148 683,52
20		Q 3 962,82	Q 23 155,53	Q 19 192,71	Q 167 876,23
21		Q 3 962,82	Q 23 155,53	Q 19 192,71	Q 187 068,94
22		Q 3 962,82	Q 23 155,53	Q 19 192,71	Q 206 261,65
23		Q 3 962,82	Q 23 155,53	Q 19 192,71	Q 225 454,36
24		Q 3 962,82	Q 23 155,53	Q 19 192,71	Q 244 647,07
25		Q 3 962,82	Q 23 155,53	Q 19 192,71	Q 263 839,78

Fuente: elaboración propia, empleando programa Excel.

Después de evaluar los flujos de caja de los 25 años que el proyecto estará en funcionamiento dentro de la Facultad y afectados por una tasa de descuento del 12 % (tasa mínima atractiva de retorno para proyectos socioambientales utilizada por SEGEPLAN) se determinó que el valor presente neto del proyecto es de -Q 65 871,46; esto debido a que el SCAP para la Facultad de Ingeniería, por ser un proyecto de carácter socioambiental, no pretende generar ninguna utilidad o beneficios monetarios directos para la Facultad.

6.2. Tasa interna de retorno

La TIR, también determina si un proyecto es rentable financieramente e indica el porcentaje de beneficios o pérdidas cuando se hace una inversión a largo plazo, por ser una medida relativa de la rentabilidad está expresada en tanto por ciento (%) y debe ser mayor de la tasa de descuento utilizada para evaluar el proyecto.

$$VPN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1 + TIR)^t} = 0$$

Donde:

- VPN: valor presente neto del proyecto
- I_0 : inversión inicial del proyecto
- F_t : flujo de caja de cada año evaluado
- t : período de tiempo evaluado
- TIR: tasa interna de retorno

Por medio de la herramienta Microsoft Excel y a través de una hoja de cálculo que se adjunta en los apéndices, se hizo la evaluación de los flujos de caja durante un período de 25 dando como resultado que la tasa interna de retorno del proyecto SCAP FIUSAC es del 7 % siendo menor que la tasa de descuento utilizada para el proyecto de 12 %; esto debido a que el SCAP para la Facultad de Ingeniería, por ser un proyecto de carácter socioambiental, no pretende generar ninguna utilidad o beneficios monetarios directos para la Facultad.

6.3. Relación costo-beneficio

Este indicador representa los beneficios proyectados por cada unidad monetaria invertida en el proyecto SCAP en FIUSAC y que después del análisis en la hoja de cálculo de Excel se espera obtener Q 0,734 por cada Q 1,00 invertido en la implementación del sistema en la Facultad. El período de retorno de la inversión se estima para 11 años, según el flujo neto descontado en la tabla XXXV y representa el tiempo necesario que se debe esperar para recuperar el valor total de la inversión, a partir de este punto en el horizonte de tiempo del proyecto, cada año que el proyecto sigue en funcionamiento representa beneficios para la Facultad de Ingeniería.

6.3.1. Costo anual equivalente

Este indicador financiero representa al mismo tiempo el valor de todos los costos y beneficios esperados por el SCAP en FIUSAC y que son convertidos en una cantidad anual uniforme equivalente; si su valor es positivo significa que los ingresos son mayores que los egresos y, por tanto, el proyecto es rentable desde este punto de vista y viceversa si su valor es negativo.

El CAUE del proyecto completo tiene un valor de -Q 8 398,61; esto debido a que el SCAP para la Facultad de Ingeniería, por ser un proyecto de carácter socioambiental, no pretende generar ninguna utilidad o beneficios monetarios directos para la Facultad. A continuación, en la tabla XXXVI, se presenta un resumen de los indicadores financieros tomados en cuenta para la evaluación del SCAP en la Facultad de Ingeniería.

Tabla XXXVI. **Indicadores financieros SCAP FIUSAC**

PROYECTO	VPN	TIR	C/B	Retorno de la inversión	CAUE
SCAP FIUSAC	-Q 65 871,46	7%	Q 0,734	11 años	-Q 8 398,61

Fuente: elaboración propia, empleando programa Excel.

Por medio del análisis de los indicadores: VPN, TIR, B/C y CAUE; podemos afirmar que desde un punto de vista financiero el sistema de captación de agua pluvial propuesto para la Facultad de Ingeniería no es rentable; sin embargo, desde el inicio del análisis de la problemática se podía suponer que debido al carácter socioambiental del proyecto todos los indicadores utilizados para la evaluación serían negativos, ya que no se busca generar una utilidad monetaria, sino al contrario generar conciencia de la problemática ambiental y proponer una alternativa para la misma, en beneficio de todos los estudiantes y el personal docente y administrativo de la Facultad.

CONCLUSIONES

1. El proyecto de captación de agua pluvial para la Facultad de Ingeniería formulado a través del método ZOPP (Planificación de Proyectos Orientada a Objetivos) y evaluado a través de un estudio de factibilidad, demuestra que su implementación es beneficiosa desde un punto de vista socioambiental, ya que pretende combatir la depredación desmedida de los recursos hídricos del subsuelo en la región a través de la captación de lluvia, y al mismo tiempo crear conciencia social relacionada a los problemas ambientales relacionados con el agua.
2. Es necesario contar con una dotación mínima teórica de 60 765 m³ de agua dulce para el desarrollo diario de todas las actividades administrativas de limpieza, riego y mantenimiento dentro de las instalaciones de los edificios en la Facultad de Ingeniería.
3. El análisis realizado a las dos muestras de agua pluvial captada y con fines para el desarrollo del proyecto, determina que las características fisicoquímicas del agua de lluvia en la región cumplen con las características definidas por la Norma técnica COGUANOR NTG 29 001 para consumo humano. El análisis realizado para determinar las características bacteriológicas del agua de lluvia indica que esta se encuentra contaminada con bacterias y, para que el agua sea apta para consumo humano, no debe encontrarse ningún tipo de contaminante bacteriológico, por tanto, el agua de lluvia no cumple con las especificaciones técnicas detalladas en la norma anteriormente mencionada.

4. El sistema de captación de agua pluvial propuesto para la Facultad de Ingeniería posee una capacidad máxima de producción de agua de 421,5 m³ mensuales y cuyo recurso puede ser utilizado para cualquier actividad dentro de la Facultad, que no requiera de su consumo por parte del ser humano.
5. El sistema de captación de agua pluvial propuesto en este trabajo fue desarrollado y diseñado específicamente para maximizar la cantidad de agua pluvial captada en los techos de los edificios T3, T4 y T5 y, asimismo, maximizar la cantidad de agua que se puede almacenar en el sistema.
6. La inversión inicial total del SCAP para la Facultad de Ingeniería asciende a Q 219 940,79 y tiene un costo anual de mantenimiento de Q 3 962,82; asimismo, los indicadores financieros utilizados para la evaluación del proyecto son: valor presente neto (VPN) de -Q 65 871,46; tasa interna de retorno (TIR) de 7 % con un período de retorno de la inversión aproximado en once años; la relación costo-beneficio (C/B) es de Q 0,0734 por cada Q 1,00 invertido en el proyecto y el costo anual-único equivalente (CAUE) asciende a -Q 8 398,61; debido al carácter socioambiental del proyecto, este no pretende generar ninguna utilidad o beneficio monetario para la Facultad y, por tanto, todos sus indicadores financieros son negativos.
7. El sistema de captación de agua pluvial propuesto para los edificios T3, T4 y T5 de la Facultad de Ingeniería tiene la capacidad de abastecer hasta en un 23,12 % la demanda diaria de agua dulce requerida para todas las actividades que no requieren del consumo de esta como limpieza y mantenimiento de los edificios.

RECOMENDACIONES

1. Desarrollar y promover una gestión medioambiental integral que incluya al recurso hídrico como parte del análisis de la problemática en la Facultad de Ingeniería; generando interés y conciencia ambiental en estudiantes, profesionales y personal administrativo de la Facultad, involucrándose activamente en el análisis de la problemática y proponer soluciones adecuadas para la misma.
2. Implementar un adecuado control del uso del agua en la Facultad de Ingeniería a través de la instalación de puntos de medición de caudal como parte del sistema de abastecimiento de agua dulce y un programa de monitoreo constante de los mismos, para tener información de primera mano y determinar la demanda física de agua en FIUSAC, en el desarrollo de sus actividades
3. Analizar la necesidad y factibilidad de instalar un sistema de potabilización de agua que mejore las características bacteriológicas del agua de lluvia captada por el sistema propuesto para la Facultad de Ingeniería, a fin de que esta pueda adecuarse para el consumo humano y no solo para actividades de limpieza y mantenimiento.
4. Adaptar y proponer el proyecto de un sistema de captación de agua pluvial para otras unidades académicas y así extender el alcance de esta solución para beneficios de más personas dentro de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

5. Procurar una adecuada y continua inspección, limpieza y mantenimiento del sistema de captación de agua pluvial propuesto para la Facultad de Ingeniería, y aprovechar los beneficios de este durante toda la vida útil del proyecto estimada en 25 años.

6. Mejorar las condiciones ambientales de la región y de todos sus recursos naturales incluido el agua a través de la implementación del SCAP en FIUSAC, tomando en cuenta que, siendo el proyecto de carácter socioambiental, no busca generar un valor económico o renta sobre el mismo, sino pretende prevenir la sobreexplotación y depredación de los recursos hídricos del subsuelo en donde se encuentra ubicada la Universidad de San Carlos de Guatemala y la Facultad de Ingeniería.

BILIOGRAFÍA

1. ARGUETA LÓPEZ, Adhemar Enrique. *Aprovechamiento del agua subterránea y manejo sostenible de los recursos hidráulicos, en el campus central de la Universidad de San Carlos de Guatemala*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2009. 156 p.
2. CAMACHO, Hugo; et al. *El enfoque del marco lógico: 10 casos prácticos*. Madrid: Fundación CIDEAL. ISBN: 84-87082-17/3, 1994. 237 p.
3. CANTER W., Larry. *Manual de evaluación de impacto ambiental*. Oklahoma: McGraw-Hill, 1998. 869 p.
4. CASHAJ, Alarick; MOSCOSO, Ernesto. *Diseño de sistema de captación de lluvia para uso industrial*. Trabajo de graduación de Ing. Industrial. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2012. 145 p.
5. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). *Naciones Unidas. La agenda 2030 y los objetivos de desarrollo sostenible: una oportunidad para América Latina y el Caribe*. Santiago: CEPAL. 978-92-1-058643-6, 2018. 93 p.

6. Comisión Guatemalteca de Normas del Ministerio de Economía. *Norma técnica guatemalteca. COGUANOR NTG 29001 agua para consumo humano, especificaciones*. Guatemala: s.n. 2015. 14 p.
7. EDUCA, CANAL. *El agua como elemento clave para el desarrollo*. Madrid: Canal Educa, 2011. 167 p.
8. ELÍAS, Carlos; et al. *Ciencias para el mundo contemporáneo*. España: Mmcgraw-Hill, ISBN: 84-481-6715-5, 2006. 385 p.
9. HERNÁNDEZ SAMPIERI, Roberto; FERNÁNDEZ COLLADO, Carlos; BAPTISTA LUCIO, Pilar. *Metodología de la investigación*. México: McGraw-Hill. ISBN: 968-422-931-3, 1997. 497 p.
10. LEMUS GARCÍA, Diego Andrez. *Estudio de factibilidad para el diseño e implementación de un sistema de captación de agua pluvial en el vivero forestal de la Municipalidad de Mixco, Guatemala*. Trabajo de graduación de Ing. Industrial. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2014. 138 p.
11. Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social. *Acuerdo ministerial núm. 523-2013. Manual de especificaciones para la vigilancia y el control de la calidad del agua para consumo humano*. Guatemala: s.n. 2013. 6 p.
12. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura FAO. *Captación y almacenamiento de agua de lluvia*. Santiago de Chile: Naciones Unidas. ISBN: 978-92-5-307581, 2013. 276 p.

13. Organización Mundial de la Salud. *Guías para la calidad del agua potable*. Suiza: OMS. ISBN: 92-4-154696-4, 2004. 398 p.
14. Organización Panamericana de la Salud. *Captación de agua de lluvia para consumo humano: especificaciones técnicas*. Lima, Perú: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. ISSN: 1018-5119, 2004. 15 p.
15. ORTEGÓN, Edgar; PACHECO, Juan Franciso; PRIETO, Adriana. *Metodología del marco lógico para la planificación, el seguimiento y la evaluación de proyectos y programas*. Santiago de Chile: Naciones Unidas. ISBN: 92-1-322719-1, 2015. 246 p.
16. SAPAG CHAIN, Nassir; SAPAG CHAIN, Reinaldo. *Preparación y evaluación de proyectos*. México: McGraw-Hill Interamericana de México. 2ª ed. ISBN: 968-422-045-6, 1991. 390 p.
17. TORRES ROJAS, María Yessenia. *Manual de evaluación de impacto ambiental*. Trabajo de graduación de Ing. Industrial. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2003. 162 p.
18. Universidad Rafael Landívar. *Situación del recurso hídrico, perfil ambiental de Guatemala*. Guatemala: Serviprensa S. A. ISBN: 99922-817-6-6, 2005. 30 p.

1. IDENTIFICACIÓN Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

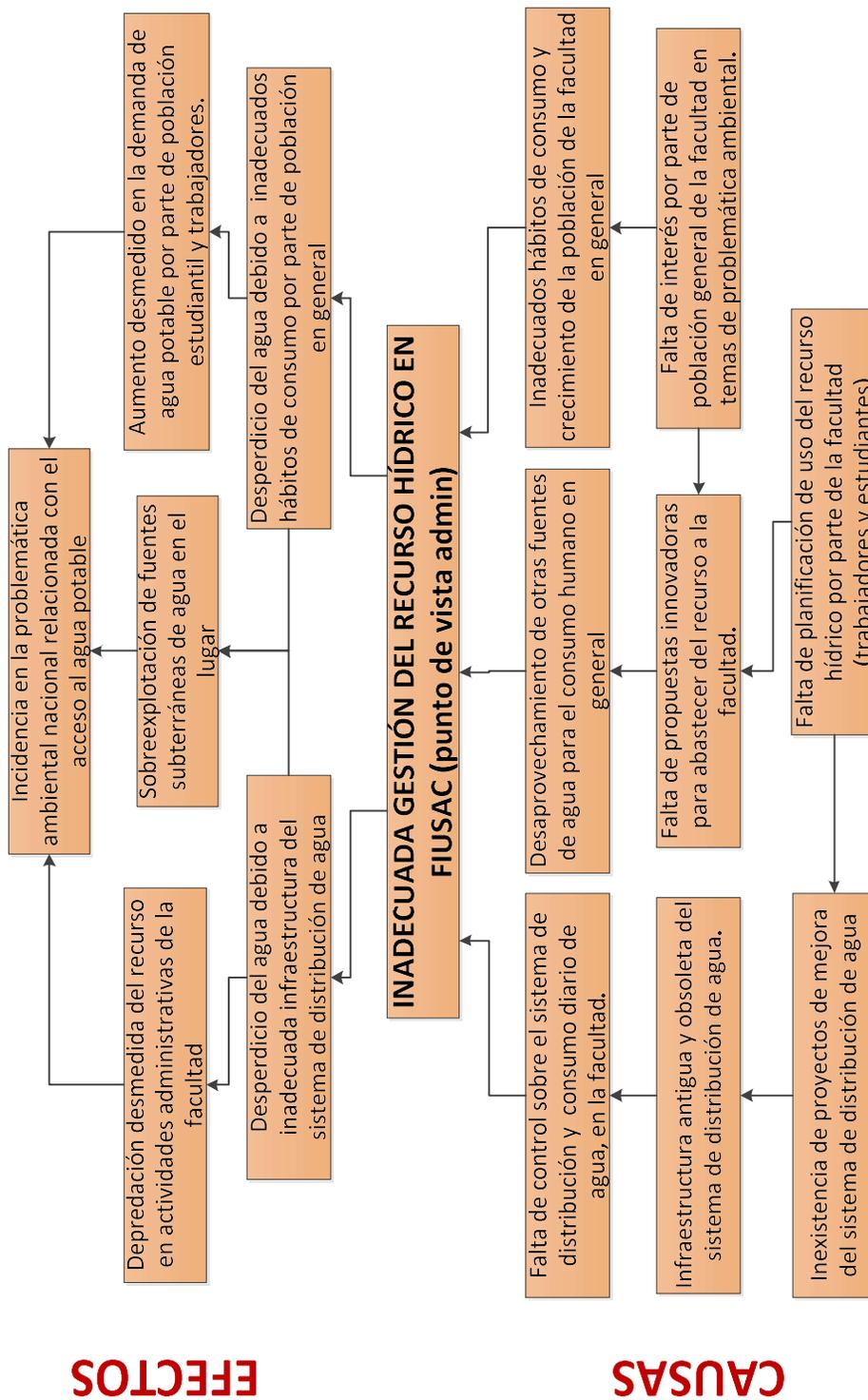
Actualmente, FIUSAC no cuenta con información relacionada a la cantidad de agua que se utiliza diariamente en el desarrollo de sus actividades; asimismo, se evidencia la inexistencia de sistemas de aprovechamiento de agua pluvial en la Facultad, lo que contribuye a la sobreexplotación de los recursos freáticos de la región.

En la actualidad, la Facultad de Ingeniería no contribuye con el manejo adecuado y racional de los recursos naturales de la región, específicamente con el recurso agua en la Facultad. No existe dentro del campus universitario ningún sistema de aprovechamiento de agua pluvial para beneficio de la población estudiantil.

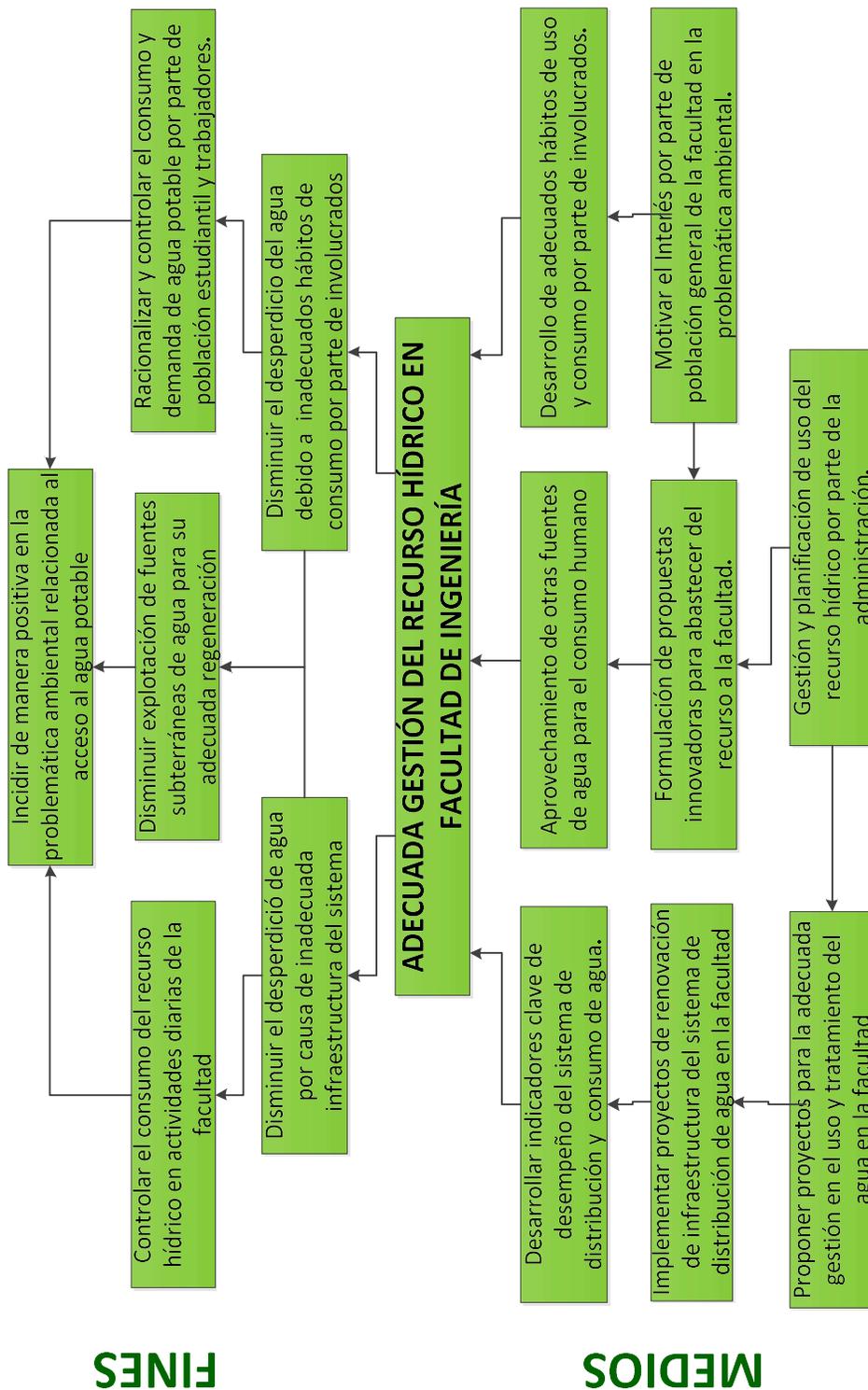
Debido a la creciente escasez y sobreexplotación de agua potable que sufre la región universitaria y que involucra a toda la población académica y estudiantil, es necesario determinar si existe dentro de la Facultad de Ingeniería algún sistema de aprovechamiento de agua pluvial.

Es importante mencionar que el agua de lluvia es un recurso natural gratuito y que si se utiliza de forma adecuada dentro de las instalaciones de la Facultad para satisfacer las necesidades de los estudiantes, personal académico y administrativo en el desarrollo de sus actividades diarias; la presión ejercida por la población estudiantil en la explotación del agua subterránea de la región podría disminuir, lo que contribuiría con el manejo adecuado y racional de los recursos naturales del país.

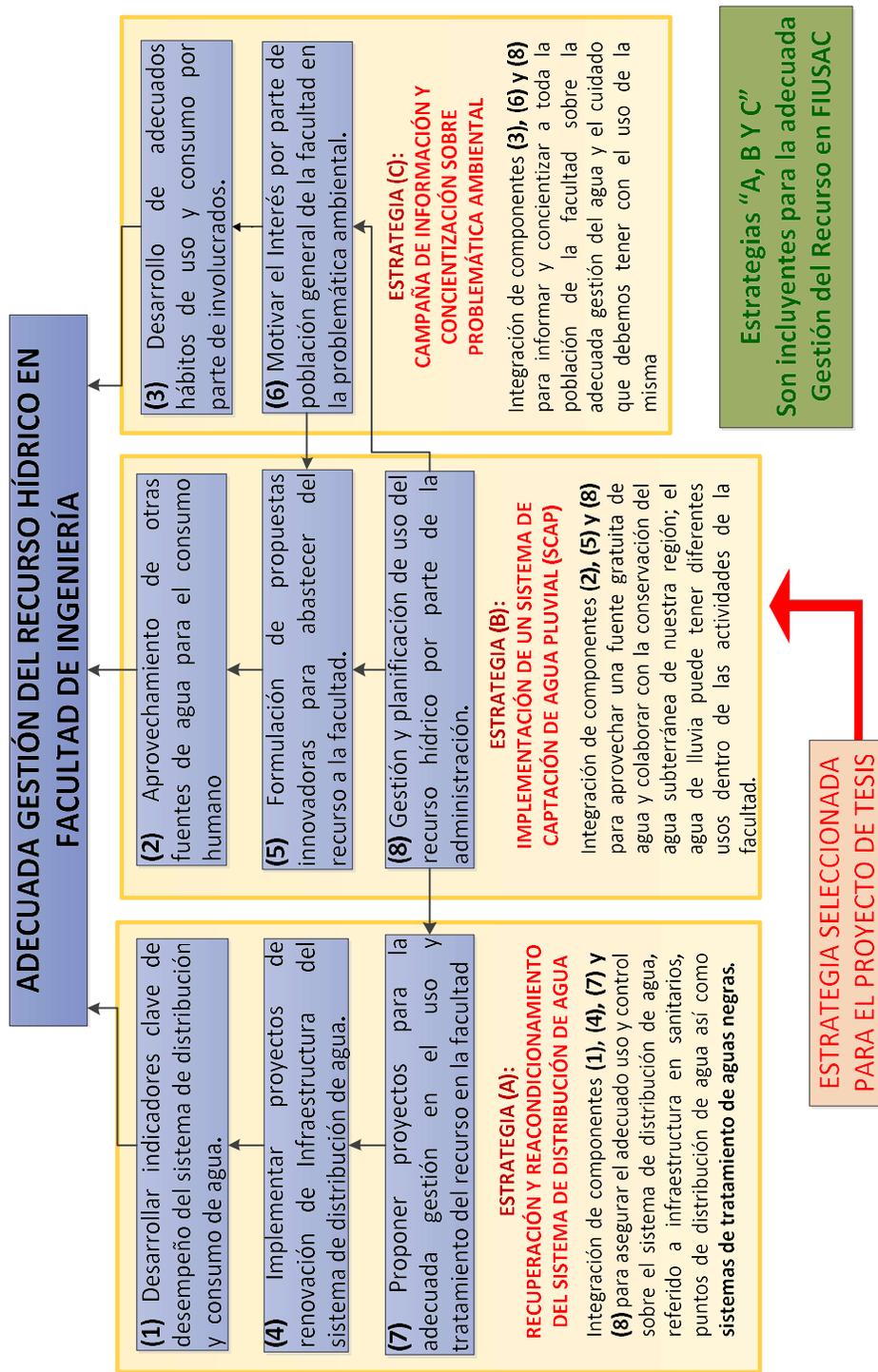
2. ÁRBOL DE PROBLEMAS



3. ÁRBOL DE OBJETIVOS



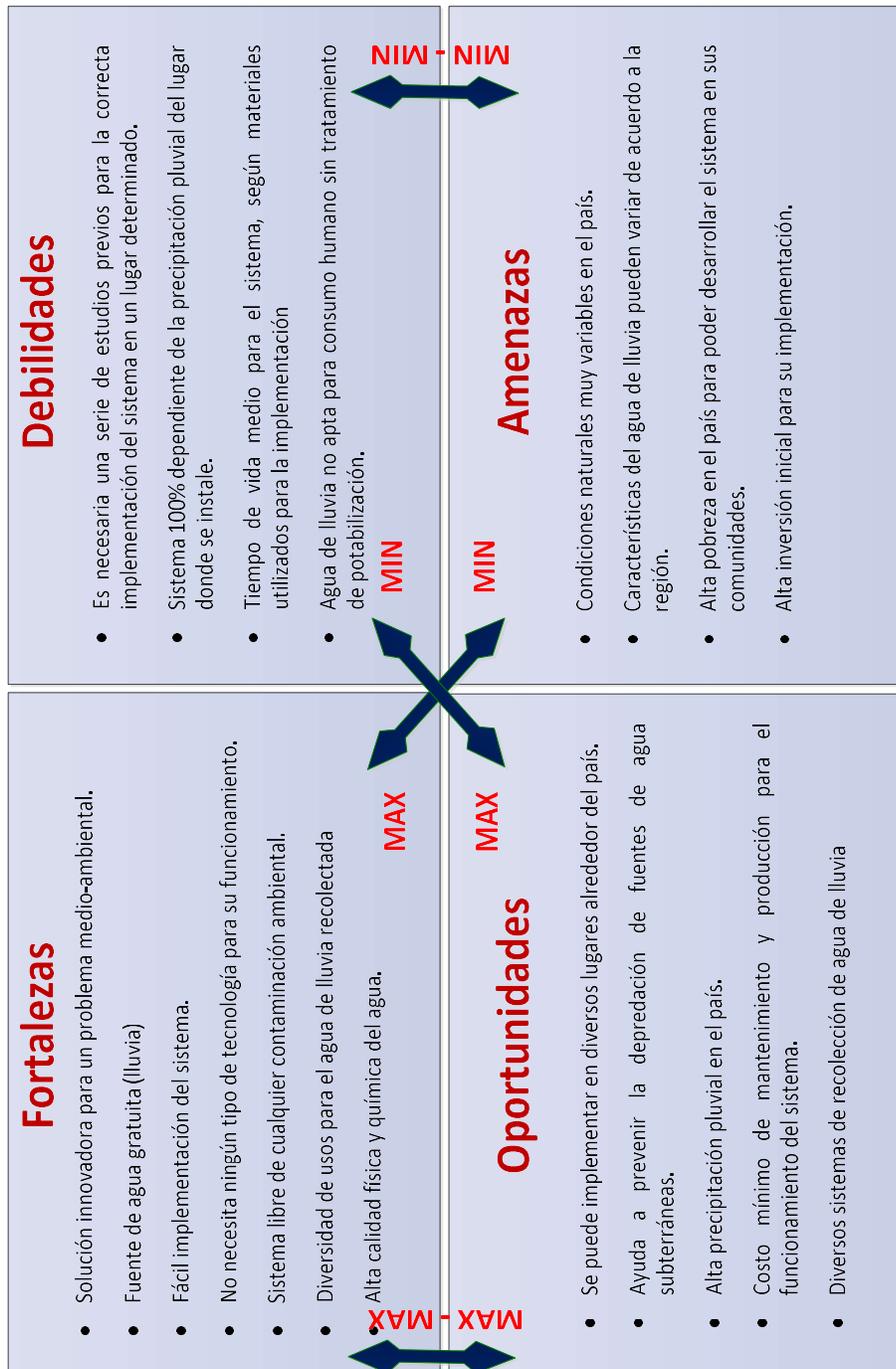
4. ÁRBOL DE ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN



4a. ANÁLISIS FODA, Estrategia “B” (SCAP)

FACTORES (-)

FACTORES (+)

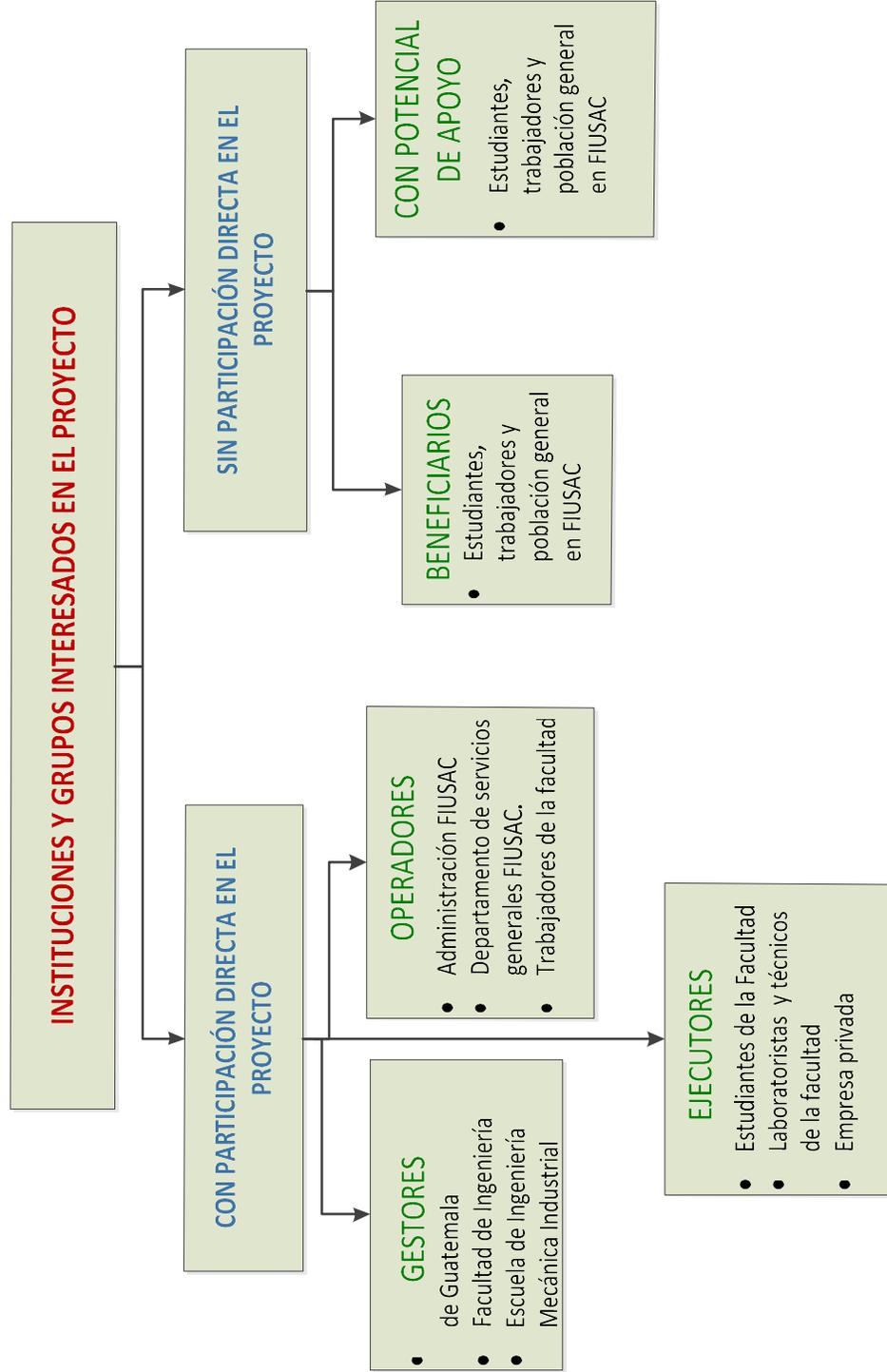


FACTORES INTERNOS

FACTORES EXTERNOS

Continuación apéndice 4.

5. ARBÓL DE PARTICIPACIÓN



5a. ANÁLISIS DE INVOLUCRADOS

Continuación apéndice 4.

INVOLUCRADOS	RELACIÓN CON EL PROYECTO	ESTRATEGIAS DE VINCULACIÓN
<p>GESTORES DEL PROYECTO:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Universidad de San Carlos de Guatemala • Facultad de Ingeniería • Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial 	<p>Encargados en construir una cultura ambiental sostenible a través del diagnóstico, desarrollo y formulación de estrategias, programas y proyectos que permitan un adecuado manejo y utilización de los recursos naturales en la región. SE ENCARGAN DEL FINANCIAMIENTO DEL PROYECTO</p>	<p>Es el grupo encargado del financiamiento y aprobación de permisos para la implementación del proyecto .en el campus central</p>
<p>EJECUTORES:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Estudiantes de EMI de la Facultad • Laboratoristas y técnicos de la facultad. • Trabajadores FIUSAC 	<p>Encargados de la ejecución de las tareas y actividades propuestas para la puesta en marcha las actividades propuestas para el desarrollo del programa u proyecto ambiental propuesto; ENCARGADOS DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO.</p>	<p>Encargados de la implementación del proyecto físico en los techos de los edificios de la facultad.</p>
<p>OPERADORES:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Administración FIUSAC • Departamento de servicios generales FIUSAC. • Trabajadores de la facultad 	<p>ENCARGADOS DEL MANTENIMIENTO, tareas y actividades para mantener el correcto funcionamiento operativo del proyecto para mantener el equilibrio ambiental en la Facultad de Ingeniería.</p>	<p>Encargados del funcionamiento y mantenimiento correcto del sistema durante el tiempo de vida útil</p>
<p>BENEFICIARIOS:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Estudiantes, trabajadores y población en general de FIUSAC 	<p>Población que se beneficiará del resultado final del proyecto o alternativa propuesta.</p>	<p>Pueden ayudar a propiciar el desarrollo de una adecuada gestión del agua en la facultad.</p>
<p>CON POTENCIAL DE APOYO:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Estudiantes, trabajadores y población general en FIUSAC 	<p>Población en general que puede influir en los resultados esperados de los proyectos propuestos para mantener el equilibrio ecológico en la región.</p>	<p>Pueden ayudar a propiciar el desarrollo de una adecuada gestión del agua en la facultad.</p>

6. MATRIZ DE MARCO LÓGICO

Continuación apéndice 4.

RESUMEN NARRATIVO	INDICADORES	FUENTES DE VERIFICACIÓN	SUPUESTOS IMPORTANTES
<p>FIN Desarrollo de una adecuada gestión para el uso y consumo del agua en FIUSAC</p>	<ul style="list-style-type: none"> 30% de la proporción de fuentes de agua subterráneas en la región recuperados por el SCAP próximos 5 a 10 años del proyecto. 5% de demanda de agua en FIUSAC cubierta por los SCAP instalados en los edificios T3, T4 y T5. 	<ul style="list-style-type: none"> Datos estadísticos sobre explotación de agua subterránea en la región. Informes y datos estadísticos sobre ahorro en el consumo de agua en la facultad. Datos estadísticos sobre funcionamiento del SCAP en la facultad. Informe de operaciones sobre la cantidad de agua de lluvia captada durante la época lluviosa 	<ul style="list-style-type: none"> Autoridades Universitarias, estudiantes y trabajadores de la USAC comprometidos para solucionar los problemas de temática ambiental de la región y del país
<p>PROPÓSITO</p> <ul style="list-style-type: none"> Satisfacer parte de la demanda de agua potable con la captación de agua de lluvia en los edificios T3, T4 y T5, FIUSAC 	<ul style="list-style-type: none"> 30% de ejecución presupuestaria del proyecto después de 6 meses de iniciado el proyecto 75% de ejecución presupuestaria después de 1 de iniciado el proyecto. 	<ul style="list-style-type: none"> Estructuras y todo tipo de obras físicas para los SCAP en los edificios T5, T4 y T3 progresivamente. 	<ul style="list-style-type: none"> Se aprueba el SCAP como proyecto piloto y parte de la estrategia de gestión ambiental en FIUSAC diseñada e incluye estrategias A y C del árbol de alternativas
<p>COMPONENTES / RESULTADOS</p> <ul style="list-style-type: none"> Sistema de captación, recolección, almacenamiento y distribución de agua de lluvia para cada uno de los edificios contenidos en el proyecto. 	<ul style="list-style-type: none"> Presupuesto para formular y desarrollar el Estudio de Factibilidad del Proyecto. Evaluación de tendencias para proyección de oferta y demanda de agua en FIUSAC. Límite Máximo Aceptable (LMA) y Límite Máximo Permissible (LMP) para características del agua potable. Características físicoquímicas y bacteriológicas del agua de lluvia captada. Presupuesto para implementación del proyecto. 	<p>Trabajo de Graduación para la carrera de Ingeniería Industrial titulado:</p> <p>FORMULACIÓN Y EVALUACIÓN DE FACTIBILIDAD PARA UN PROYECTO DE CAPTACIÓN DE AGUA PLUVIAL EN LA FACULTAD DE INGENIERÍA, USAC</p> <p>LUIS MANUEL ALONZO DELGADO CARNET 2006-11512</p>	<ul style="list-style-type: none"> El agua de lluvia posee las características adecuadas para el uso y consumo humano. La precipitación promedio mensual es mayor a 100 (mm/m²)
<p>ACTIVIDADES</p> <ul style="list-style-type: none"> Buscar y revisar documentación relacionada al tema y problemática ambiental Definir metodología para la planificación del proyecto. Determinar oferta y demanda de agua en FIUSAC. Determinar las características físico-químicas y bacteriológicas del agua pluvial. Definir el tipo de uso que se dará al agua de lluvia captada. Calcular la cantidad máxima de lluvia que se puede recolectar con el SCAP. Diseñar un sistema de captación, recolección y almacenamiento de agua pluvial para la facultad. Calcular el costo de inversión, mantenimiento y operación del sistema. 			<ul style="list-style-type: none"> La metodología ZOPP se utilizó y desarrollo correctamente para la formulación del proyecto. La evaluación financiera para determinar la factibilidad de implementación del proyecto es positiva. Existe el financiamiento para que el proyecto sea implementado en FIUSAC.

Fuente: elaboración propia, empleando programa Microsoft Visio 2010.

