



**COORDINACIÓN DE DESARROLLO  
PROFESIONAL E INSTITUCIONAL  
SUBCOORDINACIÓN DE POSGRADO**

**T E S I S**

**“ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICO ECONÓMICA  
DE LA CAPTACIÓN Y TRATAMIENTO DE AGUA DE  
LLUVIA EN ZONA URBANA”**

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE**

**MAESTRO EN  
CIENCIAS Y TECNOLOGÍA DEL AGUA**

**P R E S E N T A:**

**VIRIDIANA JIMENEZ ABARCA**

**TUTORES:**

**DRA. SOFÍA ESPERANZA GARRIDO HOYOS**

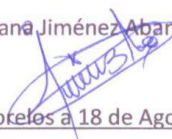
**DR. ARIOSTO AGUILAR CHÁVEZ**



Con fundamento en los artículos 21 y 27 de la Ley Federal del Derecho de Autor y como titular de los derechos moral y patrimoniales de la obra titulada "ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICO ECONÓMICA DE LA CAPTACIÓN Y TRATAMIENTO DE AGUA DE LLUVIA EN ZONA URBANA", otorgo de manera gratuita y permanente al Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, autorización para que fijen la obra en cualquier medio, incluido el electrónico, y la divulguen entre su personal, estudiantes o terceras personas, sin que pueda percibir por tal divulgación una contraprestación.

**NOMBRE DEL ESTUDIANTE**

Viridiana Jiménez Abarca

  
Jiutepec, Morelos a 18 de Agosto de 2017

Lugar y fecha

## **Dedicatorias**

### **Con amor a Dios:**

Mi maestro y guía en este sendero, por guiarme hacía este camino y continuar con mi crecimiento profesional

### **Con amor a mis padres:**

Por su ejemplo, por guiarme a ser mejor y por sus consejos, de los cuales aprendí a que tengo que ser mejor siempre y a ser feliz.

### **Con admiración a mi familia:**

A mis hermanos por su amor incondicional, su apoyo y sus consejos.

Sandra Jiménez Abarca, Yolanda Jiménez Abarca y Eduardo Adrián Jiménez Abarca. Los amo con todo mi corazón.

A mis sobrinos Berenice y Dylan con todo el amor del mundo y que me inspiran a ser mejor. Gracias por inundar de amor mi corazón

### **Con respeto a mis profesores:**

Por sus grandes enseñanzas, tiempo, dedicación, sus consejos y por confiar en mí. Por haber sido enérgicos conmigo ya que de esa manera me ayudaron a lograr mis propósitos y mis metas, logrando en mí formar un siguiente grado en mi vida profesional.

### **Con cariño a mis amigos:**

Por ponerme el ejemplo y ser mi guía en este camino, por empujarme a ser mejor y dar el extra siempre.

## **Agradecimientos**

Agradezco al IMTA Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) por haberme aceptado como alumna de esta institución y por la beca otorgada durante mis estudios.

A los miembros de mi jurado, por el apoyo otorgado durante la realización de este proyecto de Tesis.

A mi tutora, la Dra. Sofía E. Garrido Hoyos, por su valiosa conducción, paciencia y apoyo incondicional.

Al Dr. Ariosto Aguilar Chávez por su apoyo incondicional, la constante asesoría y su valioso tiempo.

Al Dr. Héctor David Camacho González por sus consejos, conocimiento y asesorías brindadas.

A la Dra. Maricarmen Espinosa Bouchot por su valioso apoyo, su tiempo y la colaboración en este trabajo.

Al M. I. Leonel Gutiérrez Uribe por sus consejos y todo su apoyo incondicional en mi formación profesional.

Al Ing. Ricardo Vélez Martínez por su valiosa colaboración en la parte hidráulica.

Al Ing. Iván de Jesús González Gastelum por su valiosa colaboración ambiental.

A la Ing. Ana Keren Jimenez Olvera por su valiosa participación en el área económica.

A todo el personal del IMTA que participaron en la realización directa o indirecta de este trabajo.

A Karina García, mi compañera de maestría por su amor incondicional y todo su apoyo.

A todos mis profesores por haberme transmitido tantos conocimientos a lo largo de la maestría en especial a la Dra. Gabriel Mantilla Morales y el M. en C. Alejandro Jesús Ruiz López.

## **Resumen**

En este trabajo se propone una fuente no convencional para el suministro de agua mediante tecnología apropiada al edificio de Posgrado del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA). La ingeniería del proyecto consta de sistema de captación, almacenamiento y tratamiento de agua de lluvia, red hidráulica de abastecimiento para servicios y alimentación a bebederos dotados de un sistema de purificación para el consumo de agua para alumnos y personal en general. Para determinar el tamaño del almacenamiento de agua a captar se determinó el área del techo y mediante los datos de precipitación, se obtuvieron volúmenes de agua. Se realizó el análisis de consumo de agua potable y de uso sanitario que requiere el edificio de posgrado, con base en ello se diseñó el sistema de captación, conducción, almacenamiento y tratamiento. En cuanto a la calidad de agua, se analizó la calidad del agua de lluvia en temporada 2015, la cual fue comparada con la NOM-127-SSA1-1994, cuyos resultados como pH, N-NH<sub>3</sub> y coliformes no cumplen con los límites permisibles de la norma, por lo que se debe de tratar el agua para su posterior uso. La propuesta de captación y tratamiento del agua contará con beneficios inmediatos con la puesta en marcha de este proyecto, los cuales serán: ahorro de energía, disminución de abastecimiento de agua mediante pozo y la disminución de compra de agua embotellada (garrafón). Así también, con la implementación del proyecto, el edificio de Posgrado será ejemplo claro de sustentabilidad y a su vez, servirá de edificio demostrativo para futuras réplicas de aprovechamiento de agua pluvial.

## Summary

This paper proposes an unconventional source for water supply through appropriate technology to the building of the Mexican Institute of Water Technology (IMTA). The engineering of the project consists of system of collection, storage and treatment of rainwater, water supply hydraulics for the services and the feeding of a drinking trough with a purification system for the consumption of the students and personal in general. To determine the size of the rainwater storage the ceiling area was determined and through the precipitation data, volumes of water were obtained. The drinking water and sanitary use analysis required by the postgraduate building was carried out. Based on this, the collection, conduction, storage and treatment system was designed. As for water quality, physical-chemical parameters of rainwater were tested in the 2015 season, the results were compared with NOM-127-SSA1-1994, whose results as pH, N-NH<sub>3</sub> and coliforms did not comply with the permissible limits of this standard, so the rainwater must treat for use. The proposal of rainwater collection and treatment will have immediate benefits with the implementation of this project, which will be: energy saving, reduction of water supply by well and the decrease of bottled water. Also, with the implementation of the project, the Postgraduate building will be a clear example of sustainability and, in turn, will serve as a demonstration building for future replicas of rainwater harvesting.

## Tabla de contenido

Jurado asignado .....	¡Error! Marcador no definido.
Dedicatorias.....	I
Agradecimientos .....	II
Resumen.....	III
Summary .....	IV
Tabla de contenido .....	V
Índice de tablas.....	IX
Índice de figuras.....	XI
Índice de ecuaciones .....	XIV
Introducción .....	XV
Capítulo 1.....	1
1. Antecedentes .....	1
1.1 Situación actual de la captación de agua de lluvia.....	3
1.1.1 África.....	3
1.1.2 Asia .....	4
1.1.3 Oceanía e Islas.....	4
1.1.4 Europa .....	4
1.1.5 Sudamérica.....	5
1.1.6 Norte y Centroamérica .....	5
1.1.7 México.....	6
1.1.8 Ciudad de México .....	6
1.1.9 Morelos .....	7
1.2 Generalidades de la captación de agua de lluvia.....	8
1.2.1 Beneficios de la captación de agua de lluvia.....	10
1.2.2 Factores técnicos .....	11
1.2.2.1 Uso que se le pretende dar al agua de lluvia captada .....	11

1.2.2.2	Precipitación pluvial.....	14
1.2.2.3	Superficies de captación.....	14
1.2.2.4	Conducción de agua de lluvia (canales y tuberías) .....	17
1.2.2.5	Cisternas, tanques y otros elementos de almacenamiento.....	19
1.2.2.6	Calidad fisicoquímica y microbiológica del agua de lluvia captada según el tipo de material presente en los techos y tanque de almacenamiento .....	19
1.3	Tratamiento de agua de lluvia .....	28
1.4	Justificación.....	29
1.5	Hipótesis.....	31
1.6	Objetivos .....	31
1.6.1	Objetivo general .....	31
1.6.2	Objetivos específicos.....	31
Capítulo 2.....		32
2.	Metodología .....	32
2.1.	Área de estudio.....	32
2.2.	Análisis del uso que se pretende dar al agua de lluvia captada y cálculo del consumo de agua en el edificio de posgrado (EP) .....	34
2.3.	Precipitación pluvial.....	35
2.4.	Área de captación.....	36
2.5.	Volumen y capacidad de almacenamiento .....	36
2.6.	Análisis de la calidad de agua de lluvia .....	37
2.6.1.	Tipos de techo y muestreo.....	37
2.7.	Propuesta del sistema de captación, conducción, tratamiento, almacenamiento y distribución de agua de lluvia para el edificio de posgrado IMTA .....	41
2.8.	Análisis costo/beneficio del sistema de captación, conducción, tratamiento, almacenamiento y distribución del agua de lluvia para el edificio de posgrado IMTA.....	41
Capítulo 3.....		43
3.	Resultados y discusión .....	43



3.1.	Análisis del uso que se pretende dar al agua de lluvia captada y cálculo del consumo de agua en el edificio de posgrado (EP) .....	43
3.2.	Precipitación pluvial.....	44
3.3.	Área de captación.....	45
3.4.	Volumen y capacidad de almacenamiento .....	46
3.5.	Calidad del agua de lluvia .....	48
3.6.	Propuesta del sistema de captación, conducción, tratamiento, almacenamiento y distribución del agua de lluvia para el edificio de posgrado IMTA .....	51
3.6.1.	Medición de superficie y área propuesta.....	51
3.6.2.	Instalación de tubería para conducción de agua de lluvia .....	54
3.6.3.	Registro para drenado y conducción a filtros.....	60
3.6.4.	Sistema de filtración (1ª etapa).....	61
3.6.5.	Sistema de filtración (2ª Y 3ª etapa).....	63
3.6.6.	Sistema de almacenamiento .....	67
3.6.7.	Sistema de bombeo.....	68
3.6.7.1.	Funcionamiento de bombeo de agua potable .....	68
3.6.7.2.	Funcionamiento de bombeo de agua para uso doméstico .....	69
3.6.7.3.	Tubería de distribución para agua potable.....	70
3.6.8.	Bebedores .....	72
3.6.9.	Recomendaciones.....	73
3.7	Análisis costo/beneficio del sistema de captación, tratamiento, almacenamiento y distribución del agua de lluvia .....	75
3.7.1	Descripción de los costos .....	75
3.7.2	Identificación, cuantificación y valoración de beneficios .....	78
3.7.3	Cálculo de los indicadores de rentabilidad.....	79
3.7.4	Indicadores de rentabilidad económica .....	80
Capítulo 4.....		81
4.	Conclusiones .....	81

Capítulo 5.....	82
5. Bibliografía .....	82
Anexo A. Vortex Fine Filter RH9518-04-4. ....	85
Anexo B. Filtros multietapas.....	86
Anexo C. Filtro UV LCD 3600. Atlas filtri. ....	87
Anexo D. Hidroneumáticos Truper 19395.....	88
Anexo E. Beberderos global wáter tech GWB2SS .....	89
Anexo F “Evaluación de costos”.....	90

## Índice de tablas

Tabla 1.1 Usos que se le dan al agua para una dotación de 200 L/hab/d, la zona urbana de la ciudad de México, (PNUMA, 2008).....	12
Tabla 1.2 Escenarios de usos del agua de lluvia según (Belmeziti, 2013).....	12
Tabla 1.3 Consumos teóricos por usos para el edificio de Posgrado-IMTA, Jiutepec, Morelos, México .....	13
Tabla 1.4 Clasificación general de los diferentes tipos de techos comúnmente utilizados, (Dancy, 2016) .....	17
Tabla 1.5 Calidad microbiológica durante un estudio de la calidad de agua de lluvia en los techos, según varios autores (Ahammed, 2006).....	22
Tabla 1.6 Concentraciones de compuestos orgánicos durante un estudio de la calidad de agua de lluvia en los techos, según varios autores.....	23
Tabla 1.7 Trazas de metales pesados durante un estudio de la calidad de agua de lluvia en los techos, según varios autores (Ahammed, 2006).....	24
Tabla 1.8 Resultados obtenidos de la calidad del agua de lluvia en la localidad de Jumiltepec, Ocuituco. Morelos, según la (NOM-127-SSA1-1994) .....	26
Tabla 1.9 Resultados obtenidos de la calidad del agua de lluvia en la localidad de Jumiltepec, Ocuituco. Morelos; Continuación .....	27
Tabla 2.1 Características y ubicación de los de techos en donde se muestreo la calidad del agua de lluvia.....	38
Tabla 2.2 Metodología utilizada en la determinación de los parámetros en el agua de lluvia, según la (NOM-127-SSA1-1994).....	40
Tabla 3.1 Acumulado del consumo de agua en el EP para los días 14 y 16 de mayo de 2016.....	44
Tabla 3.2 Superficie y el uso que se le dará al agua de lluvia captada.....	47
Tabla 3.3 Resultados de la calidad de agua de lluvia de los tres diferentes tipos de techo analizados. ....	49
Tabla 3.4 Resultados de la calidad de agua de lluvia de los tres diferentes tipos de techo analizados. ....	50
Tabla 3.5 Resultados de la calidad de agua de lluvia de los tres diferentes tipos de techo analizados .....	51
Tabla 3.6 Montos de inversión del sistema completo para la captación de agua de lluvia. ....	75
Tabla 3.7 Catálogo de conceptos del sistema de canalización .....	76
Tabla 3.8 Catálogo de conceptos del sistema de distribución .....	76
Tabla 3.9 Catálogo de conceptos del sistema de filtración .....	77

Tabla 3.10 Catálogo de conceptos del sistema de almacenamiento.....	77
Tabla 3.11 Catálogo de conceptos del sistema de bombeo .....	77
Tabla 3.12 Catálogo de conceptos de los bebederos .....	78
Tabla 3.13 Flujo de costos durante el horizonte de evaluación del sistema de captación.....	79
Tabla 3.14 Flujo de los beneficios durante el horizonte de evaluación.....	79
Tabla 3.15 Flujo de efectivo de costos durante el horizonte de evaluación .....	80

## Índice de figuras

Figura 1.1 Construcción en Yemen diseñada para captar agua de lluvia.....	2
Figura 1.2 Captación del agua de lluvia en Xochicalco, que cae en los techos y su conducción hasta los aljibes, capacidad de 556 m3 .....	2
Figura 1.3 Sistema de captación de lluvia de la casa ecológica del parque Loreto y Peña Pobre, Ciudad de México.....	7
Figura 1.4 Sistema de captación de lluvia del proyecto Isla Urbana (García, 2011) .....	7
Figura 1.5 Clasificación general del aprovechamiento de la lluvia propuesta por Nissen-Petersen, 1999.....	9
Figura 1.6 Tipos de canaleta con malla para evitar la contaminación por hojas (Victor D. Phillips, 2010) .....	17
Figura 1.7 Formas de canales acordes a edificaciones (Victor D. Phillips, 2010).....	18
Figura 2.1 Ubicación del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, (IMTA), Edificio de Posgrado, Jiutepec, Estado de Morelos, México.....	30
Figura 2.2 Plano del (IMTA), clave A, plano 1, (IMTA, 2009).....	30
Figura 2.3 Tinaco N°1 de almacenamiento de agua para ser distribuida al EP.....	32
Figura 2.4 Techo EP, para la captación de agua de lluvia.....	33
Figura 2.5 Croquis del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, IMTA, señalando los techos en que se muestreo el agua de lluvia: 1. Centro de capacitación, 2. Casa sustentable, 3. Laboratorio de materiales, 4. Edificio de posgrado .....	35
Figura 2.6 Muestreo de los tres tipos de techos diferentes.....	36
Figura 3.1 Consumo de agua en el edificio de Posgrado-IMTA para los días 14 y 16 de mayo de 2016 .....	43
Figura 3.2 Registro de precipitación horaria, del año 2010 al 2014.....	44
Figura 3.3 Análisis de precipitación anual 2013 .....	45
Figura 3.4 Áreas propuestas de captación ubicadas en la azotea del EP.....	46
Figura 3.5 Determinación del volumen de suministro del sistema RWH en el EP para su superficie de captación de 131 m <sup>2</sup> .....	47
Figura 3.6 Determinación del volumen de suministro del sistema RWH en el EP para su superficie de captación de 213 m <sup>2</sup> .....	48
Figura 3.7 Área propuesta para proyecto de captación, indicando pendientes y parteaguas, además de desagües (en azul) para considerar las áreas posibles para poder captar y conducir el agua de lluvia .....	52

Figura 3.8 Parte del área de azotea considerada para proyecto de captación de agua de lluvia.....	52
Figura 3.9 Área considerada para proyecto de captación de agua de lluvia. Para este caso de estudio, el área (E) no se tomó en cuenta, por la dificultad para poder conducir el agua de lluvia.....	53
Figura 3.10 Áreas consideradas para instalación de sistema de tubería para captación y registros (izquierda), construcción de cisterna e instalación de sistema de filtración.....	54
Figura 3.11 Instalación de la tubería tipo PVC (en rojo) y la dirección del flujo (en azul) hasta llegar a un registro que permita en el caso de inicio de primeras lluvias, el drenado de la misma (en detalle (a) ).....	55
Figura 3.12 Longitud de la tubería tipo PVC en planta (en rojo).....	56
Figura 3.13 Ubicación de la tubería tipo PVC en vista trasera (en rojo).....	56
Figura 3.14 Coladera para azotea con cúpula, (izquierda) .....	57
Figura 3.15 Instalación de tubo PVC cedula 40, 4 pulgadas (en rojo) para desagüe 01 de área A1 a área A2 .....	58
Figura 3.16 Instalación de tubo PVC cedula 40, 4 pulgadas (en rojo) para desagüe .....	59
Figura 3.17 Instalación de tubo PVC cedula 40, 4 pulgadas (en rojo) para desagüe 04, 05 y 06 de área B, C y D respectivamente.....	60
Figura 3.18 Vista en planta (arriba) y en corte (abajo) de registros que vienen de captación de agua en azotea.....	61
Figura 3.19 Posición de los filtros (en morado) y de cómo se encuentran conectados desde registro, mostrando tubería del agua no filtrada (en rojo) y agua filtrada 1ª etapa (en azul).....	62
Figura 3.20 Esquema general y especificaciones de filtro (entrada de agua de lluvia, salida de agua filtrada y salida para drenado) vortex fine filter RH9518-04 – 4” .....	63
Figura 3.21 Vista en corte de la instalación del filtro (vortex fine filter) y sus respectivas entradas y salidas.....	63
Figura 3.22 Instalación de filtros de 2ª y 3ª etapa, (indicados con número respectivamente) indicando los tres casos expuestos. Agua potable (en azul), agua para uso doméstico (en verde) .....	64
Figura 3.23 Orden de filtración 1ª, 2ª y 3ª etapas (de izquierda a derecha) y medidas. Anexo B.....	65
Figura 3.24 Imagen de filtro (de izquierda) y medidas (derecha). Anexo C.....	66
Figura 3.25 Sistema de almacenamiento, compuesto por un tinaco, una cisterna proyectada y una cisterna existente (en azul) .....	67
Figura 3.26 Ubicación de tanques de almacenamiento (en azul) y su ubicación propuesta, vista en planta.....	68
Figura 3.27 Ubicación de bombas, válvulas de no retorno y dirección de flujo. ....	70

Figura 3.28 Ubicación isométrica de: bebederos (números en círculos), circulación de flujo de agua potable, línea de tubería (en azul) y longitudes..... 71

Figura 3.29 Ubicación de planta baja de: bebederos (números en círculos), circulación de flujo de agua potable, línea de tubería (en azul) y longitudes. .... 72

Figura 3.30 Vista en planta y esquema general de los bebederos de agua, Anexo E. .... 73

Figura 3.31 Vista frontal (izquierda) y Vista lateral derecha, de los bebederos de agua. .... 73

## Índice de ecuaciones

Ecuación 2-1.....	37
Ecuación 2-2.....	37
Ecuación 2-3.....	37
Ecuación 2-4.....	37



## **Introducción**

El proceso de la captación de agua de lluvia (RWH siglas en inglés Rainwater Harvesting), consisten en capturar el agua que cae en los techos de los edificios o inmuebles urbanos y puede aprovecharse en sus instalaciones para cubrir el servicio doméstico o industrial. A este proceso se le considera como un sistema de mejoramiento y adaptación a un entorno ambiental más sustentable. Cada unidad de volumen que no se extrae de una fuente de suministro como la red municipal o el libre alumbramiento que se tiene por una asignación o concesión (LAN, 2016) tiene un beneficio ambiental, al igual que los volúmenes de agua que dejan de extraerse del subsuelo.

Según la FAO (2013), la práctica de la recolección de agua de lluvia se ha extendido rápidamente en las zonas urbanas de todo el mundo. Ejemplos del desarrollo de esta práctica existen en todos los continentes. En Australia, la escasez de agua durante muchos años ha llevado al uso del agua de lluvia; hoy, 3,2 millones de australianos usan la recolección de agua de lluvia como su única fuente de consumo agua. En África, los sistemas RWH se utilizan para superar la falta de redes públicas como en Kenia, Malí y Malawi. En Asia, el desarrollo de RWH también ha sido importante en los últimos años. En Japón, por ejemplo, el número de edificios con un sistema de RWH ha aumentado de 3 en 1970 a 1000 edificios en 2003. En América, el creciente desarrollo de esta práctica ha producido guías o estándares específicos. En Europa, el desarrollo de la RWH varía de un país a otro: Alemania lidera con muchos programas experimentales realizados durante los años 90 del siglo pasado. En las zonas urbanas francesas, según una reciente encuesta realizada en 2009, el 15% de los franceses tienen sistemas para la recolección del agua de lluvia. Esta rápida expansión se debe a una combinación de tres factores: nueva legislación con la Orden del Gobierno del 21 de agosto de 2008 relativa a la recolección de agua de lluvia, que incluye los mecanismos de incentivo desarrollado por organismos públicos para fomentar la práctica, y el aumento de las sensibilidades "verdes" de los diferentes actores (ciudadanos, empresas, asociaciones).

Los sistemas RWH se implementan principalmente a escala del edificio. La literatura científica muestra que esta escala se considera a menudo como la relevante para el estudio de la práctica de RWH y es privilegiada por interesados. Sin embargo, el análisis del impacto de la práctica de la RWH sobre los sistemas del agua y el saneamiento es uno de los temas que más se han estudiado en los últimos años”.

Con respecto a la calidad del agua en los RWH y los factores que modifican sus propiedades químicas y microbiológicas, se ha reportado en varias regiones del mundo la existencia de diferentes

contaminantes orgánicos e inorgánicos, incluyendo metales pesados y también trazas de compuestos orgánicos presentes en los techos de las construcciones (FAO, 2013). Para el uso del agua de un sistema RWH, ante la presencia de compuestos químicos considerados en concentración como contaminante, es necesario dar un tratamiento del agua antes de su distribución, en el caso de sistemas pequeños es suficiente aplicar una desinfección y un filtrado para eliminar la turbiedad, y en sistemas de mediana y gran escala es necesario remover microorganismos patógenos y sólidos suspendidos expresados como como turbiedad, y además los compuestos como nitrógeno, fosfatos y metales pesados, para este caso el tratamiento de agua debe ser complejo: filtración, adsorción y desinfección para asegurar los estándares de agua de primer uso indicados en la NOM-127-SSA-1994 (DOF D. , 1997).

En México se tiene un avance en el tema de la RWH con la aprobación en ambas cámaras del decreto que adiciona el artículo 17 Ter a la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, “las dependencias de la administración pública federal, el Poder Legislativo Federal y el Poder Judicial de la Federación instalarán en los inmuebles a su cargo un sistema de captación de agua pluvial, debiendo atender a los requerimientos de la zona geográfica en que se encuentren y la posibilidad física, técnica y financiera que resulte conveniente para cada caso. Ésta se utilizará en los baños, las labores de limpieza de pisos y ventanas, el riego de jardines y árboles de ornato” (DOF, 2013).

Por lo anteriormente expuesto, el objetivo de este trabajo es proponer una fuente no convencional o no centralizada, para el suministro de agua para el uso urbano y consumo humano con la tecnología adecuada, para ser instalada en el Edificio Principal (EP) de Posgrado del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA).

Para cumplir el objetivo de este estudio se estudiaron las condiciones climáticas de precipitación del lugar, las características topológicas del edificio, la calidad del agua y con esta información se diseñó un sistema de captación de agua de lluvia. Entonces la metodología utilizada en el diseño de RWH tiene siete factores: a) uso que se pretende dar al agua de lluvia captada en el EP y demanda de agua; b) precipitación pluvial; c) área de captación; d) volumen y capacidad de almacenamiento; e) calidad del agua, f) tratamiento del agua de lluvia y g) costo/beneficio del sistema.

La tesis se encuentra organizada en 5 capítulos, cuyo contenido se describen a continuación.

El capítulo 1. Antecedentes, presenta una revisión bibliográfica de los temas principales sobre los que se fundamenta la propuesta metodológica, las generalidades de la captación de agua de lluvia; así mismo se hace una clasificación de los tratamientos del agua de lluvia. El capítulo 2. Metodología, inicia con el área donde se implementará el proyecto, posteriormente se realiza un análisis del uso que se le pretende dar al agua de lluvia; seguidamente se determina el volumen y capacidad de almacenamiento de agua de lluvia de acuerdo a la precipitación pluvial y al área de captación; posteriormente se realiza un análisis de la calidad de agua de lluvia, de los muestreos realizados en los diferentes tipos de techo, se propone y detalla un sistema de captación, conducción, tratamiento, almacenamiento y distribución del agua de lluvia para el edificio de posgrado IMTA. En este capítulo se presenta además la metodología del análisis de costo/beneficio del sistema de captación, conducción, tratamiento, almacenamiento y distribución del agua de lluvia para el edificio de posgrado IMTA. En el capítulo 3. Resultados y discusión se detallan los resultados obtenidos del uso que se le pretende dar al agua, el consumo del agua en el edificio de posgrado; la precipitación pluvial y el área de captación para la obtención del volumen de agua captada y el tamaño de almacenamiento; con lo cual se propondrá un sistema de captación, tratamiento y almacenamiento del agua de lluvia, adecuando para el EP. El capítulo 4. Conclusiones, aportaciones y recomendaciones para futuras investigaciones en la misma línea temática propuesta por la tesis y por último se presenta el Capítulo 5. Bibliografía y Anexos, distinguiéndose entre los diferentes tipos de publicaciones utilizadas.

# Capítulo 1

## 1. Antecedentes

Desde el inicio de las sociedades en comunidad el ser humano ha aprovechado el agua superficial como primera fuente de abastecimiento, consumo y vía de transporte, como ejemplo se tienen los valles de los ríos como los sitios donde se establecieron, estas primeras civilizaciones. Allí se desarrolló la agricultura y se modificó el régimen natural de aportación del agua de lluvia a los cultivos, por medio de los sistemas de riego. Estas primeras sociedades no dependieron directamente del agua de lluvia para su supervivencia, ya que construyeron sistemas de abastecimiento de agua de fuentes superficiales.

Cuando las sociedades crecieron demográficamente, el agua y el alimento comenzó a ser más demandada, por lo que algunos tuvieron que migrar a zonas más áridas. Entonces comenzó el desarrollo de formas de captación de lluvia más elaboradas como alternativa para el riego de cultivos y el consumo de la población en general, (Ballén Suárez, 2006).

Aunque no se sabe con precisión el origen de los sistemas de captación de lluvia, autores como (Ballén Suárez, 2006) y (Nissen-Petersen, 1999), coinciden que provienen de las primeras civilizaciones del Medio Oriente. En el Desierto de Negev, en Israel y Jordania, se descubrieron sistemas de captación de lluvia que tienen 4000 o más años de antigüedad. Estos sistemas consistían en el desmonte de loma para aumentar la escorrentía superficial, que era entonces dirigida a predios agrícolas en las zonas más bajas. La Figura 1.1 muestra patios y terrazas utilizadas para captar y almacenar agua de lluvia de las zonas altas de Yemen. De igual sistema de captación de lluvia se desarrollaron Xochicalco en el estado de Morelos (Garrido H. , 2008), como se muestra en la Figura 1.2.



Figura 1.1 Construcción en Yemen diseñada para captar agua de lluvia



Figura 1.2 Captación del agua de lluvia en Xochicalco, que cae en los techos y su conducción hasta los aljibes, capacidad de 556 m<sup>3</sup>

A partir del siglo XIX y XX la mayoría de las ciudades del mundo tuvieron un gran crecimiento. Los ingenieros solucionaron el suministro de agua a la población por medio de la acumulación de agua superficial en presas de almacenamiento o mediante pozos de agua subterránea, para luego ser distribuida por una red centralizada de suministro a las poblaciones. Los diseños colectivos centralizados no contemplan que las casas, departamentos y edificios tengan la posibilidad de aprovechar el agua de lluvias, como un sistema no centralizado y que sea más amigable con el ciclo hidrológico (Hiram, 2012).

En épocas recientes, el crecimiento acelerado de la población mundial está ejerciendo presión sobre la disponibilidad del agua. Por ello, como fuente alternativa, en fechas recientes, existe el interés por implementar sistemas de captación del agua de lluvia a nivel doméstico e incluso sobre edificios

públicos y comerciales. En algunas regiones, como son el caso de islas volcánicas (Canarias) y zonas áridas aisladas, nunca se ha dejado de utilizar el agua de lluvia debido a la baja posibilidad de acceso a otras fuentes, en otros sitios su uso se está expandiendo rápidamente, como son los países en vías de desarrollo de África y Asia (Nissen-Petersen, 1999).

Según (Ballén Suárez, 2006) la mayor parte de los sistemas de aprovechamiento de agua de lluvia para uso urbano surgen como resultado de tres factores principales:

- La necesidad y demanda del recurso hídrico de las comunidades,
- Las condiciones disponibles de precipitación pluvial, y
- Las fuentes de financiamiento para su implementación.

## **1.1 Situación actual de la captación de agua de lluvia**

Actualmente, los sistemas de captación de agua de lluvia se han desarrollado para uso agrícola y uso urbano, y comercial, en países desarrollados y en vías de desarrollo. Algunos casos de instalación de éstos se describen a continuación:

### **1.1.1 África**

La problemática del abastecimiento de agua potable es de carácter global, pero en el continente africano existe una situación muy crítica debido a la alta concentración de pobreza que imposibilita la obtención de recursos y tecnología necesaria para construcción y operación de un sistema de acueducto adecuado.

En algunas zonas de África se ha producido en años recientes una expansión de los sistemas de aprovechamiento lluvia, pero el proceso de implantación de esta tecnología ha sido lento, debido a la baja precipitación, el reducido número y tamaño de las cubiertas impermeabilizadas y el alto costo en la construcción de los sistemas en relación a los ingresos familiares. Con todo esto la captación de lluvia es muy difundida con grandes proyectos en Botswana, Togo, Mali, Malawi, Sudáfrica, Namibia, Zimbawe, Mozambique, Sierra Leona y Tanzania.

Uno de los proyectos adelantados es el de “Sistemas de aprovechamiento de agua de lluvia de muy bajo costo” el cual se desarrolló con la participación de varias organizaciones africanas y el apoyo de “Development Technology Unit” (Loughborough University) de Inglaterra. Con estas tecnologías se

pretende suplir un porcentaje de la demanda total de las casas a partir de una inversión que no supera los 120 dólares y utilizando los materiales disponibles en la zona.

### **1.1.2 Asia**

La India es el segundo país con mayor población después de China a nivel mundial. Por ello el gran problema es suministrar los servicios básicos a más de 1000 millones de personas. Una solución que se ha tomado para enfrentar estos problemas son las técnicas de aprovechamiento de lluvia. En la India, el monzón es un diluvio breve; allí se dan aproximadamente 100 horas de lluvia por año y en éstas se debe captar y almacenar el agua para el mayor tiempo posible.

El almacenamiento del agua de lluvia proveniente del escurrimiento de los techos en vasijas de arcilla es un sistema apropiado y económico para obtener agua de alta calidad en Tailandia. Las vasijas se consiguen para diferentes volúmenes, desde 1000 hasta 3000 litros y están equipadas con tapa, grifo y un dispositivo de drenaje.

### **1.1.3 Oceanía e Islas**

A excepción de los grandes asentamientos, la densidad de población en Australia es muy baja. Debido a esto el agua debe recorrer grandes distancias a través de kilómetros de tubería, haciendo que sea muy costosa o que en algunos lugares remotos no se suministre el servicio. Allí se utiliza el aprovechamiento de lluvia como una solución al problema. En 1994, la Oficina Australiana de Estadística dio a conocer que el 30.4% de los hogares australianos ubicados en las zonas rurales y el 6.5% de los hogares en las ciudades utilizan algún sistema de aprovechamiento de lluvia, de la suma de éstos, el 13% utiliza el agua para beber y cocinar.

Las poblaciones de algunas islas con escasas corrientes de agua superficial suelen utilizar los sistemas de aprovechamiento pluvial como su forma de suministro, este es el caso de Micronesia, Rapa-Nui (Isla de Pascua), Bermudas, Islas Vírgenes, Hawái y San Andrés (Colombia).

### **1.1.4 Europa**

En 1998 los sistemas de aprovechamiento de pluvial fueron introducidos en Berlín, Alemania, como parte de un desarrollo urbano a gran escala. Además de aprovechar de manera más eficiente el agua superficial, se capta el agua de la lluvia que cae en las cubiertas de algunos edificios y se almacena

en un tanque subterráneo. Esta agua es usada para la descarga de inodoros, el riego de zonas verdes y para llenar un estanque artificial.

En otro proyecto de (Belss-Luedecke-Strasse Building State) en Berlín, el agua de lluvia de las cubiertas de algunas casas se descarga en una cisterna con una determinada capacidad, junto con el agua de escurrimiento de las calles, espacios de estacionamiento y vías peatonales. El agua es tratada en varios pasos y usada en la descarga de sanitarios y el riego de jardines. El sistema está diseñado para que los sólidos de mayor tamaño en el flujo inicial sean evacuados al alcantarillado. El sistema retiene aproximadamente el 58% del agua de lluvia que cae dentro de las instalaciones. A través de un modelo basado en 10 años de simulación se estimó que el ahorro de agua potable con la utilización de la lluvia es de 2,430 m<sup>3</sup> por año. Con este volumen se puede preservar el reservorio de agua subterránea de este edificio en Berlín.

### **1.1.5 Sudamérica**

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

### **1.1.6 Norte y Centroamérica**

En barrios de Tegucigalpa, Honduras, se pueden encontrar viviendas acondicionadas con precarios sistemas de aprovechamiento pluvial. Estos sistemas, aún con sus deficiencias, logran mejorar el nivel de vida de los habitantes.

Se estima que los sistemas de aprovechamiento de agua de lluvia son usados por más de medio millón de personas en al menos 15 estados y territorios de los Estados Unidos. El agua se destina a uso doméstico, agrícola, comerciales e industriales. Existen más de 50 compañías especializadas en el diseño y construcción de sistemas de aprovechamiento del agua pluvial (Hiram, 2012).



### **1.1.7 México**

En el México prehispánico existen evidencias de estos sistemas, tales como en la zona arqueológica de Xochicalco, Morelos, 650 a 900 d.C., en donde no existía ninguna fuente de abastecimiento de agua, por lo que se realizó un uso eficiente del agua. La plaza central y los patios fueron diseñados para canalizar el agua de lluvia hacia las cisternas, las cuales almacenaban el agua por siete meses aproximadamente (Garrido H. , 2008).

### **1.1.8 Ciudad de México**

Un ejemplo muy común en la Ciudad de México es que el agua cada vez es más escasa y cara. Esto seguirá empeorando porque más y más gente estamos sacando agua de las mismas fuentes. Si millones de personas sacamos agua es natural que nuestras fuentes se estén agotando; para ello se están implementando más sistemas de captación de agua de lluvia.

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

En la Figura 1.3 se muestra el sistema de captación de lluvia de la casa ecológica del parque Loreto y Peña Pobre. El diseño capta el agua a través del tejado del techo, la conduce por canaletas hacia filtros para remover materia insoluble y después da un tratamiento secundario (filtro de grava, filtro de gravilla y finalmente filtro de arena) para la potabilización del líquido. Un proyecto de asociación civil destacado es “Isla Urbana”. Se sitúa en la Delegación Tlalpan y tiene como objetivo asegurar un futuro sustentable para la Ciudad de México a través de la captación y aprovechamiento pluvial a gran escala. Para ello su trabajo se enfoca en instalar sistemas de captación de lluvia en zonas de bajos recursos que sufren escasez de agua o reciben agua de mala calidad, ya que la carencia de un buen suministro de agua obliga a muchas familias a pagar el servicio de auto tanques de agua, método insustentable, ineficiente y sobre todo costoso.

Trabajando junto con los vecinos, otras asociaciones y con el gobierno local, el proyecto ha dejado al menos 500 sistemas entre los vecinos y una cultura de cuidado del agua replicable en muchas áreas similares dentro del cinturón verde de la ciudad (García, 2011).



Figura 1.3 Sistema de captación de lluvia de la casa ecológica del parque Loreto y Peña Pobre, Ciudad de México

En la Figura 1.4 se esquematiza el sistema de Isla Urbana, que consta básicamente de un desvío al drenaje, un dispositivo de prefiltrado conocido como separador de primera lluvia, cloración en la cisterna y dos filtros a presión. (Urbana, 2010).

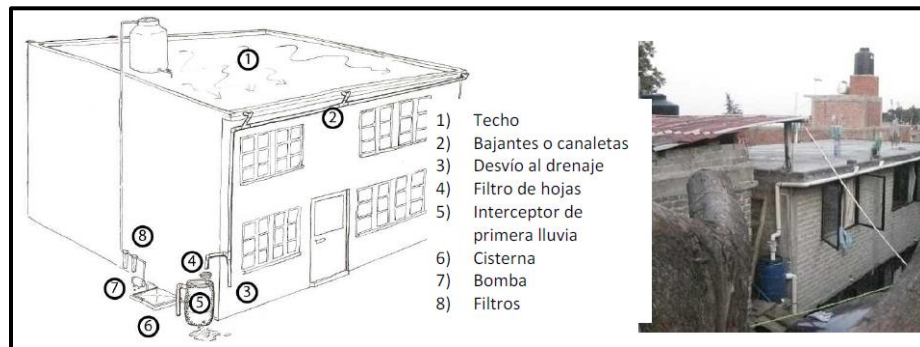


Figura 1.4 Sistema de captación de lluvia del proyecto Isla Urbana (García, 2011)

En general, la captación y aprovechamiento pluvial no es un método masificado en el mundo ni en México, salvo casos específicos, pero la necesidad del recurso agua y las bondades de este método han desarrollado muchos casos de éxito y un creciente interés en su desarrollo (Urbana, 2010).

### 1.1.9 Morelos

El estado de Morelos es uno de los 31 estados que junto con el Estado de México conforman las 32 entidades federativas de México. La temperatura media anual del estado es de 21.5°C, la temperatura

mínima promedio es de 10°C que se presenta en el mes de enero y la máxima promedio es alrededor de 32°C se presenta en los meses de abril y mayo. (CONAGUA, 2009).

En la zona norte del estado de Morelos se tienen serios problemas para el abastecimiento de agua para uso y consumo humano, derivados principalmente de las condiciones geográficas y del subsuelo que predominan en la zona, el cual está constituido por materiales permeables, donde la precipitación pluvial se infiltra a profundidades de 500 metros, lo que hace muy difícil y costosa la extracción del vital líquido (Garrido S. , 2011). Trabajos realizados por Garrido (2011) se diseñaron, desarrollaron y evaluaron dos sistemas de captación y tratamiento de agua de lluvia a nivel domiciliario y colectivo, el primero en la localidad de Jumiltepec, (Ocuituco) en que el agua de lluvia se captó del techo de la iglesia y conducida a una olla de 228 m<sup>3</sup> de capacidad, previamente filtrada el agua de lluvia mediante un filtro de grava, gravilla y arena para la retención de sólidos con una desinfección y el segundo en la localidad, Villa Nicolás Zapata (Totolapan), en que se construyó un sistema de tratamiento de filtración en múltiples etapas modificada (FIMEM) para el tratamiento del agua de las ollas (7,000 m<sup>3</sup> de capacidad) existentes en esta localidad. La tecnología FIMEM está conformada por dos filtros gruesos de grava y gravilla y un filtro lento de arena sílica como medio, los cuales trabajan en serie por gravedad. Se tiene además un tanque de contacto de cloro y un cárcamo de bombeo de agua tratada. Caudal: 0.53 l/s y tasas de filtración son 0.75 y 0.31 m/h. Las eficiencias obtenidas en el sistema de tratamiento fueron: color y turbiedad >90%. El agua obtenida cumple con la NOM-127-SSA1-1994 (Garrido S. , 2011)

## **1.2 Generalidades de la captación de agua de lluvia**

Se puede definir a la captación pluvial (agua de lluvia) como la recolección del escurrimiento de lluvia sobre una superficie para propósitos de aprovechamiento. El concepto hace énfasis en el almacenamiento del agua de lluvia para su utilización posterior. Cuando se enfoca únicamente en el agua que cae en un sitio puntual, se denomina micro captación o captación de microcuencas.

La captación de lluvia puede ser considerada como una forma rudimentaria de riego, usando surcos, canales, etc. La diferencia es que la idea de la captación está en el control sobre la aplicación del agua colectada y no está sujeta únicamente al momento en el que llueve.

Existe conocimiento sobre una gran variedad de técnicas relacionadas con sistemas de captación y aprovechamiento de agua de lluvia. Dichas técnicas se pueden clasificar con base en sus diferentes

fuentes. (La Figura 1.5) tipo de escorrentía, técnicas de manipulación, tipo de almacenamiento y a los diferentes usos que se le da al recurso (FAO, 2012).

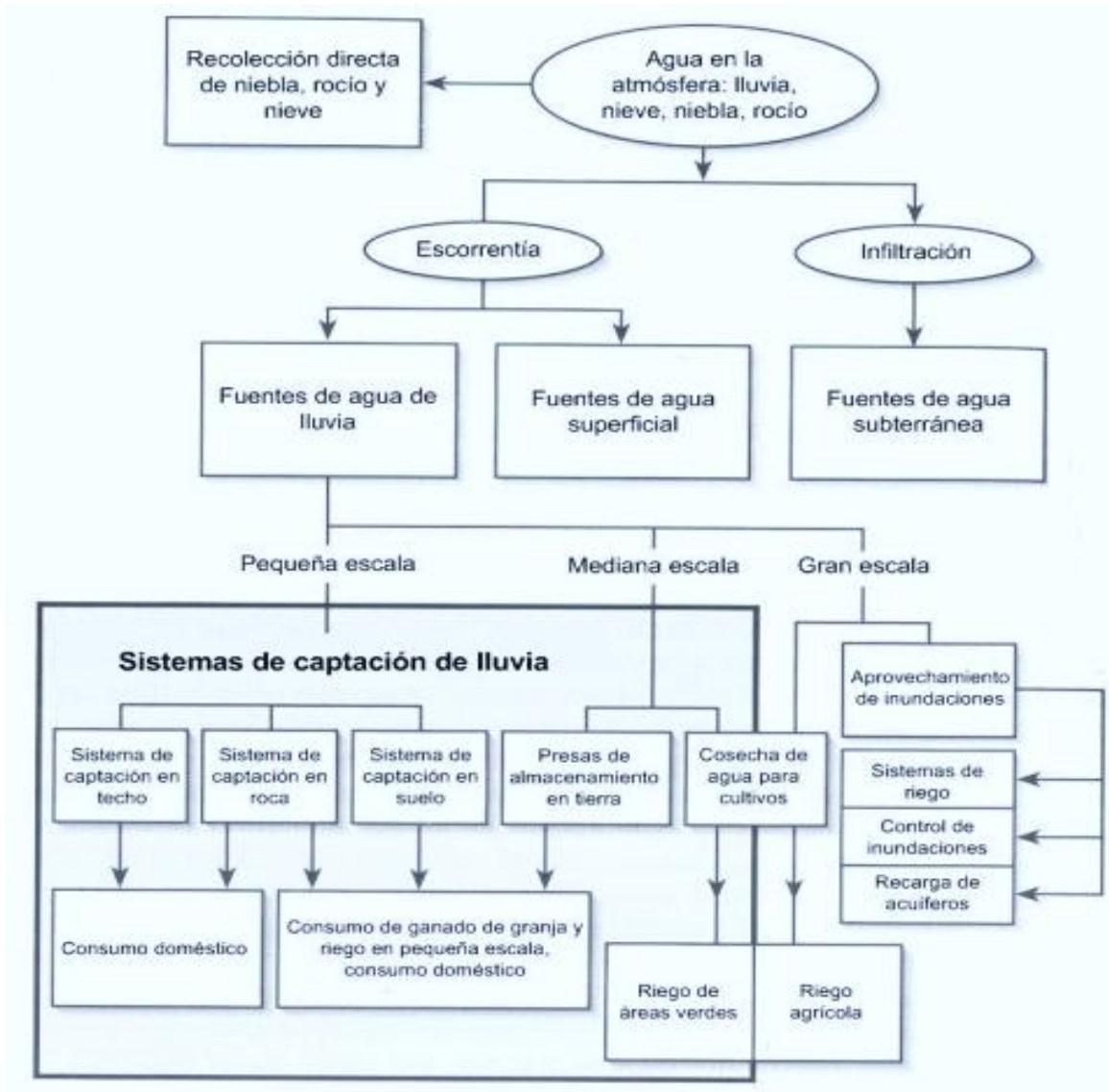


Figura 1.5 Clasificación general del aprovechamiento de la lluvia propuesta por Nissen-Petersen, 1999

El rápido crecimiento de la población, combinado con la industrialización, urbanización, intensificación de la agricultura y la demanda creciente de agua en nuestro estilo de vida, ha dado como resultado una crisis global. Para el año 2015, 663 millones es el total de personas sin acceso a agua potable mejorada en todo el mundo (por primera vez la cifra baja de los 700 millones).

La captación de agua de lluvia es un medio fácil de obtener agua para consumo humano y/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.

En el caso de México (CONAGUA, 2011), el territorio nacional presenta una baja disponibilidad de agua renovable per cápita, la cual ha disminuido de 18,035 m<sup>3</sup>/hab/año en 1950 a tan sólo 3,982 en 2013. De acuerdo con las Naciones Unidas, México se encuentra en el lugar 94 a nivel mundial en disponibilidad natural del agua (CONAGUA, 2011). En todo el territorio nacional se tiene un promedio anual de precipitaciones de 1489 miles de millones de metros cúbicos (CONAGUA, 2009); si sólo se aprovecharan 3% de esa cantidad, se podría abastecer a 13 millones de mexicanos que actualmente no cuentan con agua potable, dar dos riegos de auxilio a 18 millones de hectáreas de temporal, abastecer a 50 millones de unidades animal y regar 100 mil hectáreas de invernadero (Anaya, 2004).

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

### **1.2.1 Beneficios de la captación de agua de lluvia**

Los sistemas de captación de agua de lluvia tienen beneficios, enumeraremos brevemente los más importantes, así como las ventajas comparativas que tiene contra el sistema tradicional urbano de redes subterráneas de distribución.

- La poca o nada dureza del agua de lluvia elimina la necesidad de un suavizador de sales.
- El agua de lluvia contiene bajas concentraciones de sodio, importante para gente con una dieta baja en sodio.
- El agua de lluvia no provee una fuente de agua cuando es temporada de estiaje (octubre-mayo) y la dotación de agua se reduce en la época de lluvias, y esto puede contribuir a limitar el uso del agua subterránea como un beneficio ambiental.

Entonces, si la sociedad aprende a captar y usar el agua de lluvia disminuirían los volúmenes solicitados a la red colectiva, disminución del bombeo en épocas de lluvias de los organismos

operadores y además se tendría un beneficio ambiental, al mantener volúmenes de agua en el subsuelo de la asignación que le otorga la autoridad del agua a las ciudades para uso urbano.

### **1.2.2 Factores técnicos**

En el proceso de adaptación tecnológica de una comunidad o familia, con el fin implementar y diseñar un sistema de captación de agua de lluvia, se debe tener una clara comprensión de los elementos que componen a este sistema y son:

Los factores materiales (los techos y cisternas con los que contamos o el espacio para construirlos o instalarlos, los sistemas de filtros, etc.),

Las condiciones naturales (la cantidad de lluvia, la intensidad de las tormentas, la duración de la temporada),

Las variables sociales (el número de integrantes de la familia o comunidad, las costumbres de consumo, etc.) y

Las expectativas o beneficios en (los usos para lo que queremos el agua), con la finalidad de lograr la dimensión adecuada del sistema, lo anterior para lograr incluir el mayor número de beneficios con una menor inversión.

En los siguientes apartados se presenta en forma resumida a continuación los factores técnicos, que se deben tomar en cuenta para implementar un sistema de captación de agua de lluvia:

#### **1.2.2.1 Uso que se le pretende dar al agua de lluvia captada**

En un diseño de un sistema de captación de agua de lluvia es necesario establecer la necesidad y la prioridad entre los diferentes usos del agua y estos en forma global se definen en dos usos:

Usos simples: limpieza de pisos, inodoros o excusados, limpieza de ropa, riego de plantas, limpieza de autos y otros. Usos complejos: Limpieza corporal, agua para beber y cocinar.

Considerando los tipos de usos antes descritos a continuación se muestran según diferentes criterios para el aprovechamiento del agua de lluvia. En la

Tabla 1.1 a modo de ejemplo se describen las actividades más comunes según (PNUMA, 2008), para las cuales se utiliza el agua para una dotación de 200 L/hab/d en zonas urbanas.

Tabla 1.1 Usos que se le dan al agua para una dotación de 200 L/hab/d, la zona urbana de la ciudad de México, (PNUMA, 2008)

Concepto de uso	Dotación (L)	Porcentaje (%)
Baños	60	30
Limpieza de trastes	20	10
Lavamanos y lavado de dientes	12	6
Lavado de auto, plantas y otros	10	5
Aseo de edificios	8	4
Preparación de comida	6	3
Consumo personal	2	1
Regadera	64	32
Limpieza de ropa	18	9
<b>TOTAL</b>	<b>200</b>	<b>100</b>

Estudios realizados por (Belmeziti, 2013) muestra una recopilación de valores de los escenarios de los usos, dotación y frecuencia en que se puede utilizar el agua de lluvia, Tabla 1.2. El criterio adoptado para agrupar edificios es similar al de "escenarios de uso". Dos edificios tienen el mismo "escenario de uso" de agua de lluvia si tienen los mismos usos (por ejemplo, flushing del baño y riego) con la misma proporción (por ejemplo, 3 L/m<sup>2</sup> para regar un césped) y la misma frecuencia diaria.

La dotación para un mismo uso puede tener un valor diferente para la relación o frecuencia dependiendo del tipo de edificio considerado o número de las personas consideradas. Por ejemplo, en un edificio comercial, la proporción del flushing del inodoro es diferente para los empleados y para los visitantes, porque los visitantes no pasan todo el día en el edificio, como se muestra en la Tabla 1.2.

Tabla 1.2 Escenarios de usos del agua de lluvia según (Belmeziti, 2013)

Concepto de uso	Dotación (L/hab/día)	Frecuencia
Baño flushing vivienda	30 (cápita)	Todos los días (340 d/año)
Baño flushing empresa	18 (cápita)	Todos los días de trabajo (220 d/año)
Baño flushing visitantes	1.8 (cápita)	Todos los días de trabajo (220 d/año)
Baño flushing estudiantes	4 (cápita)	Todos los días de estudio (175 d/año)
Baño flushing noche	27 (cápita)	Cada día
Riego	3 (L/m <sup>2</sup> )	Todos los días entre abril-octubre (excepto los días de lluvia)
Limpieza suelo	0.15 (L/m <sup>2</sup> )	Cuatro veces en la semana
Lavadora ropa	80 (cápita)	Una vez a la semana
Estación de lavado de coches	150 (L/coche)	Cada mes por coche

En este trabajo se cuantificaron los consumos del edificio de Posgrado del IMTA de dos formas: la primera mediante un análisis teórico y los resultados se muestran en la Tabla 1.3 en donde se incluyen las instalaciones educativas y administrativas, así como los laboratorios de hidráulica, ambiental y

energía nuclear. La segunda forma de cuantificación se describe en el capítulo 2 con los consumos de agua en el EP, realizada mediante las mediciones directas de consumo de agua en las instalaciones del Posgrado.

Tabla 1.3 Consumos teóricos por usos para el edificio de Posgrado-IMTA, Jiutepec, Morelos, México

Concepto de uso	Litros requeridos (L/hab/d) *	Consumo promedio teórico (L/Posgrado-IMTA/d)	Otros consumos (L)	Porcentaje (%)
Baños	60	5,700	-	51.39
Lavamanos y lavado de dientes	12	1,140	-	10.28
Limpieza de trastes	4	380	-	3.42
Limpieza de edificio Posgrado	8	760	-	6.85
Riego plantas interiores	6	570	-	5.14
Consumo personal	2	190	-	1.71
Laboratorios	-	-	500	4.51
Riego jardines externos	-	-	1852	16.70
Total, consumo diario	-	8,740	2352	100.00

\*Consumos promedio por persona y por actividad, para una vivienda urbana en la Ciudad de México, para una dotación de 200 l/hab/d, sólo se presentan los usos que le corresponden a la academia (PNUMA, 2008).

En el caso del diseño de un sistema de captación de agua de lluvia a nivel doméstico, las variables principales para tomar en cuenta son el número de integrantes de la familia, las costumbres de consumo, nivel socio-económico y el uso que se le pretende dar, con el fin de evaluar a nivel domiciliario el consumo actual de agua que se demanda de la red colectiva del organismo operador.

Desde el punto de vista de confiabilidad del sistema de captación de agua de lluvia es importante tener en cuenta los siguientes aspectos, y son muy importantes en la adaptación social de esta tecnología en la vida diaria a nivel domiciliario o de un edificio:

- \* El sistema de captación de agua de lluvia por sus características de diseño no cubre la demanda de uso diario en todo el año (baja confiabilidad),
- \* Es necesario siempre tener un suministro de agua de una red colectiva municipal (necesario para tener una buena confiabilidad)
- \* Los costos de implementación son adicionales a los que hayan aplicado a la instalación del suministro de agua municipal,
- \* La operación del sistema de captación de agua lluvia es cubierta por el usuario a nivel doméstico,
- \* La calidad del agua de lluvia no es constante a lo largo de la temporada de captación, y



\* Desde el punto de vista de manejo del agua a nivel de cuenca la captación de agua de lluvia a nivel doméstico puede provocar un conflicto en las asignaciones y concesiones con otros usuarios agua abajo en la cuenca (National Conference of State Legislatures, 2017).

### **1.2.2.2 Precipitación pluvial**

La precipitación normal en México es del orden de 760 mm al año, distribuidos de forma irregular en el territorio y en el tiempo. El 68% del total de la precipitación normal ocurre entre los meses junio y septiembre. (CONAGUA, 2009).

Para realizar un diseño de captación de agua de lluvia es necesario conocer el régimen de precipitación del sitio, en forma rápida se puede consultar los registros medios mensuales que muestra el Servicio Meteorológico Nacional en su página electrónica (Servicio Meteorológico Nacional, 2017), o también la publicación electrónica del CICESE-CLICOM (2017). En fechas recientes el Centro Interamericano del Recursos del Agua publicó en 2017 un producto informático para diseñar un sistema de captación de agua de lluvia, tomando en cuenta los datos de clima de la CONAGUA y aplicando un modelo de interpolación geográfica, publicado en el trabajo de Fonseca (2017).

El tomar datos mensuales medios es recomendable para un diseño general como se indica en varias publicaciones (Nissen-Petersen, 1999), (Anaya, 2004), (Fonseca, 2017), pero en este trabajo se realizará una diseño considerando periodo horario de registro de captación de agua de lluvia, que sigue el procedimiento realizado en el trabajo de Garrido y Aguilar (Garrido & Aguilar, 2014)

### **1.2.2.3 Superficies de captación**

Hay que tener en cuenta los techos con los que se cuentan y que sean susceptibles de uso y/o las techumbres que se puedan construir; para lo cual es necesaria su adecuación y mantenimiento óptimo al utilizarlos como áreas de captación de agua de lluvia.

El techo es la parte superior de una edificación (edificio, casa, choza, habitación, etc.) sirven para proteger del clima y medio ambiente como la lluvia, el viento, el sol; evitando la entrada de estos elementos al interior.

### **Techos (captación de agua)**

Los techos, por su condición impermeable, producen un volumen de agua. El hecho de que estén en posición elevada e inclinada facilita la captación y almacenamiento del agua. Canaletas colocadas en la parte inferior del plano inclinado recolectan el agua del techo y, por una tubería, la conducen hacia la estructura de almacenamiento, generalmente estanques o cisternas, de donde el agua es retirada para su utilización, (

Tabla 1.4).

**Tipos de techos de acuerdo con el material de construcción**

El techo es el componente más importante del sistema. Debe ser de material impermeable, liso y uniforme (sin deformidades) para que el escurrimiento y conducción se lleven a cabo por gravedad. En las zonas urbanas los techos están contruidos de concreto, aleación de lámina galvanizada y antimonio. En las zonas rurales, los materiales de construcción varían bastante. Los más comunes son: de concreto, láminas de asbesto, lámina galvanizada, madera, tejas de arcilla o concreto y paja. El techo se debe mantener limpio, libre de hojas y otros detritos, para que el agua recolectada sea de buena calidad.

Tabla 1.4 Clasificación general de los diferentes tipos de techos comúnmente utilizados, (Dancy, 2016)

Techos Planos	Techos con Pendiente	Techos Curvos
		
<p>Estos pueden ser láminas, losas monolíticas o estructuras reticuladas espaciales, o sistemas simples que empleen vigas.</p>	<p>Estos pueden ser techos con una sola agua, de 2 aguas y de 4 aguas, con un sistema de viguetas, vigas, cerchas o estructuras espaciales.</p>	<p>Estas incluyen bóvedas cúpulas, techos tensores ligeros estructuras laminares y de cuerda de arco.</p>
<p>Los techos planos son más comunes en regiones predominantemente cálido-seco, con poca precipitación anual.</p>	<p>Los techos con pendiente son más comunes en regiones predominantemente cálido húmeda con fuertes lluvias.</p>	<p>Los techos en forma de cúpula y bóveda son comunes en climas cálidos seco.</p>
<p>Por definición, los techos con una inclinación menor de 10° del plano horizontal son clasificados como techos planos. Para que el agua de la lluvia corra se necesita una pendiente de 2° como mínimo.</p>	<p>Los de menores pendientes son más baratos, requieren menos construcción de muros y menos material para el techado (menor superficie de techo).</p>	<p>Las cúpulas y bóvedas de mampostería son probables que se caigan con los movimientos sísmicos, mientras las estructuras de laminares y de cuerda de arco soporta dichos peligros.</p>
<p>Los vientos fuertes tienden a levantar el techo por succión, por ello los techos planos son menos adecuados en áreas propensas a los huracanes.</p>	<p>Los techos de dos aguas dejan los muros extremos expuestos; los techos a cuatro vértices protegen todos los muros, son menos susceptibles a ser dañados por el viento, pero son más difíciles de construir.</p>	<p>Los techos tensores, que emplean un sistema de membranas resistentes sobre cables o cuerdas, son relativamente económicos, con cubiertas ligeras.</p>
<p>Unas alternativas ingeniosas de las láminas corrugadas son las canaletas. Un buen material, en términos de resistencia y durabilidad, es el fibrocemento.</p>	<p>Los techos de las casas con patio deben tener pendiente hacia el interior para un mejor clima en los interiores y para facilitar la recolección del agua de la lluvia.</p>	

#### 1.2.2.4 Conducción de agua de lluvia (canales y tuberías)

Las tuberías son un sistema formado por tubos, que pueden ser de diferentes materiales, que cumplen la función de permitir el transporte de líquidos, gases o sólidos en suspensión (mezclas) en forma eficiente, siguiendo normas estandarizadas y cuya selección se realiza de acuerdo a las necesidades de trabajo que se va a realizar.

Existen tuberías metálicas de diferentes materiales como son: tubos de hierro fundido, acero, cobre y bronce; y las no metálicas pueden ser fabricadas con cerámica, hormigón, poliéster, PVC, polietileno (PE) y polipropileno (PP). (Agüero, 2013).

### **Canaletas**

Las canaletas son las estructuras que se colocan en la parte donde termina el techo para captar el agua que escurre y cae por el declive y conducirla a un lugar de almacenamiento. Las canaletas deben tener las siguientes características:

- » Dimensiones adecuadas al volumen de escorrentía.
- » Pendiente uniforme hacia el tubo de conducción.
- » Suficiente estructura de apoyo para soportar el peso del agua cuando esté bajo plena carga.
- » Ser mantenidas limpias, sin impedimentos al desplazamiento de la escorrentía.
- » Boca de salida suficiente para el caudal máximo.

Las canaletas se convierten, con frecuencia, en una fuente de pérdida de agua debido a una mala posición en relación con el flujo del agua en caso de lluvias intensas, mala fijación para soportar la carga de agua, deformaciones y taponamiento con detritos que se acumulan en los días sin precipitación. (Haring, 2011).

El material debe ser liviano, resistente, fácil de unir entre sí, debe combinar con los acabados de las instalaciones (zonas urbanas), que no contamine con compuestos orgánicos o inorgánicos; por lo que se recomienda se coloquen mallas (Figura 1.6) que detengan basura, sólidos y hojas, para evitar la obstrucción del flujo en la tubería de conducción.

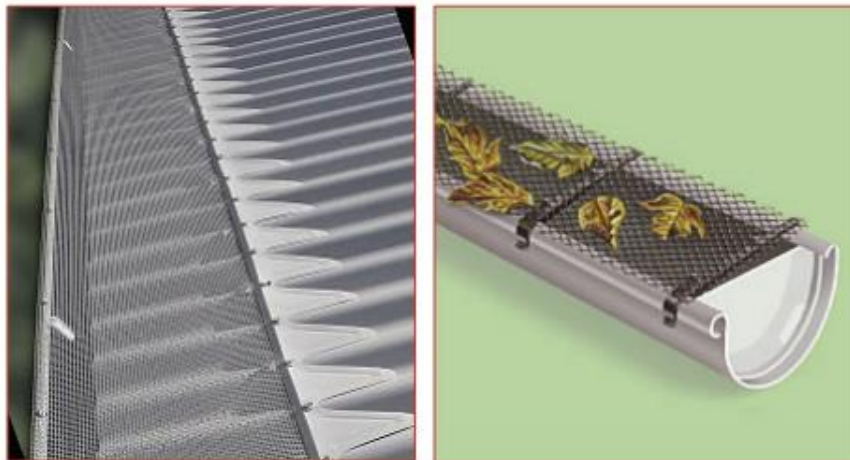


Figura 1.6 Tipos de canaleta con malla para evitar la contaminación por hojas (Victor D. Phillips, 2010)

La Figura 1.7 representa un sistema de conducción se refiere al conjunto de canaletas o tuberías de diferentes materiales y formas que conducen el agua de lluvia del área de captación al sistema de almacenamiento a través de bajadas con tubo de PVC.



Figura 1.7 Formas de canales acordes a edificaciones (Victor D. Phillips, 2010)

#### **1.2.2.5 Cisternas, tanques y otros elementos de almacenamiento**

El sistema de almacenamiento del agua de lluvia a nivel doméstico pueden ser cisternas existentes viables de usarse y cisternas o tanques que se construyan o compren para este uso específico. Estos sistemas requieren ser habilitados y tener un procedimiento de mantenimiento durante la vida útil del sistema.

#### **1.2.2.6 Calidad fisicoquímica y microbiológica del agua de lluvia captada según el tipo de material presente en los techos y tanque de almacenamiento**

La calidad de cualquier agua se determina por la calidad de la fuente de agua, su exposición a contaminantes durante su colecta, tratamiento y almacenamiento y cuando llega al consumidor. En un sistema de captación de aguas pluviales en los techos, que consiste en un sistema de recolección (techo), un sistema de transporte (canaletas o tuberías) y un sistema de almacenamiento (tanque o cisterna), la contaminación del agua puede ocurrir en cualquiera de estas etapas. El agua de lluvia se considera generalmente como no contaminada, o al menos no contaminada significativamente, pero puede ser ácida, contener trazas de plomo, pesticidas, etc., dependiendo de la localidad y los vientos predominantes. La contaminación se produce cuando cae en el techo, recoge la suciedad, se disuelve algunos metales pesados en el caso de superficies de metal, y luego fluye en el almacenamiento. Los cambios pueden ocurrir durante almacenamientos también dependiendo del material utilizado.

En la Tabla 1.5 se muestra una recopilación realizada (Ahammed, 2006), en que la calidad del agua de los sistemas de recolección de agua de lluvia en los techos, para determinar los factores que afectan a la calidad de la escorrentía del techo. Los resultados obtenidos del estudio se realizaron en diferentes localidades de varias ciudades; en las cuales se determinó la calidad microbiológica del agua, como se muestra en la Tabla 1.5, las concentraciones de los compuestos orgánicos, como se muestra en la

\*La referencia de estos autores fue tomada del artículo de Ahammed .

Tabla 1.6 y metales pesados como se muestra en la Tabla 1.7 Trazas de metales pesados durante un estudio de la calidad de agua de lluvia en los techos, según varios autores

N°	Lugar país	Tipo de muestra recolectada	N° de muestras analizadas	Metales analizados	Parámetros analizados	Resultados más destacados	Referencia*
1	Taffee n wjes. Zurich	Captación de techos	14 eventos de lluvia	Cu, Zn, Pb, Cd, Cr, Mn, Fe	Concentración en µg/L en los primeros 0.2 mm de profundidad: Cr 0.6-1.7, Fe 90-415, Pb 2.7-41, Zn 9-115, Cu 18-842, Cd 0.1-0.4	Fe y Pb superaron estándar de calidad en el agua potable. Cu, Pb, Cd, en formas moderadamente reactivos, techo Grava retiene metales pesados	Zobrist <i>et al</i> (2000)
2	Marais , Patis	Captación de techos	31 eventos de lluvia	Cd, Cu, Pb, Zn	Valores promedio: Pb 392 µg/L, Zn 29 998 µg/L	Alta concentración de Zn y Cd observado para techo de Zn y Pb en el tejado del techo	Gromaire <i>et al</i> (2001)
3	Auekland, ewzceland	Agua del grifo	125 muestras	Zn, Cu, Pb, As	Valores promedio: Pb < 0.01 µg/L Cu 0.06 µg/L, Zn 0.4 µg/L, As <0.005 µg/L	14.4% muestras superan los valores máximos aceptables de Pb para Cu, Zn, y As, 2%, 4%, 0.8% y 7.1% excede el límite máximo aceptable	Simmons <i>et al</i> (2001)
N°	Lugar país	Tipo de muestra recolectada	N° de muestras analizadas	Metales analizados	Parámetros analizados	Resultados más destacados	Referencia*
4	Zurich Sweitz erland	Captación de techo	-	Cu, Zn, Cd, Pb.	Concentración promedio, de tejas y techos de poliéster: Pb 16 µg/L, Cd 0.17 µg/L,	El agua de lluvia de los techos representa el 60% de Cobre en combinación con el alcantarillado.	Boller (1997)

					Cu 225 µg/L, Zn 42 µg/L		
5	Texas, USA	Techo de Captación	31 lluvias	Cu, Mn, Pb, Zn, Mg, Al	Valores promedio en µg/L: Al 0.169-0.224, Mg 0.292- 0.646, Mn 0.01-0.022, Cu 0.018-0.22, Pb 0.025, Zn 0.859-9.717	Cu y Zn exceden los parámetros establecidos en US. El Zn se incrementa cuando la lluvia hace contacto con el techo.	Chang et al (2004)
6	Austin Texas, USA	Techo de captación	12	As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn	Concentración de metales de diferentes techos: Metal Asfalto techo Gl µg/m <sup>2</sup> 0.97- 8.0 1.3-5.7 Cu 0.32-3.4 1.1- 5.7 Cr 6.9-69.0 8.1-44 Cu 7-91 11-75 Hg 0.012-0,24 0,04-0,062 Ni 3,9-30 5.1- 27 Pb 28-310 21- 93 Zn 120-1,200 680- 3,500	Concentración de metal en el techo como el Zn forma aglomerados con partículas de la atmósfera como Cd, As, Cr, Cu y con Pb localizado en techos con asfalto.	Metre & Mahler (2003)
7	Maryla nd, USA	Techo de captación	38	Cu, Zn, Cd, Pb.	Concentración > 100 µg/L en todas las muestras. La concentración de Zn en zonas residencial, Edificios comerciales e institucionales varia en promedio 100, 1100 y 1100 µg/L, respectivament e, y los niveles del metal Cu varia 7.5, 200 y 5000 µg/L	Niveles de metal en edificios institucionales y comerciales eran más altos que en residencias	Davis <i>et al.</i> (2001)
8	Méxic o,	Techo de captación	3	Al, As, Ba, Cd, Cr, Cu, Fe, K, Mg,	Concentracion es en µg/L: <0.05 para Cr,	Todos los metales cumplen con el límite máximo	Garrido <i>et al.</i> (2011)



Jumilt epec.	Mn, Hg, Na, Pb, Si, Zn	Cu, Fe, Mn, Al 0.11, Ba 0.02, Cd <0.0010, K 3.21, Mg 1.19, Hg 0.0005, Na<5, Pb <0.010, Zn <0.10	permisible según la NOM-127-SSA1-1994 modificada en el 2000
--------------	------------------------	---	---

\*La referencia de estos autores fue tomada del artículo de Ahammed ..

Tabla 1.5 Calidad microbiológica durante un estudio de la calidad de agua de lluvia en los techos, según varios autores (Ahammed, 2006)

Nº	Lugar/ País	Tipo de muestra recolectada	Nº de muestras analizadas	Parámetros analizados	Resultados	Referencia*
1	Áreas Rurales de Auckland, Nueva Zelanda	Agua de grifo	123	RHP, CT, CF, ENT, <i>Salmonella</i> , <i>Aeromonas</i> , <i>Cryptosporidium</i> , etc.	56% muestras microbiológicas para el agua, <i>Aeromonas</i> en 16% de las muestras. <i>Salmonella</i> en una muestra. <i>Cryptosporidium</i> en dos muestras	Sininouns <i>et al</i> (2001)
2	Portal Harcourt, Nigeria	Techo de captación	-	RHP, <i>Pseudomonas</i> , <i>Salmonella</i> , <i>Shigella</i> , <i>Vibrio</i>	Alto RHP <i>Pseudomonas</i> presente en todas, excepto techo Zn. número alto de bacterias patógenas como la <i>salmonella</i> presente.	Uba & Aghogho (2000)
3	Áreas Rurales del sur de Australia	Tanques de agua de lluvia	100	RHP, CTE, EF, CT, <i>E. Coli</i>	59% muestras contaminadas con CTE. 84% contaminadas con EF. Alto RHP	Plazinska (2001)
4	Palestina	Techo de captación de agua y tanques	-	CT, CF	Todas las muestras contaminadas con CT y CF. Menor contaminación bacteriana de los techos de metal.	Ghanayem (2001)
5	Tailandia	Techos de captación de agua y punto de consumo	709	CF, EF	76% muestras exceden los parámetros de la OMS	Appan (1997)
6	Nueva Delhi, India	Escorrentía del techo	31	CF, CT, RHP, EF	Todas las bacterias indicadoras estaban presentes. Las superficies rugosas llevan más contaminantes. 13% cumplió los estándares de la OMS para todas las bacterias indicadoras y 25-30% cumplió con el estándar.	Vasudevan <i>et al</i> (2001)

N°	Lugar/ País	Tipo de muestra recolectada	N° de muestras analizadas	Parámetros analizados	Resultados	Referencia*
7	Islas Vírgenes de Estados Unidos	Sistemas de agua de lluvia	13	<i>Giardia</i> <i>Cryptosporid</i> <i>ium</i>	45% muestras positivas para <i>Giardia</i> . 23% positivas para <i>Cryptosporidium</i> .	Crabtree <i>et al.</i> (1996)
8	Kerala, India	Tanques de agua de lluvia	30	CF	93% muestras contaminadas con CF. CF >500 NMP/100 ml en 13%.	Pushpangadan & Sivanandan (2001)
9	México, Jumiltep ec.	Techo de captación	3	CF, CT y HH	3.91X10 <sup>2</sup> NMP/100 ml 4.95X10 <sup>2</sup> NMP/100 ml 0 HH/L	Garrido <i>et al.</i> (2011)

Recuento Heterotrófico en Placas (RHP), Coliformes Totales (CT), Coliformes Fecales (CF), Enterococcus (ENT), Número más probable (NMP), Huevos de Helmintho (HH), Estreptococos Fecales (EF), Coliformes Termotolerantes (CTE).

\*La referencia de estos autores fue tomada del artículo de Ahammed (2006).

Tabla 1.6 Concentraciones de compuestos orgánicos durante un estudio de la calidad de agua de lluvia en los techos, según varios autores

N°	Lugar país	Tipo de muestra recolectada	N° de muestras analizadas	Compuestos orgánicos analizados	Resultados	Referencia*
1	Gdansk Polonia	Techo de captación	45	Hidrocarburos de petróleo y pesticidas	Más de la mitad de las muestras se encontraron tóxicas con una inhibición que excede un 20% órgano-nitrogenados, órgano-fosforados y pesticidas.	Polkowska en el (2002)
2	Zurich. Siuzza	Escorrentía de techos	14 eventos de lluvia	Pesticidas	Techos de poliéster actuaron como portadores de pesticidas, debido a que la gravilla y los techos retuvieron estos altos contenidos orgánicos en el techo.	Zobrist en el (2002)
3	Le Marais, Paris Francia	Techo de captación	33 eventos de lluvia	Hidrocarburos alifáticos	Emisiones procedentes de vehículos junto con las precipitaciones atmosféricas responsables de hidrocarburos alifáticos. Las características de techo y las propiedades químicas de los contaminantes orgánicos deben tenerse en cuenta con el fin de evaluar el nivel de contaminación en la escorrentía de los techos.	Moillon (2002)
4	Austin Texas, USA	Techo de captación	12	PAH (Hidrocarburo)	Mayores concentraciones de PAH en el techo	Metre & Mahler (2002)

N°	Lugar país	Tipo de muestra recolectada	N° de muestras analizadas	Compuestos orgánicos analizados	Resultados	Referencia*
				o Aromático Policíclico)	localizado cerca de autopistas.	
5	México, Jumiltepec.	Techo de captación	3	Carbono orgánico total Aldrín, dieldrín, clordano, DDT(total isomeros) Lindano	3.58 mg/L (COT), 2.49 mg/L (carbono orgánico soluble) Pesticidas en µg/L: 0.03, 0.03, 0.3, 1, <0.3	Garrido <i>et al.</i> (2011)

\*La referencia de estos autores fue tomada del artículo de Ahammed (2006).

Tabla 1.7 Trazas de metales pesados durante un estudio de la calidad de agua de lluvia en los techos, según varios autores (Ahammed, 2006)

N°	Lugar país	Tipo de muestra recolectada	N° de muestras analizadas	Metales analizados	Parámetros analizados	Resultados más destacados	Referencia*
1	Taffee n wjes. Zurich	Captación de techos	14 eventos de lluvia	Cu, Zn, Pb, Cd, Cr, Mn, Fe	Concentración en µg/L en los primeros 0.2 mm de profundidad: Cr 0.6-1.7, Fe 90-415, Pb 2.7-41, Zn 9-115, Cu 18-842, Cd 0.1-0.4	Fe y Pb superaron estándar de calidad en el agua potable. Cu, Pb, Cd, en formas moderadamente reactivos, techo Grava retiene metales pesados	Zobrist <i>et al.</i> (2000)
2	Marais , Patis	Captación de techos	31 eventos de lluvia	Cd, Cu, Pb, Zn	Valores promedio: Pb 392 µg/L, Zn 998 µg/L	Alta concentración de Zn y Cd observado para techo de Zn y Pb en el tejado del techo	Gromaire <i>et al.</i> (2001)
3	Auekland, ewzcal and	Agua del grifo	125 muestras	Zn, Cu, Pb, As	Valores promedio: Pb < 0.01 µg/L Cu 0.06 µg/L, Zn 0.4 µg/L, As <0.005 µg/L	14.4% muestras superan los valores máximos aceptables de Pb para Cu, Zn, y As, 2%, 4%, 0.8% y 7.1% excede el límite máximo aceptable	Simmons <i>et al.</i> (2001)
N°	Lugar país	Tipo de muestra recolectada	N° de muestras analizadas	Metales analizados	Parámetros analizados	Resultados más destacados	Referencia*

CÁPITULO 1 Antecedentes

4	Zurich Switzerland	Captación de techo	-	Cu, Zn, Cd, Pb.	Concentración promedio, de tejas y techos de poliéster: Pb 16 µg/L, Cd 0.17 µg/L, Cu 225 µg/L, Zn 42 µg/L	El agua de lluvia de los techos representa el 60% de Cobre en combinación con el alcantarillado.	Boller (1997)
5	Texas, USA	Techo de Captación	31 llovias	Cu, Mn, Pb, Zn, Mg, Al	Valores promedio en µg/L: Al 0.169-0.224, Mg 0.292- 0.646, Mn 0.01-0.022, Cu 0.018-0.22, Pb 0.025, Zn 0.859-9.717	Cu y Zn exceden los parámetros establecidos en US. El Zn se incrementa cuando la lluvia hace contacto con el techo.	Chang et al (2004)
6	Austin Texas, USA	Techo de captación	12	As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn	Concentración de metales de diferentes techos: Metal Asfalto techo Gl µg/m <sup>2</sup> 0.97- 8.0 1.3-5.7 Cu 0.32-3.4 1.1- 5.7 Cr 6.9-69.0 8.1-44 Cu 7-91 11-75 Hg 0.012-0,24 0,04-0,062 Ni 3,9-30 5.1- 27 Pb 28-310 21- 93 Zn 120-1,200 680- 3,500	Concentración de metal en el techo como el Zn forma aglomerados con partículas de la atmósfera como Cd, As, Cr, Cu y con Pb localizado en techos con asfalto.	Metre & Mahler (2003)
7	Maryland, USA	Techo de captación	38	Cu, Zn, Cd, Pb.	Concentración > 100 µg/L en todas las muestras. La concentración de Zn en zonas residencial, Edificios comerciales e institucionales varia en promedio 100, 1100 y 1100 µg/L, respectivamente, y los niveles del metal Cu	Niveles de metal en edificios institucionales y comerciales eran más altos que en residencias	Davis <i>et al.</i> (2001)

					varia 7.5, 200 y 5000 µg/L		
8	México, Jumiltepec.	Techo de captación	3	Al, As, Ba, Cd, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Hg, Na, Pb, Si, Zn	Concentraciones en µg/L: <0.05 para Cr, Cu, Fe, Mn, Al 0.11, Ba 0.02, Cd <0.0010, K 3.21, Mg 1.19, Hg 0.0005, Na<5, Pb <0.010, Zn <0.10	Todos los metales cumplen con el límite máximo permisible según la NOM-127-SSA1-1994 modificada en el 2000	Garrido <i>et al.</i> (2011)

\*La referencia de estos autores fue tomada del artículo de Ahammed (2006).

- **Calidad del agua**

La calidad del agua no es una característica absoluta, sino que es más un atributo definido socialmente en función del uso que se le piense dar al líquido; cada uso requiere un determinado estándar de calidad. Por esta razón, para evaluar la calidad del agua es necesario considerar el contexto del uso probable que tendrá (SEMARNAT, 2005).

En la Tabla 1.8 y 1.9 a modo de ejemplo se representa la caracterización fisicoquímica y microbiológica del agua de lluvia en la localidad de Jumiltepec, Ocuiltepec, Morelos, muestreo que se realizó el 31-08-05 (Garrido S. , 2011).

Tabla 1.8 Resultados obtenidos de la calidad del agua de lluvia en la localidad de Jumiltepec, Ocuiltepec, Morelos, según la (NOM-127-SSA1-1994)

Parámetro	Unidades	Muestreo de techo 31-ago-05	NOM-127-SSA1-1994
Coliformes fecales	NMP/100 mL	3.91X10 <sup>2</sup>	Ausencia
Coliformes totales	NMP/100 mL	4.95X10 <sup>2</sup>	Ausencia
Huevos helminto	HH/L	0	-
Color verdadero	(UPT-Co)	7.5	20
Turbiedad	(NTU)	30	5
Aluminio	(mg/L)	0.11	0.2
Arsénico	(mg/L)	< 0.005	0.025
Bario	(mg/L)	0.02	0.7
Calcio	(mg/L)	10.57	-
Cadmio	(mg/L)	< 0.0010	0.005
Cianuros	(mg/L)	N.E.	0.07
Cloruros	(mg/L)	9.78	250

Parámetro	Unidades	Muestreo de techo 31-ago-05	NOM-127- SSA1-1994
Cromo	(mg/L)	< 0.05	0.05
Sulfatos	(mg/L)	8.03	400
SAAM	(mg/L)	< 0.202	0.5
Materia Orgánica	%	0.0000536	-
Carbono Orgánico Total (COT)	(mg/L)	3.58 (T), 2.49 (S)	-
Cobre	(mg/L)	< 0.05	2
Dureza total (CaCO <sub>3</sub> )	(mg/L)	22	500
Bicarbonatos (CaCO <sub>3</sub> )	(mg/L)	3.48	-
Carbonatos (CaCO <sub>3</sub> )	(mg/L)	0	-
Hidróxidos (CaCO <sub>3</sub> )	(mg/L)	0	-
Fósforo (O-PO <sub>4</sub> )	(mg/L)	< 0.125	-
Fósforo-total	(mg/L)	< 0.125	-

Tabla 1.9 Resultados obtenidos de la calidad del agua de lluvia en la localidad de Jumiltepec, Ocuilco. Morelos; Continuación

Parámetro	Unidades	Muestreo de techo 31-ago-05	NOM-127- SSA1-1994
Hierro	(mg/L)	< 0.05	0.3
Fluoruros	(mg/L)	0.3	1.5
Potasio	(mg/L)	3.21	-
Magnesio	(mg/L)	1.19	-
Manganeso	(mg/L)	< 0.05	0.15
Mercurio	(mg/L)	< 0.0005	0.001
Sodio	(mg/L)	< 5.0	200
Nitrógeno (NO <sub>3</sub> )	(mg/L)	1.08	10
Nitrógeno(NH <sub>3</sub> )	(mg/L)	0.17	0.5
Plomo	(mg/L)	< 0.010	0.01
Silicio	(mg/L)	< 5	-
Zinc	(mg/L)	< 0.10	5
pH	unidades	6.17	6.5 – 8.5
Aldrín	µg/L	0.03	< 0.01
Dieldrín	µg/L	0.03	< 0.01
Clordano	µg/L	0.2	< 0.1
DDT(total isómeros)	µg/L	1	< 0.1
Lindano	µg/L	< 0.1	2
Sólidos disueltos totales	(mg/L)	44	1000
Sólidos suspendidos totales	(mg/L)	1.5	-

T: Total; S: Soluble. N. E: No Efectuado

### **1.3 Tratamiento de agua de lluvia**

El sistema presenta elementos para garantizar una cierta calidad del agua en el tratamiento, que son los prefiltros, filtros y membranas, desinfección y el sistema de bombeo para elevar el agua, estos sistemas se describen a continuación:

*Prefiltros* que se colocan en la tubería o canaletas que lleva el agua captada de las superficies a los filtros y que sirven para retener principalmente las hojas de los árboles u otros sólidos de gran tamaño, suelen ser rejillas, coladeras o mallas plásticas o metálicas. Aquí también se clasifican los sedimentadores (de tierra que arrastra el agua) y las trampas de grasa (que impiden el paso de los líquidos grasosos de menor densidad que el agua, al sistema de filtros).

*Los filtros y membranas* son los elementos más complejos utilizados para la limpieza del agua. Estos se determinan según el consumo que se vaya a realizar con el agua captada. Y deberán cumplirse las normas de mantenimiento y reposición de los elementos con caducidad de los filtros.

*Desinfección*, esta se logra por medio desinfectantes como el cloro, ozono o luz ultravioleta, sobre todo cuando el agua se requiere para ser consumida directamente, es decir potable.

*Bombas o sistemas de elevación de agua*, éstas pueden ser: Sistemas de elevación electromecánica para algunos procesos de filtración y para subir el agua a contenedores elevados de distribución final. Sistemas de elevación manual o con fuentes de energía distintas a la convencional eléctrica; bombas de mecate, de succión, etc. Bombas accionadas por energía eléctrica por medio de celdas fotovoltaicas. Todas ellas llevan una previa preparación y un adecuado mantenimiento.

Para la elaboración del diseño de un RWH es necesario conocer los espacios para su instalación, las características de los equipos, los requerimientos de mantenimiento y la capacidad de inversión.

- **Espacios para instalación del sistema**

Es el cálculo de los espacios y de la capacidad de carga de la edificación, a utilizar para la instalación del sistema de captación, almacenamiento y tratamiento y distribución del agua pluvial. En éste se debe tomar en cuenta la capacidad de carga del suelo, donde se construyan o instalen componentes nuevos del sistema

- **Mantenimiento**

Es la parte del proceso que garantiza la limpieza y reparación de los elementos del sistema que lo requieran y se deberá tener un programa de monitoreo y mantenimiento de todo el sistema, que en muchos casos son pequeñas y rápidas acciones de limpieza.

- **Capacidad de Inversión**

Estos son principalmente los ahorros que se logran usando parte de la infraestructura actual de la vivienda o edificio. O en el caso de ser una edificación nueva que se va a construir, los gastos de instalación suelen ser muy reducidos ya que se integran al costo general de la obra. Los plazos de recuperación de la inversión están en función de la inversión y del uso adecuado del agua captada y tratada. Las inversiones se pueden realizar en forma progresiva, esto se facilita cuando se tiene la previsión en la primera inversión del sistema, para recibir las ampliaciones futuras del sistema de captación.

## **1.4 Justificación**

La infraestructura centralizada de agua en la mayoría de las ciudades es vulnerable debido al cambio climático, urbanización y a la crisis energética (CONAGUA, 2011). El manejo descentralizado de la captación y tratamiento de agua de lluvia puede jugar un rol importante en la adaptación al cambio climático, para complementar las infraestructuras urbanas ya existentes, en términos de una sostenibilidad más segura y en la reducción de costos de energía en construcción y mantenimiento. Cada vez y con más frecuencia durante la época de lluvias se presentan, en las grandes ciudades del país, inundaciones asociadas:

- a) A fenómenos naturales de precipitación pluvial extraordinaria;
- b) A falta de mecanismos que las controlen;
- c) Al incremento del área impermeable de las ciudades: el escurrimiento llega a drenajes de aguas residuales.

La urbanización ha aumentado las áreas impermeables, por lo que las áreas urbanas desarrolladas han perdido las funciones de almacenamiento e infiltración del agua de lluvia dando como resultado inundaciones y sequías.



Recientemente, el agua de lluvia disponible, (aquella que escurre y puede aprovecharse), ha llamado la atención como una solución para la escasez del agua y problemas del ciclo hidrológico en áreas urbanas. La captación de agua de lluvia de los techos y de pisos, su almacenamiento, tratamiento y aprovechamiento, es un método simple para reducir la demanda, así como para el abastecimiento continuo de agua al público e instalaciones de aguas residuales en la época de lluvias y en muchos contextos es rentable. Por otra parte, se ha reconocido cada vez más que la restauración del ciclo hidrológico es inevitable para el desarrollo sostenible.

Por otra parte, acciones realizadas por el Gobierno Federal mediante la Comisión del Medio Ambiente y Recursos Naturales, con la aprobación en ambas cámaras del decreto que adiciona el artículo 17 Ter a la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. A su letra dice “Decretan aprobado en ambas cámaras y publicado en el Diario Oficial de la Federación el 15 de Mayo de 2013; la adición del artículo 17 TER a la Ley decreta que las dependencias de la Administración Pública Federal, el Poder Legislativo federal y el Poder Judicial de la Federación instalarán en los inmuebles a su cargo, un sistema de captación de agua pluvial, debiendo atender a los requerimientos de la zona geográfica en que se encuentren y la posibilidad física, técnica y financiera que resulte conveniente para cada caso. Ésta se utilizará en los baños, las labores de limpieza de pisos y ventanas, el riego de jardines y árboles de ornato”, (LGEEPA, 2014).

Por lo anteriormente expuesto, el objetivo de este estudio es proponer una fuente no centralizada para el suministro de agua para el uso y consumo humano mediante tecnología apropiada, al edificio principal de Posgrado, ubicado en el IMTA. Con este proyecto se pueden generar ahorros económicos con la disminución del consumo de agua embotellada, en consumo de energía eléctrica, así como el pago de derechos por la extracción de agua subterránea.

## **1.5 Hipótesis**

La captación de agua de lluvia en el edificio de Posgrado IMTA, durante la época de lluvias, es un sistema autosuficiente para el suministro de agua durante los meses junio-agosto para cubrir el uso doméstico y el consumo humano.

## **1.6 Objetivos**

### **1.6.1 Objetivo general**

Desarrollar un estudio de factibilidad ambiental técnico económico de la captación de agua de lluvia en un centro de trabajo (edificio de oficinas) en una zona urbana de Jiutepec, Mor.

### **1.6.2 Objetivos específicos**

- Analizar los antecedentes de los sistemas de captación de agua de lluvia y su funcionalidad, considerando ventajas, desventajas, eficiencias, costos, diseños y destino final.
- Recabar y analizar los datos de precipitación, según la base de datos del Servicio Meteorológico Nacional.
- Determinar y evaluar el volumen de agua que se consume en los diferentes usos en el edificio de Posgrado IMTA.
- Analizar la calidad del agua de lluvia a captar en función de parámetros fisicoquímicas, microbiológicos y algunos compuestos orgánicos seleccionados con relación al tipo de techo.
- Diseñar un sistema de captación, conducción, tratamiento, almacenamiento y distribución a los sistemas al edificio de Posgrado IMTA, para suministro de agua de uso sanitario y consumo humano.
- Determinar el costo/beneficio del sistema de captación, tratamiento, almacenamiento y distribución de agua de lluvia, en el edificio de Posgrado IMTA.

## Capítulo 2

### **2. Metodología**

En el presente estudio se plantea un sistema de captación de agua de lluvia a desarrollar en el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), basado en un diseño que considera principalmente siete factores: a) uso que se pretende dar al agua de lluvia captada en el Edificio de Posgrado (EP) y demanda de agua; b) precipitación pluvial; c) área de captación; d) volumen y capacidad de almacenamiento; e) calidad del agua, f) tratamiento del agua de lluvia y g) costo/beneficio del sistema.

#### **2.1. Área de estudio**

El IMTA (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua) el cual fue creado 7 de agosto de 1986 mediante un decreto presidencial publicado en el Diario Oficial de la Federación (DOF, 2013). Actualmente, el IMTA es un organismo público descentralizado del gobierno federal, con personalidad jurídica y patrimonio propios, coordinado sectorialmente por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) (DOF, 30 de octubre de 2001); se encuentra ubicado en México, en el estado de Morelos, su dirección es Av. Paseo Cuauhnáhuac, N° 8532. Colonia Progreso, Jiutepec Morelos (Figura 2.1). El cual cuenta con las siguientes coordenadas: latitud: 18° 53' 04", longitud": 98° 51' 34" con una altitud de 1615,16 msnm. Cabe destacar que el IMTA cuenta con un abasto regular de agua mediante un pozo que se encuentra ubicado dentro de las instalaciones del Instituto, con un volumen concesionado según el Registro Público de Derechos de Agua (REPGA) de 365 m<sup>3</sup>/d (131,400 m<sup>3</sup>/año). El costo de abastecimiento de agua de pozo al IMTA es de \$537,259.88 pesos anuales, principalmente debido al consumo de la energía eléctrica para extraer el agua subterránea y su posterior uso en de los edificios y sistema de riego de los jardines. Por otra parte, el IMTA adquiere agua purificada embotellada, para el consumo humano y esto genera un gasto anual de \$177,800 pesos.

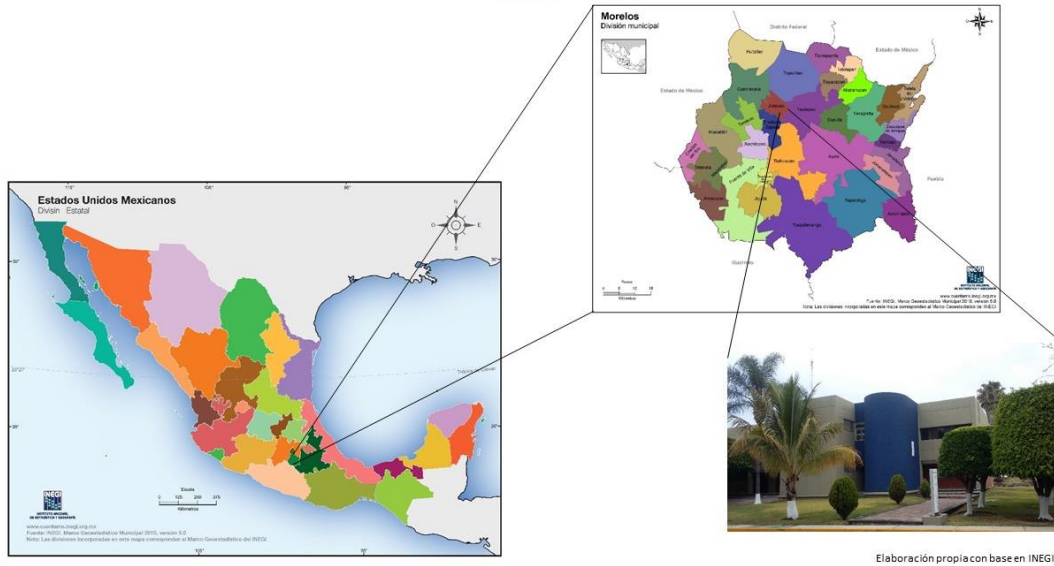


Figura 2.1 Ubicación del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, (IMTA), Edificio de Posgrado, Jiutepec, Estado de Morelos, México

Las instalaciones del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) están conformadas por 37 edificios y el EP es el inmueble 17 el cual se utilizará como prototipo para la implementación del proyecto de captación y tratamiento de agua de lluvia, Figura 2.2.

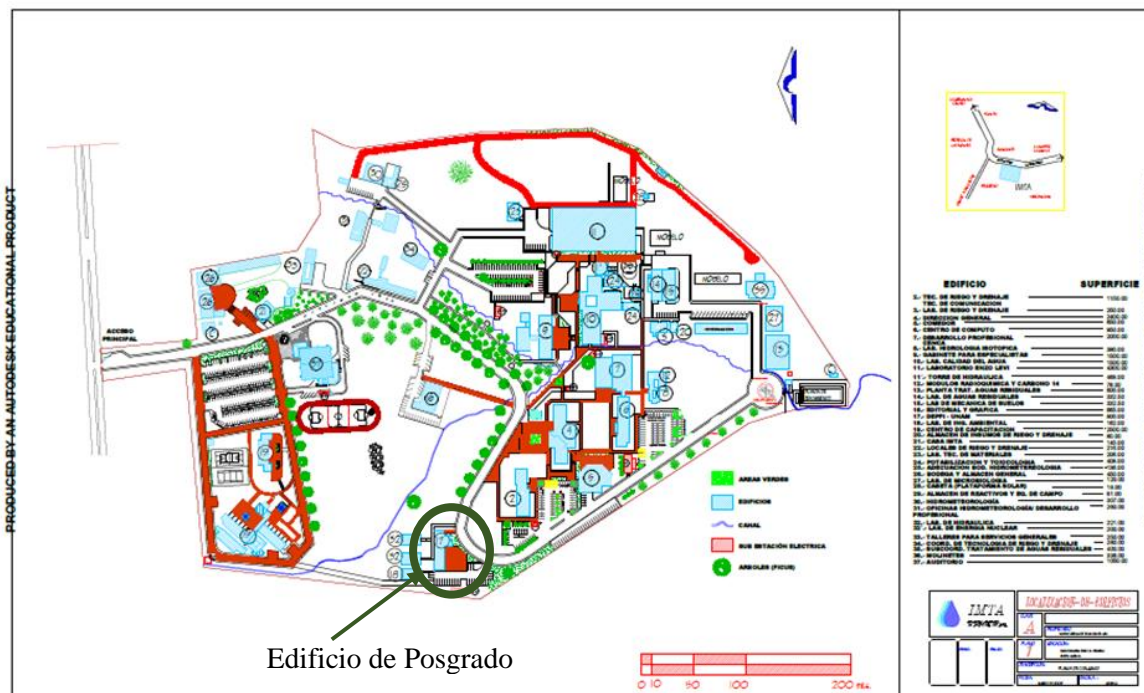


Figura 2.2 Plano del (IMTA), clave A, plano 1, (IMTA, 2009)

## **2.2. Análisis del uso que se pretende dar al agua de lluvia captada y cálculo del consumo de agua en el edificio de posgrado (EP)**

El EP está conformado por tres construcciones: el edificio principal y dos laboratorios: Ambiental e Hidráulica. En este estudio el agua de lluvia que se capté en el EP será destinada a los baños, limpieza de las áreas de posgrado y consumo humano. El personal de posgrado suma 20 personas, entre académicos, administrativos, encargados de la sala de videoconferencia y los laboratorios, empleados de limpieza y vigilante; además, aproximadamente 50 estudiantes que permanecen en el día entre el edificio principal y los laboratorios.

De acuerdo con la información del año 2013 el IMTA consumió 72,584 m<sup>3</sup> de agua en limpieza de pisos y ventanas, baños, el riego de jardines y árboles de ornato. (Información proporcionada por Servicios Generales y Obra del IMTA- 2013). Mientras el consumo de agua purificada fue de 8.89 m<sup>3</sup> de agua (Almacén IMTA- 2013).

Actualmente el sistema de suministro de agua para uso sanitario y limpieza del edificio cuenta con dos tanques (Rotoplas de 1000 L) conectados entre sí por la parte inferior, este tiene un sistema de bombeo que suministra agua de pozo, cada vez que el medidor de nivel llega a cierto volumen se activa el hidroneumático y llena el tanque a una capacidad de 980 L. Este nivel alcanzado es de 980 l, se determinó cuando adecuaron el nivel de bombeo en el año 2016.

Para el cálculo del consumo de agua se midió la variación del nivel de los dos tinacos ubicados en el techo del edificio principal (Figura 2.3), los cuales almacenan el agua que abastecen a los tres edificios del posgrado, con un área de 1.95 m<sup>2</sup> cada uno. Las mediciones se realizaron cada 10 min para los días 14 de mayo de 2016 de 07:30 a 14:00 (sábado, día en que se realiza la limpieza del edificio principal) y de las 7:10 h del 16 de mayo a las 07:10 h del 17 de mayo de 2016 (días en que se labora y los estudiantes tienen clases).



Figura 2.3 Tinaco N°1 de almacenamiento de agua para ser distribuida al EP

La evaluación del consumo de agua se realizó de la siguiente manera:

- Se le colocó a un solo tanque una regleta para la medición del nivel de volumen (valor máx.: 980 L).
- Se llenó a su máxima capacidad y se desactivó el sistema de bombeo automático.
- Se realizaron mediciones cada 10 minutos, durante una hora para registrar el volumen del tanque.
- Posteriormente se llenaba al nivel máximo del tanque y se repetía la medición, durante un día (24 h).

En el apartado 3 de este trabajo se presentarán los resultados de esta prueba.

### **2.3. Precipitación pluvial**

El estado de Morelos cuenta con 36 estaciones climatológicas. Las estaciones climatológicas registran datos del clima, como son temperatura, humedad relativa, precipitación, etc. De los registros de precipitación el mes junio es el más lluvioso del año y época de lluvias es durante los meses de junio a septiembre (CONAGUA).

Se utilizaron precipitaciones de la estación meteorológica Progreso, ubicada en el municipio de Jiutepec dentro de las instalaciones del IMTA, en la cual se mantiene una temperatura mínima de 18°C y una temperatura máxima de 35°C.

## 2.4. Área de captación

Para determinar el volumen de agua a captar se delimito el área del edificio de Posgrado-IMTA, la cual cuenta con un área de captación de 378.18 m<sup>2</sup>, (Figura 2.4) con base en esta información y los registros de precipitación horaria se determinó el tamaño de superficie óptimo para captación de agua de lluvia.



Figura 2.4 Techo EP, para la captación de agua de lluvia

## 2.5. Volumen y capacidad de almacenamiento

Para determinar el volumen y la capacidad de almacenamiento se analizaron las precipitaciones horarias de 2010 a 2015 cada hora y para una serie temporal de cinco años o 43,800 intervalos horarios, teniendo presente que hubo años con más precipitaciones que otros.

Se analizó el funcionamiento del almacenamiento del agua captada, utilizando el principio de conservación de masa, enunciado en la ecuación (2-1), donde:  $dV$ , es la variación del volumen;  $dt$ , es el intervalo temporal de análisis (en este caso 24 h);  $QI$  es el volumen de ingreso diario al almacenamiento debido a la precipitación;  $O$ , son las extracciones evaluadas de acuerdo con el consumo requerido en el edificio.

Para evaluar el funcionamiento del almacenamiento del sistema de captación del agua de lluvia se aplicó el principio de conservación de masa con la siguiente formulación, siendo la secuencia la siguiente: a) se define el número de tanques y éste es el volumen de almacenamiento máximo ( $S$ ); b) en función de la variación de la lluvia y la superficie de captación, se determina la secuencia de

escurrimiento disponible, el cual es  $QI^n = \{QI^0, QI^1, \dots, QI^N\}$ , donde  $n$  es el intervalo de tiempo de evaluación del escurrimiento, serie temporal de 5 años o 43,800 intervalos horarios, c) se define el consumo horario que se hará del sistema  $O^n = \{O^0, O^1, \dots, O^N\}$ , y finalmente se evaluó el funcionamiento de la variación del almacenamiento con la ecuación de conservación masa que se muestra en la ecuación (2-1).

$$\frac{dV}{dt} = QI - O \quad \text{Ecuación 2-1}$$

Cuya solución de forma discreta se expresa como:

$$V^{n+1} = V^n + QI^n - O^n \quad \text{Ecuación 2-2}$$

Donde los superíndices  $n$  y  $n+1$ ; se refieren al día anterior y día actual respectivamente.

Para la solución de la ecuación (2) se tiene como condición de inicial  $V^0 = 0$  o volumen inicial para el periodo de estudio. Para conocer los volúmenes almacenados en sistema de captación, para todo el rango de datos de precipitación, es necesario establecer dos límites físicos de operación y son la condición de *desborde* o *tanque lleno*, que se define de la forma siguiente:

$$V^n \leq S \quad \text{Ecuación 2-3}$$

donde  $S$  es volumen máximo de almacenamiento y la condición de *embalse vacío* se tiene para:

$$V^n > 0 \quad \text{Ecuación 2-4}$$

En los ejemplos que se presenta en este trabajo se realizaron varias corridas numéricas de la ecuación (2-2), cambiando la superficie de captación (área de techo) y el tamaño del almacenamiento, lo anterior se realizó mediante el uso de MATLAB®, que es una plataforma para resolver problemas de ingeniería de forma computacional, (Aguilar, 2015).

## **2.6. Análisis de la calidad de agua de lluvia**

### **2.6.1. Tipos de techo y muestreo**



Para realizar el muestreo de la calidad del agua de lluvia captada en los techos que existen en los edificios del IMTA (37 edificios), en primer lugar, se determinó que hay tres clases de techos con diferentes características con respecto a la naturaleza del material, como se puede apreciar en la Tabla 2.1 y la ubicación de éstos en el IMTA, Figura 2.5.

Tabla 2.1 Características y ubicación de los de techos en donde se muestreo la calidad del agua de lluvia

Tipo de techo	Material del Techo	Punto de muestreo	Fecha y hora
Rojo	Bis(2-etilhexil) ftalato (DEHP), fibra elástica, resina	Centro de capacitación <sup>1</sup> = Edificio de Posgrado <sup>4*</sup>	27/Septiembre/2015, 19:02 h
Teja	Etilenglicol, Bis(2-etilhexil) ftalato (DEHP)	Casa sustentable <sup>2</sup>	27/Septiembre/2015, 19:30 h
Blanco	Cemento, caucho granular, metilsiliconato de sodio, resina emulsionada acrílica-estirenada, fibra elástica, solvente glicólico	Laboratorio de Materiales <sup>3</sup>	27/Septiembre/2015, 18:50 h

\*Tipo de techo del edificio de Posgrado



Figura 2.5 Croquis del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, IMTA, señalando los techos en que se muestreo el agua de lluvia: 1. Centro de capacitación, 2. Casa sustentable, 3. Laboratorio de materiales, 4. Edificio de posgrado

En segundo lugar, se realizó un muestreo del agua de lluvia captada en cada tipo de techo para evaluar la calidad de ésta, por otra parte, se muestreo agua de lluvia captada directamente del cielo sin que toque ninguna superficie, para poder comparar las calidades (27-09-2015), se realizó por triplicado.

Los puntos de muestreo seleccionados fueron:

Techo “T” de teja: Una cubeta en la bajada de la canaleta que transporta el agua de lluvia. Techo

“Blanco” de cemento: Una cubeta en la bajada de agua de lluvia que sale por el conducto del techo.

Techo “Rojo” con impermeabilizante: Una cubeta colocada en la bajada del desagüe del conducto salido del techo, Figura 2.6.

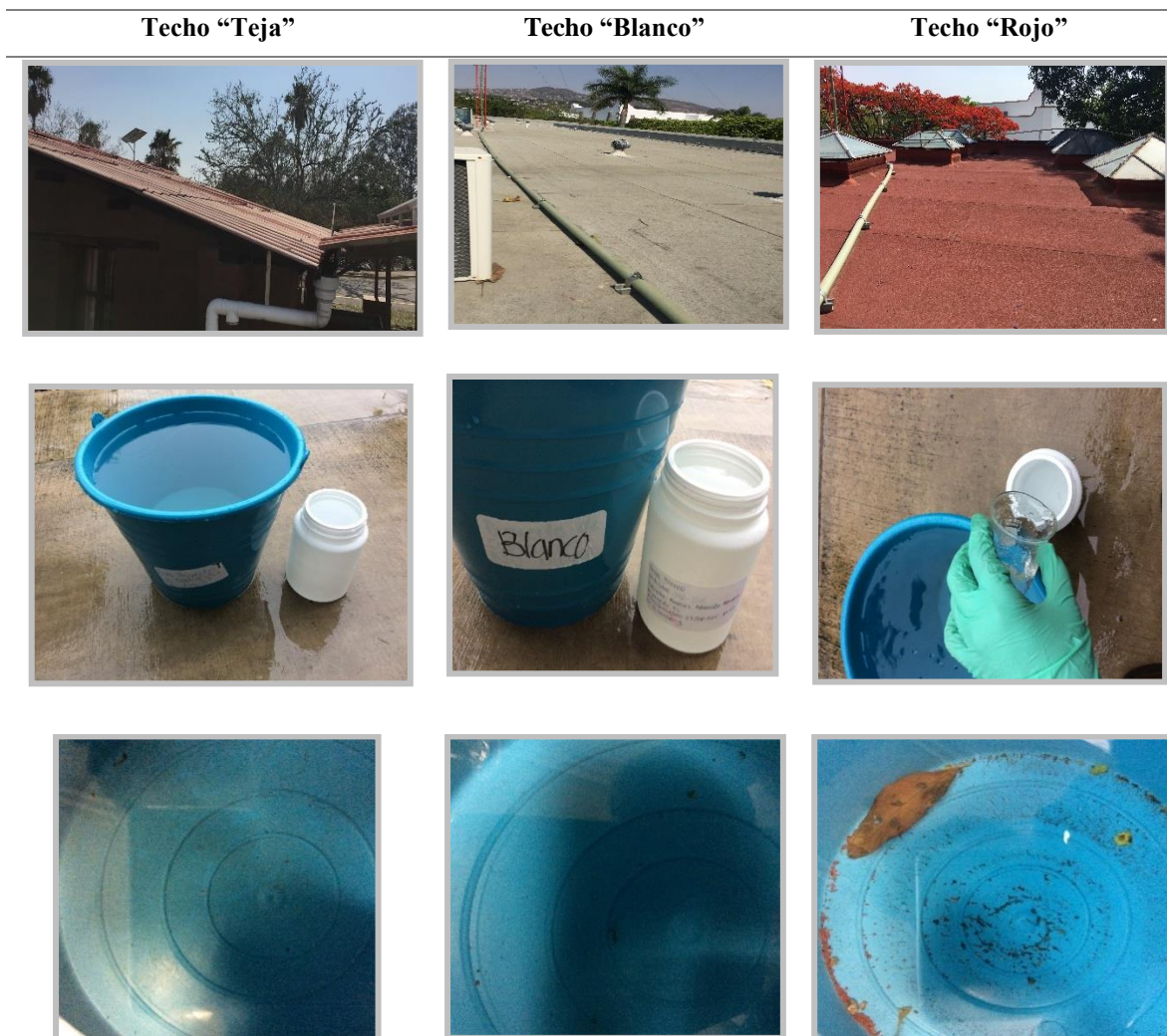


Figura 2.6 Muestreo de los tres tipos de techos diferentes

Los parámetros que se seleccionaron para determinar la calidad del agua de lluvia captada según el tipo de techo fueron: Físicos que son indicadores inmediatos de contaminación visible. Químicos para

analizar el grado de contaminantes disueltos y el grado de corrosión o alcalinidad y microbiológicos por las consecuencias que tienen en la salud. En la Tabla 2.2 se muestran los parámetros que se seleccionaron con la metodología analítica correspondiente para la determinación.

Se determinaron parámetros de campo como: Temperatura, turbiedad, conductividad eléctrica y pH. Los análisis físico-químicos y microbiológicos se realizaron según las Normas mexicanas y Standard Methods, por otra parte se analizaron compuestos orgánicos semivolátiles extractables ácidos y básicos, según la metodología EPA 8270D-2007, debido a que uno de los usos que se le pretende dar al agua captada es para consumo humano, además debe cumplir con la norma oficial mexicana NOM-127-SSA1-1994 (modificada en el año 2000), de lo contrario se implementarían las medidas adecuadas para cumplir con los límites especificados en esta Norma. Una vez realizado el muestreo se preservaron todas las muestras a 4°C.

Tabla 2.2 Metodología utilizada en la determinación de los parámetros en el agua de lluvia, según la (NOM-127-SSA1-1994)

Parámetro	Norma/referencia
<i>Físicos</i>	
Color aparente/verdadero	NOM- AA-45-SCFI-2001
Conductividad eléctrica	NMX-AA-093-SCFI-2000
Temperatura	NMX-AA-007-SCFI-2000
Turbiedad	NMX-AA-038-SCFI-2001
Sólidos disueltos totales	NMX-AA-034-SCFI-2001
<i>Químicos</i>	
pH	NMX-AA-008-SCFI-2000
Alcalinidad total	NMX-AA-036-SCFI-2001
Dureza total	NMX-AA-076-SCFI-2001
Nitrógeno amoniacal	SDT MET., PART 4500-P, Edición 20, 1998
<i>Metales</i>	
Fe, Al, As, Cd, Ca, Cu, Cr, Mg, Ni, Ag, Pb y Zn	NMX-AA-051-SCFI-2001
<i>Compuestos orgánicos</i>	
Compuestos orgánicos semivolátiles orgánicos semivolátiles extractables ácidos y básicos	EPA 8270D-2007
<i>Microbiológicos</i>	
Coliformes totales	NMX-AA-102-SCFI-2006
Coliformes fecales	NMX-AA-102-SCFI-2006

## **2.7. Propuesta del sistema de captación, conducción, tratamiento, almacenamiento y distribución de agua de lluvia para el edificio de posgrado IMTA**

A partir de los estudios realizados de los factores como: uso que se pretende dar al agua captada, consumo, precipitación pluvial, volumen y capacidad de almacenamiento, calidad del agua que influyen en los sistemas de captación, conducción, tratamiento, almacenamiento y distribución, se procedió al diseño que está conformado por los siguientes elementos:

- Medición de superficie del área apta del edificio de posgrado para la captación del agua de lluvia.
- Instalación de tuberías para conducción de agua del agua de lluvia a las diferentes áreas y coladeras para la azotea.
- Registro para drenado de agua de lluvia excedente.
- Sistema de filtración, características de los filtros según las etapas necesarias.
- Sistemas de bombeo para agua potable y uso doméstico.
- Bebederos.
- Catálogo de conceptos.
- Planos.

## **2.8. Análisis costo/beneficio del sistema de captación, conducción, tratamiento, almacenamiento y distribución del agua de lluvia para el edificio de posgrado IMTA**

En este trabajo un aspecto importante a tomar en cuenta para conocer la posibilidad de implementar un sistema RWH, está relacionado a los costos de implementación y mantenimiento y los beneficios (sociales o ambientales) que se pueden obtener, para conocer este aspecto se realizó un análisis de costo/beneficio y se analizaron las condiciones de beneficio ambiental.

### **Costo/Beneficio**

El análisis beneficio-costo proporciona información relacionada con la eficiencia distributiva de las opciones de inversión. En este sentido; permite evaluar distintas alternativas que una entidad privada o pública se plantee para mejorar su status quo. Consiste en identificar, medir y valorar los costos y los beneficios ocasionados por un proyecto. Para ello se compara la situación sin proyecto versus la situación con proyecto, y se obtienen los efectos atribuibles exclusivamente a su realización (CEPEP, 2007).

En la evaluación económica bajo un análisis beneficio-costos se considera que los costos son la estimación de gastos para la construcción, operación, mantenimiento y reposición, del proyecto. Por otro lado, los beneficios; serán las ventajas que experimentará el dueño del proyecto (Morin, 2014).

Las etapas que se desarrollaron en el análisis beneficio costo son:

-Identificación, cuantificación y valoración de los costos de la propuesta para usar agua de lluvia en el EP: En esta etapa se realiza la identificación de los costos relevantes asociados a la propuesta de captación de lluvia, cuantificando los costos de implementar el proyecto de captación de lluvia con base en las componentes del proyecto, definidas en el análisis de factibilidad técnica realizado previamente. Para la valoración de los costos de las componentes, se recurrirá a la consulta de precios de mercado.

-Identificación, cuantificación y valoración de beneficios de la propuesta para usar agua de lluvia en el EP: de forma análoga a los costos, se identifican los beneficios que derivan por la implementación del proyecto, tales como ahorros en consumos de agua embotellada, energía eléctrica y pago de derechos por extracción de agua subterránea. Para la valoración de estos beneficios, se estimarán los valores monetarios con base en los precios del agua embotellada, las tarifas de energía eléctrica aplicables y la cuota de derecho por metro cúbico establecida en la Ley Federal de Derechos.

-Cálculo de indicadores de rentabilidad. Para determinar la factibilidad económica del proyecto de captación de agua de lluvia, se usarán los indicadores de rentabilidad de valor presente neto (VPN), relación beneficio-costos (B/C) y tasa interna de retorno (TIR).

## Capítulo 3

### 3. Resultados y discusión

A continuación, se presentan los resultados obtenidos de los diferentes estudios realizados.

#### 3.1. Análisis del uso que se pretende dar al agua de lluvia captada y cálculo del consumo de agua en el edificio de posgrado (EP)

Este análisis del consumo de agua se realizó, el sábado 14 de mayo en el año 2016, la evaluación de consumo de agua que es utilizada para la limpieza del edificio, debido a que los días sábados solo personal de limpieza acude al edificio. El lunes 16 de mayo se realizó el análisis durante 24 h para evaluar el consumo de agua para uso sanitario en el edificio de posgrado. La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** representa el comportamiento del consumo de agua y las fugas presentes en la medición.

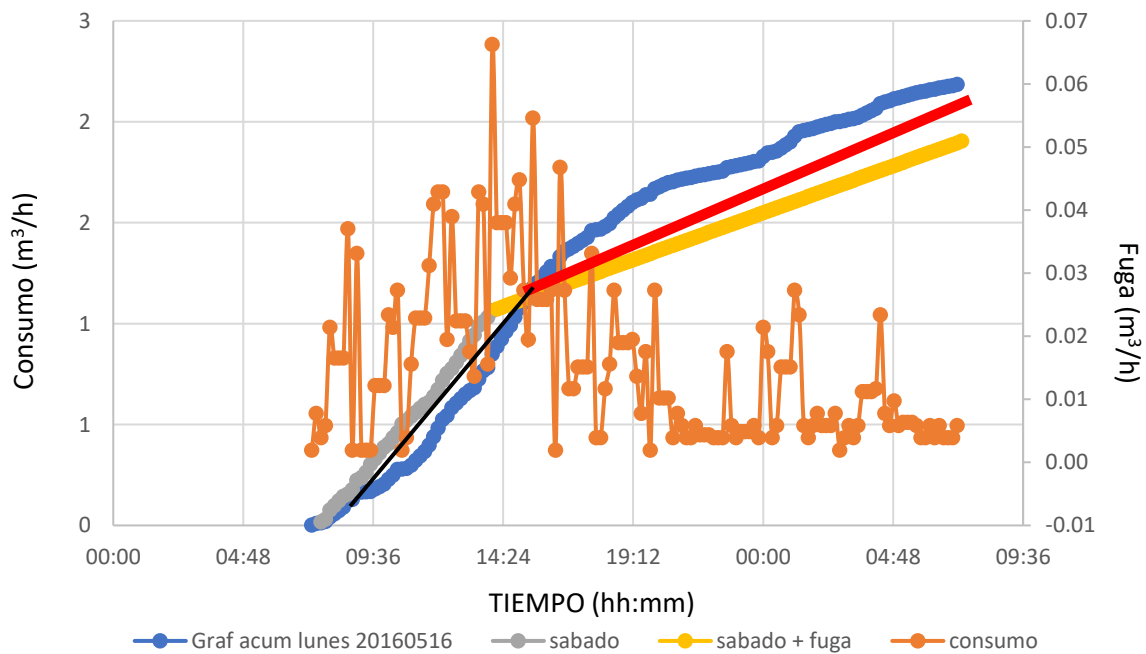


Figura 3.1 Consumo de agua en el edificio de Posgrado-IMTA para los días 14 y 16 de mayo de 2016

Se determinó que el consumo diurno fue de 1.627 m<sup>3</sup> y el consumo nocturno de 0.558 m<sup>3</sup>, por lo que el consumo diario de lunes a viernes fue de 2.186 m<sup>3</sup>; esto significa que hay fugas en el edificio de 0.558 m<sup>3</sup>/día, (Tabla 3.1).

Tabla 3.1 Acumulado del consumo de agua en el EP para los días 14 y 16 de mayo de 2016

Consumos	Consumo global (consumo + fugas (m <sup>3</sup> ))	Consumo real (m <sup>3</sup> )	Eficiencia (%)
Diario de lunes a viernes	2.186	1.0236	47
Diurno 07 a 19:00	1.627	0.9939	61
Nocturno 20:00 a 08:00	0.558	0.0296	5

### 3.2. Precipitación pluvial

La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** representa el comportamiento de las precipitaciones de los registros anuales del 2010 al 2014. Los valores registrados en este estudio son cada hora y para una serie temporal de 5 años o 43,800 intervalos horarios, teniendo presente que existieron años con más precipitaciones, como son el 2011 y 2013 en comparación con el año 2010 y 2012. La representa el comportamiento de las precipitaciones horarias.

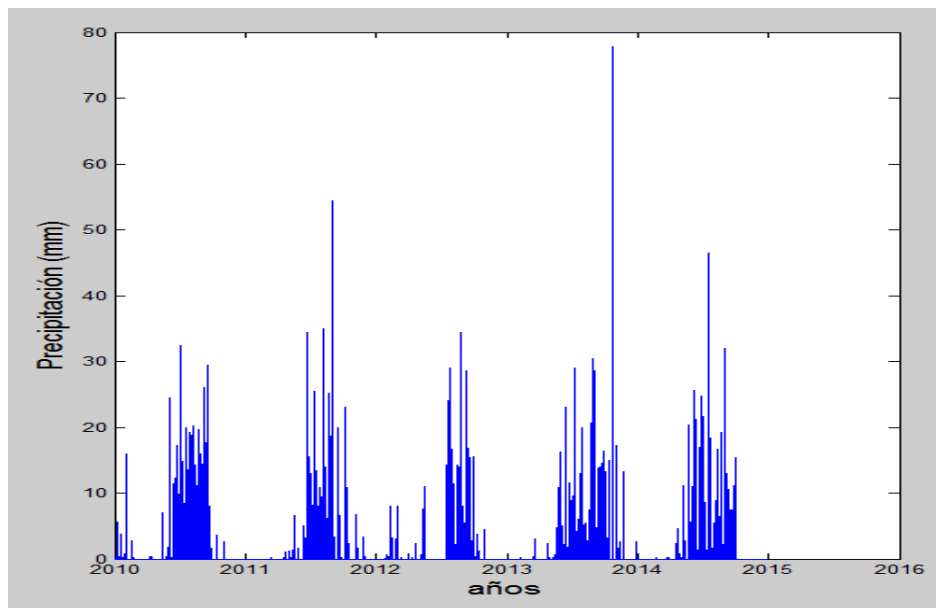


Figura 3.2 Registro de precipitación horaria, del año 2010 al 2014

El análisis de resultados de precipitación respecto a la base de datos del Servicio Meteorológico Nacional, nos indican que el año con mayor precipitación pluvial fue el 2013, observándose Figura

3.3 que los meses con mayor precipitación fueron de junio a septiembre para el municipio de Cuernavaca, Morelos, (estación de monitoreo 00017004, (DGE)).

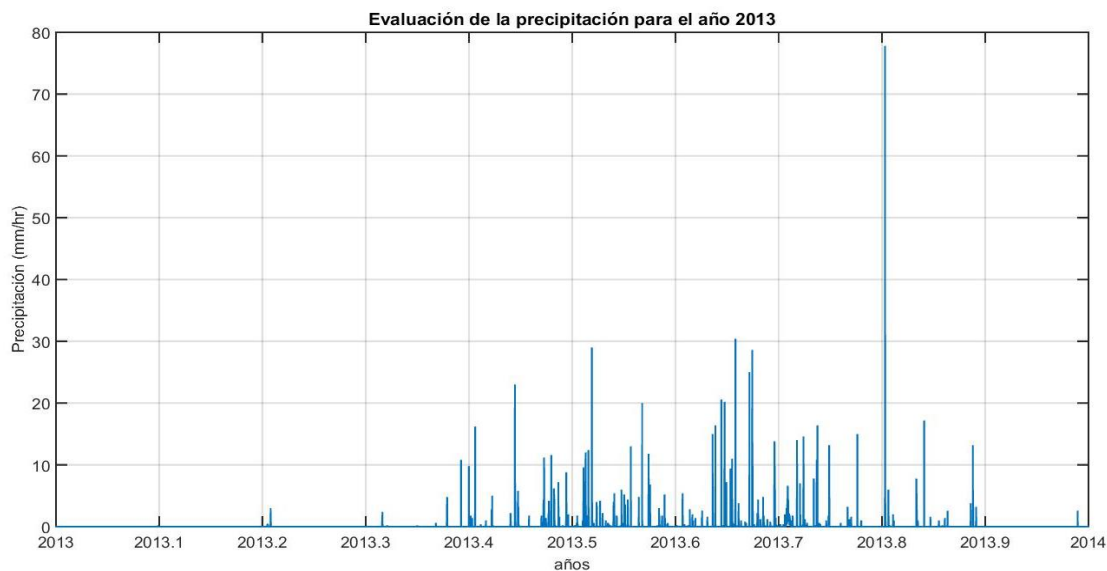


Figura 3.3 Análisis de precipitación anual 2013

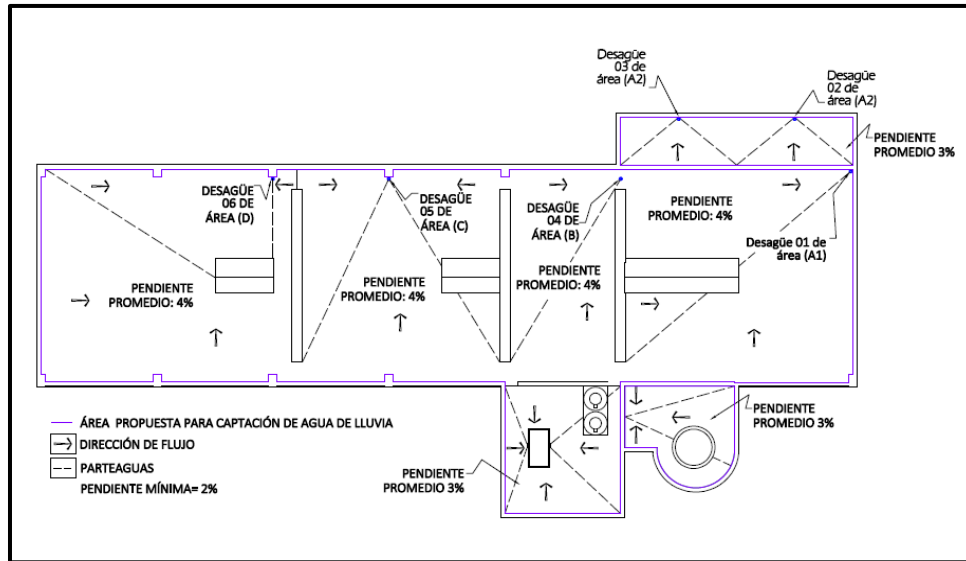
### 3.3. Área de captación

Todas las azoteas del PE cuentan con tubos o canales para conducir el agua de lluvia; se consideraron las zonas donde será posible captar y conducir el agua de lluvia (

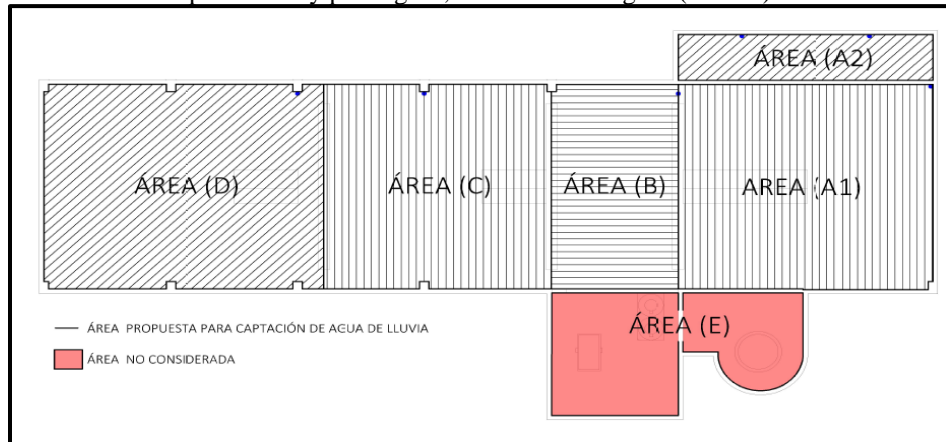
(a) tomando en cuenta las pendientes (mínimas de 2%), si éstas conducen el agua a los desagües y si son aptas para conducir el agua de lluvia. Para tener un mejor estudio del área total, ésta se dividió en cinco áreas de captación: A1+A2) = 131.84 m<sup>2</sup>; B) = 53.60 m<sup>2</sup>; C) = 95.94 m<sup>2</sup>; D) = 117.84 m<sup>2</sup>; E) = 52.00 m<sup>2</sup>. El área total resultó de 451.22 m<sup>2</sup>; sin embargo, sólo se consideran las áreas A, B, C y D, no el área E por la dificultad para captar y conducir el agua de lluvia, así que el área efectiva es de 399.22 m<sup>2</sup> (

(b)).





(a) Área propuesta para proyecto de captación edificio de Posgrado IMTA, indicando pendientes y parteaguas, además de desagües (en azul).



(b) Para este caso de estudio, el área (E) no se tomó en cuenta, por la dificultad para poder conducir el agua de lluvia

Figura 3.4 Áreas propuestas de captación ubicadas en la azotea del EP

### 3.4. Volumen y capacidad de almacenamiento

Para determinar el volumen de agua a captar se determinó el área del edificio de Posgrado-IMTA, la cual cuenta con un área de captación de 399.22 m<sup>2</sup>, con base en esta información y los registros de precipitación horaria se determinó el tamaño de superficie óptima para la captación de agua de lluvia, Tabla 3.2.

Tabla 3.2 Superficie y el uso que se le dará al agua de lluvia captada

Superficie (%)	Área (m <sup>2</sup> )	Uso
25	131	Agua Potable
40	213	Agua para uso sanitario

Aplicando los conceptos anteriores, se evaluó el funcionamiento de almacenamiento de la ecuación (2) y la aplicación de las condiciones limitantes de desborde y almacenamiento que se describen las ecuaciones (3 y 4), respectivamente. Se realizaron las siguientes evaluaciones:

Para determinar el tamaño del almacenamiento de agua para consumo humano, se evaluó una superficie de captación de 131 m<sup>2</sup>, c y el funcionamiento del almacenamiento se muestra en la Figura 3.5 para volúmenes de 1, 2, 3 y 5 m<sup>3</sup>. Con lo cual se puede determinar que un tanque de 1 m<sup>3</sup>, es adecuado para suministrar agua para consumo humano en nueve meses en forma continua.

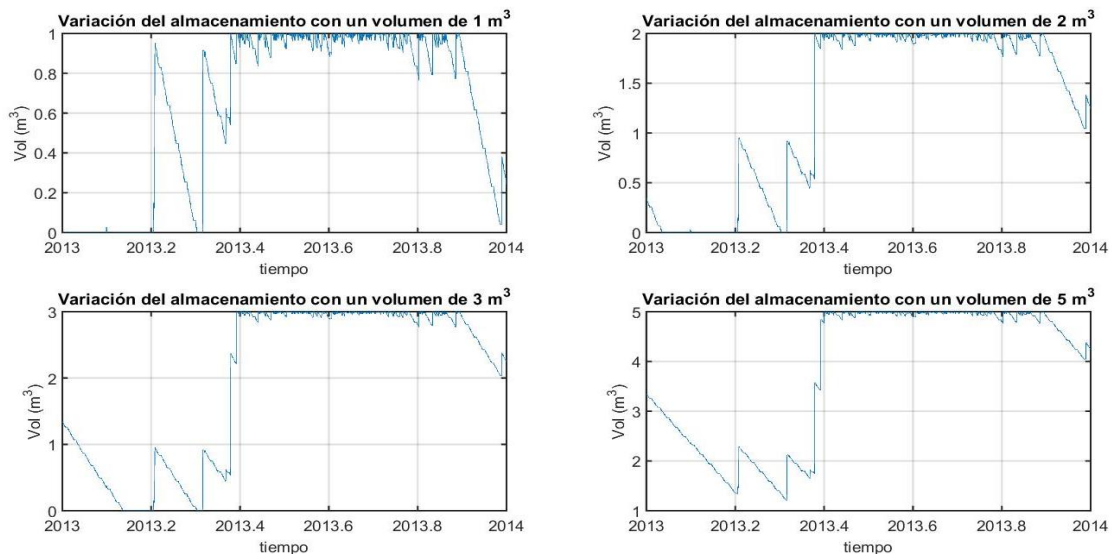


Figura 3.5 Determinación del volumen de suministro del sistema RWH en el EP para su superficie de captación de 131 m<sup>2</sup>.

Para determinar el tamaño del almacenamiento de agua para uso sanitario, se evaluó el funcionamiento de almacenamiento de manera similar a la evaluación anterior para el consumo humano.

La Figura 3.6 representa la variación del tamaño del almacenamiento, para volúmenes de 1, 5, 15 y 20 m<sup>3</sup> para almacenar el agua para uso sanitario. En un análisis detallado del funcionamiento de diferentes almacenamientos entre 1 a 20 m<sup>3</sup>, el volumen que presentó una mejor opción fue de 18 m<sup>3</sup>.

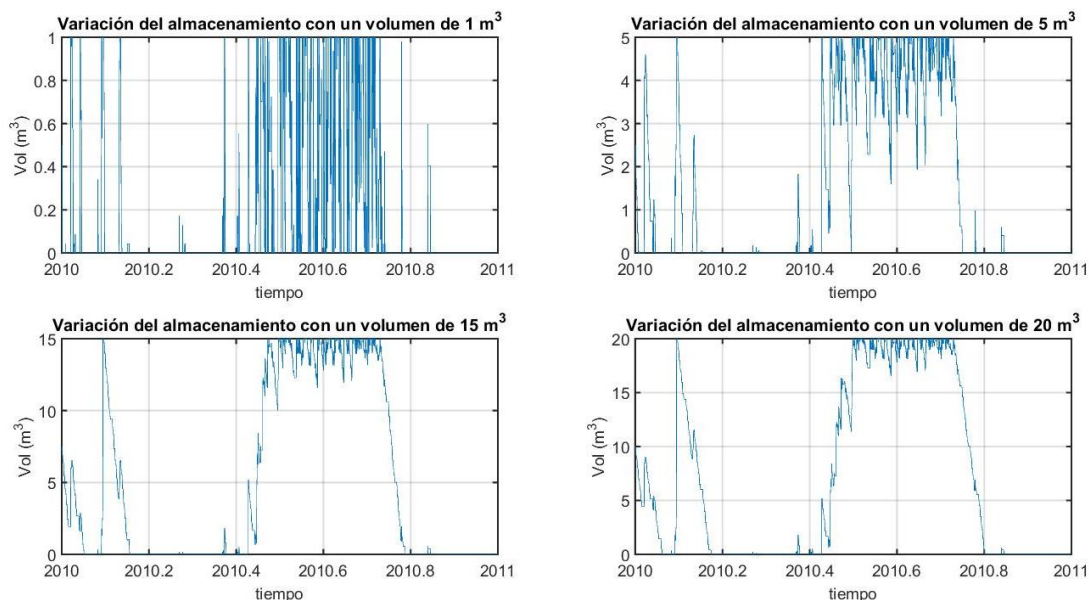


Figura 3.6 Determinación del volumen de suministro del sistema RWH en el EP para su superficie de captación de 213 m<sup>2</sup>.

En conclusión, los sistemas de almacenamiento para las superficies de captación indicadas en la Tabla 3.2, para el régimen de lluvias y las demandas de consumo establecidas en el edificio de posgrado se considera que 18 m<sup>3</sup> se utilizarán para uso sanitario y 1 m<sup>3</sup> para consumo humano y tanque completo será de 19 m<sup>3</sup>.

### 3.5. Calidad del agua de lluvia

La Tabla 3.3 muestra los resultados de la calidad de agua de lluvia de los tres diferentes tipos de techos y para agua de lluvia que no está en contacto con algún material. Se observa que las celdas marcadas de rojo corresponden a los parámetros: pH, N-NH<sub>3</sub>, coliformes totales y fecales no cumplen con los límites permisibles NOM-127-SSA1-1994 (modificación 2000) y el compuesto orgánico semivolátil Bis-2(etilhexil)fatalato, según Environmental Protection Agency (USEPA, 2015) y la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2001). Debido a la baja concentración de sales que están presentes en el agua de lluvia el pH tiende a valores ácidos, la contaminación microbiológica se debe a que en los techos hay la presencia de animales como pájaros, gatos, u otro tipo, la identificación y

cuantificación del COV's posiblemente provienen del material de los techos como se muestra en la Tabla 3.4 Por lo que es necesario tratar el agua de lluvia antes de ser distribuida a los diferentes usos que se pretende dar.

La Tabla 3.5 muestra los resultados de la calidad de agua de lluvia en los tres diferentes tipos de techos para cada parámetro, donde se aprecia que la mayoría de las mediciones del techo están dentro del límite de la (NOM-127-SSA1-1994), excepto que los valores en rojo, que representan los COV's con resultados obtenidos fuera de los límites para cada tipo de techo.

Tabla 3.3 Resultados de la calidad de agua de lluvia de los tres diferentes tipos de techo analizados.

Parámetros	Unidades	Agua de lluvia sin tocar techo	Techo "T"	Techo "Rojo"	Techo "Blanco"	Límite Máximo permisible NOM-127-SSA1-1994
<i>Microbiológicos</i>						
Coliformes totales	UFC/100mL	Ausencia	4.60.10 <sup>3</sup>	23	4.60.10 <sup>3</sup>	Ausencia
Coliformes fecales	UFC/100mL	Ausencia	9.30.10 <sup>2</sup>	4	23	Ausencia
<i>Físicos</i>						
Color aparente	UPt-Co	-	16	18	6	-
Color verdadero	UPt-Co	8	10	13	0	20
Turbiedad	UNT	1.8	1	2	1	5
Sólidos disueltos totales	mg/L	55	32.7	8.2	22.3	1000
Conductividad eléctrica	µs/cm	-	66.8	14.9	47.1	-
Temperatura	°C	17.9	21.1	21.2	21.2	-
<i>Químicos</i>						
pH	-	5.30	6.82	5.59	5.46	6.5-8.5
Dureza total	mg/L CaCO <sub>3</sub>	<2.0	1.79	0.54	1.51	500
Alcalinidad total	mg/L CaCO <sub>3</sub>	-	29.05	10.01	25.04	-
Al	mg/L	<0.20	0.008	0.013	0.055	0.2
As	mg/L	<0.0010	0.005	0.001	0.001	0.05
Cd	mg/L	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	0.005
Ca	mg/L	5.31	12.25	2.7005	1.655	-
Cu	mg/L	<0.10	<0.050	<0.050	<0.050	2
Cr	mg/L	<0.02	<0.005	<0.005	<0.005	0.05
Fe	mg/L	<0.10	0.01	0.01	0.01	0.3
Mg	mg/L	0.97	0.184	<0.10	0.121	-
Ni	mg/L	-	<0.05	<0.05	<0.05	-
Ag	mg/L	-	<0.05	<0.05	<0.05	-
Pb	mg/L	<0.0050	<0.05	<0.05	<0.05	-
Zn	mg/L	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	5

Parámetros	Unidades	Agua de lluvia sin tocar techo	Techo "T"	Techo "Rojo"	Techo "Blanco"	Límite Máximo permisible NOM-127-SSA1-1994
COT	mg/L	-	1.74	3.23	2.23	-
Nitrógeno amoniacal	mg/L	0.80	0.284	0.284	0.347	0.5

Tabla 3.4 Resultados de la calidad de agua de lluvia de los tres diferentes tipos de techo analizados.

Parámetros	Techo teja	Techo rojo	Techo blanco
<b>Compuestos orgánicos</b>			
<i>COV's extractables ácidos, µg/L</i>			
2,3,4,6-Tetraclorofenol	ND	ND	ND
2,4,5-Triclorofenol	ND	ND	ND
2,4,6-Triclorofenol	ND	ND	ND
2,3-Diclorofenol	ND	ND	ND
2,4-Dimetilfenol	ND	ND	ND
2,4-Dinitrofenol	ND	ND	ND
2-Clorofenol	ND	ND	ND
2-Nitrofenol	ND	ND	ND
4-Nitrofenol	ND	ND	ND
4-Cloro-3-metilfenol	ND	ND	ND
Dinitro-o-cresol	ND	ND	ND
Fenol	ND	ND	ND
M y P-cresol	ND	ND	ND
O-Cresol	ND	ND	ND
Pentaclorofenol	ND	ND	ND
<i>COV's extractables básicos, µg/L</i>			
Fluoreno	ND	ND	ND
Hexaclorobutadieno	ND	ND	ND
Hexaclorociclopentadieno	ND	ND	ND
Hexaclorohetano	ND	ND	ND
Indeno (1,2,3, C-D)Pireno	ND	ND	ND
Isoforona	ND	ND	ND
Naftaleno	ND	ND	ND
Nitrobenzeno	ND	ND	ND
N-Nitrosodifenilamina	ND	ND	ND
N-Nitrosodimetilamina	ND	ND	ND
N-Nitroso-Di-N-Propilamina	ND	ND	ND
Pireno	ND	ND	ND
Piridina	ND	ND	ND
1,2-Difenildidracina	ND	ND	ND
2,4-Dinitrotolueno	ND	ND	ND
2,6-Dinitrotolueno	ND	ND	ND
4-Bromofenil fenil eter	ND	ND	ND
Acenafteno	ND	ND	ND
Acenaftileno	ND	ND	ND
Antraceno	ND	ND	ND
Bencidina	ND	ND	ND
Benzo(A)antraceno	ND	ND	ND
Benzo(B) Fluoranteno	ND	ND	ND
Benzo (G, H, I)Perileno	ND	ND	ND

Parámetros	Techo teja	Techo rojo	Techo blanco
Benzo(K) Fluoranteno	ND	ND	ND
Benzo (a) Pireno	ND	ND	ND
Bis-2-(Cloroetil)Eter	ND	ND	ND
Bis-2-(Cloroisopropil)Eter	ND	ND	ND
Bis-2-(Etilhexil)Ftalato	2.84	10.7	5,57
Di-2-(Etil-hexil) Adipato2 Cloronaftalato	ND	ND	ND
Criseno	ND	ND	ND
Parámetros	Techo teja	Techo rojo	Techo blanco
Dibenzeno(A, H)Antraceno	ND	ND	ND
Dietilftalato	ND	ND	ND
Dimetilftalato	ND	ND	ND
Fenantreno	ND	ND	ND
Fluoranteno	ND	ND	ND
1 Cloronaftaleno	ND	ND	ND
Dibutilftalato	ND	0.83	ND
Di-N-Octilftalato	ND	ND	ND
Di-N-Octilftalato	ND	ND	ND
Pentaclorobenceno	ND	ND	ND

ND: No detectado

Tabla 3.5 Resultados de la calidad de agua de lluvia de los tres diferentes tipos de techo analizados

Parámetros	Techo teja	Techo rojo	Techo blanco	Límite permitido EPA/OMS	Origen
<i>Compuestos orgánicos (µg/L)</i>					
Bis-2-(Etilhexil)Ftalato,	2.84	10.7	5,57	4/8	Plástico flexible
Dibutilftalato	ND	0.83	ND	-	Resinas plastificantes

ND: No detectado

### 3.6. Propuesta del sistema de captación, conducción, tratamiento, almacenamiento y distribución del agua de lluvia para el edificio de posgrado IMTA

#### 3.6.1. Medición de superficie y área propuesta

En el apartado 3.3 se describió la superficie y el área propuesta para la captación de agua de lluvia. En general todas las azoteas cuentan con tubos o canales para conducir el agua de lluvia, para este caso, se consideran las zonas en donde será posible captar y conducir el agua de lluvia. Se toman en cuenta las pendientes (minimas del 2%) y si estas conducen el agua a los desagües **¡Error! No se**

encuentra el origen de la referencia. y 3.9, además, si estas son aptas para conducir el agua de lluvia, para este caso se comprueba que así es.

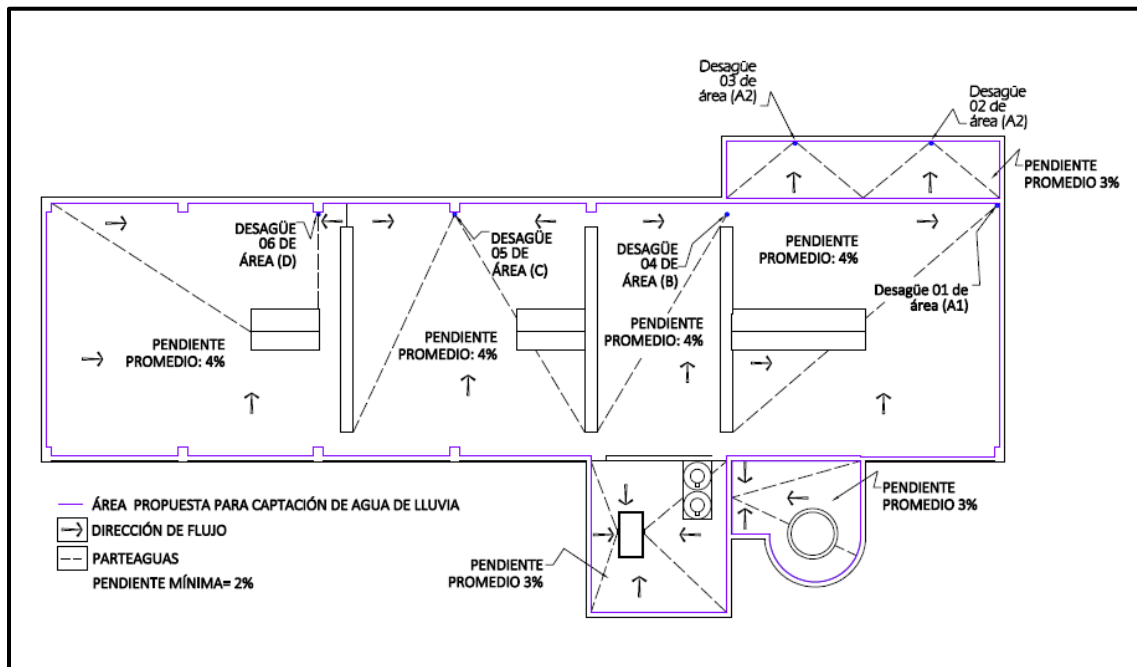


Figura 3.7 Área propuesta para proyecto de captación, indicando pendientes y parteaguas, además de desagües (en azul) para considerar las áreas posibles para poder captar y conducir el agua de lluvia



Figura 3.8 Parte del área de azotea considerada para proyecto de captación de agua de lluvia

Para tener un mejor estudio del área total, esta se dividió en 5 áreas de captación:

$$A1+A2) = 131.84 \text{ m}^2$$

$$B) = 53.60 \text{ m}^2$$

$$C) = 95.94 \text{ m}^2$$

$$D) = 117.84 \text{ m}^2$$

$$E) = 52.00 \text{ m}^2$$

Resultando un área total de: 451.22 m<sup>2</sup> sin embargo, no se toma en cuenta el área (E) por la dificultad para poder captar y conducir el agua de lluvia, por lo que solo se consideran las áreas A, B, C y D dando un área efectiva de 399.22 m<sup>2</sup>, [Error! No se encuentra el origen de la referencia.](#) y 3.11.

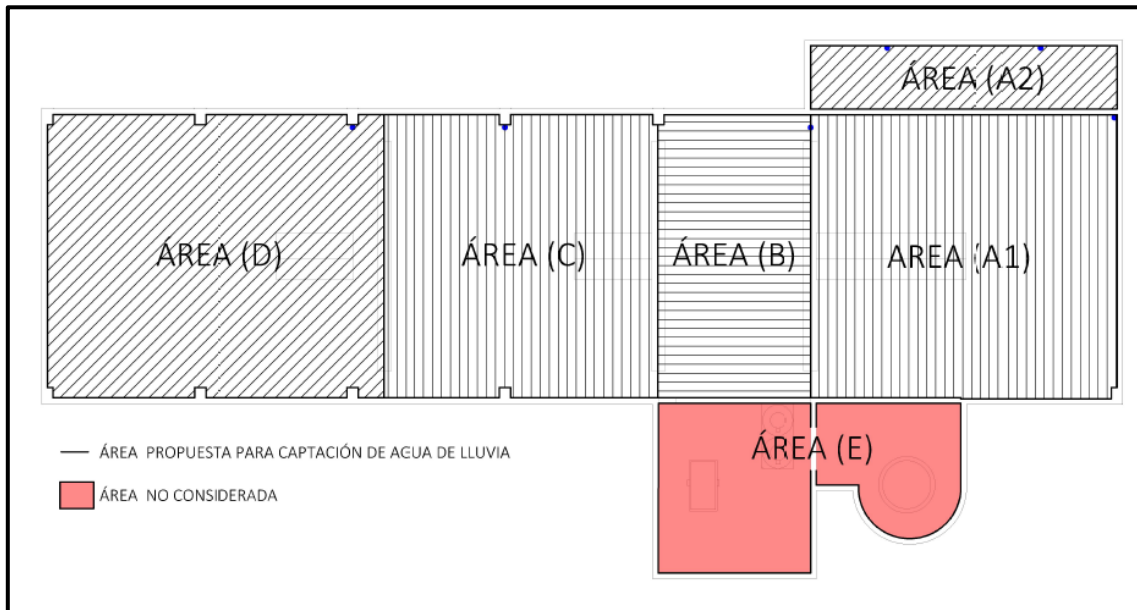


Figura 3.9 Área considerada para proyecto de captación de agua de lluvia. Para este caso de estudio, el área (E) no se tomó en cuenta, por la dificultad para poder conducir el agua de lluvia





Figura 3.10 Áreas consideradas para instalación de sistema de tubería para captación y registros (izquierda), construcción de cisterna e instalación de sistema de filtración

### 3.6.2. Instalación de tubería para conducción de agua de lluvia

Valorando las áreas indicadas y a partir de los estudios descritos previamente, se pueden definir los diámetros de tubería necesarios para poder captar el agua de lluvia y conducirla hasta el registro sin provocar inundación y afectando con humedad la estructura. Estimando los resultados de estudio y consideraron las áreas especificadas anteriormente, además de valorar las pendientes y los desagües, (para aprovechar y hacer uso de lo ya existente) el diámetro y el tipo de tubo valorado para este caso de estudio fue tubo PVC cedula 40,  $\phi = 4$  pulgadas, en general para toda la línea de conducción hasta llegar al registro.

La dirección del flujo esta propuesta desde el área A1, pasando por el área A2, hasta llegar al área D, la instalación de la tubería para conducir el agua de lluvia captada debe contar con una pendiente mínima de 2% para toda la línea de conducción, hasta llegar a la dirección vertical, donde la tubería tiene una caída vertical, Figura 3.11. Los usos de los desagües existentes deben contar con una coladera tipo, (coladera para azotea con cúpula), para los desagües horizontales conexión y coladera para azotea de pretil para tubo, para los desagües del área A2), Figura 3.14; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.** que impidan la entrada de basura, como hojas secas y basura que impida la circulación, al final de la descripción se indicaran las recomendaciones en general para cada una de las partes del sistema.

Es importante considerar que las primeras lluvias contienen además de basura, materia orgánica y contaminantes, por lo que la válvula de drenado deberá abrirse, para esto, es necesario estar al pendiente de ello.

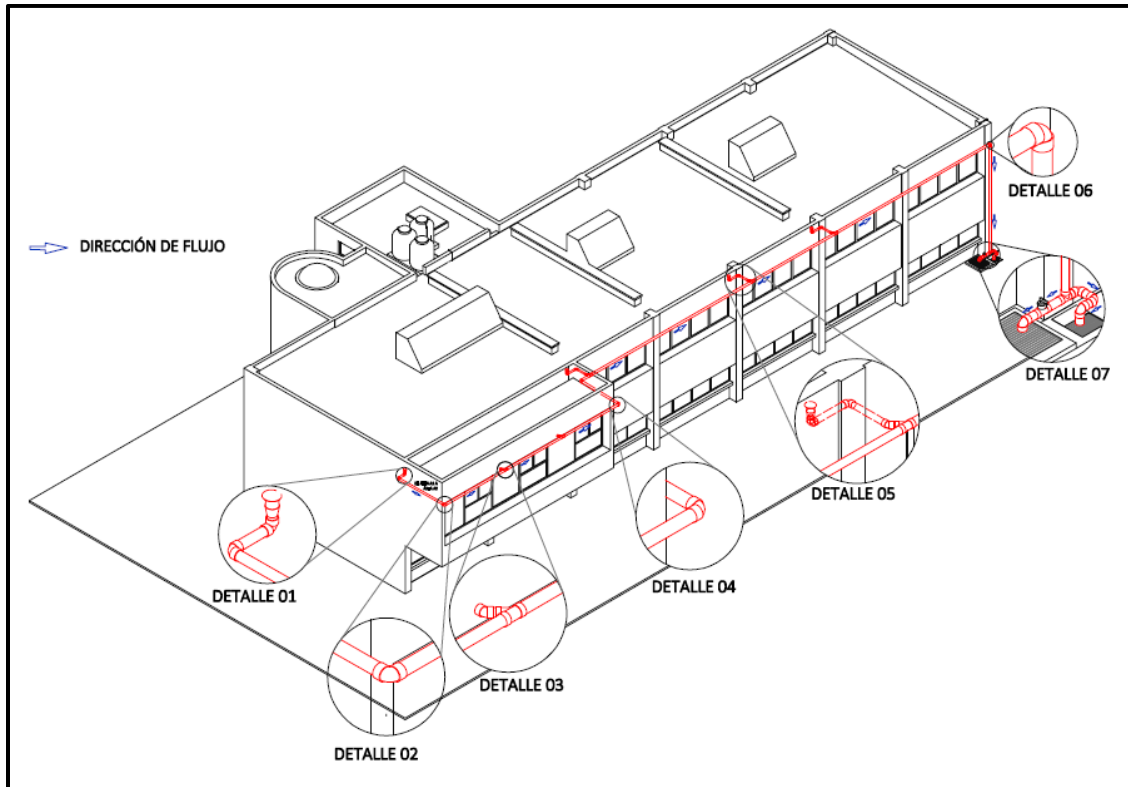


Figura 3.11 Instalación de la tubería tipo PVC (en rojo) y la dirección del flujo (en azul) hasta llegar a un registro que permita en el caso de inicio de primeras lluvias, el drenado de la misma (en detalle (a))

Para captar el agua de lluvia es necesario hacer uso de los desagües existentes (Figura 3.11) para todos los casos de las áreas consideradas, (A,B,C y D) incluyendo el área (A) que se encuentra dividida en dos partes (A1 y A2), como lo muestra la Figura 3.12, se requiere instalar un tubo que conduzca el agua de A1 desagüe 01, hasta concertarse con el tubo del área (A2) que cuenta con dos desagües (02 y 03) hacia exterior, instalando en cada desagüe del área (A) una coladera para azotea de pretil, Figura 3.14.

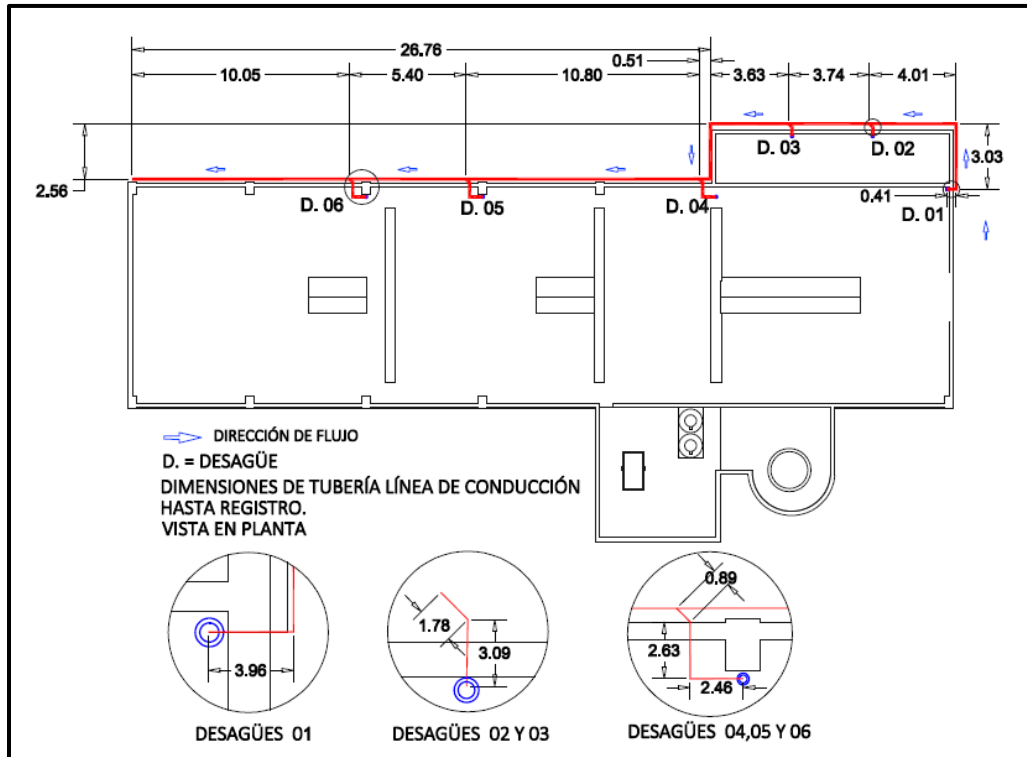


Figura 3.12 Longitud de la tubería tipo PVC en planta (en rojo)

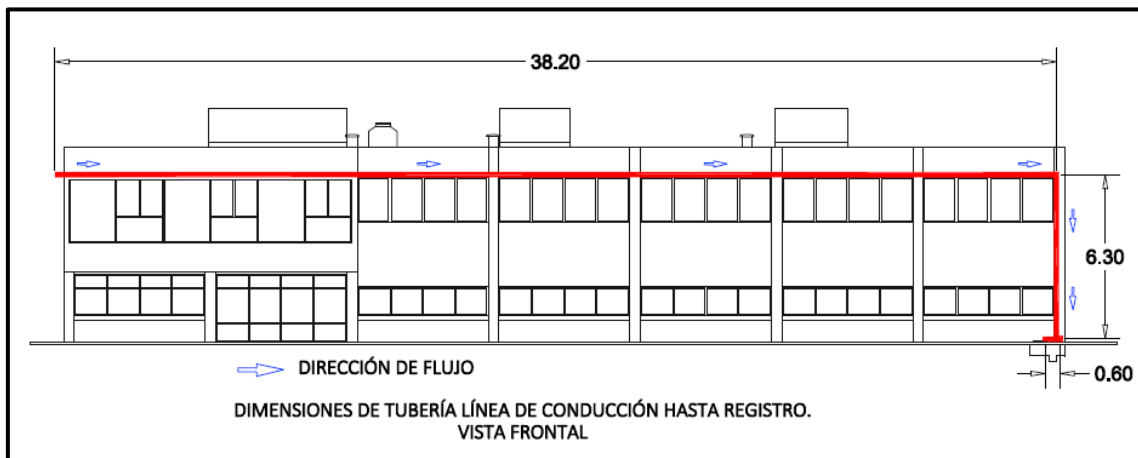


Figura 3.13 Ubicación de la tubería tipo PVC en vista trasera (en rojo)

### Tipos de coladeras para azotea

Dos tipos de coladeras son considerados, un tipo es para áreas planas u horizontales los que se instalarán en los desagües 01, 04, 05 y 06 y el otro tipo de coladera es para para conectar tubos de forma horizontal o con inclinación, para los casos de los desagües 02 y 03. En la Figura 3.14 se muestran los dos tipos.



Figura 3.14 Coladera para azotea con cúpula, (izquierda) y coladera para azotea de pretil para tubo (derecha).

### **Instalación de tubería para conducción de agua de lluvias de área A1 a área A2**

#### **Material:**

4 m. de tubo PVC hidráulico y 3 codos PVC Cedula 40,  $\phi= 4$  pulgadas

1 coladera para azotea con cúpula, indicada en la figura 07

Pegamento PVC

#### **Instalación**

Instalación de tubería que conducirá el agua de lluvia captada del área A1 como lo muestra la

**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** y con el material indicado anteriormente además de una coladera para azotea con cúpula. Es necesario romper en la zona del techo el área adecuada para hacer la instalación de tubería.

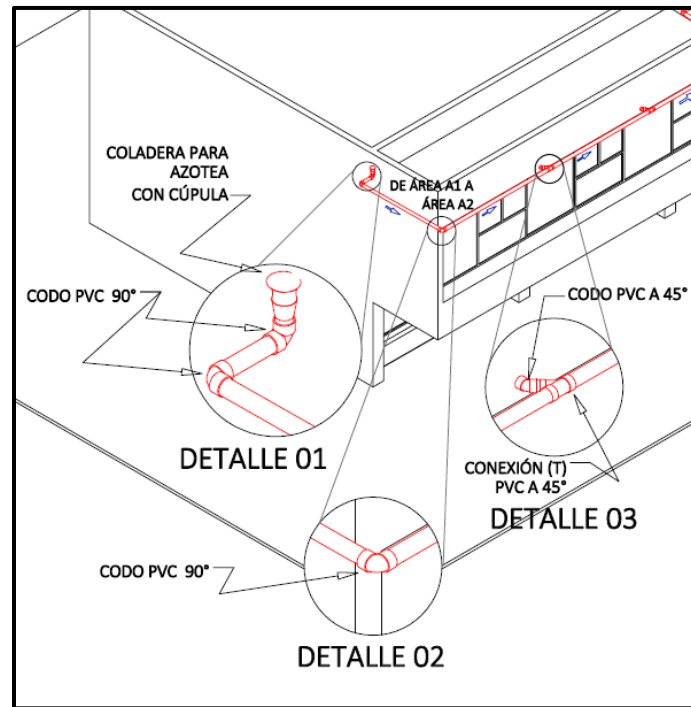


Figura 3.15 Instalación de tubo PVC cedula 40, 4 pulgadas (en rojo) para desagüe 01 de área A1 a área A2

### Instalación de tubería para conducción de agua de lluvias de área A2

#### Material:

13 m de tubo PVC hidrúlico, 2 T's de 45°, 1 codo de 90° y 3 codos de 45° PVC Cedula 40,  $\phi = 4$  pulgadas

2 coladeras para azotea de pretil para tubo

Pegamento PVC

#### Instalación

Para la instalación de la tubería que conducirá el agua de lluvia captada del área A2 como lo muestra la Figura 3.16 y con el material indicado anteriormente, es necesario romper (en la zona de desagüe) para hacer la instalación de la tubería.

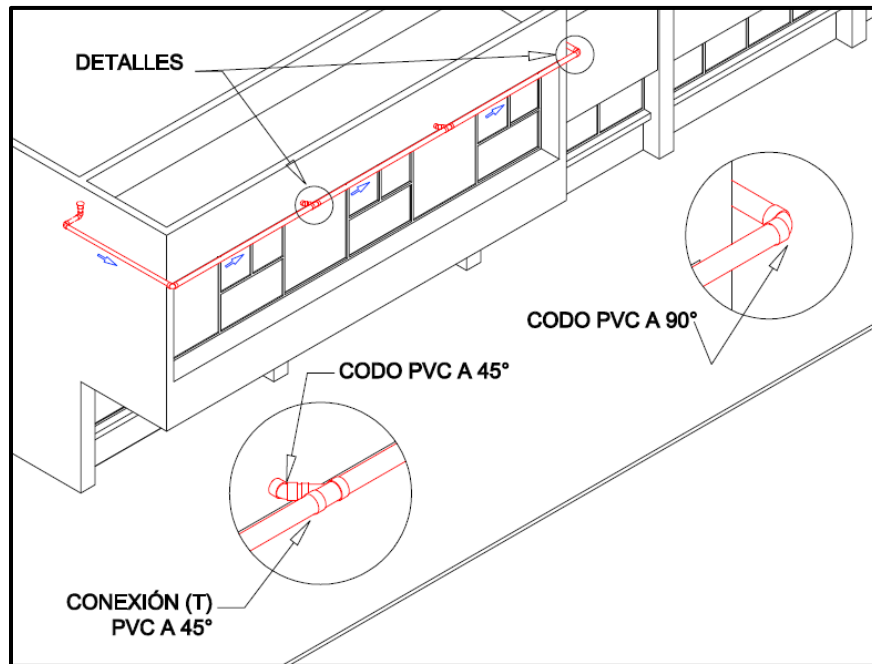


Figura 3.16 Instalación de tubo PVC cedula 40, 4 pulgadas (en rojo) para desagüe 02 y 03 de área A2

### Instalación de tubería para conducción de agua de lluvias de áreas B, C y D

#### Material:

38 m de tubo PVC hidráulico, 3 T's de 45°, 3 codos de 45°, 10 codos de 90°, 1 conexión (T) de 90° y una 1 válvula PVC Cedula 40,  $\phi = 4$  pulgadas

3 coladeras para azotea con cúpula.

Dos registros, (se especifican la sección 2.0)

Válvula de paso PVC de 4pulgadas

Pegamento PVC

#### Instalación

Para la instalación de la tubería que conducirá el agua de lluvia captada del área B, C Y D como lo muestra la Figura 3.17 y con el material indicado anteriormente, es necesario romper (en la zona de desagüe) para hacer la instalación de la tubería.

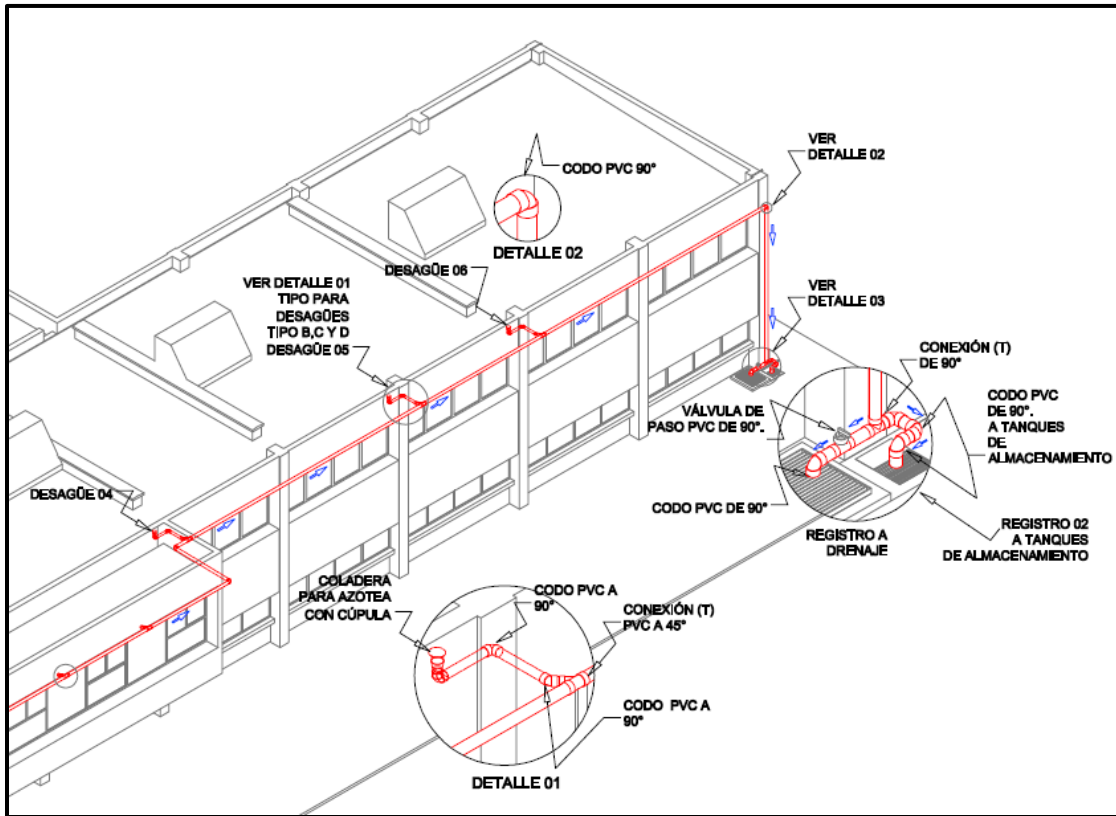


Figura 3.17 Instalación de tubo PVC cedula 40, 4 pulgadas (en rojo) para desagüe 04, 05 y 06 de área B, C y D respectivamente

### 3.6.3. Registro para drenado y conducción a filtros

Los registros tienen la finalidad conducir las primeras aguas de lluvia captadas de la temporada, esto permite drenar las primeras aguas de lluvia que contienen contaminantes de la atmosfera, basura y materia orgánica y el registro (que se encuentra justo compartiendo la misma pared) permitirá conducir el agua captada, con menor cantidad de sólidos hacia la primera etapa de filtrado.

Las medidas interiores y su profundidad están indicadas en la Figura 3.18, se recomienda construirlo con tabique recocado con junta de cemento-arena de 1:5, con acabado de pulido e inclinación, con una plantilla de concreto de 10 cm, con armado de  $f_c = 150 \text{ k/c}^2$  de  $0.66 \times 1.1 \times 0.10 \text{ m}$ . para el registro que conduce a filtración Y de  $0.86 \times 0.66 \times 0.10 \text{ m}$ . para el registro que conduce a drenaje.

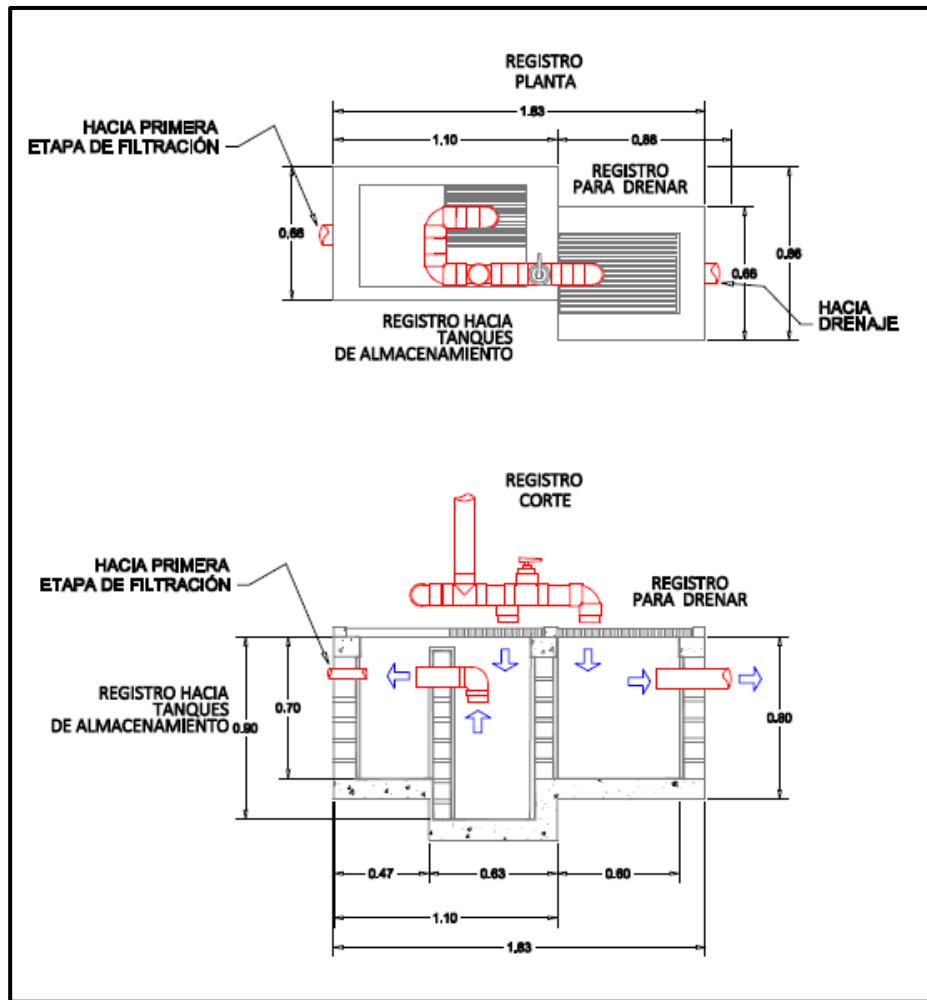


Figura 3.18 Vista en planta (arriba) y en corte (abajo) de registros que vienen de captación de agua en azotea.

### 3.6.4. Sistema de filtración (1ª etapa)

#### Material:

- 2 filtros Vortex Fine Filter RH9518-04 – 4”
- 13 m de tubo PVC, 2 T’s de 45°, 9 codos de 90° PVC Cedula 40,  $\phi= 4$  pulgadas
- Pegamento PVC

#### Instalación

La primer etapa de filtración consiste en la instalación de un filtro especial para agua de lluvia, que se conecta directamente de registro a filtro, (Vortex fine filter wff ) mediante una tubería tipo PVC Cedula 40,  $\phi= 4$  pulgadas, y según las indicaciones del fabricante, a una distancia minina de 0.5 metros y con una inclinación específica, (considerar entradas y salidas de filtro), la capacidad máxima



recomendada de un filtro con las especificaciones dadas, es capaz de filtrar hasta 200 m<sup>2</sup> y considerando el área total estudiada (ver sección 1.0) se tomaron en cuenta 2 filtros, (Figura 3.19).

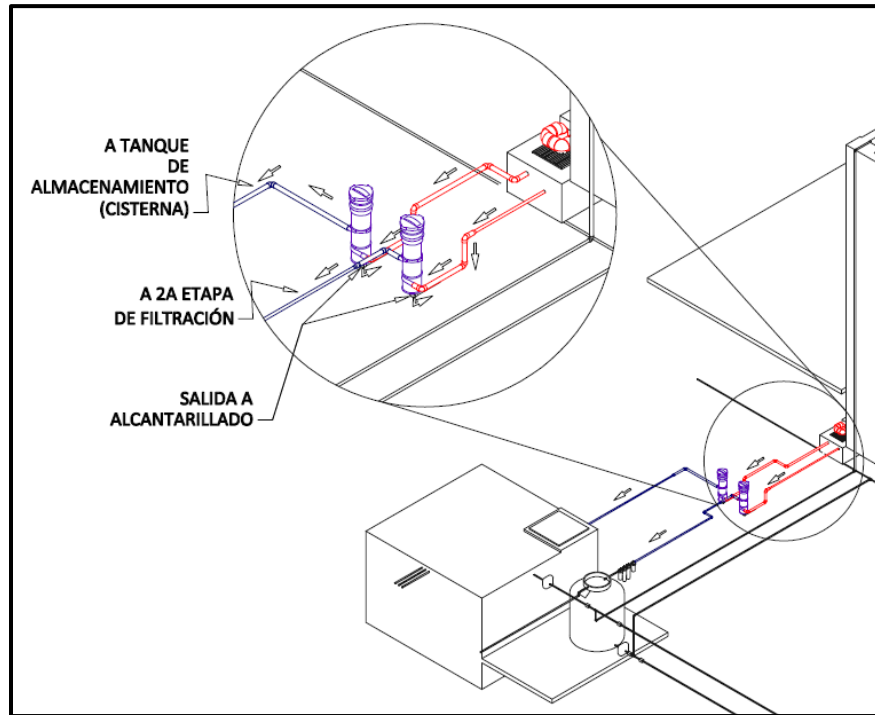


Figura 3.19 Posición de los filtros (en morado) y de cómo se encuentran conectados desde registro, mostrando tubería del agua no filtrada (en rojo) y agua filtrada 1<sup>a</sup> etapa (en azul)

El filtro también cuenta con un sistema de drenado, este tiene una salida hacia el registro donde hay salida a drenaje, (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). El sistema de filtración cuenta con dos filtros, según la capacidad que el fabricante recomienda. El primer filtro se conecta hacia la segunda y tercera etapa de filtración, antes de llegar al tinaco y el segundo tiene salida hacia cisterna. (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**), Anexo A.

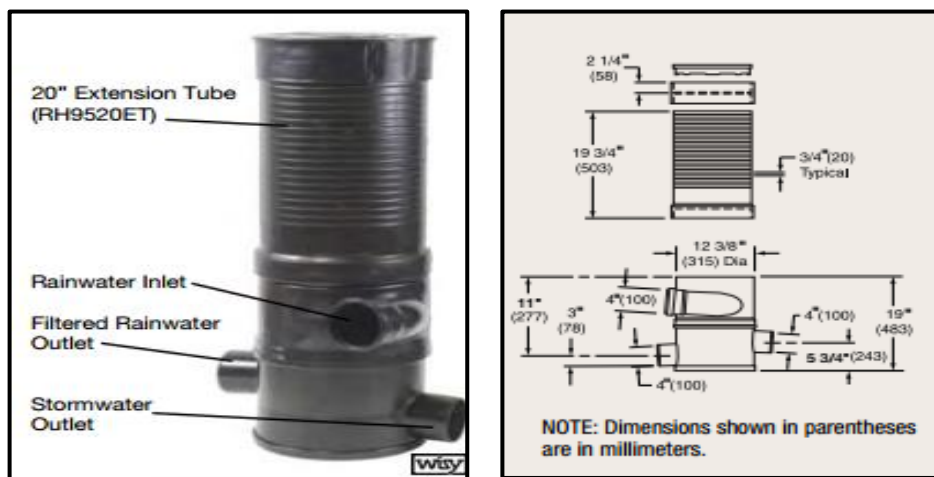


Figura 3.20 Esquema general y especificaciones de filtro (entrada de agua de lluvia, salida de agua filtrada y salida para drenado) vortex fine filter RH9518-04 – 4”  
 El fabricante ofrece conectar el reductor que viene de la azotea, al filtro para una adecuada instalación. Para este proyecto se propuso un registro que permita tener un proceso de sedimentación antes de pasar a la primera etapa de filtración (opcional). Por lo que se recomienda en caso de construir registro de sedimentación, construir una base especial para colocación del filtro vortex fine filter RH9518-04 – 4” (sólo en caso de construir registro para sedimentación), (Figura 3.21).

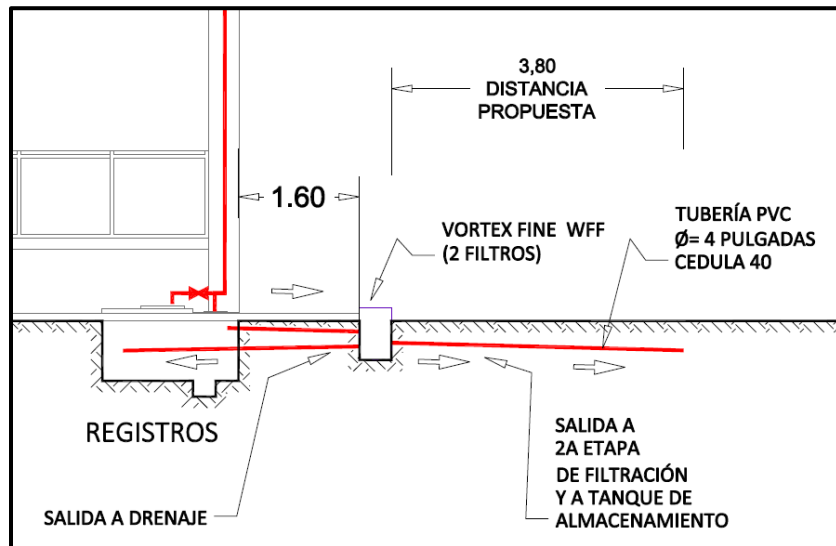


Figura 3.21 Vista en corte de la instalación del filtro (vortex fine filter) y sus respectivas entradas y salidas.

### 3.6.5. Sistema de filtración (2ª Y 3ª etapa)

**Material:**

2 filtros Trio Hydra- Rainmaster

2 filtros tipo: físico Atlas filtri

10 m. de tubo PVC  $\phi = 1$  pulgada, 2 m. de tubo PVC de  $\phi = 2$  pulgadas, 3 codos de  $90^\circ$  y dos reducciones de 4 a 1 pulgada y una reducción de 4 a 2 pulgadas todo lo anterior en PVC Cedula 40  
 Pegamento PVC

**Instalación:**

Para la instalación de estas etapas existen tres casos:

De filtro Vortex fine filter a 2ª y 3ª etapa de filtración

De filtro Vortex fine filter a cisterna

De cisterna de agua de pozo a bomba

Para el caso (A) de la tubería que viene del filtro Vortex fine filter, que va a 2ª y 3ª etapa de filtración, se conecta por medio de una reducción PVC de 4 a 3/4 de pulgada de  $\varnothing$  cedula 40, para conectar al filtro Hydra Rainmaster, que tiene una entrada de 3/4 de pulgada.

El tubo considerado para esta instalación tendrá una longitud de un metro, desde la reducción hasta el filtro de 2ª etapa de filtrado (opcional), según sea la localización exacta del tinaco. En el caso (B) se toma en cuenta una distancia al igual que en el caso (A) una longitud de tubería aproximada de un metro, con una reducción PVC cedula 40 de 4 a 1-1/2 pulgadas de  $\varnothing$ , y finalizar dentro de cisterna con un codo de 90°, a una distancia desde la base de la misma mínima de 1.70 m.

El caso (C) que conduce el agua de cisterna de pozo a bomba, se instala un tubo PVC cedula 40 de 3/4 de pulgada de  $\varnothing$  para conectarse al filtro de 2ª y 3ª etapa, la distancia mínima que se recomienda para la instalación del filtro Hydra Rainmaster es de 0.5 m después de la extracción de pozo. Para los casos A) y C), los filtros de 3ª etapa se instalan seguidos del filtro Hydra Rainmaster (considerar una distancia para manipulación posterior), con las mismas especificaciones de tubo que se instaló el filtro de 2ª etapa (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** Figura 3.22).

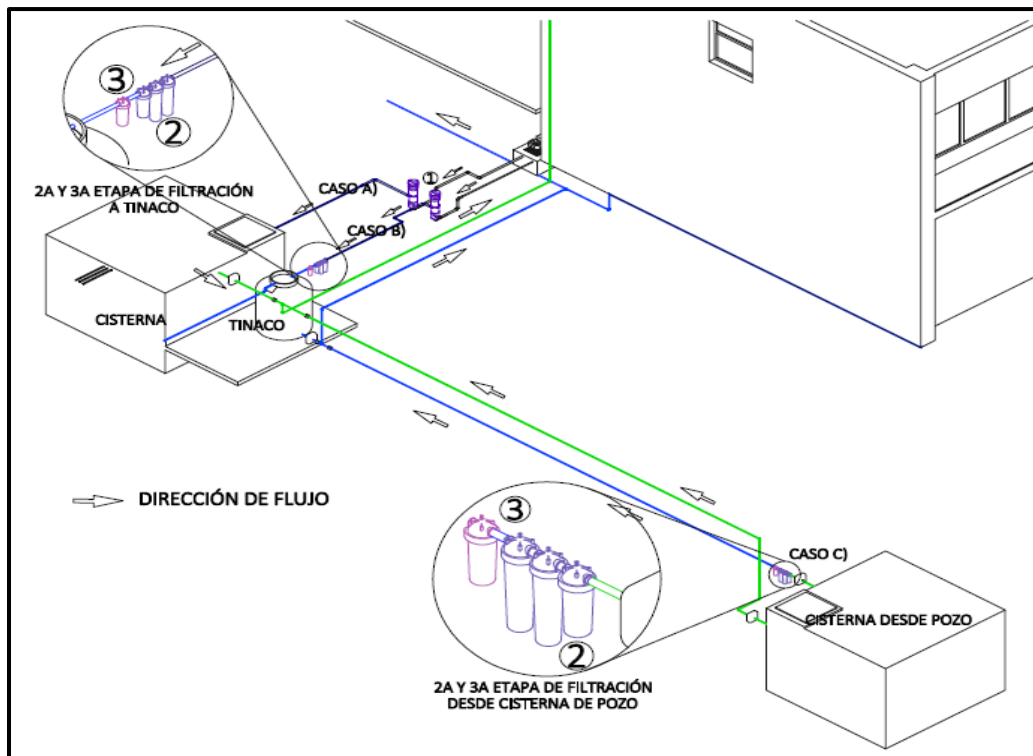


Figura 3.22 Instalación de filtros de 2ª y 3ª etapa, (indicados con número respectivamente) indicando los tres casos expuestos. Agua potable (en azul), agua para uso doméstico (en verde)

**Características filtro segunda etapa**

El filtro que se encuentra en la segunda etapa de filtración, cuanta con las siguientes características:

---3 etapas de filtración:

1ª (filtración de partículas grandes)

2ª (filtración de partículas finas)

3ª (tratamiento de carbón activado) eliminando el mal color, olor y sabor.

---Máxima y mínima presión de trabajo:

8 Bar (116 psi)

1.8 Bar (26 psi)

---Máxima y mínima temperatura de trabajo

45°C (113°F)

4°C (39.2°F)

---Fácil instalación

Empotrada en pared con base incluida.

Para la instalación del mismo, se recomienda instalar en pared de cisterna a construir.

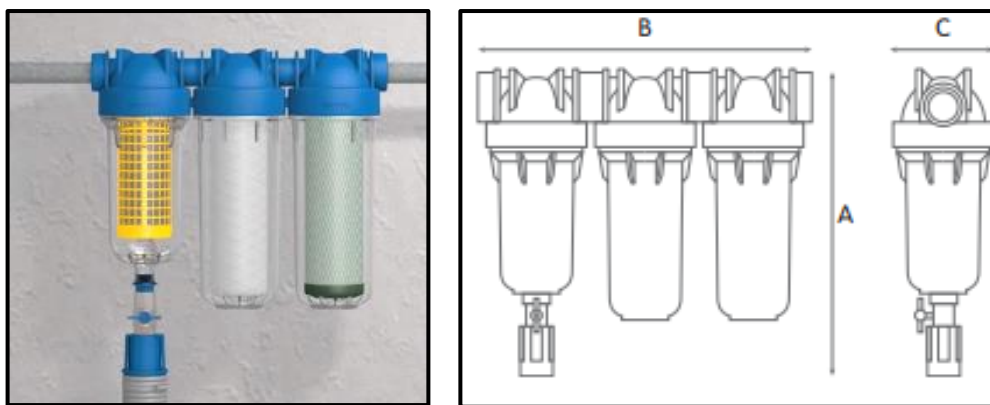


Figura 3.23 Orden de filtración 1ª, 2ª y 3ª etapas (de izquierda a derecha) y medidas. Anexo B

A	B	C
390	336	107mm

**Características filtro tercera etapa**

El filtro que se encuentra en la tercera etapa de filtración UV LCD 3600 - Atlas filtri, (Figura 3.24) es propuesto con las siguientes características:

La alteración, inducida por la irradiación UV-C, de algunos enlaces químicos presentes entre los nucleótidos es capaz de cambiar la información contenida y transmitida por ADN, estas alteraciones impiden su actividad normal y esto conduce irreversiblemente a la muerte celular.

---Un esterilizador de UV, en caso de calibrado correctamente, es capaz de dar una dosis de agua suficiente para la reducción de casi todos los más comunes de los microorganismos presentes en el agua.

---Rayos UV-C que se producen con la ayuda de lámparas fluorescentes especiales que contienen gases de mercurio, estas lámparas están hechas de un cuarzo muy puro (>99,99% de SiO<sub>2</sub>) transparente a la luz UV-C que se emiten en una forma casi monocromática (>95% de  $\lambda = 254 \text{ nm}$ )

---Un rango de flujo máximo de 3600 L/h

---Una lámpara de 40 w con una duración de uso de 9000 horas

---Consumo eléctrico de: 40 Wh

---Entrada/ Salida: 1-1/2 pulgadas

---Presión de trabajo (9 bar)

Para la instalación del mismo, al igual que el filtro de senda etapa se recomienda instalar en pared de cisterna a construir, Figura 3.24.

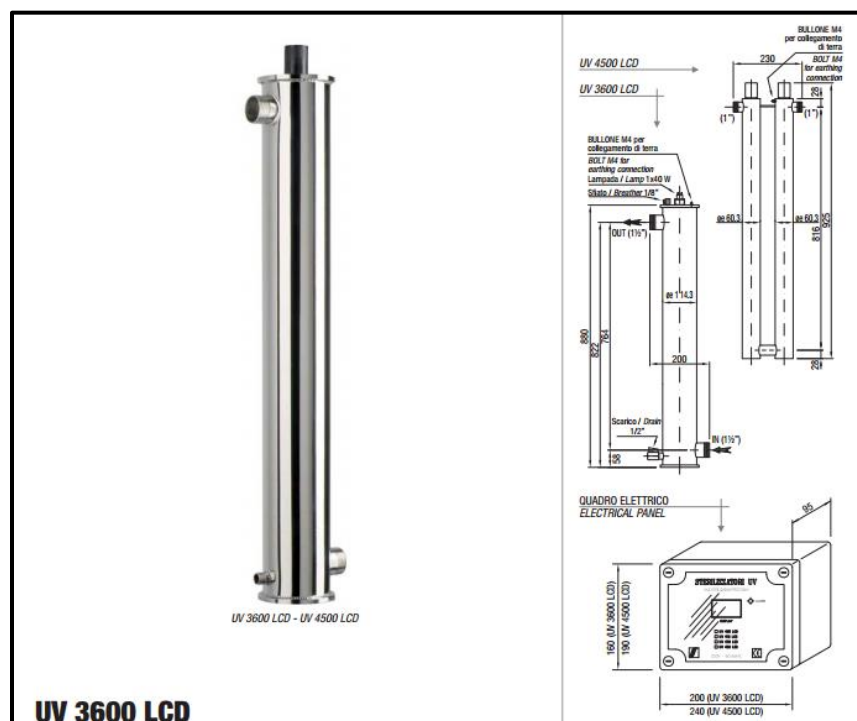


Figura 3.24 Imagen de filtro (de izquierda) y medidas (derecha). Anexo C

### 3.6.6. Sistema de almacenamiento

**Equipo:**

1 tanque tipo tinaco 1,100 L. (Equipo de instalación)

**Construcción:**

Cisterna de concreto, de  $3*3*2 = 18 \text{ m}^3$

**Instalación:**

La instalación del tinaco se propone a un lado de la cisterna, la cual se propone ubicar a unos metros de costado del EP.

Para el caso de cisterna también cuenta con tres tubos de demasías distribuidos a lo largo (el lado según sea necesario) a una distancia desde el lecho bajo de la losa de cisterna de 30 cm, los tubos son de tipo PVC de  $\phi = 2$  pulgadas cedula 40, (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

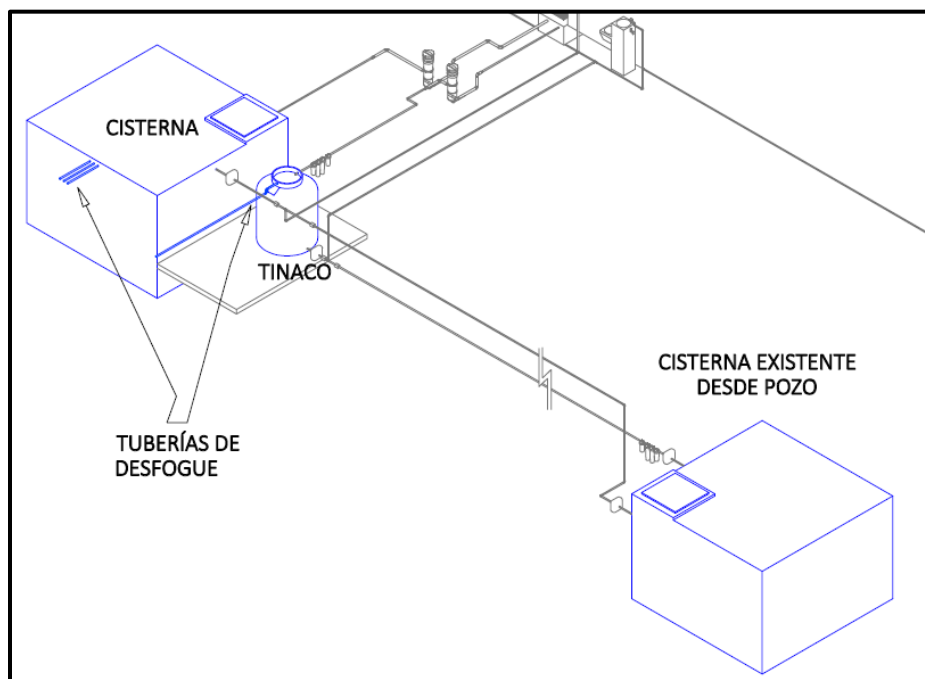


Figura 3.25 Sistema de almacenamiento, compuesto por un tinaco, una cisterna proyectada y una cisterna existente (en azul)

En la siguiente figura se puede notar la ubicación de cisterna (ubicación propuesta), las distancias mostradas (Figura 3.26) son distancias propuestas, y pueden modificarse. La ubicación del tinaco es propuesta para instalar en superficie para facilitar su limpieza.

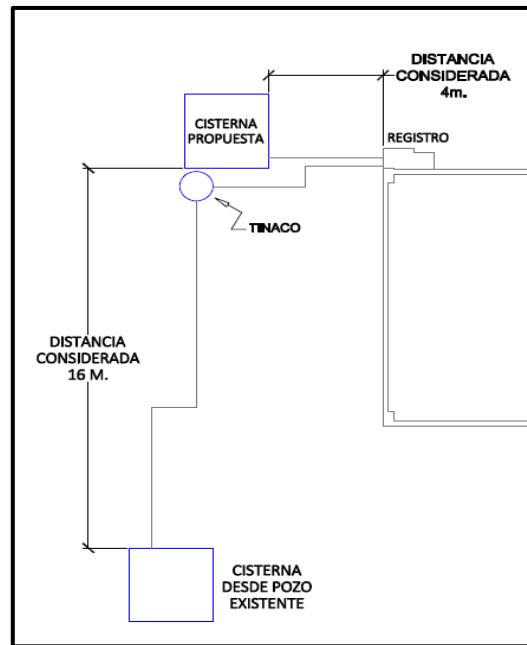


Figura 3.26 Ubicación de tanques de almacenamiento (en azul) y su ubicación propuesta, vista en planta.

### 3.6.7. Sistema de bombeo

#### Equipo:

- 1) 4 hidroneumáticos 1-1/2" – 24 Litros Trupper 19395 Anexo D.
- 2) 4 válvulas check de retención 1 acero inoxidable de resorte
- 3) 2 flotadores
- 4) Cable eléctrico No. 12, 50 m.

Para la ubicación de las bombas hidroneumáticas se, toman en cuenta dos sistemas:

-Sistema para bombeo de: cisterna a distribución para uso doméstico y de tinaco a bebederos (una bomba para cada operación).

-Sistema para bombeo de, cisterna de agua de pozo a bebederos (en tiempo de estiaje) y de cisterna de agua de pozo a distribución para uso doméstico, (una bomba para cada operación).

#### 3.6.7.1. Funcionamiento de bombeo de agua potable

La propuesta de instalación para el caso de agua potable (agua que ya paso las tres etapas), ya sea desde tinaco (*bomba no. 1*) o desde cisterna de pozo (*bomba no. 2*), deberá funcionar de tal manera

que, si el tinaco no tiene agua para bombeo, funcionara la **bomba No. 2** que viene de agua de pozo, y la válvula check (**válvula no. 1**), que se encuentra instalada cerca de la bomba que usa el tinaco, debe impedir el flujo, excepto hacia bebederos.

Para el caso de bombeo de agua de pozo a bebederos, el tinaco deberá contar con un flotador que active el funcionamiento de la **bomba no. 2** (de cisterna con agua de pozo) para bebederos únicamente, ya que la válvula **check no. 1** permitirá que el agua se distribuya solo en bebederos, (Figura 3.27).

### **3.6.7.2. Funcionamiento de bombeo de agua para uso doméstico**

Al igual que el funcionamiento para el caso de agua potable, la propuesta de instalación de bombeo para agua de uso doméstico (agua filtrada por la primera etapa únicamente) sea de **cisterna (bomba no. 3 con su respectiva válvula check)** o **cisterna de agua de pozo (bomba no. 4 y su respectiva válvula check)**.

La bomba **no. 3** deberá funcionar de tal forma que esta se active cuando el agua de **cisterna** tenga suficiente reserva, y mediante un flotador desactivar la **bomba no. 4**, (que viene de **cisterna agua de pozo** para uso doméstico).

La válvula **check no.4** que se encuentra en la salida de agua de pozo para uso doméstico, impedirá la entrada de flujo que viene de agua de cisterna, excepto para distribuir el agua hacia las diferentes necesidades.

Para el caso de bombeo de agua de pozo para uso doméstico, la **cisterna** deberá contar con un flotador que desactive el funcionamiento de la **bomba no. 3**, Figura 3.27.



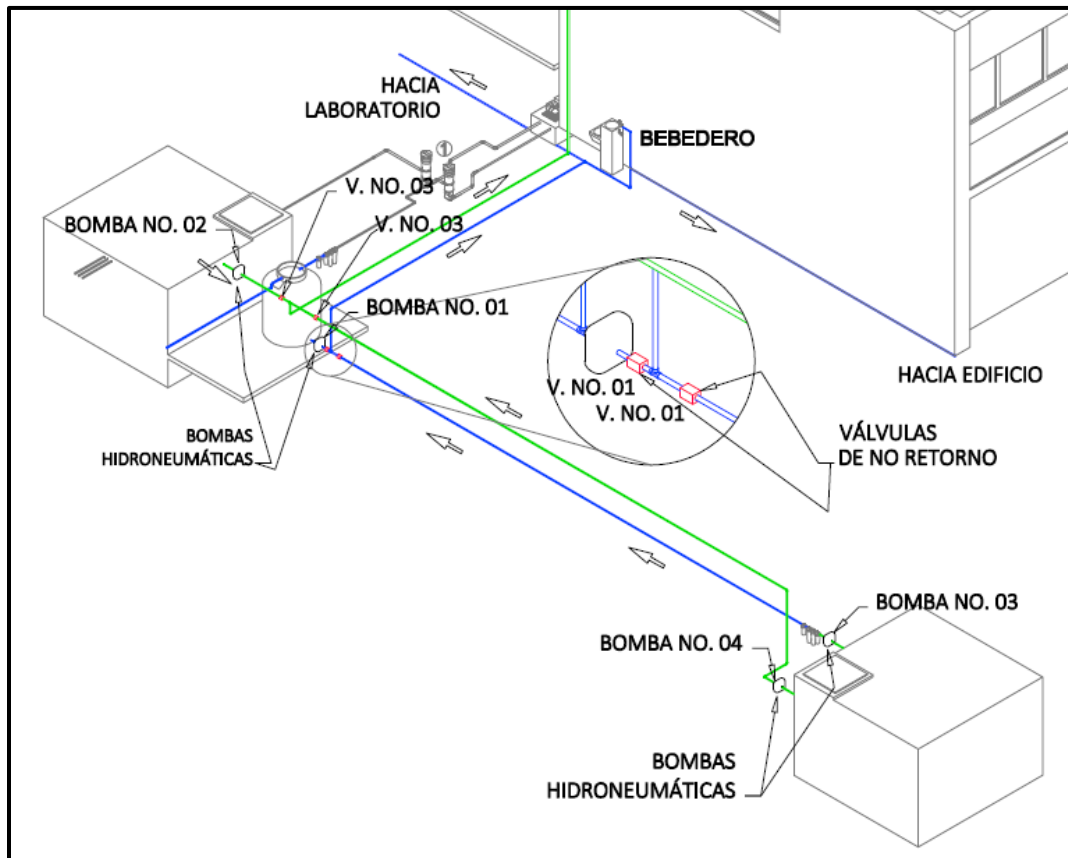


Figura 3.27 Ubicación de bombas, válvulas de no retorno y dirección de flujo.

### 3.6.7.3. Tubería de distribución para agua potable

#### Material:

- 1) Tubería de cobre  $\phi = 1/2$  pulgada 48 metros
- 2) Tubería de cobre  $\phi = 3/4$  pulgada 75 metros
- 3) Tubería de cobre  $\phi = 1-1/4$  pulgada 8 metros
- 4) Tubería de cobre  $\phi = 1-1/2$  pulgada 24 metros
- 5) 4 piezas de reducción de  $1-1/2$  a  $1-1/4$  plg
- 6) 15 codos de cobre  $90^\circ \phi = 1/2$  plg
- 7) 4 válvulas de paso de  $\phi = 1-1/2$  plg
- 8) 2 válvulas de paso de  $\phi = 1-3/4$  plg

**Instalación:**

La instalación desde bombas se conectará con tubería de cobre de  $1\frac{1}{2}$ " en la succión de la bomba (tanques de reserva) y de  $1\frac{1}{4}$ " para la salida de la misma, llegando con el mismo diámetro de salida, hasta la distribución principal (cerca de registros). A partir de allí se conecta con tubería de  $\frac{3}{4}$ " en la distribución secundaria, que contempla las distancias de 27, 18, 16 y 10.80 m. (Figura 3.28 y 3.29) para las distancias restantes (donde se descarga a bebederos), se conecta con tubería de  $\frac{1}{2}$ "

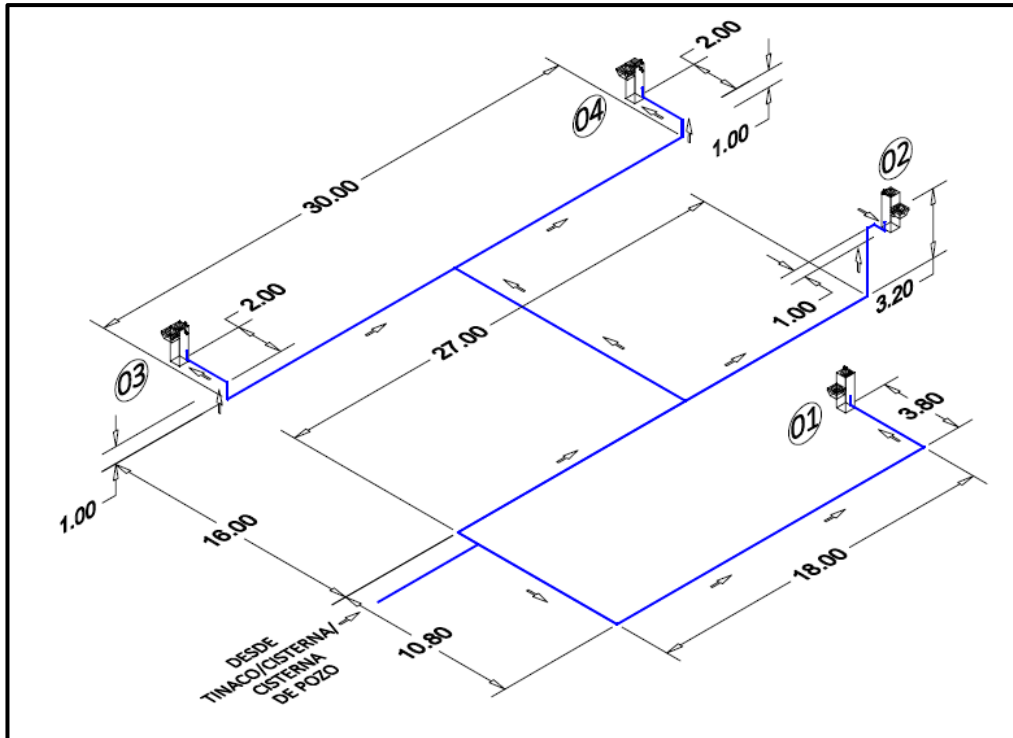


Figura 3.28 Ubicación isométrica de: bebederos (números en círculos), circulación de flujo de agua potable, línea de tubería (en azul) y longitudes.

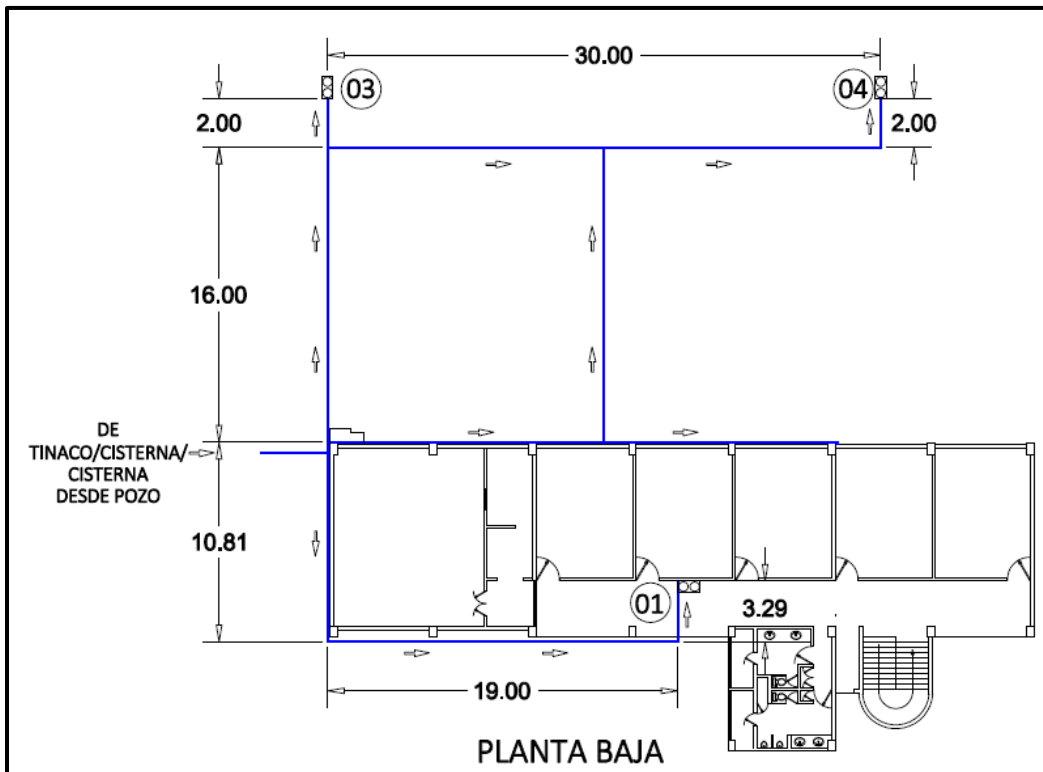


Figura 3.29 Ubicación de planta baja de: bebederos (números en círculos), circulación de flujo de agua potable, línea de tubería (en azul) y longitudes.

### 3.6.8. Bebederos

#### Equipo:

Bebederos global water tech mod GWB2SS

#### Características:

- Protección contra bacterias, virus, *e. coli*, *cryptosporidium*, *polio*, *shigella* y coliformes.
- Sin uso de productos químicos
- Sistemas efectivos que eliminan:
- Cloro, mal sabor, color y metales pesados
- No requiere energía eléctrica, si no hay disponibilidad
- Libre de mantenimiento
- Autorización INIFED y COFEPRIS

Integrado por: Tarja Semi- Esférica Tipo Ovalín Calibre 18 con contra-rejilla integrada del mismo material, 2 Válvulas para Bebedero con Botón Push antivandálico, Pedestal rectangular y 1 Soporte para Ovalín en calibre 20 y botón lateral para llenado de botellas.

### Instalación:

El fabricante indica que la tapa frontal es desmontable con tornillos de seguridad tipo tórax, Placa Inferior de acero al carbón para fijación a pie con tornillo 3/8"x 2 1/2" y taquete de expansión al interior del pedestal las medidas se pueden notar en la Figura 3.30 y Figura 3.31.

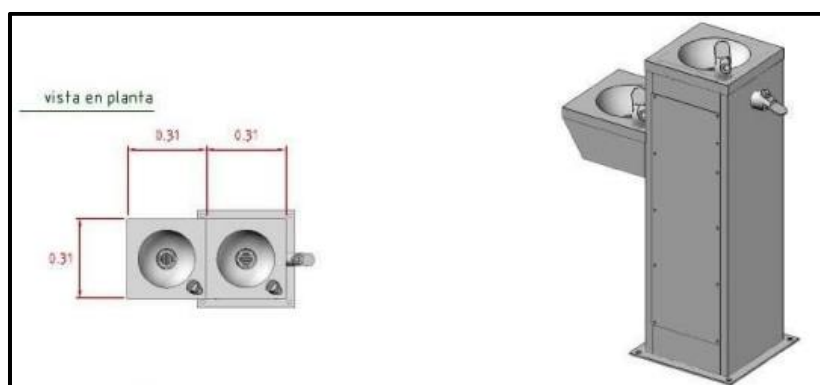


Figura 3.30 Vista en planta y esquema general de los bebederos de agua, Anexo E.

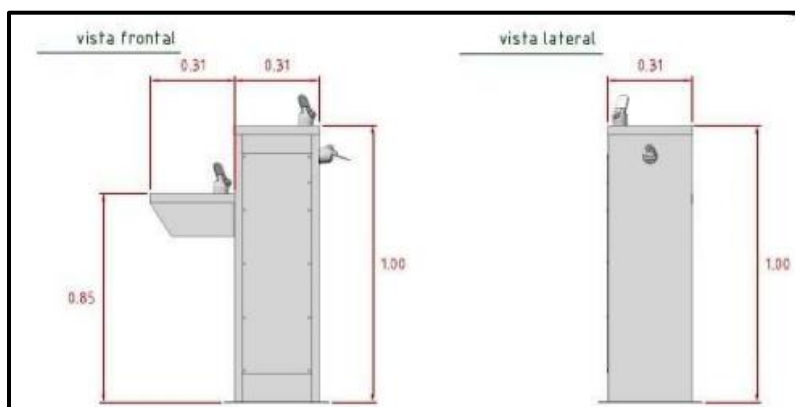


Figura 3.31 Vista frontal (izquierda) y Vista lateral derecha, de los bebederos de agua.

### 3.6.9. Recomendaciones

#### Para Vortex fine filter

El fabricante recomienda que, para tener un uso eficiente de filtración del equipo, se sigan las recomendaciones para un mantenimiento constante y efectivo, sin embargo, para este proyecto se recomienda construir un registro para sedimentación, previo a la conexión con el filtro Vortex fine

filter, que permitirá tener en mejor funcionamiento del filtro y además por más tiempo, no obstante, se puede conectar directamente de tubería de agua sin filtrar o sedimentar.

**Para Instalación de filtros 2ª y 3ª etapa**

Instalar filtros de manera que sea posible dar manteniendo y poder manipular con facilidad (instalar cerca de tanques de almacenamiento).

**Para registros**

**Nota:** Los costos estimados pueden variar, así como los materiales contemplados para este proyecto, (considerando fecha de estimados y modificaciones de instalación. Para el caso de la cisterna, sólo se considera un costo aproximado. El catálogo de conceptos se encuentra anexo a este informe.

### 3.7 Análisis costo/beneficio del sistema de captación, tratamiento, almacenamiento y distribución del agua de lluvia

#### *Identificación, cuantificación y valoración de costos*

Para este proyecto se identifican dos conceptos de costos principales; la inversión inicial y los costos de operación y mantenimiento anual para el funcionamiento del sistema de captación de agua de lluvia.

Para la puesta en marcha de este proyecto, se requiere la ejecución de los siguientes componentes, indicados Tabla 3.6:

Tabla 3.6 Montos de inversión del sistema completo para la captación de agua de lluvia.

No	Catálogo de conceptos del sistema de canalización, distribución, filtración, almacenamiento, tratamiento y bombeo.	TOTALES (PESOS 2017 SIN IVA)
1	Sistema de canalización	5,399.50
2	Sistema de distribución	13,954.96
3	Sistema de filtración	52347.96
4	Sistema de almacenamiento	33726.95
5	Sistema de bombeo	27404.00
6	Bebederos	95745.36
	<b>SUMA</b>	<b>228870.30</b>

Fuente: Caracterización de los costos de los componentes del proyecto, especialistas en construcción. Cifras en pesos constantes de 2016

#### 3.7.1 Descripción de los costos

- Inversión

El sistema de captación de agua de lluvia en el techo, la canalización y el transporte de agua al sistema de almacenamiento requiere una inversión de los siguientes componentes Tabla 3.7, Tabla 3.8, Tabla 3.9, Tabla 3.10, Tabla 3.11 y Tabla 3.12:

Tabla 3.7 Catálogo de conceptos del sistema de canalización

No	Catálogo del sistema de canalización	UNIDAD (m)	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	TOTALES (PESOS 2017 SIN IVA)
1	Tubo PVC 3 plg	6.00	13.00	94.00	1,287.99
2	Tubo 1 plg	6.00	2.00	98.00	206.58
3	Reducción de 4 a 1-1/2 plg	-	2.00	28.00	59.02
4	Codos 90° 3 plg	-	15.00	16.50	260.87
5	Codos 90° 4 plg	-	14.00	19.50	287.74
6	Codos pvc 45° 3 plg	-	5.00	21.50	113.31
7	Tees de 3 plg 45°	-	5.00	20.50	108.04
8	Tees de 4 plg 90°	-	2.00	24.50	51.65
9	Tees de 3 plg 90°	-	4.00	22.50	94.86
10	Coladera para azotea con cúpula, conexión	-	4.00	650.00	2,740.40
11	Válvula de paso 4 plg	-	2.00	228.00	480.62
SUMA					<b>5,691.07</b>

El sistema que distribuye el agua al edificio de posgrado desde nuestro tanque de almacenamiento requiere la inversión de los siguientes componentes:

Tabla 3.8 Catálogo de conceptos del sistema de distribución

No	Catálogo del sistema de distribución	UNIDAD (m)	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	TOTALES (PESOS 2017 SIN IVA)
1	Tubería 3/4 plg	6.00	15.00	325.00	5,138.25
2	Tubería 1/2 plg	6.00	8.00	617.00	5,202.54
3	Tubería 1-1/2 plg	6.00	5.00	42.50	223.98
4	Tubería 1-1/4 plg	6.00	2.00	65.00	137.02
5	Reducción de 1-1/2 a 1 plg	-	6.00	14.00	88.54
6	Codos 90° 1 plg	-	15.00	16.50	260.87
7	Codos 90° 1-1/2 plg	-	10.00	44.50	469.03
8	Válvula de paso de 1-3/4 plg	-	2.00	375.00	790.50
9	Válvula de paso de 1-1/2 plg	-	4.00	390.00	1,644.24
SUMA					<b>13,954.96</b>

El sistema de tratamiento de agua consta de un sistema de filtración para obtener una buena calidad de agua, lo cual genera una inversión de:

Tabla 3.9 Catálogo de conceptos del sistema de filtración

<b>Etapas de filtración</b>	<b>Catálogo del sistema de filtración</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>COSTO UNITARIO</b>	<b>TOTALES (PESOS 2017 SIN IVA)</b>
Primera etapa	Vortex fine filter wff (hasta 200 m <sup>2</sup> )	2.00	10.92	23,025.68
Segunda etapa	Hydra Rainmaster (filtración partículas gruesas, finas y filtro de carbono)	2.00	11.62	24,494.96
Tercera etapa	Filtro físico/filtro químico	2.00	2.29	4,827.32
SUMA				<b>52,347.96</b>

El sistema de almacenamiento de agua consta de un Rotoplas de 1100 L para almacenar agua para consumo humano y una cisterna de 19 m<sup>3</sup> para el almacenamiento del para uso sanitario del edificio, dichos almacenamientos generan la siguiente inversión:

Tabla 3.10 Catálogo de conceptos del sistema de almacenamiento

<b>No</b>	<b>Catálogo del sistema de almacenamiento</b>	<b>CAPACIDAD</b>	<b>COSTO UNITARIO</b>	<b>TOTALES (PESOS 2017 SIN IVA)</b>
<b>1</b>	Tinaco Rotoplas 1,100 l	1,100 l	1.99	2,106.95
<b>2</b>	Cisterna de concreto (incluye mano de obra)	19 m <sup>3</sup>	30.00	31,620.00
SUMA				<b>33,726.95</b>

El sistema de bombeo que utilizaremos para el suministro de agua al edificio de posgrado cuenta con la siguiente inversión:

Tabla 3.11 Catálogo de conceptos del sistema de bombeo

<b>No</b>	<b>Catálogo del sistema de bombeo</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>COSTO UNITARIO</b>	<b>TOTALES (PESOS 2017 SIN IVA)</b>
1	Hidroneumático 1 1/2" - 24 litros truper 19395 - hidro-1-1/2x24	4.00	2.90	12,226.40
2	Válvulas check de retención 1 acero inoxidable de resorte	4.00	3.60	15,177.60
SUMA				<b>27,404.00</b>

Los bebederos que se implementarán en el edificio de posgrado generan la siguiente inversión:



Tabla 3.12 Catálogo de conceptos de los bebederos

No	Catálogo de bebederos	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	TOTALES (PESOS 2017 SIN IVA)
1	Global water tech mod gw B2ss	4.00	22.71	95,745.36
SUMA				<b>95,745.36</b>

Los costos de operación y mantenimiento que se tomaron en cuenta para la evaluación en este proyecto, son el cambio de filtros, el mantenimiento anual de los quipos y del sistema eléctrico, para lo cual se consideró solo un porcentaje de la inversión inicial.

### 3.7.2 Identificación, cuantificación y valoración de beneficios

Se identifican como beneficios asociados al proyecto de captación de agua de lluvia los ahorros en compra de agua embotellada en el edificio principal de posgrado, ahorro en energía eléctrica y el ahorro en el pago de derechos por extracción de agua subterránea del pozo del IMTA. Adicionalmente, se identifica como beneficio ambiental, un valor de no uso del agua subterránea como valor de opción. El valor económico de los bienes ambientales tiene dos componentes, el valor de uso y el valor de no uso. El valor de uso se deriva del uso que hace la sociedad del medio ambiente. Los valores de no uso se derivan de las motivaciones de existencia, herencia y altruismo que puedan tener las personas. Esto es, puede ser que una persona conceda valor a un bien ambiental, como un espacio natural, sin utilizarlo, o sin realizar ninguna visita. (Labandera, 2006). Por tanto, en el proyecto se identifica este potencial beneficio, sin embargo, dada la dificultad para su estimación, no se cuantifica ni valora para efectos del análisis de factibilidad económica. A continuación se describen la cuantificación y valoración de cada uno de estos beneficios:

#### a) Disminución gasto anual en agua de pozo

Actualmente el IMTA gasta \$537,259.88 pesos anuales en el abastecimiento de agua de pozo, de lo cual el ED genera un gasto de \$6,720.00 en el consumo de energía eléctrica para la extracción de agua de pozo.

#### b) Disminución en gasto de garrafones

El consumo de agua purificada genera un gasto anual de \$160,020.00 pesos sin iva incluido, el EP genera un gasto de \$9,460.00 pesos al consumo de garrafones.

#### c) Beneficio ambiental por “valor de opción” (identificado, pero no cuantificado)

Este beneficio ambiental se refiere al bienestar que experimentan las personas por el hecho de preservar la oportunidad de utilizar en el futuro los bienes y servicios del ecosistema, ya sea por parte de las generaciones presentes (valor opción). Intención de consumo directo o indirecto, del bien ambiental en el futuro.

### 3.7.3 Cálculo de los indicadores de rentabilidad

Con los costos y beneficios descritos anteriormente se realizó análisis de factibilidad económica, determinando las siguientes medidas de rentabilidad: valor presente neto (VPN), la tasa interna de retorno (TIR), la relación beneficio costo (B/C). La tasa de descuento empleada es del 10% y se consideran 20 años de evaluación. De este horizonte el año cero (2017) es de inversión y 19 de operación (2017 al 2037).

A continuación, se presenta el flujo de efectivo generado con los costos identificados en la alternativa de sistema de captación y tratamiento para el horizonte de evaluación y beneficios, Tabla 3.13 y Tabla 3.14:

Tabla 3.13 Flujo de costos durante el horizonte de evaluación del sistema de captación

	<b>Monto (pesos año 2017)</b>	<b>Año</b>	<b>Monto (pesos año 2017)</b>	<b>Año</b>	<b>Monto (pesos año 2017)</b>
<b>2018</b>	241,229.30	<b>2025</b>	10,107.00	<b>2032</b>	3,180.80
<b>2019</b>	16,107.00	<b>2026</b>	10,107.00	<b>2033</b>	2,891.64
<b>2020</b>	10,107.00	<b>2027</b>	10,107.00	<b>2034</b>	10,107.00
<b>2021</b>	10,107.00	<b>2028</b>	10,107.00	<b>2035</b>	10,107.00
<b>2022</b>	10,107.00	<b>2029</b>	10,107.00	<b>2036</b>	10,107.00
<b>2023</b>	10,107.00	<b>2030</b>	10,107.00	<b>2037</b>	10,107.00
<b>2024</b>	10,107.00	<b>2031</b>	10,107.00		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.14 Flujo de los beneficios durante el horizonte de evaluación

<b>Año</b>	<b>Monto (pesos año 2017)</b>	<b>Año</b>	<b>Monto (pesos año 2017)</b>	<b>Año</b>	<b>Monto (pesos año 2017)</b>
<b>2018</b>	17,479.09	<b>2025</b>	6,198.48	<b>2032</b>	3,180.80
<b>2019</b>	10,980.99	<b>2026</b>	5,634.99	<b>2033</b>	2,891.64
<b>2020</b>	9,982.72	<b>2027</b>	5,122.71	<b>2034</b>	2,628.76
<b>2021</b>	9,075.20	<b>2028</b>	4,657.01	<b>2035</b>	2,389.78
<b>2022</b>	8,250.18	<b>2029</b>	4,233.65	<b>2036</b>	2,172.53
<b>2023</b>	7,500.17	<b>2030</b>	3,848.77	<b>2037</b>	1,975.03
<b>2024</b>	6,818.33	<b>2031</b>	3,498.88		

Fuente: Elaboración propia

### 3.7.4 Indicadores de rentabilidad económica

Con los flujos de costos y beneficios anteriores se calcularon los indicadores de rentabilidad para implementar el sistema de captación en el EP, Tabla 3.15.

Tabla 3.15 Flujo de efectivo de costos durante el horizonte de evaluación

<b>Indicador</b>	<b>Valor de inversión en implementación del sistema de captación</b>
Valor presente neto (VPN) (pesos)	-136912.90
Tasa interna de retorno (TIR) (%)	10
B/C	0.46

*Fuente: Elaboración propia*

## Capítulo 4

### **4. Conclusiones**

En este trabajo se logró identificar la información necesaria para llevar a cabo un análisis sustentable en la implementación de captación de agua de lluvia, observando los beneficios sociales y ambientales que se generan.

Los datos de precipitación, según la base de datos del Servicio Meteorológico Nacional, indican que en el mayor año con precipitación fue el 2013, siendo de junio a septiembre los meses con mayor precipitación pluvial.

Se determinó que el volumen de almacenamiento de agua de lluvia para el uso de agua en el edificio de posgrado debe contar con un volumen de 18 m<sup>3</sup>, así como un tanque de 1 m<sup>3</sup> es suficiente para el almacenamiento de agua en los bebederos para el consumo humano.

Con la calidad de agua de lluvia, se consideró los costos de diseño y eficiencia para la captación de agua de lluvia, por lo tanto, se concluye que el tren de tratamiento propuesto está basado en tres niveles, esto en consideración a los diferentes usos que se le quiere dar que nos da la calidad de agua a obtener. El tratamiento primario destinado para controlar la contaminación física, y el secundario para contaminación fisicoquímica y microbiológica. Ambos están diseñados para dar calidad de agua para lavado de trastes, limpieza en general y uso sanitario. El tratamiento terciario se propone para aprobar el agua para el consumo humano.

El costo/beneficio del sistema de captación, tratamiento, almacenamiento y distribución de agua de lluvia, en el edificio de Posgrado IMTA no es financieramente aceptable debido a que obtenemos un valor menor a 1.

Con base en los resultados obtenidos en los indicadores de rentabilidad, se concluye que la alternativa no es rentable al obtener una tasa interna de retorno de 10%.

De acuerdo a que el IMTA es considerado una dependencia federal, se pretende implementar este sistema de captación de agua de lluvia para cumplir con el decreto establecido en el artículo 17 Ter de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente.

## Capítulo 5

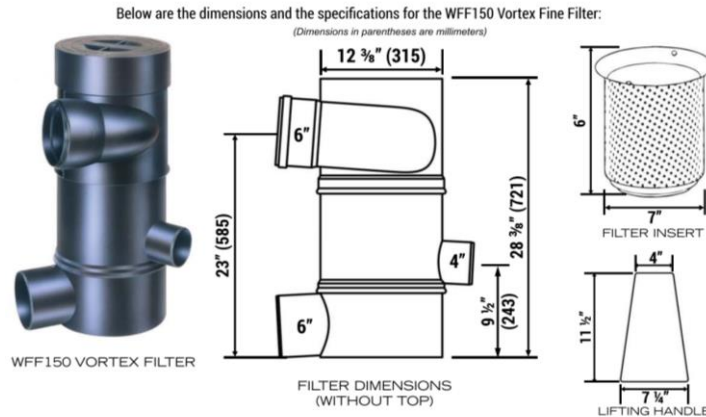
### 5. Bibliografía

- Agüero, M. R. (2013). *Tuberías*. Lima, Perú: UNI.
- Aguilar, C. (2015). *Lectura 02 Variación de nivel, curso de maestría de fenómenos transitorios*. Maestría en Ingeniería Civil/Hidráulica, Programa de Posgrado en Ingeniería UNAM.
- Ahammed, V. M. (2006). Water quality of rooftop rainwater harvesting systems: a review. *Journal of water supply: Research and Technology-AQUA*, 1-13.
- Amos, A. (1969). Manual de industrias de los alimentos. *Pectina*, 135-136.
- Anaya, G. (2004). *Manual de sistemas de captación de agua de lluvia para uso doméstico en América Latina y el Caribe*. México: Montecillo IICA Colegio de Posgraduados.
- Arboleda, J. (2000). *Teoría y Práctica de la Purificación del Agua*. Bogotá, Colombia: Tercera Edición; Mc Graw Hill; ACODAL (Asociación Colombiana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental).
- Ariyananda, T. (2003). Recommendations for improving rain water quality, ( a study conducted in 2 districts in sri lanka). *Lanka Rain Water Harvesting Forum*, 8.
- AWWA. (2012). "Water Treatment Plant Design". *Second Edition. Cap 5*. USA: Coagulation and Flocculation-American Water Works Association (AWWA).
- Ballén Suárez, J. A. (2006). *Historia de los sistemas de aprovechamiento de agua lluvia*. Brasil: João Pessoa.
- Belmeziti, A. C. (2013). Economic and Environmental Assessment of Office Building Rainwater Harvesting Systems in Various U.S. Cities. *Research Gate*, 38.
- Braverman, J. (1977). *Introducción a la bioquímica de los alimentos*. Barcelona: Omega.
- Cheung, C. P. (2001). *Sorption kinetic analysis for the removal of cadmium from effluents using bone char*. USA: Water Research.
- Choy, L. (1989). Planta para producción de pectina. *Tesis para obtener el grado de Titulo Ingeniero Químico, Lima*(UNMSM).
- CICESE-CLICOM. (27 de abril de 2017). *Base de datos climatológica Nacional (SISTEMA CLICOM)*. Obtenido de <http://clicom-mex.cicese.mx/>
- CONAGUA. (2009). *Estadísticas del agua en México*. México, 2014: SEMARNAT.
- CONAGUA. (2011). *Inventario Nacional de Plantas Municipales de Potabilización y de Tratamiento de Aguas Residuales en Operación*. Comisión Nacional del Agua.
- Dancy, H. K. (25 de 04 de 2016). *A Manual Of Building Construction*. Obtenido de <http://wgbis.ces.iisc.ernet.in/energy/HC270799/HDL/spanish/sk01ms/sk01ms0e.htm>
- DOF. (15 de Mayo de 2013). *Diario Oficial de la Federación*. Obtenido de <http://www.dof.gob.mx/>
- Economía, A. (30 de 09 de 2008). *books.google*. Obtenido de [https://books.google.com.mx/books?id=JTAvacySkvC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.mx/books?id=JTAvacySkvC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)
- FAO. (26 de Abril de 2012). *El estado mundial de la pesca y la acuicultura*. Obtenido de Isla Urbana: [www.fao.org/docrep/016/i2727s/i2727s.pdf](http://www.fao.org/docrep/016/i2727s/i2727s.pdf)
- FAO. (2013). *Captación y almacenamiento de agua de lluvia*. Santiago: PNUMA.

- Fonseca, C., Hidalgo, V., Díaz-Delgado, C., Vilchis-Francés, A., & Gallego, I. (2017). Desing of optimal tank size for rainwater harvesting systems through use of a web application and geo-referenced rainfall patterns. *Journal of Cleaner Production*, 323-335. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.01.257>
- García, H. (2011). *Manual de Instalación*. México: Isla Urbana.
- Garrido, H., & Aguilar, C. (2014). *Ingeniería recuperación de agua pluvial proyecto de factibilidad del sistema de captación pluvial en la empresa Bridgestone de México*. Jiutepec, Morelos, México: IMTA.
- Garrido, S. (2011). *Sistemas de captación , almacenamietno, tratamiento y aprovechamiento de agia de lluvia en zonas urbanas*. Jiutepec: IMTA.
- Haring, B. (19 de Junio de 2011). *Hemera Technologies* . Obtenido de [http://www.ehowenespanol.com/canaletas-tubos-bajada-pluvial-info\\_244223/](http://www.ehowenespanol.com/canaletas-tubos-bajada-pluvial-info_244223/)
- Hiram, G. V. (2012). *SISTEMA DE CAPTACIÓN Y APROVECHAMIENTO PLUVIAL PARA UN ECOBARRIO DE LA CD. DE MÉXICO*. México: UNAM.
- Hoyos, S. E. (2008). *POTABILIZACIÓN DE AGUA DE LLUVIA RODADA POR MEDIO DE FILTRACIÓN EN MÚLTIPLES ETAPAS MODIFICADA, MÉXICO* . JUIITEPEC, MORELOS : IMTA.
- Hoyos, S. E. (2011). *Potabilización de agua de lluvia rodada por medio de filtración en multiples etapas modificada, Mexico*. Jiutepec: IMTA.
- IMTA. (2007). *Curso Diseño de Plantas Potabilizadoras, Material Tecnológico*. Jiutepec, Morelos: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA)-Comisión Nacional del Agua (CONAGUA).
- Labandera, X. (2006). *Economía Ambiental*. Madrid: Pearson Educación.
- LAN. (2016). *Ley de Agua Nacionales*. México.
- LGEEPA. (15 de Mayo de 2014). Art. 17 Ter a la Ley General del Equilibrio Ecologico y la Protección al Ambiente. *Diario Oficial de la Federación*, pág. 14.
- National Conference of State Legislatures. (27 de abril de 2017). *NCSL-US*. Obtenido de <http://www.ncsl.org/research/environment-and-natural-resources/rainwater-harvesting.aspx>
- Nissen-Petersen, E. G. (1999). Rainwaer Catchment Systems for Domestic Supply: Design. Construction and implentation. *Intermediate Technology Publications*.
- OMS. (2001). *Organización Mundial de la Salud, Medio Ambiente*. México: PNUMA.
- OPS/CEPIS. (2004). *Tratamiento de agua para consumo humano; Plantas de Filtración Rápida. Manual I: Teoría* (Vol. OPS/CEPIS/PUB/04.109). Lima: Organización Panoamericana de la Salud (OPS) y Centro Panoamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS).
- Plaza-Cazón, J. (2012). Remoción de metales pesados empleando algas marinas. *Universidad Nacional de la Plata, Facultad de Ciencias Exactas*(Departamento de Quimica, Trabajo de Tesis Doctoral), 1-166.
- PNUMA. (2008). *Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente*. Mexico: ONU.
- RWH. (10 de MAYO de 2015). *Rainwater harvesting*. Obtenido de [https://en.wikiversity.org/wiki/Rainwater\\_harvesting](https://en.wikiversity.org/wiki/Rainwater_harvesting)

- Salud, S. d. (1997). *Salud ambiental, agua para uso y consumo humano-límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización*. México: Norma Oficial Mexicana.
- Schneider, I. H., & Rubio, J. (1999). Sorption of Heavy Metals Ions by the NonLiving Biomass of Freshwater Macrophytes. *Environ. Sci. Technol.*, 33, 2213-2217.
- Servicio Meteorológico Nacional. (27 de abril de 2017). SMN. Obtenido de <http://smn.cna.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica>
- Simón, M. D. (2009). *Estudio sobre la captación pasiva de agua de niebla y su aplicabilidad*. Sevilla: Tesis de Master Ingeniería de agua .
- Urbana, I. (20 de Febrero de 2010). *Proyecto del IIRR (Instituto Internacional de Recursos Renovables)*. Obtenido de <http://www.islaurbana.org/>
- Victor D. Phillips, R. T. (2010). Captación de agua de lluvia como alternativa para afrontar la escasez del recurso. *Manual de capacitación para la participación comunitaria*, 24.
- Villanueva-Huerta, C. C. (2006). Biosorción de Cobre (II) por biomasa pretratada de cáscara de Citrus Sinensis (naranja), Citrus Limonium (limón) y Opuntia Ficus (palmeta de nopal). *UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS , FACULTAD DE QUÍMICA E INGENIERÍA QUÍMICA E.A.P. DE QUÍMICA* (Lima, Perú), 2-74.
- Yongming- Lu, E. W. (1996). Heavy metal removal by caustic-treated yeast immobilized in alginate. *Journal of Hazardous Materials*, 49(2-3), 165-179.

**Anexo A. Vortex Fine Filter RH9518-04-4.**



The **WFF 150 Vortex Fine Filter** is used where multiple downspouts are connected together by a single conveyance pipe that gravity feeds the vortex filter. The WFF 150 Filter can filter rainwater to **280 microns** from a collection area up to **5,500 square feet**. The WFF 150 Filter can be installed above or below ground to meet your rainwater harvesting needs.

**FUNCTION:** The WISY WFF 150 Vortex Pre-Filter is used where multiple downspouts are connected together by a single conveyance pipe that gravity feeds the vortex filter to remove debris or particulate larger than 280 microns. The WFF 150 can be installed above or below ground – indoors or outdoors. An appropriately sized drain must be provided for the 6” outlet of the Vortex Filter for both indoor and outdoor installations. Because the Vortex Pre-Filter is part of the conveyance system used to remove rainwater from a roof area the filter must be sized according to flow rates to ensure safe roof drainage is achieved. See the Flow Rate Table below to determine the correct size filter for your rainwater harvesting system.

Table for max flow rates using the WISY Pre-Filter System, according to DIN EN 12056\*:

The maximum flow rates apply for a conveyance system with a max slope of 1% and a max pipe fill level of 70%.	<b>WFF100:</b>	<b>66 GPM</b>
	<b>WFF150:</b>	<b>202 GPM</b>
	<b>WFF300:</b>	<b>1,277 GPM</b>

The WISY WFF 150 Vortex Filter is the only commercial vertical filter made in the world and provides the highest quality of rainwater with minimal maintenance. Because of the vertical design, the filter has a self cleaning effect so dirt and debris are discharged from the filter along with excess water necessary to carry debris to storm or grade.

Because the filters works on capillary action, there are no baskets to clean or additional sprayers that require water and electricity necessary to “rinse” the filter. The filter should be inspected two to three times a year to ensure the natural flow of water in the filter is not obstructed. The stainless steel filter inserts need to be cleaned once or twice a year by hand cleaning with a mild detergent and soft brush. Depending on the debris filtered, additional cleanings may be necessary to maximize efficiency.

**EFFICIENCY of the WISY PRE-FILTER SYSTEM**

WISY estimates the average efficiency of the WFF 150 Vortex Pre-Filter is 90% which applies to 99% of precipitation events in Germany and Central Europe. Although the precipitation rates and events vary across the United States the efficiency (hydraulic efficiency) chart shown below shows the efficiency of each of the Vortex Pre-Filter.



## Anexo B. Filtros multietapas



### HYDRA RAINMASTER

Exclusivos filtros multi-etapa DUO y TRIO, equipados con prefiltro autolimpiante y cartuchos de post-filtración y tratamiento de dos o tres etapas, diseñados específicamente para la filtración y el tratamiento de agua de lluvia

Prefiltro autolimpiante con retrolavado y cartuchos exclusivos: **RAH** malla de acero inoxidable de 90 micras; **RLH** malla de plástico de 90 micras; **RSH** malla de plástico plisada de 50 micras. **LA** modelos con cartucho de post-tratamiento de carbón activado granulas, diseñado para altas prestaciones de clarificación y reducción de olores. Caudal máximo 2.800 L/h a 3 bar. **CB-EC** modelos con cartucho de post-tratamiento “carbón-block”, diseñados para grandes caudales y bajas pérdidas de carga. Caudal máximo 5.500 l/h a 3 bar. Segunda etapa de filtración en los modelos TRIO equipados con cartucho de polipropileno para filtración fina de 5 micras. Modelos para cartuchos de 10”. Racores IN/OUT De ½”, ¾”. Portafiltros suministrados con **Filterfit**: accesorio de centrado especial para cartuchos SX. Todos los modelos incorporan un embudo de descarga para l protección de agua potable contra la contaminación por reflujo, conforme con la norma UNI EN 1717-11/2002.

#### Presión máxima de servicio:

Versiónes BSP 8 bar(116psi)

Versiónes NPT 8.6 bar (125psi)

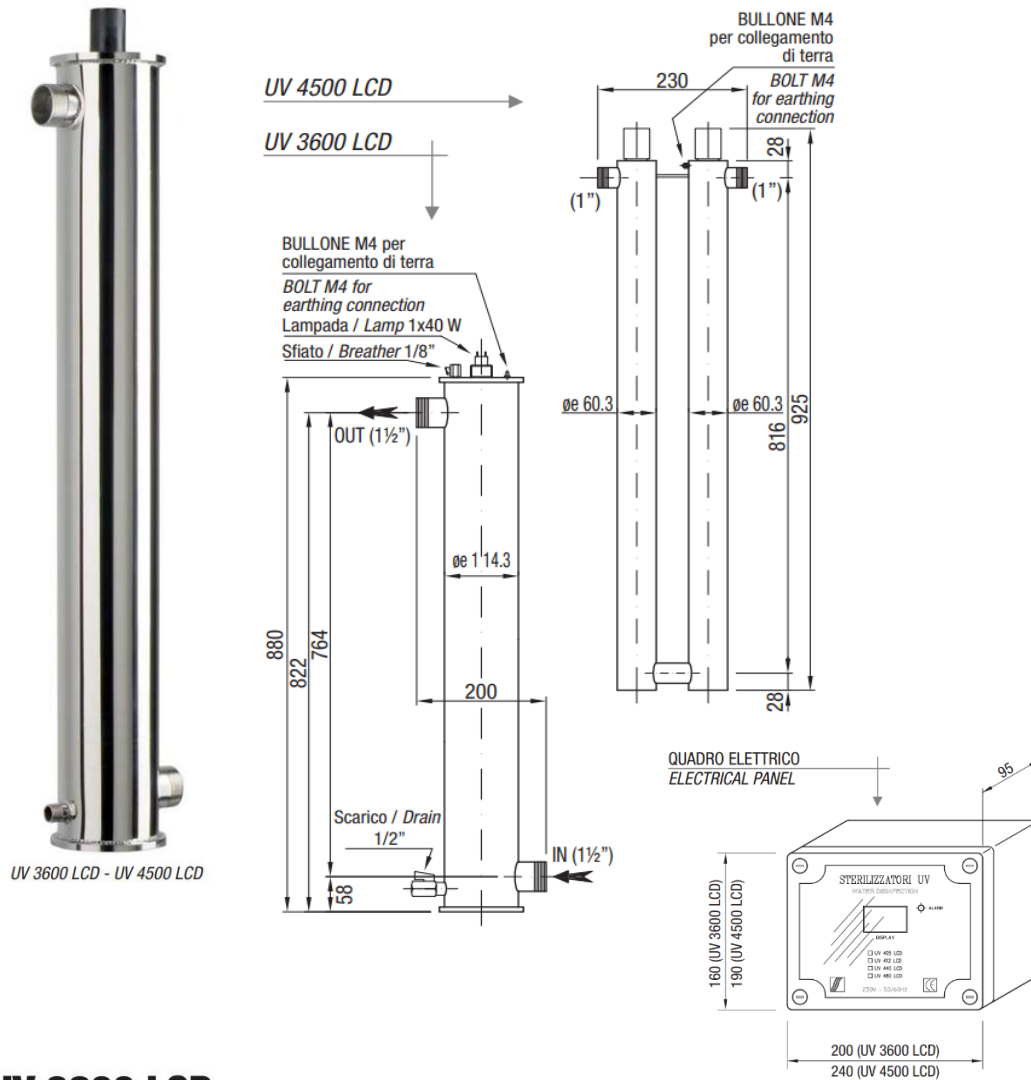
**Temperatura máxima de servicio:** 45°C (113°F).

**Accesorios incluido:** llave, soportes de pared, Filterfit. Accesorios bajo pedido: enterroscas de latón o de plástico, KIT AUTO (kit de descarga automática), Lubrikit.

**Materiales principales:** PP reforzado, PET.



Anexo C. Filtro UV LCD 3600. Atlas filtri.



**UV 3600 LCD**

CARATTERISTICHE	CHARACTERISTICS	COLLETTORE	UV CHAMBER		
portata max	max flow rate	3600 l/h	material	material	AISI 304 - optional AISI 316L
numero lampade	number of lamps	1 x 40 W	IN / OUT	IN / OUT	1" 1/2 M
durata lampada	lamp life-span	9000 ore / hours	scarico e sfiato	drain and breather	1/2" - 1/8"
UV-C dose	UV-C dose	≥ 300 J/m <sup>2</sup>	pressione di lavoro	working pressure	9 bar
consumo elettrico	electrical absorption	40 Wh			
quadro elettrico	electrical panel	LCD / LCD PLUS (pag. 13)			

**UV 4500 LCD**

CARATTERISTICHE	CHARACTERISTICS	COLLETTORE	UV CHAMBER		
portata max	max flow rate	4500 l/h	material	material	AISI 304 - optional AISI 316L
numero lampade	number of lamps	2 x 40 W	IN / OUT	IN / OUT	1" M
durata lampade	lamps life-span	9000 ore / hours	pressione di lavoro	working pressure	9 bar
UV-C dose	UV-C dose	≥ 300 J/m <sup>2</sup>			
consumo elettrico	electrical absorption	80 Wh			
quadro elettrico	electrical panel	LCD (pag. 13)			

Dosaggio calcolato con trasmittanza del 99% a 1 cm - T 20°C - dopo 9000 ore / Dose valid with transmittance 99% at 1 cm - T 20°C - after 9000 hours

**Anexo D. Hidroneumáticos Truper 19395.**



**Antes de usar este equipo hidroneumático, debe leer el instructivo**

**Advertencia** Lea y siga todas las instrucciones de seguridad y operación para reducir riesgos de daños personales y daños al equipo

Modelo:	HIDRO-1-1/2X24	HIDRO-1X24
Código:	19395	19396

Usted necesitará el instructivo para checar las reglas de seguridad y precaución, instrucciones de ensamble, procedimientos de mantenimiento y operación, lista y diagrama de partes. Mantenga su factura junto con este instructivo. Escriba el número de factura en la parte interna de la cubierta frontal. Guarde el instructivo y la factura en un lugar seco y seguro para futuras referencias.

**CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS:**

*HIDRO-1-1/2X24 19395*

Tensión: 120 V~ Frecuencia: 60 Hz Potencia: 1 120 W (1 1/2 Hp) Corriente: 8,3 A Velocidad: 3 450 r/min  
 Altura máxima: 42 m Flujo máximo: 60 L/min Capacidad del tanque: 24 L Máxima profundidad: 8 m Diámetro de entrada / salida: 1-11,5 NPT

*HIDRO-1X24 19396*

Tensión: 120 V~ Frecuencia: 60 Hz Potencia: 746 W (1 Hp) Corriente: 6,5 A Velocidad: 3 450 r/min Altura máxima: 38 m Flujo máximo: 53 L/min Capacidad del tanque: 24 L Máxima profundidad: 8 m Diámetro de entrada / salida: 1-11,5 NPT

Ciclo de trabajo: 50 min de trabajo x 20 min de descanso. Máximo diario 6 horas. El cable de alimentación tiene sujeta-cables tipo: Y Todos los conductores son: 18 AWG x 3C con temperatura de aislamiento de 105 °C La clase de construcción de la herramienta es: Aislamiento básico Clase de aislamiento: Clase I La clase de aislamiento térmico de los devanados del motor: Clase F.

**NOTA IMPORTANTE:** Si el cable de alimentación se daña, éste debe ser reemplazado por el fabricante o Centro de Servicio Autorizado Truper®, con el fin de evitar algún riesgo de descarga o accidente considerable. El tipo de sujeta-cables empleado para este producto es tipo “Y”. La construcción de este producto está diseñada de manera que su aislamiento eléctrico es alterado por salpicaduras o derramamiento de líquidos durante su operación.



**ADVERTENCIA:** Antes de obtener acceso a las terminales, todos los circuitos de alimentación deben ser desconectados.

**Equipo hidroneumático  
Hydropneumatic pressure boosting system**

746 W	1 120 W
<b>1 Hp</b>	<b>1 1/2 Hp</b>
Potencia / Power	Potencia / Power

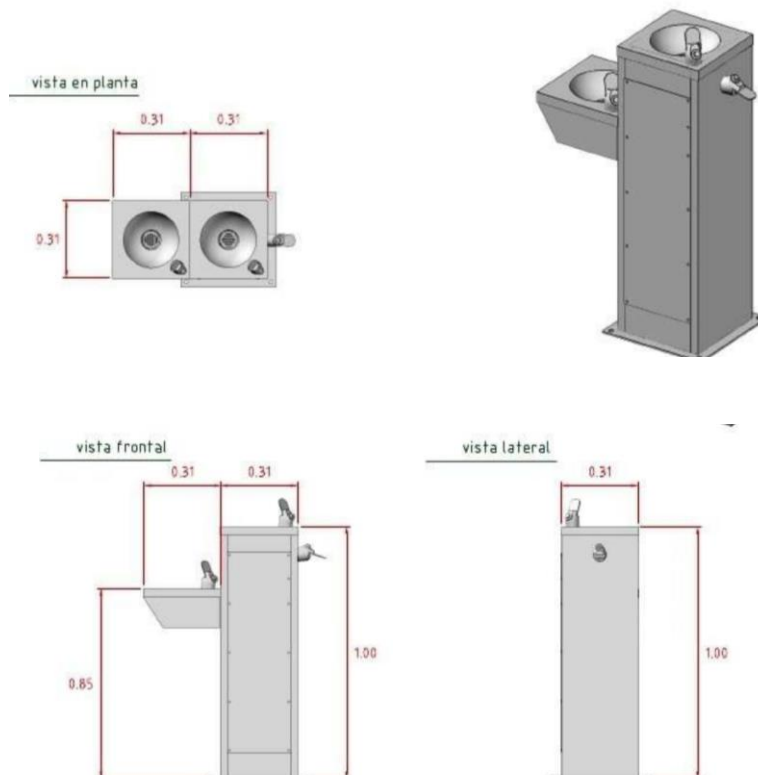
**Anexo E. Beberderos global wáter tech GWB2SS**

- Pestaña perimetral de 0.8 cm. Fijación: Orificio para recibir bebedero de 20 a 29 cm Fijación: Orificio para recibir bebedero de 20 a 29 cm. Fijación: Silicón perimetral y sujeción de cespól.  
Fabricado en acero inoxidable T304, Calibre 20, acabado P3, precisión mínima de operación:20psi, incluye llave con botón cromada, rejilla en acero inoxidable y cespól plástico  
Medidas: 30 cm de diámetro, 6.7 cm. de altura, Cono interno de 22 cm de diámetro, Base para llave de 4 cm. Con escurridor



Integrado por Tarja Semi- Esférica Tipo Ovalín Calibre 18 con contra-rejilla integrada del mismo material, 2 Válvulas para Bebedero con Botón Push Antivandálico, Pedestal Rectangular y 1 Soporte para Ovalín en Calibre 20, Tapa Frontal Desmontable con Tornillos de Seguridad Tipo torx, Botón Lateral para llenado de Botellas, Placa Inferior de Acero al Carbón para Fija con tornillo 3/8”x 2 1/2” y taquete de expansión al Interior del Pedestal. En su Interior puede Instalarse: Sistema de Purificación de Agua de 4 Lts/Min. Disponible en Tres y 5 Etapas.

**Modelo GW B2 SS**



Anexo F “Evaluación de costos”

Concepto	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
	2,017	2,018	2,019	2,020	2,021	2,022	2,023	2,024	2,025	2,026	2,027	2,028	2,029	2,030	2,031	2,032	2,033	2,034	2,035	2,036	2,037	
Ahorro garrafones		9,460	9,460	9,460	9,460	9,460	9,460	9,460	9,460	9,460	9,460	9,460	9,460	9,460	9,460	9,460	9,460	9,460	9,460	9,460	9,460	9,460
Ahorro pozo		1,820	1,820	1,820	1,820	1,820	1,820	1,820	1,820	1,820	1,820	1,820	1,820	1,820	1,820	1,820	1,820	1,820	1,820	1,820	1,820	1,820
Energía eléctrica		6,720	780	780	780	780	780	780	780	780	780	780	780	780	780	780	780	780	780	780	780	780
Reemplazo de pre-filtros		1,227	1,227	1,227	1,227	1,227	1,227	1,227	1,227	1,227	1,227	1,227	1,227	1,227	1,227	1,227	1,227	1,227	1,227	1,227	1,227	1,227
Beneficio total		19,227	13,287	13,287	13,287	13,287	13,287	13,287	13,287	13,287	13,287	13,287	13,287	13,287	13,287	13,287	13,287	13,287	13,287	13,287	13,287	13,287
VP BENEFICIOS		17,48	10,98	9,983	9,075	8,250	7,500	6,818	6,198	5,635	5,123	4,657	4,234	3,849	3,499	3,181	2,892	2,629	2,390	2,173	1,975	
INVERSIONES																						
Sistema de canalización	5,998																					
Sistema de distribución	14,709																					
Sistema de filtración	55,175																					
Sistema de almacenamiento	35,548																					
Sistema de bombeo	28,884																					
Bebederos	100,916																					
Costos totales de inversión	241,23																					
Costos de operación y mantenimiento		3,120	3,120	3,120	3,120	3,120	3,120	3,120	3,120	3,120	3,120	3,120	3,120	3,120	3,120	3,120	3,120	3,120	3,120	3,120	3,120	3,120
Costos totales	241,23	3,120	3,120	3,120	3,120	3,120	3,120	3,120	3,120	3,120	3,120	3,120	3,120	3,120	3,120	3,120	3,120	3,120	3,120	3,120	3,120	3,120
VP COSTOS	241,23	2,836	2,579	2,344	2,131	1,937	1,761	1,601	1,456	1,323	1,203	1,094	994	904	822	747	679	617	561	510	464	
FLUJO NETO DE EFECTIVO	-241,229	16,107	10,167	10,167	10,167	10,167	10,167	10,167	10,167	10,167	10,167	10,167	10,167	10,167	10,167	10,167	10,167	10,167	10,167	10,167	10,167	10,167
FORMULAS	VP BENEFE.	VPB= n+1		VP COSTO	VPC= n+1		VPB	$\Sigma$ VPBn...VPBn+1			VPC	$\Sigma$ VPBn...VPBn+1			VPN	VPB-VPC		B/C	VPB/VPC			