



**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE  
SAN NICOLÁS DE HIDALGO**

---



FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA  
FACULTAD DE BIOLOGÍA

PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS EN  
INGENIERÍA AMBIENTAL

DISEÑO DE UN SISTEMA DE CAPTACIÓN Y APROVECHAMIENTO DE  
AGUA DE LLUVIA, REALIZANDO SU CARACTERIZACIÓN, PARA LAS  
INSTALACIONES DEL C.E.C.T.I. EN LA CIUDAD DE MORELIA.

**TESIS PARA OBTENER EL GRADO DE:  
MAESTRA EN CIENCIAS EN INGENIERÍA AMBIENTAL**

Tesis presentada por:  
INGENIERA CIVIL  
**RUKMINI ESPINOSA DÍAZ**

Director:  
DOCTOR EN INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL  
**LUIS ARMANDO OCHOA FRANCO**

Co - Director:  
DOCTOR EN INGENIERÍA AMBIENTAL  
**EZEQUIEL GARCÍA RODRIGUEZ**

Agosto 2015 Morelia, Michoacán

---

## Índice

Índice de figuras.....	III
Índice de tablas.....	IV
Resumen.....	VI
Abstract.....	VII
<b>1. Introducción.....</b>	<b>1</b>
<b>2. Marco teórico.....</b>	<b>2</b>
2.1. Antecedentes.....	2
2.2. Situación actual.....	4
2.2.1. Norteamérica.....	4
2.2.2. Europa.....	5
2.2.3. Asia.....	6
2.2.4. Australia.....	7
2.2.5. África.....	7
2.2.6. México.....	8
2.3. Riesgos a la salud.....	9
2.3.1. Aluminio.....	9
2.3.2. Cromo.....	11
2.3.3. Zinc.....	13
<b>3. Justificación.....</b>	<b>15</b>
<b>4. Hipótesis.....</b>	<b>16</b>
4.1. Hipótesis 1.....	16
4.2. Hipótesis 2.....	16
<b>5. Objetivos.....</b>	<b>17</b>
5.1. Objetivo general.....	17
5.2. Objetivos particulares.....	17
<b>6. Alcances y limitaciones.....</b>	<b>18</b>
6.1. Parámetros de evaluación de la NOM-127-SSA1-1994.....	18
6.2. Parámetros de evaluación adicionales a la NOM-127-SSA1-1994.....	19
6.3. Diseño del sistema de captación.....	20
<b>7. Metodología.....</b>	<b>21</b>
7.1. Revisión del marco teórico.....	21
7.2. Etapa experimental. (Artículo publicado para el 9° Congreso Estatal de Ciencia, Tecnología e Innovación, CECTI, Morelia, Michoacán. 1314-1318.).....	21
7.3. Diseño del sistema.....	22

---

7.4. Elaboración de guía para operación y mantenimiento del sistema. ....	22
<b>8. Resultados</b> .....	23
8.1. Análisis de laboratorio .....	23
8.1.1. Muestreo base .....	23
8.1.2. Muestreo en la azotea de las instalaciones .....	28
8.1.3. Muestreo en la azotea de las instalaciones .....	32
8.2. Análisis de resultados de laboratorio .....	32
8.2.1. Coliformes totales.....	32
8.2.2. pH, alcalinidad y conductividad eléctrica .....	33
8.2.3. Parámetros físico-químicos .....	34
8.2.4. Metales.....	34
<b>9. Histórico pluvial</b> .....	35
<b>10. Elementos del diseño del sistema de aprovechamiento del agua</b> .....	37
10.1. Posible uso y aprovechamiento del agua de lluvia captada .....	37
10.1.1. Riego .....	37
10.1.2. Sanitario .....	38
10.2. Superficies de captación.....	38
10.3. Almacenamiento.....	40
10.4. Alternativas del sistema de captación .....	44
10.5. Componentes del tratamiento del agua.....	47
10.5.1. Pre - filtración y separación de primeras lluvias .....	47
10.5.2. Sedimentación .....	50
10.5.3. Filtración secundaria .....	51
10.5.4. Desinfección .....	53
<b>11. Análisis multi-criterio</b> .....	55
<b>12. Diseño final del sistema de captación de agua de lluvia</b> .....	61
12.1. Etapa 1.....	62
12.2. Etapa 2.....	68
12.3. Etapa 3.....	70
<b>13. Conclusiones y recomendaciones</b> .....	73
<b>14. Referencias</b> .....	76
<b>ANEXO A</b> .....	79
<b>ANEXO B</b> .....	85

---

## Índice de figuras

Figura 2-1 Elementos del Chultun (Pino, 2010).....	3
Figura 2-2 Universidad Técnica de Darmstadt. Darmstadt, Alemania. ....	5
Figura 2-3 Rojinson, sistema para la utilización de lluvia a nivel comunitario en Tokio, Japón.....	6
Figura 2-4 Sistema de captación de Isla Urbana.....	8
Figura 7-1 Metodología del trabajo .....	21
Figura 8-1 Resultados de pH de los muestreos de lluvia y azotea, y el límite permisible según la NOM-127-SSA1-1994.....	34
Figura 10-1 Estado actual del jardín del CECTI .....	37
Figura 10-2 Infraestructura en el CECTI .....	38
Figura 10-3 Plano de las superficies de captación .....	39
Figura 12-1 Diagrama de flujo del tratamiento para el sistema de captación de agua de lluvia en el CECTI.....	61
Figura 12-2 Canaletas de lámina galvanizada .....	64
Figura 12-3 Ubicación del Tlaloque.....	64
Figura 12-4 Filtro de hojas. Fuente: Isla Urbana. ....	65
Figura 12-5 Filtro plisado .....	66
Figura 12-6 Dosificador de cloro Hayward .....	68
Figura 13-1 Tren de tratamiento para uso sanitario.....	75
Figura 7-2 Versión inicial del sistema de recolección de agua de lluvia .....	81
Figura 7-3 Segunda versión del sistema de recolección de agua de lluvia.....	83
Figura 14-1 Instalaciones del CECTI .....	85
Figura 14-2 Área de riego del CECTI.....	86
Figura 14-3 Propuesta para la Etapa 1 .....	87
Figura 14-4 Propuesta para la Etapa 2 .....	88
Figura 14-5 Propuesta para la Etapa 3 .....	89
Figura 14-6 Propuesta completa para el sistema de captación de agua de lluvia para el CECTI.....	90

---

## Índice de tablas

Tabla 6-1 Características microbiológicas .....	18
Tabla 6-2 Características físicas y organolépticas .....	18
Tabla 6-3 Características químicas .....	19
Tabla 6-4 Características físicas y químicas adicionales a la NOM-127-SSA1-1994.....	19
Tabla 8-1 Resultados de los parámetros microbiológicos de lluvia de 9 de Julio de 2014....	24
Tabla 8-2 Resultados de las características físicas y organolépticas de lluvia de 9 de Julio de 2014.....	24
Tabla 8-3 Resultados de las características químicas de lluvia de 9 de Julio de 2014 .....	24
Tabla 8-4 Características físicas y químicas adicionales a la NOM-127-SSA1-1994 de lluvia de 9 de Julio de 2014.....	25
Tabla 8-5 Resultados de los parámetros microbiológicos de lluvia de 3 de Octubre de 2014	25
Tabla 8-6 Resultados de las características físicas y organolépticas de lluvia de 3 de Octubre de 2014.....	25
Tabla 8-7 Resultados de las características químicas de lluvia de 3 de Octubre de 2014....	26
Tabla 8-8 Características físicas y químicas adicionales a la NOM-127-SSA1-1994 de lluvia de 3 de Octubre de 2014.....	26
Tabla 8-9 Resultados de los parámetros microbiológicos de lluvia de 20 de Octubre de 2014.....	27
Tabla 8-10 Resultados de las características físicas y organolépticas de lluvia de 20 de Octubre de 2014.....	27
Tabla 8-11 Resultados de las características químicas de lluvia de 20 de Octubre de 2014	27
Tabla 8-12 Características físicas y químicas adicionales a la NOM-127-SSA1-1994 de lluvia de 20 de Octubre de 2014.....	28
Tabla 8-13 Resultados de los parámetros microbiológicos de azotea de 3 de Octubre de 2014.....	28
Tabla 8-14 Resultados de las características físicas y organolépticas de azotea de 3 de Octubre de 2014 .....	29
Tabla 8-15 Resultados de las características químicas de azotea de 3 de Octubre de 2014	29
Tabla 8-16 Características físicas y químicas adicionales a la NOM-127-SSA1-1994 de azotea de 3 de Octubre de 2014.....	30
Tabla 8-17 Resultados de los parámetros microbiológicos de azotea de 20 de Octubre de 2014.....	30

---

Tabla 8-18 Resultados de las características físicas y organolépticas de azotea de 20 de Octubre de 2014 .....	30
Tabla 8-19 Resultados de las características químicas de azotea de 20 de Octubre de 2014.....	31
Tabla 8-20 Características físicas y químicas adicionales a la NOM-127-SSA1-1994 de azotea de 20 de Octubre de 2014.....	31
Tabla 8-21 Resultados de los parámetros microbiológicos de azotea de 04 de Junio de 2015.....	32
Tabla 8-22 Resultados de los parámetros microbiológicos de azotea de 04 de Junio de 2015.....	32
Tabla 9-1 Precipitación total de 1971 a 2010 para la Cd. Morelia, Mich. (mm/mes).....	35
Tabla 9-2 Precipitación total de 2011 a 2014 para la Cd. de Morelia, Mich (mm/mes).....	35
Tabla 9-3 Promedio ponderado de la precipitación pluvial en la Cd. de Morelia para el periodo de 1791-2014 (mm/mes). .....	36
Tabla 10-1 Número de periodos y su periodo utilizadas en la modelación .....	42
Tabla 10-2. Modelación pluvial para el sistema de captación pluvial en el CECTI considerando riego y uso sanitario. ....	43
Tabla 10-4. Modelación pluvial para uso exclusivo de riego del sistema de captación pluvial en el CECTI. ....	45
Tabla 11-1 Evaluación de criterios del personal del CECTI .....	57
Tabla 11-2 Porcentaje promediado a base de la encuesta de la tabla 11-1.....	58
Tabla 11-3. Evaluación a base de multi-criterio para el sistema propuesto.....	58
Tabla 11-4. Evaluación a base de multi-criterio para el sistema propuesto para cada etapa.59	
Tabla 12-1. Modelación pluvial para el sistema de captación (no incluye uso sanitario) segunda etapa....	69
Tabla 12-3. Modelación pluvial para el sistema de captación (no incluye uso sanitario) tercera etapa....	71

---

## Resumen

Bajo la consideración de que la captación de agua de lluvia va siendo cada vez más pertinente, colaborando para la no sobreexplotación de acuíferos y aliviando la carga técnica y administrativa de las autoridades a cargo del suministro, así como también a la población en general, en el presente trabajo se reportan los resultados de medición de calidad del agua de lluvia captada directamente, además de la calidad de la misma una vez que ésta escurre por las azoteas de las instalaciones del Consejo Estatal de Ciencia, Tecnología e Innovación (CECTI) en la Ciudad de Morelia. La intención de estas mediciones fue la caracterización de la calidad del agua de lluvia en la zona de la Ciudad de Morelia (Calzada Juárez frente al Zoológico). Con esto se logró hacer una propuesta para captación y aprovechamiento de agua pluvial, cuyo resultado final consistió en el diseño de un sistema de captación, almacenamiento y tratamiento del agua de lluvia para el CECTI.

Palabras clave.

Captación, Aprovechamiento, Agua, Lluvia, Caracterización

---

---

---

## **Abstract**

Considering that rain water catchment is being more relevant each day and collaborating towards the no-overexploitation of aquifers, relieving in this way the technical and administrative load of water supply authorities, as well as the people, this work presents results of rain water quality as well as that of rain water draining from the roof of the State Council of Science, Technology and Innovation (CECTI). The aim of these measurements was to characterize the rain water quality in the above mentioned zone (Juarez Ave., besides the Zoo, Morelia). From this, it is made a proposal for catching and using rain water, with the outcome of designing a catching, saving and treatment system of rain water for CECTI.



---

## **1. Introducción**

La escasez de agua potable en nuestro país cada vez es más latente. En la ciudad de Morelia no es la excepción ya que en varias colonias de la ciudad el reparto de agua se hace por tandeo debido a que las fuentes disponibles de agua superficial ya están utilizadas y en fuentes subterráneas, como pozos profundos, existe sobreexplotación de acuíferos y por lo tanto la disminución del vital líquido. Aunado a lo anterior las continuas inundaciones en época de lluvia hacen estragos en la ciudad y muchas veces la razón de este suceso es debido al exceso de agua que circula en la red de alcantarillado, que muchas veces sobrepasa el gasto para el cual fue diseñado y a los taponamientos por basura en las calles.

A todo lo anterior se le pueden sumar los diversos problemas sociales, ambientales y económicos relacionados con el modelo hidráulico actual, y que conlleva a una insustentabilidad de dicho modelo que nos podría llevar al colapso. Cabe mencionar que la crisis en la mayoría de los casos es un problema del mal manejo del recurso y no propiamente de la escasez.

En este trabajo se presentará una propuesta para captación y aprovechamiento pluvial enfocado desde la Ingeniería Ambiental, que pretende promover dicha actividad para ejemplificar la minimización del impacto y sobreexplotación en mantos acuíferos de la Ciudad de Morelia y lograr que la población de la ciudad tenga agua potable de calidad, por lo cual se diseñará una propuesta de captación y aprovechamiento pluvial aplicada a las instalaciones del Consejo Estatal de Ciencia, Tecnología e Innovación, por sus siglas CECTI, basado en la demanda y uso que se le destinará al agua, haciendo uso de tratamientos primarios, secundarios y terciarios. Adicionalmente se caracterizará el agua de lluvia de la región a través de muestras analizadas en el laboratorio, con lo cual la comunidad interesada en el uso del agua de lluvia en esa zona tendrá una base de diseño.

---

## 2. Marco teórico

En este capítulo se desarrolla un marco teórico general sobre la captación y uso de lluvia que sirve de referencia para el resto del trabajo.

### 2.1. Antecedentes

A lo largo de la historia, el hombre ha necesitado de un suministro de agua para su alimentación, seguridad y bienestar, es por ello que ha aprovechado el agua superficial como primer recurso, sin embargo el crecimiento demográfico acelerado, el manejo y uso de recursos de manera desmedida y actualmente la industria y la agricultura, han obligado al ser humano a hacer uso de técnicas diferentes, como es la captación de agua de lluvia.

No se sabe con exactitud el origen de los sistemas de captación de agua de lluvia, sin embargo, se han descubierto sistemas de captación de lluvia en el Desierto de Negev, en Israel, Jordania y Yemen que datan de 4.000 años o más (Ver fig. 2-1). Estos sistemas consistían en el desmonte de lomeríos para aumentar la escorrentía superficial, que era entonces dirigida a predios agrícolas en las zonas más bajas (Ballén, 2006).



*Figura 2-1. Cisterna a cielo abierto para la recolección de agua lluvia. Yemen. Fuente: LAUREANO, Pietro.*

En Baluchistan, en la India, hay evidencia de estructuras de piedra para embalse de agua de lluvia, que datan del tercer milenio a.C. (Gould y Nissen-Petersen, 1999).

---

En México, particularmente en la península de Yucatán, durante la época prehispánica, los Mayas y los Toltecas aprovecharon los cenotes y las cuevas de formación natural, como medio de captar y almacenar el agua de lluvia, (Duran, 2010). Los sistemas de almacenamiento utilizados como pozos, hondonadas y depósitos subterráneos fueron denominados Chultunes. Dichos sistemas tenían dos funciones, una como cisternas para almacenar el agua de lluvia y otra como silos para guardar diversos granos alimenticios (Ver fig. 2-2)



*Figura 2-1 Elementos del Chultun (Pino, 2010)*

En la meseta de Loess, en la provincia de Gansu en China se han hallado pozos y jarras para la captación de lluvia con más de 2000 años de antigüedad (García, 2012).

En Irán siguen existiendo los abarbans, que son los sistemas tradicionales locales para la captación y almacenamiento de la lluvia (García, 2012).

Sin embargo, y a pesar del uso constante siglos atrás de los sistemas de captación de agua de lluvia fue decreciendo su uso, debido a la implementación de diversas tecnologías y métodos como la perforación de pozos en el caso de agua subterránea y presas para agua superficial. En muchos países como la India se han impuesto estas tecnologías y métodos y han obligado a los nativos a abandonar sus métodos tradicionales de abastecimiento de agua.

---

## 2.2. Situación actual

Hoy en día debido a la escasez de agua ya sea por mal manejo y/o alta contaminación en cuerpos de agua, el ser humano ha optado por retomar la captación de agua de lluvia como una vía sustentable ante el cambio climático, dicho cambio climático hace referencia a cambios tales como los parámetros climáticos: temperatura, precipitaciones, nubosidad, entre otros.

México será uno de los países más afectados y en 50 años tendrá una disminución de la precipitación del orden del 60 %. Algunas conclusiones de estos estudios hacen referencia al hecho de que tal situación no permitirá atender el reto del suministro de agua para todos, la escasez de agua crecerá para el año 2025 y más de la mitad de la población mundial estará en condiciones de severa escasez (Duran, 2010).

Por esta razón, la captación y aprovechamiento pluvial alrededor del mundo se está viendo como una solución sustentable para resolver diversos problemas de abasto que sufren las grandes metrópolis y aunado a la creciente población de éstas, además del reto que está suponiendo un clima inestable, de fenómenos cada vez más intensos e impredecibles.

A continuación se hace mención de diversos países y grupos sociales que han emprendido dicha tarea, implementando métodos y tecnologías para hacer de dichos sistemas, algo más eficiente y sobre todo sustentable.

### 2.2.1. Norteamérica

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

---

Como parte de un programa piloto para la conservación del agua, en Vancouver se entrega un subsidio para la compra de tanques plásticos de 75 galones que permitan almacenar el escurrimiento pluvial. Se utilizan para recolectar el agua de lluvia proveniente de los techos que luego es utilizada para regar los jardines, actividad que demanda alrededor del 40% del suministro de agua durante el verano. Algunas proyecciones indican que cada tanque podría ahorrar cerca de 1.300 galones de agua durante los meses de verano, cuando la demanda de agua es más alta.

### 2.2.2. Europa

La escasez de agua es un fenómeno cada vez más frecuente y preocupante que afecta a no menos del 11 % de la población europea y al 17 % del territorio de la Unión. El aprovechamiento del agua de lluvia en Europa, se debe principalmente al elevado precio del agua en muchos países: Entre más alta es la tarifa mejor la amortización. Existen programadas muy fuertes y apoyos para la aplicación de tecnologías en Austria, Suiza, y Bélgica, siendo Alemania en donde más se ha desarrollado la captación de agua.

En el centro académico de la Universidad Técnica de Darmstadt (Ver fig. 2-3), se instaló un mega sistema de recolección de agua de lluvia y reúso que ha reducido la demanda de agua potable tan solo para beber, tomando del servicio público 20% del líquido utilizado. El agua de lluvia es aprovechada para los sanitarios, limpieza de superficies y enfriamiento.

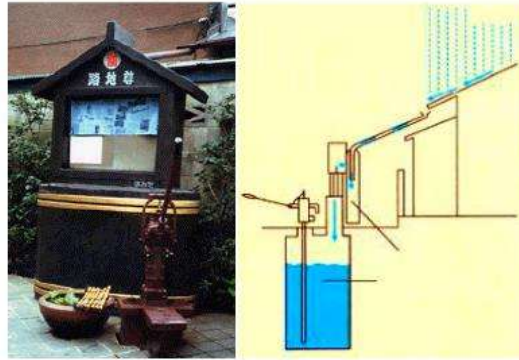


*Figura 2-2 Universidad Técnica de Darmstadt. Darmstadt, Alemania.*

---

### 2.2.3. Asia

Las ciudades de China, India y Japón, están enfrentando la escasez en el suministro, razón por la cual están viendo en el agua de lluvia una solución determinante (Ver fig. 2-4)



*Figura 2-3* Rojinson, sistema para la utilización de lluvia a nivel comunitario en Tokio, Japón

En Tokio, Japón, el aprovechamiento de lluvia es promovido para mitigar la escasez de agua, controlar las inundaciones y asegurar agua para emergencias. A nivel comunitario se están implementando instalaciones llamadas Ronjinson, que están introduciendo a la población en la el aprovechamiento pluvial (García, 2012).

En Bangladesh se detuvo la intoxicación por arsénico con la utilización de sistemas de captación de agua de lluvia para uso doméstico.

En la República Popular de China se resolvió el problema de abastecimiento de agua a cinco millones de personas con la aplicación de tecnologías de captación de agua de lluvia en 15 provincias después del proyecto piloto “121” aplicado en la región de Gainsu, el proyecto apoya económicamente a cada familia para construir un sistema de recolección de agua, dos sitios de almacenamiento y un terreno adecuado para cultivar. Este proyecto ayuda a suministrar agua a 1.2 millones de personas y 1.18 millones de cabezas de ganado (García, 2012).

---

#### 2.2.4. Australia

La escasez de agua es en gran parte del país por lo que la captación de agua de lluvia se ha convertido en un requisito así como la instalación de tanques para almacenamiento se ha vuelto obligatorio en las nuevas construcciones. En algunos estados de Australia se han dado grandes pasos para promover una legislación que lleve a la eficiencia en el uso de agua.

En Sídney y Nuevo Sur Gales, el Índice para Construcciones y Sustentabilidad (BASIX por sus siglas en inglés) propone un 40% de reducción en el uso de agua del suministro público, propone utilizar sistemas ahorradores y captación de agua de lluvia. En los juegos olímpicos de Sídney 2000 se aplicaron sistemas de captación de agua de lluvia para su reúso en los excusados de la villa olímpica.

Queens land, ofrece un descuento de 1,500 dólares a las personas que instalen sistemas de captación de agua de lluvia en sus casas.

#### 2.2.5. África

Cada vez se utilizan más sistemas para la captación de agua de lluvia en este continente, a pesar de que se enfrentan a problemas como: precipitación estacional y escasa, menor número y tamaño de las cubiertas impermeables, alto costo y dificultad para encontrar los materiales y mayores costos de la construcción e implementación de los sistemas, alta concentración de pobreza que imposibilita la obtención de recursos y tecnología necesaria para construcción y operación de un sistema de acueducto adecuado.

Kenia lleva esta práctica desde finales de 1970, han construido miles de sistemas de captación promovidos por constructores locales llamados “fundis” que se encargan de diseñar distintas estrategias y retomar prácticas tradicionales para aprovechar el agua de lluvia.

Muchos países son pobres en términos de recursos hídricos, tal es el caso de Zimbabue, su precipitación anual se estima en alrededor de 650 mm, la cual ocurre fundamentalmente entre los meses de noviembre y marzo, con el resto del año

---

virtualmente seco. Los pobladores han utilizado tradicionalmente una técnica de captación denominada Fanya juus que, aunque originaria de Kenia, ha sido ampliamente utilizada. Ésta consiste en hacer canaletas de 50 a 60 cm de profundidad en la tierra que conducen a un sistema de almacenamiento que, a su vez, está conectado con cultivos locales para ser regados. Los sistemas de captación de agua de lluvia en este país, sean estos tradicionales o más sofisticados, se encuentran fundamentalmente relacionados con el uso agrícola ya que alrededor del 76% de los habitantes consideran esta actividad como su principal fuente de ingresos.

#### 2.2.6. México

Isla urbana es un proyecto del Instituto Internacional de Recursos Renovables, AC, y Fundación Temo, dedicado a desarrollar una solución al problema de agua en México, el cual se enfoca en llenar la zona del Ajusco medio en Tlalpan de sistemas de captación de agua de lluvia. El proyecto empezó en el 2009 con grupo de jóvenes de la colonia Cultura Maya en el Ajusco medio en Tlalpan y los cuales comenzaron a instalar sistemas de captación de lluvia con sus vecinos.

Isla urbana también instala sistemas de captación en los pueblos del Ajusco, a las afueras de la ciudad (Ver fig. 2-5), debido a los graves problemas de abastecimiento de agua que presentan estas comunidades, además ofrece también talleres, capacitaciones, y eventos comunitarios para difundir el conocimiento de la captación pluvial en México y promover una cultura de uso de agua sustentable.



Figura 2-4 Sistema de captación de Isla Urbana

Como parte de las investigaciones de la Universidad Autónoma de México en el 2012 se publicó una tesis de maestría en el área ambiental que lleva por título “Sistema de captación y aprovechamiento pluvial para un ecobarrio de la Cd. De México”, la cual



---

trata de diseñar un sistema de captación y aprovechamiento de agua de lluvia a nivel doméstico, para el Ecobarrio de Santa Rosa Xochiac en la Delegación Álvaro Obregón de la Ciudad de México, escrita por Jesús Hiram García Velázquez, considerando las características del sitio de interés y los resultados de este trabajo para su propuesta en beneficio de los habitantes interesados.

El Instituto Mexicano de Tecnología del Agua IMTA, a través de su Coordinación de Tratamiento y Calidad del Agua ha realizado investigaciones en este campo, ha adecuado tecnologías en comunidades rurales al norte del estado de Morelos para captación y tratamiento de aguas pluviales para uso y consumo.

Particularmente en el estado de Michoacán, en el valle de Coeneo-Huaniqueo, a pesar de que se consideraba como una técnica en desuso, habitantes de esta zona utilizan el entarquinamiento en cajas de agua como sistema de captación de lluvia para producción de lenteja. Ésta es una técnica de riego que consiste en derivar aguas torrenciales hacia parcelas rodeadas de un dique de un 1m a 1.5 m, enlagunando la parcela. La caja permanece anegada hasta por tres meses y en ella se realiza el cultivo aprovechando la humedad acumulada en el suelo.

### **2.3. Riesgos a la salud**

La captación de agua de lluvia para consumo humano debe ser de manera responsable, ya que la implementación de un sistema no radica solo en la colocación de éste, sino también en la calidad del agua que éste proporcione. Por tal motivo, es importante que el lector tenga presente el posible riesgo de salud que algunos contaminantes, como los metales traza, pueden ocasionar.

#### **2.3.1. Aluminio**

El aluminio es el metal más abundante en la corteza terrestre y se encuentra extensamente distribuido, constituye aproximadamente 8% de la superficie terrestre. El aluminio es una sustancia que se encuentra de manera natural en el ambiente y siempre se encuentra combinado con otros elementos tales como oxígeno, sílice y cloro.

---

## Fuentes naturales y antropogénicas

El aluminio se encuentra naturalmente en el suelo, el agua y el aire. La minería y el procesamiento de minerales de aluminio o la producción de aluminio metálico, aleaciones y otros productos pueden generar cantidades altas de aluminio en el ambiente.

Cantidades pequeñas de aluminio se liberan al ambiente desde plantas de energía que utilizan carbón como combustible e incineradores.

El aluminio metálico se usa para fabricar latas de bebidas, ollas y sartenes, aviones, el exterior de murallas y techos de viviendas y papel de aluminio. El polvo de aluminio metálico se usa a menudo en explosivos y fuegos artificiales. Los compuestos de aluminio tienen muchas aplicaciones importantes en la industria, por ejemplo como alumbres (sulfato de aluminio) en el tratamiento de aguas y alúmina (óxido de aluminio) en abrasivos y revestimiento de hornos. Por otro lado, el aluminio se encuentra en los siguientes productos de consumo:

- antiácidos
- astringentes
- aspirina con cubierta entérica
- aditivos para alimentos
- desodorantes
- cosméticos

## Absorción

Inhalación. Una fracción pequeña del aluminio que se respira entra al cuerpo a través de los pulmones.

Ingestión. El aluminio en los alimentos o el agua entra al cuerpo a través del tubo digestivo. Una fracción extremadamente pequeña del aluminio en los antiácidos será absorbida.

Contacto con la piel. El aluminio puede entrar al cuerpo a través de la piel cuando la piel entra en contacto con aluminio, sin embargo la cantidad de aluminio que entra es extremadamente pequeña.

---

## Efectos a la salud

Si se respiran cantidades altas de polvo de aluminio se pueden desarrollar problemas respiratorios, tales como tos o alteraciones que se detectan en radiografías de tórax.

La ingestión de aluminio generalmente no produce daño, sin embargo “algunos estudios han sugerido que la exposición a cantidades altas de aluminio puede causar enfermedad de Alzheimer, mientras que otros estudios no han encontrado evidencia de que esto ocurra. No se sabe con certeza si la exposición al aluminio produce enfermedad de Alzheimer” (Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2008).

## Eliminación

“La mayoría del aluminio en los alimentos, el agua y los medicamentos abandona rápidamente el cuerpo en las heces. La mayor parte de la porción que pasa a la sangre abandona rápidamente el cuerpo en la orina” (Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2008).

### 2.3.2. Cromo

Hoy en día, el cromo y sus compuestos son muy importantes para diversos usos, como los colorantes. Es importante considerar su toxicidad pues los polvos, humos, vapores y desechos de este metal se esparcen y ocasionan daños desde leves como irritaciones hasta graves como cáncer (Alfaro, 2013, clase de Toxicología Ambiental).

## Fuentes naturales y antropogénicas

El cromo se encuentra en la cromita y otros minerales de la corteza terrestre. Por esto, el cromo siempre ha estado presente en el suelo, el aire y el agua del planeta. En el agua dulce está en concentraciones de 0.1 a 6 mg/L, en el agua de mar, de 0.2 a 50 mg/L y en el suelo de 5 a 1500 mg/kg.

La posible presencia de cromo, ya sea trivalente o hexavalente se puede determinar a partir de sus diferentes usos; “el cromo se usa, sobre todo, en tres industrias: metalúrgica, química y de materiales refractarios. El cromo, en sus formas (III) y (VI), entra al ambiente principalmente a partir de fuentes estacionarias. Por ejemplo,

---

aproximadamente el 64% del total de las emisiones atmosféricas de cromo en EE.UU es cromo (III) que procede de la producción de acero y de la combustión (comercial e industrial) de diversos combustibles, mientras que cerca del 32% es cromo (VI) que proviene de la fabricación de productos químicos, de las actividades de cromado y de las torres de enfriamiento en las que se usan cromatos como inhibidores de la corrosión” (Palacios *et al*, 1997). Otras fuentes antropogénicas importantes de cromo son la extracción de compuestos de cromo a partir de la cromita, la industria química, colorantes, pigmentos, plaguicidas, cromado electrolítico o galvanoplastia, curtido de cueros y pieles y usos menores como conservación de la madera, cerámica metálica, fotograbado, fabricación de explosivos, etc.

### Absorción

**Inhalación.** Cuando se respira aire que contiene cromo, cierta cantidad de cromo entrará al cuerpo a través de los pulmones. Algunas formas de cromo pueden permanecer en los pulmones durante años.

**Ingestión.** Un pequeño porcentaje del cromo que se ingiere entrará al cuerpo a través del tubo digestivo. Cuando los compuestos de cromo se ingieren por largo tiempo causan irritaciones, úlceras, hepatitis, etc.

**Contacto cutáneo.** Cuando la piel entra en contacto con cromo, pequeñas cantidades de cromo entrarán al cuerpo. El ácido crómico y sus sales tienen acción corrosiva sobre la piel y las membranas mucosas.

### Efectos a la salud

Dependiendo del tipo de absorción que se presenten en el organismo, los efectos a la salud son diversos, para la inhalación van desde irritaciones del revestimiento del interior de la nariz, secreción nasal, y problemas para respirar (asma, tos, falta de aliento, respiración jadeante); para el caso de ingesta de cromo (VI), principalmente afecta al estómago e intestino delgado (irritación y úlceras) y a la sangre (anemia). Los compuestos de cromo (III) son mucho menos tóxicos y parecen no causar estos problemas, ya que el cromo es una sustancia nutritiva que el cuerpo requiere y se

---

encuentra presente en los alimentos, normalmente se encuentra cromo en la sangre, la orina y en tejidos del cuerpo.

Sin embargo, la “Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) ha determinado que los compuestos de cromo (VI) son carcinogénicos en seres humanos. El undécimo Informe sobre Sustancias Carcinogénicas del Programa Nacional de Toxicología clasifica a los compuestos de cromo (VI) como sustancias reconocidas como carcinogénicas en seres humanos” (Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2012).

### Eliminación

El cromo (VI) es transformado a cromo (III) en el cuerpo. El 80% de los compuestos de cromo se eliminan por la orina y el resto por heces, cabello, uñas y leche, aunque parte puede permanecer en las células durante años.

### 2.3.3. Zinc

El zinc es uno de los elementos más comunes en la corteza terrestre, se encuentra en el aire, el suelo y el agua, y está presente también en todos los alimentos.

### Fuentes naturales y antropogénicas

El zinc metálico tiene muchos usos en la industria. Un uso común es para revestir hierro y otros metales con el objeto de prevenir el enmohecimiento y la corrosión; este proceso se conoce como galvanización. El zinc metálico también se mezcla con otros metales para formar aleaciones tales como el latón y bronce. El zinc metálico también se usa para fabricar compartimentos de baterías secas.

El zinc puede combinarse con otros elementos, como el cloro, oxígeno y azufre para formar compuestos de zinc, pueden encontrarse compuestos de zinc en sitios de desechos peligrosos por ejemplo, el cloruro de zinc, óxido de zinc, sulfato de zinc y sulfuro de zinc.

La mayor parte del mineral de zinc que se encuentra naturalmente en el ambiente está en la forma de sulfuro de zinc. El sulfuro de zinc y el óxido de zinc se usan para fabricar

---

pintura blanca, cerámicas y otros productos, el óxido de zinc se usa también en la manufactura de caucho; algunos compuestos del zinc como el acetato de zinc, cloruro de zinc y sulfato de zinc se usan para preservar madera y en la manufactura de colorantes para telas; el cloruro de zinc es también el ingrediente principal en el humo de bombas de humo. Cabe mencionar que los compuestos de zinc son también usados por la industria farmacéutica como ingredientes en algunos productos comunes como por ejemplo, suplementos vitamínicos, bloqueadores de sol, ungüentos para salpullidos causados por pañales, desodorantes, preparaciones para curar pie de atleta, preparaciones para tratar acné e hiedra ponzoñosa y champús para la caspa.

### Absorción

El zinc puede entrar al cuerpo a través del sistema digestivo cuando se ingieren alimentos o agua que lo contienen. El zinc a su vez también puede entrar a través de los pulmones si se inhala polvos o vapores de zinc provenientes de fundición de zinc o derivado de soldar con zinc. La ruta de exposición más probable cerca de sitios de desechos es a través de la ingestión de agua contaminada con zinc.

### Efectos a la salud

“La ingestión de demasiado zinc a través de los alimentos, el agua o suplementos dietéticos también puede afectar la salud. Los niveles de zinc que producen efectos adversos son mucho más altos que la ingesta diaria de zinc que se recomienda (RDA) de 11 mg/día para hombres y 8 mg/día para mujeres. La ingestión de dosis muy altas de zinc (10 a 15 veces más altas que la RDA), aun durante un período breve, puede producir calambres estomacales, náusea y vómitos. La ingestión de niveles altos de zinc durante varios meses puede producir anemia, daño del páncreas y disminución del tipo de colesterol beneficioso (HDL) en la sangre” (Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2005).

### Eliminación

El zinc es almacenado en el cuerpo y después de la exposición al zinc, la cantidad de zinc en la sangre y en los huesos aumenta rápidamente. El zinc puede permanecer en los huesos durante varios días después de la exposición; habitualmente, el zinc abandona el cuerpo en la orina y las heces.

---

### **3. Justificación**

Ninguna de las actividades básicas humanas, como la alimentación, la salud, la educación, la higiene, el trabajo o la vivienda pueden ser satisfechas sin abastecimiento de agua potable de calidad y en cantidad suficiente, tal como lo dice (García, 2012). Por lo cual, el aprovechar el agua pluvial no solo minimizará el impacto sobre el medio ambiente sino que también se pretende minimizar el impacto económico en la región y mejorar la salud de la población. Así también, no olvidemos que el agua y la energía son dos recursos que están estrechamente relacionados uno con el otro, por lo que ambos son igualmente necesarios para una vida con calidad. “Usamos agua para ayudarnos a producir energía que necesitamos, y el proceso de purificar y transportar el agua potable requiere de grandes cantidades de energía. Por lo tanto, ahorrar agua potable debería resultar en un ahorro de energía.” (Gleick, 1993; Chiu *et al*, 2009, citado por Arroyo, 2010).

El lugar de estudio, CECTI, se ubica al Sur de la Ciudad de Morelia, frente al Zoológico. Se diseñará el sistema de captación y aprovechamiento pluvial en dichas instalaciones con el objetivo de cubrir en lo posible las necesidades de los usuarios y contribuyendo a la mitigación de la contaminación e impacto del agua al ambiente de una manera sustentable. Cabe mencionar que el CECTI cuenta con una serie de limitaciones técnicas, operativas y económicas, que consisten el poco personal disponible y no capacitado para operar un sistema de captación, y poco recurso disponible para la implementación de cualquier tipo de proyecto a gran escala.

La propuesta para captación y aprovechamiento pluvial, pretende que dicha actividad ejemplifique un camino que intrínsecamente minimice el impacto y sobreexplotación de los mantos acuíferos de la ciudad de Morelia, además de que la población de la ciudad Morelia tenga agua potable de calidad, igualmente y no menos importante que al definir la calidad de la lluvia en la región, facilite la generación de proyectos para que la población de la ciudad Morelia tenga agua potable de calidad.

---

## **4. Hipótesis**

### **4.1. Hipótesis 1**

El agua de lluvia en el sitio de estudio (instalaciones del CECTI), tiene la suficiente calidad para su aprovechamiento con un tratamiento sencillo.

### **4.2. Hipótesis 2**

La proximidad con el zoológico de Morelia afectará negativamente el agua de lluvia en el CECTI, en particular con el parámetro de *coliformes totales*.



---

## **5. Objetivos**

Se presentan los objetivos generales y particulares de este trabajo.

### **5.1. Objetivo general**

Evaluar la calidad del agua de lluvia (en una locación de la Ciudad de Morelia) con base en algunos parámetros primordiales de la NOM-127-SSA1-1994 (subcapítulo 6.1), que establece los límites permisibles del agua para uso y consumo humano, además de diseñar un sistema de captación y aprovechamiento de agua de lluvia para las instalaciones del CECTI, tomando en cuenta las características de la zona de estudio, así como las necesidades de los usuarios.

### **5.2. Objetivos particulares**

5.2.1. Recopilación documental de las características de la precipitación pluvial en la zona de estudio.

5.2.2. Definir los componentes del sistema y evaluar el tratamiento, para mantener y mejorar las características del agua de lluvia que escurre por un techo de captación y el tratamiento para conservarla dentro de la norma para el caso de estudio.

5.2.3. Diseñar un sistema de aprovechamiento pluvial que sea automático, escalable, flexible y accesible, con base en las evaluaciones y el uso que se destinará al agua para el caso de estudio.

5.2.4. Se buscará que el actual trabajo se aproveche como un antecedente y referente para posteriores instalaciones, mantenimientos y buenas prácticas que permita mejorar, implementar y replicar el sistema de captación diseñado.

---

## 6. Alcances y limitaciones

Primeramente se hará una revisión documental del régimen pluviométrico de la región, posteriormente se realizará un muestreo *in-situ* para determinar la calidad de agua de lluvia. Esta parte del trabajo servirá de referencia para trabajos de aprovechamiento pluvial en la región.

La evaluación de la calidad del agua se hará conforme en algunos parámetros establecidos en la NOM-127-SSA1-1994 que se muestran a continuación, además de algunos parámetros adicionales que se mencionan en la tabla 6.4.

Cabe mencionar que el objetivo principal de la evaluación de la calidad del agua de lluvia es para uso y consumo humano, por tal razón se analiza con base a los parámetros de la norma ya mencionada y no se hace la caracterización físico-química completa del agua.

Una vez concluido lo anterior, se diseñará un sistema de captación y aprovechamiento pluvial para las instalaciones del CECTI en la ciudad de Morelia, Michoacán. El diseño propuesto se ajustará a las condiciones estudiadas, calidad del agua según su uso y factibilidad técnica-económica.

Para el diseño del sistema de aprovechamiento se busca proponer más de una alternativa, con el fin de que el usuario tenga opciones y escoja la que mejor se adapte a sus necesidades y presupuesto; además de lo anterior se buscará realizar un análisis multi-criterio.

### 6.1. Parámetros de evaluación de la NOM-127-SSA1-1994

*Tabla 6-1 Características microbiológicas*

CARACTERÍSTICA	LÍMITE PERMISIBLE
Organismos coliformes totales	Ausencia o no detectables

*Tabla 6-2 Características físicas y organolépticas*

CARACTERÍSTICA	LÍMITE PERMISIBLE
Color	20 unidades de color verdadero en la escala platino-cobalto
Turbiedad	5 unidades de turbiedad nefelométricas (UTN) o su equivalente en otro método.

Tabla 6-3 Características químicas

CARACTERÍSTICA	LÍMITE PERMISIBLE
Aluminio	0.20
Arsénico	0.025
Bario	0.70
Cadmio	0.005
Cloruros (como Cl <sup>-</sup> )	250.00
Cobre	2.00
Cromo total	0.05
Dureza total (como CaCO <sub>3</sub> )	500.00
Fierro	0.30
Manganeso	0.15
Mercurio	0.001
pH (potencial de hidrógeno) en unidades de pH	6.5 a 8.5
Plomo	0.01
Sodio	200.00
Sólidos disueltos totales	1000.00
Sulfatos (como SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> )	400.00
Zinc	5.00

**Nota 1:** Los límites se expresan en mg/L, excepto cuando se indique otra unidad.

## 6.2. Parámetros de evaluación adicionales a la NOM-127-SSA1-1994

Tabla 6-4 Características físicas y químicas adicionales a la NOM-127-SSA1-1994.

CARACTERÍSTICAS
Temperatura
Conductividad eléctrica
Oxígeno disuelto
Acidez
Alcalinidad total (como CaCO <sub>3</sub> )
Sólidos totales
Sólidos suspendidos totales
Sólidos fijos totales

---

### **6.3. Diseño del sistema de captación**

Por otro lado el alcance con respecto al diseño fue a partir de la evaluación de usos y consumos de agua potable en las instalaciones del CECTI, además de las restricciones en el área de captación y el volumen de almacenaje ya que estas últimas dos condiciones delimitaran el alcance del sistema de captación de agua de lluvia. Por esta razón se tomará suma importancia en las opiniones de los usuarios en base a un análisis multi-criterio para poder determinar la mejor opción para el CECTI.

---

## 7. Metodología

Se presenta la metodología completa que se seguirá para la realización de este trabajo como se muestra en la figura 7-1, cabe mencionar que el apartado 7.2. se presenta de manera de artículo ya que se elaboró primeramente a manera de protocolo.

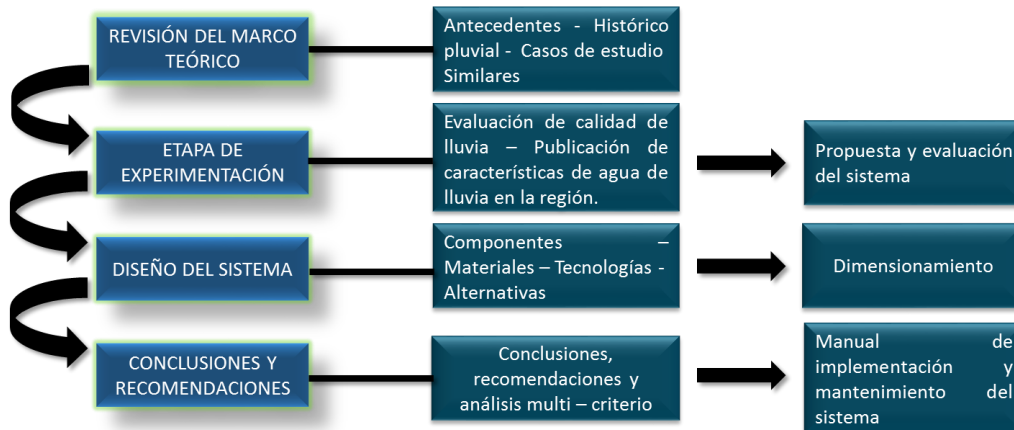


Figura 7-1 Metodología del trabajo

### 7.1. Revisión del marco teórico.

Revisión de literatura relacionada, información oficial, historia, antecedentes, situación actual, estudios relacionados, casos semejantes, etc. en fuentes como páginas web gubernamentales, bibliotecas de Universidades y agencias gubernamentales, artículos y publicaciones varias.

### 7.2. Etapa experimental. (Artículo publicado para el 9° Congreso Estatal de Ciencia, Tecnología e Innovación, CECTI, Morelia, Michoacán. 1314-1318.)

En el Anexo A se presenta el artículo publicado para el 9° Congreso Estatal de Ciencia, Tecnología e Innovación, en la ciudad de Morelia, Michoacán. (pp. 1314-1318.). El cual muestra la metodología a seguir para el muestreo del agua de lluvia, desde la construcción del dispositivo hasta la metodología utilizada al momento de tomar la muestra.

---

### **7.3. Diseño del sistema.**

Se toma en cuenta la selección de alternativas, materiales, tecnologías, implementación, dimensionamiento y análisis multi-criterio, de acuerdo al levantamiento de datos y la infraestructura existente. Todo esto basado en equipo comercialmente disponible en el mercado.

### **7.4. Elaboración de guía para operación y mantenimiento del sistema.**

Manual de implementación y mantenimiento para el sistema en el CECTI, y publicación en diversos formatos de parámetros del agua de lluvia en la región.

---

## **8. Resultados**

### **8.1. Análisis de laboratorio**

Para el diseño del sistema de captación conforme a lo establecido en la norma NOM-127-SSA1-1994, que establece límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización para agua potable y de consumo humano, fue necesario saber la calidad de agua de lluvia en la zona de estudio, de esta manera se puede construir un sistema eficiente y lo bastante económico para aprovechar el agua de lluvia removiendo los contaminantes presentes en ella.

Para determinar lo anterior se procedió hacer dos muestreos, el primero de ellos es el muestreo el cuál fue la base, ya que es donde se determinaron los primeros contaminantes que entran al sistema, los siguientes muestreos se hicieron con el agua que escurre de la azotea donde será el área de captación; esto con el fin de determinar que contaminantes proporcionan los materiales ya existentes en las instalaciones del CECTI.

Para el muestreo se utilizaron diversas herramientas de pronóstico del clima, para poder anticipar las lluvias y tener el material listo, sin embargo no se tuvieron buenos resultados ya que dichos pronósticos no fueron acertados para la región en estudio, además de que las lluvias han sido un tanto escasas para dicha región. También, por ésta razón los problemas técnicos no permitieron muestrear de acuerdo a lo planeado, sin embargo a pesar de los altibajos descritos anteriormente se logró realizar el muestreo y obtener buenos resultados.

#### **8.1.1. Muestreo base**

El primer muestreo base se realizó el 9 de Julio de 2014. Se realizó un muestreo simple y se entregaron las muestras al Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental del Posgrado de Ingeniería Civil el día 10 de Julio, los resultados de las pruebas realizadas se muestran en las tablas 8.2-1, 8.2-2, 8.2-3 y 8.2-4.

Tabla 8-1 Resultados de los parámetros microbiológicos de lluvia de 9 de Julio de 2014

CARACTERÍSTICA	LÍMITE PERMISIBLE*	RESULTADO	MÉTODO UTILIZADO
Organismos coliformes totales	Ausencia o no detectables	No detectables por el método utilizado	NOM-112-SSA1-1994

\*Límite permisible según la NOM-127-SSA1-1994

Tabla 8-2 Resultados de las características físicas y organolépticas de lluvia de 9 de Julio de 2014

CARACTERÍSTICA	LÍMITE PERMISIBLE*	RESULTADO	MÉTODO UTILIZADO
Color	20 Pt-Co	7.0 Pt-Co	NMX-AA-045-1981
Turbiedad	5.0 UTN	0.0 UTN	NMX-AA-038-SCFI-2001

\*Límite permisible según la NOM-127-SSA1-1994

Tabla 8-3 Resultados de las características químicas de lluvia de 9 de Julio de 2014

CARACTERÍSTICA	LÍMITE PERMISIBLE*	RESULTADO	MÉTODO UTILIZADO
Aluminio	0.20	0.04	Espectrofotométrico HACH Método 10215
Bario	0.70	ND	Espectrofotométrico HACH Método 8014
Cadmio	0.005	ND	Espectrofotométrico HACH Método 10217
Cloruros (como Cl <sup>-</sup> )	250.00	2.77	NMX-AA-073-SCFI-2001
Cobre	2.00	0.02	Espectrofotométrico HACH Método 8506
Cromo total	0.05	0.012	Espectrofotométrico HACH Método 10219
Dureza total (como CaCO <sub>3</sub> )	500.00	ND	NMX-AA-072-SCFI-2001
Manganeso	0.15	ND	Espectrofotométrico HACH Método 8149
pH (potencial de hidrógeno) en unidades de pH	6.5 a 8.5	5.75	NMX-AA-008-SCFI-2011
Plomo	0.01	ND	Electrométrico Orion 9682BNWP
Sólidos disueltos totales	1000.00	12	NMX-AA-034-SCFI-2001
Sulfatos (como SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> )	400.00	ND	NMX-AA-074-1981
Zinc	5.00	0.04	Espectrofotométrico HACH Método 8009

\*Límite permisible según la NOM-127-SSA1-1994; expresado en mg/L excepto cuando se indique.

\*\*ND= No detectables por el método utilizado.



Tabla 8-4 Características físicas y químicas adicionales a la NOM-127-SSA1-1994 de lluvia de 9 de Julio de 2014

CARACTERÍSTICAS	RESULTADO	UNIDADES	MÉTODO UTILIZADO
Temperatura	16.0	°C	NMX-AA-007-SCFI-2013
Conductividad eléctrica	12.04	µS/cm	NMX-AA-093-SCFI-2000
Oxígeno disuelto	5.73	mg/L	NMX-012-SCFI-2001
Acidez	80.0	mg/L	NMX-AA-036-SCFI-2001
Alcalinidad total (como CaCO <sub>3</sub> )	6.0	mg/L	NMX-AA-036-SCFI-2001
Sólidos totales	32.0	mg/L	NMX-AA-036-SCFI-2001
Sólidos suspendidos totales	20.0	mg/L	NMX-AA-036-SCFI-2001
Sólidos fijos totales	16.0	mg/L	NMX-AA-036-SCFI-2001
Sólidos volátiles totales	16.0	mg/L	NMX-AA-036-SCFI-2001

El segundo muestreo base se realizó el 3 de Octubre de 2014 a las 9:45 p.m. durando aproximadamente una hora en realizarse el muestreo, de igual manera el tipo de muestra fue simple y se entregaron las muestras al Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental del Posgrado de Ingeniería Civil, la fecha de entrega fue el día 4 de Octubre, los resultados de las pruebas realizadas se muestran en las tablas 8.2-5, 8.2-6, 8.2-7 y 8.2-8.

Tabla 8-5 Resultados de los parámetros microbiológicos de lluvia de 3 de Octubre de 2014

CARACTERÍSTICA	LÍMITE PERMISIBLE*	RESULTADO	MÉTODO UTILIZADO
Organismos coliformes totales	Ausencia o no detectables	1 UFC/mL	NOM-112-SSA1-1994

\*Límite permisible según la NOM-127-SSA1-1994

Tabla 8-6 Resultados de las características físicas y organolépticas de lluvia de 3 de Octubre de 2014

CARACTERÍSTICA	LÍMITE PERMISIBLE*	RESULTADO	MÉTODO UTILIZADO
Color	20 Pt-Co	6.0 Pt-Co	NMX-AA-045-1981
Turbiedad	5.0 UTN	0.0 UTN	NMX-AA-038-SCFI-2001

\*Límite permisible según la NOM-127-SSA1-1994

Tabla 8-7 Resultados de las características químicas de lluvia de 3 de Octubre de 2014

CARACTERÍSTICA	LÍMITE PERMISIBLE*	RESULTADO	MÉTODO UTILIZADO
Aluminio	0.20	0.04	Espectrofotométrico HACH Método 10215
Bario	0.70	ND	Espectrofotométrico HACH Método 8014
Cadmio	0.005	ND	Espectrofotométrico HACH Método 10217
Cloruros (como Cl <sup>-</sup> )	250.00	1.84	NMX-AA-073-SCFI- 2001
Cobre	2.00	ND	Espectrofotométrico HACH Método 8506
Cromo total	0.05	0.038	Espectrofotométrico HACH Método 10219
Dureza total (como CaCO <sub>3</sub> )	500.00	ND	NMX-AA-072-SCFI- 2001
Manganeso	0.15	ND	Espectrofotométrico HACH Método 8149
pH (potencial de hidrógeno) en unidades de pH	6.5 a 8.5	5.0	NMX-AA-008-SCFI- 2011
Plomo	0.01	ND	Electrométrico Orion 9682BNWP
Sólidos disueltos totales	1000.00	4.0	NMX-AA-034-SCFI- 2001
Sulfatos (como SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> )	400.00	1.0	NMX-AA-074-1981
Zinc	5.00	ND	Espectrofotométrico HACH Método 8009

\*Límite permisible según la NOM-127-SSA1-1994; expresado en mg/L excepto cuando se indique.

\*\*ND= No detectables por el método utilizado.

Tabla 8-8 Características físicas y químicas adicionales a la NOM-127-SSA1-1994 de lluvia de 3 de Octubre de 2014

CARACTERÍSTICAS	RESULTADO	UNIDADES	MÉTODO UTILIZADO
Temperatura	16.9	°C	NMX-AA-007-SCFI-2013
Conductividad eléctrica	6.9	µS/cm	NMX-AA-093-SCFI-2000
Oxígeno disuelto	5.0	mg/L	NMX-012-SCFI-2001
Acidez	4.0	mg/L	NMX-AA-036-SCFI-2001
Alcalinidad total (como CaCO <sub>3</sub> )	8.0	mg/L	NMX-AA-036-SCFI-2001
Sólidos totales	4.0	mg/L	NMX-AA-036-SCFI-2001
Sólidos suspendidos totales	0	mg/L	NMX-AA-036-SCFI-2001
Sólidos fijos totales	4.0	mg/L	NMX-AA-036-SCFI-2001
Sólidos volátiles totales	4.0	mg/L	NMX-AA-036-SCFI-2001

El tercer muestreo base se realizó el 20 de Octubre de 2014 a las 8:50 p.m. durando aproximadamente una hora el muestreo, el tipo de muestra fue simple y se entregaron

las muestras al Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental del Posgrado de Ingeniería Civil, la fecha de entrega fue el mismo día, los resultados de las pruebas realizadas se muestran en las tablas 8.2-9, 8.2-10, 8.2-11 y 8.2-12.

*Tabla 8-9 Resultados de los parámetros microbiológicos de lluvia de 20 de Octubre de 2014*

CARACTERÍSTICA	LÍMITE PERMISIBLE	RESULTADO	MÉTODO UTILIZADO
Organismos coliformes totales	Ausencia o no detectables	No detectables por el método utilizado	NOM-112-SSA1-1994

\*Límite permisible según la NOM-127-SSA1-1994

*Tabla 8-10 Resultados de las características físicas y organolépticas de lluvia de 20 de Octubre de 2014*

CARACTERÍSTICA	LÍMITE PERMISIBLE*	RESULTADO	MÉTODO UTILIZADO
Color	20 Pt-Co	0.0 Pt-Co	NMX-AA-045-1981
Turbiedad	5.0 UTN	8.0 UTN	NMX-AA-038-SCFI-2001

\*Límite permisible según la NOM-127-SSA1-1994

*Tabla 8-11 Resultados de las características químicas de lluvia de 20 de Octubre de 2014*

CARACTERÍSTICA	LÍMITE PERMISIBLE*	RESULTADO	MÉTODO UTILIZADO
Aluminio	0.20	0.036	Espectrofotométrico HACH Método 10215
Bario	0.70	ND	Espectrofotométrico HACH Método 8014
Cadmio	0.005	ND	Espectrofotométrico HACH Método 10217
Cloruros (como Cl <sup>-</sup> )	250.00	7.51	NMX-AA-073-SCFI-2001
Cobre	2.00	ND	Espectrofotométrico HACH Método 8506
Cromo total	0.05	0.031	Espectrofotométrico HACH Método 10219
Dureza total (como CaCO <sub>3</sub> )	500.00	ND	NMX-AA-072-SCFI-2001
Manganeso	0.15	ND	Espectrofotométrico HACH Método 8149
pH (potencial de hidrógeno) en unidades de pH	6.5 a 8.5	5.25	NMX-AA-008-SCFI-2011
Plomo	0.01	ND	Electrométrico Orion 9682BNWP
Sólidos disueltos totales	1000.00	8.0	NMX-AA-034-SCFI-2001
Sulfatos (como SO <sub>4</sub> )	400.00	ND	NMX-AA-074-1981
Zinc	5.00	0.01	Espectrofotométrico HACH Método 8009

\*Límite permisible según la NOM-127-SSA1-1994; expresado en mg/L excepto cuando se indique.

\*\*ND= No detectables por el método utilizado.

Tabla 8-12 Características físicas y químicas adicionales a la NOM-127-SSA1-1994 de lluvia de 20 de Octubre de 2014

CARACTERÍSTICAS	RESULTADO	UNIDADES	MÉTODO UTILIZADO
Temperatura	18.0	°C	NMX-AA-007-SCFI-2013
Conductividad eléctrica	8.35	µS/cm	NMX-AA-093-SCFI-2000
Oxígeno disuelto	6.0	mg/L	NMX-012-SCFI-2001
Acidez	6.0	mg/L	NMX-AA-036-SCFI-2001
Alcalinidad total (como CaCO <sub>3</sub> )	16.0	mg/L	NMX-AA-036-SCFI-2001
Sólidos totales	16.0	mg/L	NMX-AA-036-SCFI-2001
Sólidos suspendidos totales	8.0	mg/L	NMX-AA-036-SCFI-2001
Sólidos fijos totales	0.0	mg/L	NMX-AA-036-SCFI-2001
Sólidos volátiles totales	16.0	mg/L	NMX-AA-036-SCFI-2001

### 8.1.2. Muestreo en la azotea de las instalaciones

El análisis de calidad de agua de lluvia que escurre por la azotea es de suma importancia ya que varios estudios coinciden en que, “el tipo de material usado en la azotea para captación de agua de lluvia puede afectar la calidad del agua captada” (Méndez et al., 2011).

Para estas muestras el agua se tomó directamente del escurrimiento de una de las azoteas de las instalaciones (Edificio B, ver fig. 1, Anexo 1) al envase de muestreo, por lo que no se construyó ningún dispositivo para toma y se aseguró el adecuado manejo de las muestras para mantener la representatividad de ésta.

Cabe mencionar que a diferencia del muestreo base, el muestreo en la azotea solo se realizó para los días 3 y 20 de Octubre de 2014, por lo que solo se tienen resultados de dos días, los cuales se muestran respectivamente en las tablas 8.2-13, 8.2-14, 8.2-15 y 8.2-16.

Tabla 8-13 Resultados de los parámetros microbiológicos de azotea de 3 de Octubre de 2014

CARACTERÍSTICA	LÍMITE PERMISIBLE	RESULTADO	MÉTODO UTILIZADO
Organismos coliformes totales	Ausencia o no detectables	36 UFC/mL	NOM-112-SSA1-1994

\*Límite permisible según la NOM-127-SSA1-1994

Tabla 8-14 Resultados de las características físicas y organolépticas de azotea de 3 de Octubre de 2014

CARACTERÍSTICA	LÍMITE PERMISIBLE*	RESULTADO	MÉTODO UTILIZADO
Color	20 Pt-Co	8.0 Pt-Co	NMX-AA-045-1981
Turbiedad	5.0 UTN	0.0 UTN	NMX-AA-038-SCFI-2001

\*Límite permisible según la NOM-127-SSA1-1994

Tabla 8-15 Resultados de las características químicas de azotea de 3 de Octubre de 2014

CARACTERÍSTICA	LÍMITE PERMISIBLE*	RESULTADO	MÉTODO UTILIZADO
Aluminio	0.20	0.045	Espectrofotométrico HACH Método 10215
Bario	0.70	ND	Espectrofotométrico HACH Método 8014
Cadmio	0.005	ND	Espectrofotométrico HACH Método 10217
Cloruros (como Cl <sup>-</sup> )	250.00	9.22	NMX-AA-073-SCFI- 2001
Cobre	2.00	ND	Espectrofotométrico HACH Método 8506
Cromo total	0.05	0.012	Espectrofotométrico HACH Método 10219
Dureza total (como CaCO <sub>3</sub> )	500.00	ND	NMX-AA-072-SCFI- 2001
Manganeso	0.15	ND	Espectrofotométrico HACH Método 8149
pH (potencial de hidrógeno) en unidades de pH	6.5 a 8.5	6.75	NMX-AA-008-SCFI- 2011
Plomo	0.01	ND	Electrométrico Orion 9682BNWP
Sólidos disueltos totales	1000.00	4.0	NMX-AA-034-SCFI- 2001
Sulfatos (como SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> )	400.00	2.0	NMX-AA-074-1981
Zinc	5.00	ND	Espectrofotométrico HACH Método 8009

\*Límite permisible según la NOM-127-SSA1-1994; expresado en mg/L excepto cuando se indique.

\*\*ND= No detectables por el método utilizado.

Tabla 8-16 Características físicas y químicas adicionales a la NOM-127-SSA1-1994 de azotea de 3 de Octubre de 2014

CARACTERÍSTICAS	RESULTADO	UNIDADES	MÉTODO UTILIZADO
Temperatura	19.0	°C	NMX-AA-007-SCFI-2013
Conductividad eléctrica	22.3	µS/cm	NMX-AA-093-SCFI-2000
Oxígeno disuelto	5.0	mg/L	NMX-012-SCFI-2001
Acidez	6.0	mg/L	NMX-AA-036-SCFI-2001
Alcalinidad total (como CaCO <sub>3</sub> )	12.0	mg/L	NMX-AA-036-SCFI-2001
Sólidos totales	4.0	mg/L	NMX-AA-036-SCFI-2001
Sólidos suspendidos totales	0.0	mg/L	NMX-AA-036-SCFI-2001
Sólidos fijos totales	0.0	mg/L	NMX-AA-036-SCFI-2001
Sólidos volátiles totales	4.0	mg/L	NMX-AA-036-SCFI-2001

Los resultados de los parámetros analizados para la azotea con fecha de 20 de Octubre, son los mostrados en las siguientes tablas; 8.2-17, 8.2-18, 8.2-19 y 8.2-20.

Tabla 8-17 Resultados de los parámetros microbiológicos de azotea de 20 de Octubre de 2014

CARACTERÍSTICA	LÍMITE PERMISIBLE*	RESULTADO	MÉTODO UTILIZADO
Organismos coliformes totales	Ausencia o no detectables	6 UFC/mL	NOM-112-SSA1-1994

\*Límite permisible según la NOM-127-SSA1-1994

Tabla 8-18 Resultados de las características físicas y organolépticas de azotea de 20 de Octubre de 2014

CARACTERÍSTICA	LÍMITE PERMISIBLE*	RESULTADO	MÉTODO UTILIZADO
Color	20 Pt-Co	13.0 Pt-Co	NMX-AA-045-1981
Turbiedad	5.0 UTN	8.0 UTN	NMX-AA-038-SCFI-2001

\*Límite permisible según la NOM-127-SSA1-1994

Tabla 8-19 Resultados de las características químicas de azotea de 20 de Octubre de 2014

CARACTERÍSTICA	LÍMITE PERMISIBLE*	RESULTADO	MÉTODO UTILIZADO
Aluminio	0.20	0.04	Espectrofotométrico HACH Método 10215
Bario	0.70	ND	Espectrofotométrico HACH Método 8014
Cadmio	0.005	ND	Espectrofotométrico HACH Método 10217
Cloruros (como Cl <sup>-</sup> )	250.00	11.98	NMX-AA-073-SCFI-2001
Cobre	2.00	ND	Espectrofotométrico HACH Método 8506
Cromo total	0.05	0.01	Espectrofotométrico HACH Método 10219
Dureza total (como CaCO <sub>3</sub> )	500.00	ND	NMX-AA-072-SCFI-2001
Manganeso	0.15	ND	Espectrofotométrico HACH Método 8149
pH (potencial de hidrógeno) en unidades de pH	6.5 a 8.5	6.25	NMX-AA-008-SCFI-2011
Plomo	0.01	ND	Electrométrico Orion 9682BNWP
Sólidos disueltos totales	1000.00	28.0	NMX-AA-034-SCFI-2001
Sulfatos (como SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> )	400.00	3.0	NMX-AA-074-1981
Zinc	5.00	0.1	Espectrofotométrico HACH Método 8009

\*Límite permisible según la NOM-127-SSA1-1994; expresado en mg/L excepto cuando se indique.

\*\*ND= No detectables por el método utilizado.

Tabla 8-20 Características físicas y químicas adicionales a la NOM-127-SSA1-1994 de azotea de 20 de Octubre de 2014

CARACTERÍSTICAS	RESULTADO	UNIDADES	MÉTODO UTILIZADO
Temperatura	20.0	°C	NMX-AA-007-SCFI-2013
Conductividad eléctrica	25.8	µS/cm	NMX-AA-093-SCFI-2000
Oxígeno disuelto	6.0	mg/L	NMX-012-SCFI-2001
Acidez	8.0	mg/L	NMX-AA-036-SCFI-2001
Alcalinidad total (como CaCO <sub>3</sub> )	18.0	mg/L	NMX-AA-036-SCFI-2001
Sólidos totales	28.0	mg/L	NMX-AA-036-SCFI-2001
Sólidos suspendidos totales	0.0	mg/L	NMX-AA-036-SCFI-2001
Sólidos fijos totales	0.0	mg/L	NMX-AA-036-SCFI-2001
Sólidos volátiles totales	28.0	mg/L	NMX-AA-036-SCFI-2001

### 8.1.3. Muestreo en la azotea de las instalaciones

Para garantizar los resultados microbiológicos en los muestreos de escurrimiento de las azoteas, se realizó un muestreo adicional en las azoteas de los edificios A y C. Dicho muestreo fue realizado el 4 de Junio de 2015. Los análisis de laboratorio se realizaron el día 5 de Junio de 2015 en el Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental de la Facultad de Ingeniería Civil. Los resultados se muestran en la tabla 8-21 y 8-22 para el edificio A y el edificio C respectivamente:

*Tabla 8-21 Resultados de los parámetros microbiológicos de azotea de 04 de Junio de 2015*

CARACTERÍSTICA	LÍMITE PERMISIBLE*	RESULTADO	MÉTODO UTILIZADO
Organismos coliformes totales	Ausencia o no detectables	4 x 10 <sup>2</sup> NMP/mL	NOM-112-SSA1-1994
E. coli o coliformes fecales u organismos termotolerantes	Ausencia o no detectables	0 NMP/mL	NOM-112-SSA1-1994

\*Límite permisible según la NOM-127-SSA1-1994

*Tabla 8-22 Resultados de los parámetros microbiológicos de azotea de 04 de Junio de 2015*

CARACTERÍSTICA	LÍMITE PERMISIBLE*	RESULTADO	MÉTODO UTILIZADO
Organismos coliformes totales	Ausencia o no detectables	9 x 10 <sup>2</sup> NMP/mL	NOM-112-SSA1-1994
E. coli o coliformes fecales u organismos termotolerantes	Ausencia o no detectables	4 x 10 <sup>2</sup> NMP/mL	NOM-112-SSA1-1994

\*Límite permisible según la NOM-127-SSA1-1994

## 8.2. Análisis de resultados de laboratorio

### 8.2.1. Coliformes totales

A pesar de los resultados mostrados anteriormente, en donde la presencia de coliformes totales en el agua que escurre por la azotea no fue significativa aunque si desfavorable de acuerdo con la hipótesis de que el zoológico afectaría la calidad del agua negativamente, la desinfección es pertinente y necesaria, por lo que la dosificación de algún desinfectante está dentro del tren de tratamiento.



---

Además bajo esta premisa, se recomienda no utilizar el agua colectada para consumo humano sin antes tener la seguridad y certeza que el grado de desinfección es el adecuado.

### 8.2.2. pH, alcalinidad y conductividad eléctrica

La lluvia ácida es una de las consecuencias de la contaminación del aire. Cuando cualquier tipo de combustible se quema, diferentes productos químicos se liberan a la atmósfera; sin embargo los valores arrojados por el muestreo base (agua de lluvia) se encuentran ligeramente ácidos; la razón puede ser diversa, una de ellas puede deberse a que las concentraciones de algunos gases como son, óxidos de nitrógeno, dióxido de azufre y dióxido de carbono, se encuentren en concentraciones relativamente bajas, esto por el hecho de que la precipitación pluvial “baja” la contaminación existente en la atmósfera y decae la contaminación de la misma; sin embargo cabe mencionar que para fines de uso y consumo humano se encuentra por debajo del nivel mínimo permisible.

Por otro lado el valor de pH del agua de lluvia que escurre por la azotea se vio incrementado, esto puede ser debido a la presencia de carbonatos, bicarbonatos, hidróxidos y, ocasionalmente boratos, silicatos, amoniacos, fosfatos y bases orgánicas presentes en la azotea y se puede observar claramente en el ligero incremento en la alcalinidad, incluso al entrar en contacto con el concreto de la azotea, éste puede otorgarle cierta alcalinidad al agua de lluvia. Además de lo anterior, se tuvo un incremento de la conductividad eléctrica (CE) en el agua que escurre por la azotea con respecto al agua de lluvia. Este incremento se debe a la cantidad de iones disueltos en el agua, entre ellos puede deberse a la sales disueltas y minerales en el agua que escurre por la azotea lo que nos da un incremento en el pH.

A continuación podemos observar en la figura 8-1 la variación del pH del agua de lluvia y del agua que escurre por la azotea con respecto al intervalo permisible que marca la NOM-127-SSA1-1994. Se puede concluir que el pH del agua se encuentra fuera del límite permisible por lo que será de suma importancia darle el tratamiento adecuado para incrementar el pH del agua en el sistema de captación, lo anterior se puede lograr mediante la adición mínima de químicos neutralizadores como bicarbonato de sodio.

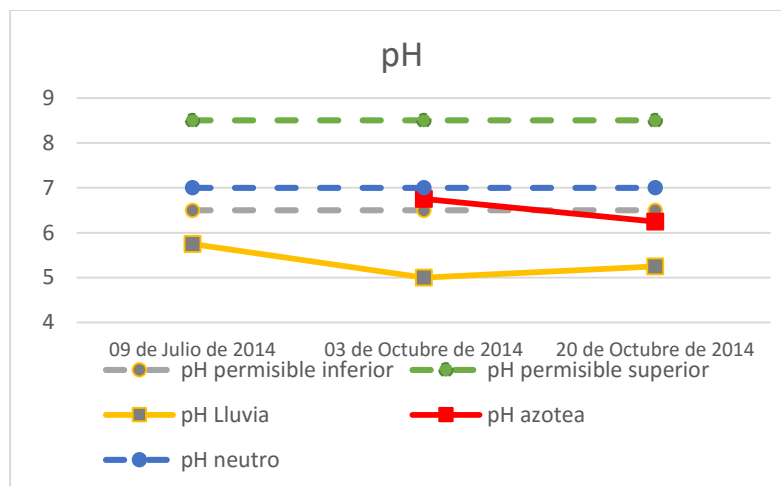


Figura 8-1 Resultados de pH de los muestreos de lluvia y azotea, y el límite permisible según la NOM-127-SSA1-1994

### 8.2.3. Parámetros físico-químicos

La química del agua de lluvia muestra la calidad con la que viene ésta. Todos los parámetros a excepción del pH se encuentran por debajo del límite máximo permisible que marca la NOM-127-SSA1-1994, con esto se puede corroborar que el agua efectivamente, viene lo suficientemente limpia como para ser reutilizada, pero no se recomienda utilizar el agua sin antes tratarla adecuadamente y mediante tecnologías que garanticen su potabilización.

### 8.2.4. Metales

La normativa mexicana establece que, para la determinación de metales, el método de análisis debe ser mediante absorción atómica. Sin embargo, debido al presupuesto y la infraestructura disponible no fue posible hacerlo de dicha manera, por lo cual se optó por el método de análisis HACH.

El método de análisis utilizado fue el establecido por la empresa HACH. Hay que tener presente que esta metodología aun siendo utilizada extensamente alrededor del mundo por diversos laboratorios y dependencias privadas y gubernamentales, la USEPA (US Environmental Protection Agency) no acepta como oficiales dichas metodologías. Sin embargo, les reconoce cierta validez. Dicho lo anterior, deben tomarse los resultados con cautela.

---

## 9. Histórico pluvial

Para determinar cuánta agua podría ser colectada en la región de estudio es necesario contar con el histórico pluvial, por lo que se comenzó la recopilación de datos en las diferentes estancias correspondientes sin embargo, no se tuvo éxito ya que no cuenta con la información para poder ser compartida con el público en general. En la tabla 9-1 se muestra un promedio mensual de 39 años (1971 a 2010) de la precipitación pluvial en la ciudad de Morelia, el registro se llevó a cabo en la estación meteorológica llamada Morelia Centro con coordenadas geográficas 19°41´Norte, 101° 10´Oeste y con una altitud de 1903 m.s.n.m.

Tabla 9-1 Precipitación total de 1971 a 2010 para la Cd. Morelia, Mich. (mm/mes).

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
De 1971 a 2010	13.7	10.1	8.3	11.1	43.4	130.8	179.2	164.6	134.7	53.7	10.6	4.5

Fuente: Comisión Nacional del Agua. Registro mensual de Precipitación en mm. Inédito.

Debido a que la información anterior no cuenta con datos actualizados, dicha actualización se hizo a partir de datos publicados en la web y se muestran en la tabla 9-2, los cuales fueron reportados por la estación meteorológica 766650 con coordenadas Latitud 19.7, Longitud -101.18 y Altitud: 1913 m.s.n.m. Ésta referencia fue proporcionada por el Biol. Armando Correa García, quien opera la estación de monitoreo atmosférico, ubicada en Palacio Municipal de Morelia.

Tabla 9-2 Precipitación total de 2011 a 2014 para la Cd. de Morelia, Mich (mm/mes).

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2011	0	0	8.89	27.68	18.04	45.73	262.13	129.28	77.47	17.52	4.31	4.38
2012	0	55.89	5.08	0	20.82	69.32	102.88	269.75	40.63	34.3	12.7	0.25
2013	19.81	0	8.89	0	20.6	40.91	254.52	139.7	162.56	62.99	16.27	26.41
2014	3.05	10.16	0	33.53	105.41	187.19	101.34	44.96	96.78	119.38	5.34	2.03

Fuente: <http://www.tutiempo.net/clima/MORELIA/766650.htm>

Sin embargo para cuestiones de cálculo se sacó un promedio ponderado correspondientes a los datos de la tabla 9-1 y 9-2, el cual se muestra en la tabla 9-3. Además se hace mención del año más seco y más lluvioso en el periodo de 1971 a 2010, sólo para posibles referencias.

Tabla 9-3 Promedio ponderado de la precipitación pluvial en la Cd. de Morelia para el periodo de 1791-2014 (mm/mes).

MES	P R E C I P I T A C I O N							PROMEDIO
	Año más seco- 1979	Año más lluvioso- 1976	1971-2010	2011	2012	2013	2014	Mm
<b>Ene</b>	0	0	13.7	0	0	19.81	3.05	12.96
<b>Feb</b>	29	0.7	10.1	0	55.89	0	10.16	10.70
<b>Mar</b>	0	22.1	8.3	8.89	5.08	8.89	0	8.06
<b>Abr</b>	0	7	11.11	27.68	0	0	33.53	11.50
<b>May</b>	9.2	35	43.4	18.04	20.82	20.6	105.41	43.20
<b>Jun</b>	3.2	200	130.8	45.73	69.32	40.91	187.19	126.61
<b>Jul</b>	184.7	270.4	179.2	262.13	102.88	254.52	101.34	179.29
<b>Ago</b>	94.2	147.9	164.6	129.28	269.75	139.7	44.96	162.86
<b>Sep</b>	127.1	165.1	134.7	77.47	40.63	162.56	96.78	130.95
<b>Oct</b>	0	171.6	53.7	17.52	34.3	62.99	119.38	54.15
<b>Nov</b>	1.4	35.5	10.6	4.31	12.7	16.27	5.34	10.51
<b>Dic</b>	38.4	4.7	4.5	4.38	0.25	26.41	2.03	4.85

Cabe destacar que los meses de Noviembre a Abril son lo más secos mientras que de Junio a Septiembre se presenta la época de lluvias y como periodo intermedio se tiene a Mayo y Octubre con lluvias escasas pero con mayor precipitación a la presentada en la época de estiaje.

---

## 10. Elementos del diseño del sistema de aprovechamiento del agua

Se realizó una visita de campo en las instalaciones del CECTI, con el fin de identificar las áreas de captación a utilizar, áreas de riego, espacios disponibles para almacenamiento y condiciones actuales de las instalaciones (Ver Figura 1, Anexo A).

### 10.1. Posible uso y aprovechamiento del agua de lluvia captada

Dependiendo de las actividades en las que se usará el agua de lluvia captada, el sistema es más complejo o más sencillo y la inversión variará considerablemente. Los posibles usos para el CECTI son principalmente para riego y uso sanitario, por lo que a continuación se evaluará la demanda por periodo para cada uso. Cabe mencionar que los volúmenes obtenidos para los usos posibles en el CECTI no fueron en base a los recibos de agua de éste, ya que la red de agua potable del CECTI también suministra a otros edificios aledaños.

#### 10.1.1. Riego

El volumen de agua necesario para el riego de los jardines en el CECTI depende del área de éstos y el tipo de jardín, sin embargo de acuerdo a la literatura el volumen necesario para el riego de jardín es de aproximadamente de 5 L/m<sup>2</sup>/día, dicha cantidad puede sonar excesiva así que se decidió consultar a la persona encargada del jardín en el CECTI para obtener una cantidad más aproximada a la realidad ya que las condiciones actuales del jardín son favorables (Ver Figura 10-1), el volumen resultó ser de 1.96 L/m<sup>2</sup>/día o bien considerando un riego dos veces por semana se tendrá 15 L/m<sup>2</sup>/semana, éste volumen se considera para épocas de seca por lo que para épocas de lluvias se consideró cero y para los meses intermedios vistos en el capítulo 9 (Mayo y Octubre) se tomó la mitad, es decir, 7.5 L/m<sup>2</sup>/semana.



Figura 10-1. Estado actual del jardín del CECTI

---

### 10.1.2. Sanitario

Para este uso el número de personas en las instalaciones del CECTI es de 35 personas y la dotación de agua para oficinas se tomó de 75 L/personal/día, según el Manual Práctico de Instalaciones Hidráulicas, Sanitarias y de Calefacción de 2010. Dicha dotación se tomó de la literatura debido a que no se tiene el dato exacto del consumo en el CECTI para usos sanitario, ya que en el recibo de agua está reflejado el consumo de edificio aledaños, por otro lado es necesario realizar un estudio completo para saber la dotación real, pudiéndose incluir muebles de bajo consumo. Es importante resaltar que, la dotación de 75 L/personal/día pudiera parecer excesiva, y que la normativa vigente excede los consumos actuales, por lo que dicho valor se recomienda tomar con cautela a reserva de realizar el estudio antes mencionado. Para poder determinar el consumo por semana en las instalaciones del CECTI se consideró 6 días de trabajo por semana, de esta manera el consumo en las instalaciones es de 15,750 L/semana.

### 10.2. Superficies de captación.

Las áreas disponibles para la captación de agua serán las azoteas de los edificios (Figura 9-1), el análisis de calidad de agua de lluvia que escurre por una azotea mostró que los parámetros analizados no se elevan de manera importante por lo que siguen estando por debajo de los límites máximos permisibles, a excepción de los vistos en el capítulo 8.3. No obstante, se debe considerar que el mantenimiento de dichas áreas es imprescindible para obtener el agua de mayor calidad, por lo que mantener las azoteas limpias, libres de objetos extraños y lavarlas antes de cada temporada de lluvia ayudarán a bajar algunos contaminantes.



Figura 10-2 Infraestructura en el CECTI

El área total disponible para captación está constituida por tres edificios (Ver figura 10-3), el edificio A de 558.49 m<sup>2</sup>, el edificio B es de 99.25 m<sup>2</sup> y el edificio C es de 104.12 m<sup>2</sup>, lo que nos da un total de 762 m<sup>2</sup>. El área de captación a utilizar estará relacionada directamente con el total de volumen máximo a almacenar, ya que si bien con esta área se puede cosechar un volumen grande de agua, no necesariamente se puede almacenar; por esta razón se hizo un análisis para determinar cuál sería el volumen máximo captado y de ésta manera poder proponer un volumen inicial de almacenamiento.

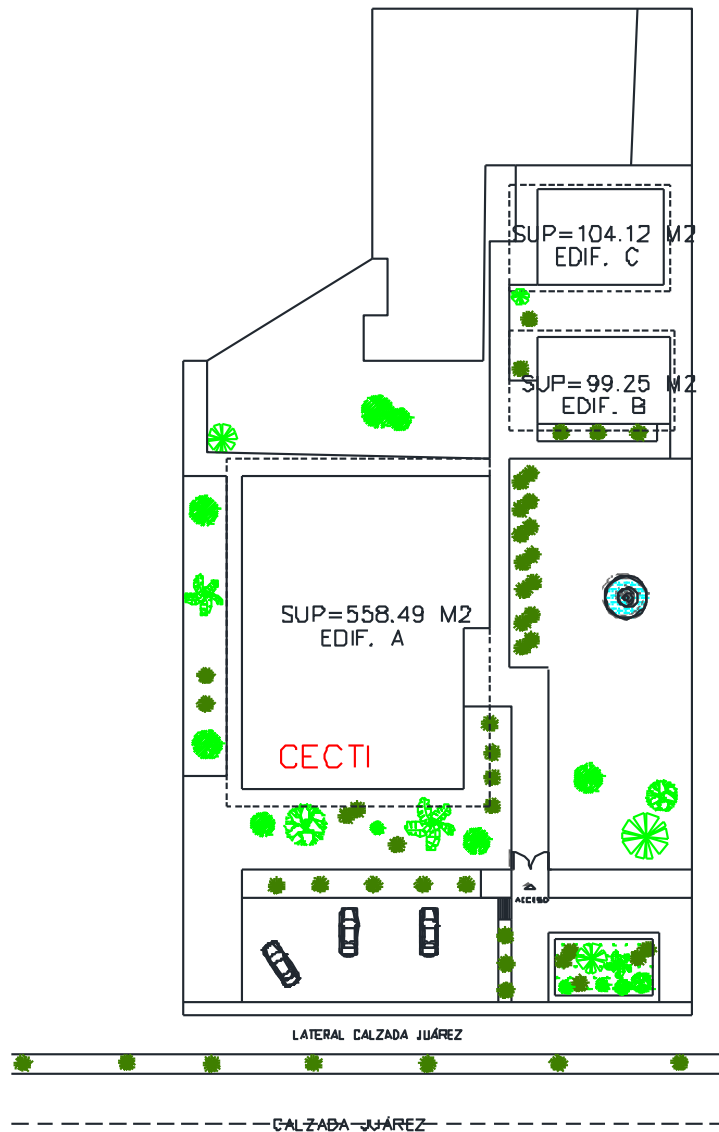


Figura 10-3. Plano de las superficies de captación

---

### 10.3. Almacenamiento

Dentro de las opciones para la propuesta de los tanques de almacenamiento se consideraron:

1. Tanques de concreto armado subterráneos y/o superficiales
2. Tanques de ferrocemento
3. Tanques de HDPE

Analizando un poco las diferentes propuestas se tuvo que para la opción número uno, el costo aproximado de un tanque de concreto armado de 15 cm de espesor y un volumen de almacenamiento de 25, 000 L es de \$23,500.00, dicho costo ya incluye mano de obra, la cual es fácil de conseguir ya que no es especializada, sin embargo éste tipo de tanques requiere un área extensa, además también demanda de un mantenimiento constante, aunado a lo anterior el tanque deberá encontrarse con un poco de agua, ya que de ésta manera la evaporación y condensación del agua ayuda a mantener húmedas la paredes del tanque para evitar agrietamiento en éstas y puedan sufrir fugas, otra manera de evitar lo anterior sería pintando el tanque, en el mercado existen una gran variedad de pinturas que evitan que el concreto se fisure. En el caso de los tanques subterráneos además de lo discutido para los tanques superficiales, se requerirá adicionalmente un espesor más grande debido a las fuerzas de empuje que el suelo ejercerá sobre las paredes del tanque y la excavación que se realice para éste, por lo que el costo aumentará considerablemente.

El costo de la opción número dos referente al ferrocemento fue de \$28, 510.00 para un tanque de 25, 000 L de volumen de agua y de 5 cm de espesor en promedio reforzado en la parte de abajo, el costo se eleva en comparación a los anteriores de concreto, sin embargo necesitan un mantenimiento menor, aunque cabe mencionar que al costo anterior se le debe sumar la mano de obra, no está considerada debido a que se requiere de una mano de obra especializada y difícil de conseguir, por lo tanto el costo varía demasiado en una misma región ya que no todos saben el proceso constructivo para éstos tanques.

Por último la opción número tres, el costo de adquisición para un tanque de HDPE es de \$63, 500.00 neto de un tanque de 25, 000 L de volumen, el costo es muy alto en



comparación a las dos opciones anteriores sin embargo no requiere de mano de obra especializada y su mantenimiento es mínimo, además pueden colocarse en el exterior si tener que recurrir a excavaciones. Los tanques cotizados para éste trabajo fueron marca Rotoplas, sin embargo en el mercado existe una gran variedad de marcas que podrían resultar más económicas.

El número de tanques y sus capacidades dependió del volumen almacenado por lo que dicho volumen se calcula de la siguiente manera:

$$Cap = \frac{A * i * \%aprovechamiento}{n} \dots\dots\dots (1)$$

Donde:

- Cap= El volumen total de agua captada por periodo en Litros
- A= Área de captación utilizada para el aprovechamiento de agua en m<sup>2</sup>
- i= Promedio de la precipitación por mes en mm
- %aprovechamiento= Porcentaje de aprovechamiento de agua de lluvia que depende del material del área de captación, para nuestro caso el porcentaje se tomó del 80%, ya que el material es concreto y tiende a absorber una parte del agua de lluvia.
- n= número de periodos contenidas en un mes =4.333. Se prefirió manejar el concepto de “periodo” en vez del de “semana” para lograr consistencia en los caculos aritméticos.

De acuerdo al aparatado 9.1 el consumo fue determinado a partir de los usos destinados al agua. Cabe mencionar también que dicho consumo será variable a lo largo del año, esto debido a que en estaciones de estiaje se consumirá agua para riego mientras que para época de lluvia no habrá consumo. Por lo que el consumo quedó de:

$$Consumo_{periodo} = r + s \dots\dots\dots (2)$$

Donde:

Consumo<sub>periodo</sub>= Consumo de agua por periodo

---

r= Litros por periodo para riego

s= Litros por periodo para uso sanitarios

Es importante no olvidar que dichos consumos serán variables a lo largo del año por lo descrito en el capítulo 9.

La existencia de agua en el tanque de almacenamiento de acuerdo al volumen captado y al volumen consumido al final de un periodo n, es:

$$EAT_n = EAT_{(n-1)} + C_n - Consumo_n \dots\dots\dots (5)$$

Donde:

n= Periodo de captación de acuerdo a la tabla 10-1

EAT<sub>n</sub>= Existencia de agua en el tanque en Litros en el periodo n

C<sub>n</sub>= Captación periodo en Litros

*Tabla 10-1 Número de periodos y su periodo utilizadas en la modelación*

No. Periodo/mes	Periodo	No. Periodo	Periodo	No. Periodo	Periodo	No. Periodo	Periodo
1 / Junio	01 a 07	13 / Septiembre	01 a 07	25 / Diciembre	01 a 08	37 / Marzo	01 a 08
2 / Junio	08 a 15	14 / Septiembre	08 a 15	26 / Diciembre	09 a 16	38 / Marzo	09 a 16
3 / Junio	16 a 22	15 / Septiembre	16 a 22	27 / Diciembre	17 a 23	39 / Marzo	17 a 23
4 / Junio	23 a 30	16 / Septiembre	23 a 30	28 / Diciembre	24 a 31	40 / Marzo	24 a 31
5 / Julio	01 a 08	17 / Octubre	01 a 08	29 / Enero	01 a 08	41 / Abril	01 a 07
6 / Julio	09 a 16	18 / Octubre	09 a 16	30 / Enero	09 a 16	42 / Abril	08 a 15
7 / Julio	17 a 23	19 / Octubre	17 a 23	31 / Enero	17 a 23	43 / Abril	16 a 22
8 / Julio	24 a 31	20 / Octubre	24 a 31	32 / Enero	24 a 31	44 / Abril	23 a 30
9 / Agosto	01 a 08	21 / Noviembre	01 a 07	33 / Febrero	01 a 07	45 / Mayo	01 a 08
10 / Agosto	09 a 16	22 / Noviembre	08 a 15	34 / Febrero	08 a 14	46 / Mayo	09 a 16
11 / Agosto	17 a 23	23 / Noviembre	16 a 22	35 / Febrero	15 a 21	47 / Mayo	17 a 23
12 / Agosto	24 a 31	24 / Noviembre	23 a 30	36 / Febrero	22 a 28	48 / Mayo	24 a 31

En la tabla 10-1 se muestran los periodos en los que fue dividido el año, es preciso señalar que por cuestiones de los reportes pluviales mensuales, el año se separó de dicha manera y no como usualmente se suele ver dividido en 52 semanas. Ya que para convertir la precipitación de mes a semana no tenemos un número entero y por lo tanto no es homogénea la distribución.

Tabla 10-2. Modelación pluvial para el sistema de captación pluvial en el CECTI considerando riego y uso sanitario.

AREA DE	762	M <sup>2</sup> EN EL CECTI		
MES	PERIODO	CAPTACION AGUA	CONSUMO AGUA	EXISTENCIA EN TANQUE
		(Litros)	(Litros)	(Litros)
				0
Junio	1	17,813	13,125	4,688
Junio	2	17,813	13,125	9,376
Junio	3	17,813	13,125	14,064
Junio	4	17,813	13,125	18,751
Julio	5	25,225	13,125	30,851
Julio	6	25,225	13,125	42,951
Julio	7	25,225	13,125	55,050
Julio	8	25,225	13,125	67,150
Agosto	9	22,913	13,125	76,937
Agosto	10	22,913	13,125	86,725
Agosto	11	22,913	13,125	96,513
Agosto	12	22,913	13,125	106,301
Septiembre	13	18,423	13,125	111,598
Septiembre	14	18,423	13,125	116,896
Septiembre	15	18,423	13,125	122,194
Septiembre	16	18,423	13,125	127,492
Octubre	17	7,618	20,625	114,485
Octubre	18	7,618	20,625	101,478
Octubre	19	7,618	20,625	88,472
Octubre	20	7,618	20,625	75,465
Noviembre	21	1,479	28,125	48,819
Noviembre	22	1,479	28,125	22,173
Noviembre	23	1,479	28,125	-4,473
Noviembre	24	1,479	28,125	-31,119
Diciembre	25	682	28,125	-58,562
Diciembre	26	682	28,125	-86,004
Diciembre	27	682	28,125	-113,447
Diciembre	28	682	28,125	-140,890
Enero	29	1,823	28,125	-167,192
Enero	30	1,823	28,125	-193,494
Enero	31	1,823	28,125	-219,796
Enero	32	1,823	28,125	-246,098
Febrero	33	1,505	28,125	-272,718

Continúa Tabla 10-3. Modelación pluvial para el sistema de captación pluvial en el CECTI considerando riego y uso sanitario.

AREA DE	762	M <sup>2</sup> EN EL CECTI		
MES	PERIODO	CAPTACION AGUA	CONSUMO AGUA	EXISTENCIA EN TANQUE
		(Litros)	(Litros)	(Litros)
Febrero	34	1,505	28,125	<b>-299,338</b>
Febrero	35	1,505	28,125	<b>-325,958</b>
Febrero	36	1,505	28,125	<b>-352,578</b>
Marzo	37	1,134	28,125	<b>-379,570</b>
Marzo	38	1,134	28,125	<b>-406,561</b>
Marzo	39	1,134	28,125	<b>-433,552</b>
Marzo	40	1,134	28,125	<b>-460,543</b>
Abril	41	1,618	28,125	<b>-487,050</b>
Abril	42	1,618	28,125	<b>-513,557</b>
Abril	43	1,618	28,125	<b>-540,064</b>
Abril	44	1,618	28,125	<b>-566,571</b>
Mayo	45	6,077	20,625	<b>-581,119</b>
Mayo	46	6,077	20,625	<b>-595,667</b>
Mayo	47	6,077	20,625	<b>-610,214</b>
Mayo	48	6,077	20,625	<b>-624,762</b>

Con la modelación anterior se puede conocer el volumen máximo necesario para satisfacer las necesidades de agua (sanitarias y riego) para el CECTI durante todo el año. Éste volumen corresponde a un total de 127, 492 L aproximadamente, tomando en cuenta el área de captación disponible en el CECTI que corresponde a 762 m<sup>2</sup>, sin embargo el área de captación no es suficiente para poder satisfacer la demanda de agua del CECTI ya que se tendría un déficit de agua de 624, 762 L desde el periodo 23 hasta el periodo 48 (Ver tabla 10-2), considerando que el inicio del periodo de captación es en el mes de Junio y abasteciendo al CECTI con agua de lluvia captada para riego y usos sanitarios.

#### 10.4. Alternativas del sistema de captación

Debido a las condiciones anteriormente descritas el agua captada solo será para satisfacer las necesidades de riego del CECTI, esto debido principalmente a que no se cuenta con espacio suficiente para almacenar agua para satisfacer el 100% la demanda de agua potable y por otro lado el riego de los jardines es el principal uso ya

que se lleva más del 50% de la dotación de agua (Ver Figura 15-2, Anexo A). Para satisfacer el 100% de la dotación de agua del CECTI no solo se requiere más almacenamiento, sino también 1120 m<sup>2</sup> más de superficie de captación, esto considerando la dotación de 75 L/personal/día. Dado lo anterior se realizó nuevamente la modelación, esta vez utilizando únicamente como consumo las necesidades de riego, lo que arrojó un volumen máximo de 337,965 L ver Tabla 10-3, utilizando el 100% de las áreas de captación disponibles. Nuevamente se hace presente que dicha cantidad de agua pudiera no ser conveniente de almacenar por cuestiones de espacio en las instalaciones; por lo que es momento de definir el volumen de agua para almacenamiento que podrán ser colocados en el CECTI.

Tabla 10-4. Modelación pluvial para uso exclusivo de riego del sistema de captación pluvial en el CECTI.

AREA DE	762	M <sup>2</sup> EN EL CECTI		
MES	PERIODO	CAPTACION AGUA	CONSUMO AGUA	EXISTENCIA EN TANQUE
		(Litros)	(Litros)	(Litros)
				0
Junio	1	17,813	0	17,813
Junio	2	17,813	0	35,626
Junio	3	17,813	0	53,439
Junio	4	17,813	0	71,251
Julio	5	25,225	0	96,476
Julio	6	25,225	0	121,701
Julio	7	25,225	0	146,925
Julio	8	25,225	0	172,150
Agosto	9	22,913	0	195,062
Agosto	10	22,913	0	217,975
Agosto	11	22,913	0	240,888
Agosto	12	22,913	0	263,801
Septiembre	13	18,423	0	282,223
Septiembre	14	18,423	0	300,646
Septiembre	15	18,423	0	319,069
Septiembre	16	18,423	0	337,492
Octubre	17	7,618	7,500	337,610
Octubre	18	7,618	7,500	337,728
Octubre	19	7,618	7,500	337,847
Octubre	20	7,618	7,500	337,965
Noviembre	21	1,479	15,000	324,444

Continúa Tabla 10-5. Modelación pluvial para uso exclusivo de riego del sistema de captación pluvial en el CECTI.

AREA DE	762	M <sup>2</sup> EN EL CECTI		
MES	PERIODO	CAPTACION AGUA	CONSUMO AGUA	EXISTENCIA EN TANQUE
		(Litros)	(Litros)	(Litros)
Noviembre	22	1,479	15,000	310,923
Noviembre	23	1,479	15,000	297,402
Noviembre	24	1,479	15,000	283,881
Diciembre	25	682	15,000	269,563
Diciembre	26	682	15,000	255,246
Diciembre	27	682	15,000	240,928
Diciembre	28	682	15,000	226,610
Enero	29	1,823	15,000	213,433
Enero	30	1,823	15,000	200,256
Enero	31	1,823	15,000	187,079
Enero	32	1,823	15,000	173,902
Febrero	33	1,505	15,000	160,407
Febrero	34	1,505	15,000	146,912
Febrero	35	1,505	15,000	133,417
Febrero	36	1,505	15,000	119,922
Marzo	37	1,134	15,000	106,055
Marzo	38	1,134	15,000	92,189
Marzo	39	1,134	15,000	78,323
Marzo	40	1,134	15,000	64,457
Abril	41	1,618	15,000	51,075
Abril	42	1,618	15,000	37,693
Abril	43	1,618	15,000	24,311
Abril	44	1,618	15,000	10,929
Mayo	45	6,077	7,500	9,506
Mayo	46	6,077	7,500	8,083
Mayo	47	6,077	7,500	6,661
Mayo	48	6,077	7,500	5,238

Tomando en cuenta que el volumen máximo para almacenar es de 337,965 L, el número de tanques de HDPE de 25, 000 L será de 13 tanques y un tanque de 15,000 L para completar el volumen anterior. Se tomó exclusivamente éste número de tanques para el diseño, ya que si bien hay una importante variabilidad en las lluvias, no se podría saber con certeza cuántos tanques harían falta en caso de no ser suficientes, o de lo contrario cuántos sobrarían, ya que la modelación está basada en la

---

probabilidad de un fenómeno estocástico como lo es la precipitación pluvial, por lo que la propuesta del número de tanques se basa a dicha probabilidad. Ésta consideración también está sujeta a la disponibilidad económica del usuario, ya que más tanques implican un mayor costo, sin embargo, el usuario estará en condiciones de ampliar o disminuir el sistema en base a sus necesidades, ya que el sistema aquí propuesto es absolutamente escalable y flexible.

## **10.5. Componentes del tratamiento del agua**

A pesar de que la calidad del agua de lluvia analizada en éste trabajo es relativamente buena, cabe mencionar que se debe tener cuidado con ciertos parámetros que pudiesen afectar negativamente el estado del jardín del CECTI. Algunos de estos parámetros son la conductividad eléctrica (CE), la cual de acuerdo a la NOM-CCA/032-ECOL/1993 las descargas de aguas residuales de origen urbano o municipal que se dispongan mediante riego agrícola. No deberán exceder de 2000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  es, mientras que para Proyecto de Norma Oficial Mexicana NOM-127, Agua para uso y consumo humano. Límites máximos permisibles de la calidad del agua, control y vigilancia de los sistemas de abastecimiento, el límite permisible es de 1200  $\mu\text{S}/\text{cm}$  por lo que de acuerdo al capítulo 8 la CE de las muestras tomadas no sobrepasa en ningún momento dicho valor.

Se debe también tomar en cuenta que el agua captada será almacenada durante varios meses, por lo que es de suma importancia que el agua al momento de entrar a los tanques de almacenamiento deba estar lo más limpia posible. Para lo anterior fue necesario definir un tren de tratamiento para el sistema de captación de agua de lluvia, el cual se define en lo subcapítulos siguientes.

### **10.5.1. Pre - filtración y separación de primeras lluvias**

Antes de conducir el agua al tanque de almacenamiento se efectúa un filtrado para retirar sólidos de gran tamaño como hojas y/o basura que puede arrastrar el agua a su paso. Antes de almacenar el agua en el tanque se debe hacer una filtración para eliminar en lo posible la carga de contaminantes que pudiéramos tener. Una práctica muy difundida por todo el mundo es la llamada “separación de primeras lluvias” o “first flush”; la cual consiste en la separación del agua proveniente de las primeras lluvias,

---

ya que éstas tienen la carga de contaminantes más alta, como son sedimentos partículas en suspensión y sustancias disueltas, esto debido principalmente a que son las que limpian nuestra área de recolección y suelen ser lluvias ácidas. Separando estas primeras lluvias podemos garantizar una calidad de agua mejor en nuestro tanque de almacenamiento. Para esto, Isla urbana implemento un sistema automatizado de separación de primeras lluvias, llamado “Tlaloque” (Ver Figura 10-2).

#### COMPONENTES

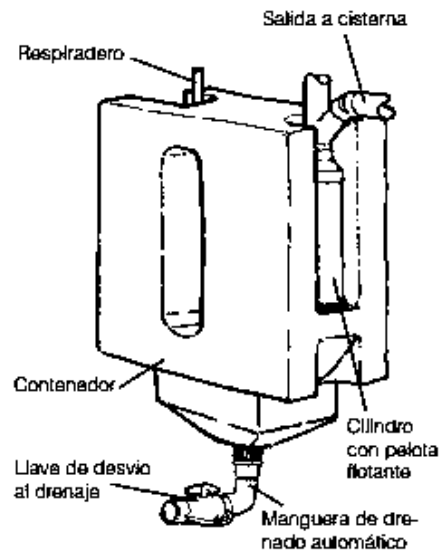


Figura 10-2. Componentes del Tlaloque. Fuente: Isla Urbana

“El *Tlaloque*, es el primer producto mexicano en su tipo, separa la parte más sucia de cada lluvia para que no entre a la cisterna. Se vacía automáticamente por la manguera de drenado” (Isla Urbana, 2010). Puede ajustarse el volumen de agua que se desea separar, esto quiere decir que no se tiene que separar la misma cantidad de agua en una casa chica que en una casa grande, de esta manera se logra una eficiencia en la separación. Otra característica importante, es que el drenado del y Tlaloque asegura que se vacíe completamente antes de cada lluvia, así se mejora la limpieza de éste.

En el artículo “Quantifying the first flush phenomenon” de Martinson y Thomas del 2005, citado por –García, 2012- proponen la Tabla 10-1 que ayuda a elegir la cantidad de mm de lluvia que deben ser separados para disminuir la turbiedad a diferentes grados.



Tabla 10-1. Determinación del volumen de separación de primeras flujos de acuerdo a la turbiedad deseada a la salida.

Turbiedad real del agua de lluvia UTN	mm de precipitación			
	Turbiedad deseada en UTN			
	50	20	10	5
50	0	1.5	2.5	3.5
100	1	2.5	3.5	4.5
200	2	3.5	4.5	5.5
500	3.5	4.5	5.5	6.5
1000	4.5	5.5	6.5	7.5
2000	5.5	6.5	7.5	8.5

Fuente: Martinson y Thomas citado en García, 2012

Respecto a la tabla 10-1, para determinar la cantidad de mm de precipitación que hay que separar para disminuir la turbiedad a cierto valor, es necesario calcular el volumen del separador multiplicando los mm por el área de captación a utilizar en m<sup>2</sup>. Por ejemplo, para reducir la turbiedad desde 50 hasta 10 UTN, se requiere separar 2.5 mm de lluvia. Por ejemplo, si tenemos una superficie de 180 m<sup>2</sup> sería necesario un dispositivo de  $2.5 \text{ l/m}^2 * 180 \text{ m}^2 = 450 \text{ l}$ . Para el caso de estudio, la turbiedad no alcanza los 50 UTN por lo que la turbiedad pudiera reducirse mediante filtración secundaria y no por separación de primeras lluvias.

Es importante mencionar que la separación de primeros flujos se refiere a separar una cantidad determinada de lluvia en cada vez que se presente una precipitación, sin embargo la separación de primeras lluvias es aquella separación en la cual se deja de captar lluvia por completo las primeras semanas de la época de lluvia, esto con la finalidad de dejar ir las lluvias ácidas.

Con la separación de primeras lluvias y de primeros flujos, no solo reducimos la turbiedad, también reducimos contaminación microbiológica y química, pues esa primera lluvia limpia tanto a la atmósfera como a la superficie de captación y queda separada de la que se almacena para filtrar, mientras que la de primeros flujos limpiará siempre nuestra superficie de captación.

### 10.5.2. Sedimentación

Uno de los problemas más comunes de la captación del agua de lluvia son los sólidos sedimentables que suelen ser arrastrados de la superficie de captación por el agua.

Un sedimentador suele ocupar bastante área de instalación y algunas veces también bastante costoso, por lo que para el caso de estudio se decidió implementar algunas de las prácticas propuestas por Isla Urbana, las cuales consisten en utilizar el mismo tanque de almacenamiento como sedimentador y una pichanca flotante.

Debido a que se utilizaran varios tanques de almacenamiento interconectados entre sí, se destinará un único tanque para recibir el agua directamente del área de captación, éste será de un volumen de 10, 000 L y se colocará después del separador de primeras lluvias. La entrada del agua al tanque será mediante un reductor de turbulencia, el cual consiste en un tubo que llega hasta el fondo el tanque y una tee que permite conectar dos codos de 90° hacia arriba, tal como se muestra en la figura 10-3. Este arreglo permitirá que al momento de entrar el agua lo haga de manera uniforme y no agite los sólidos ya sedimentados en el fondo.

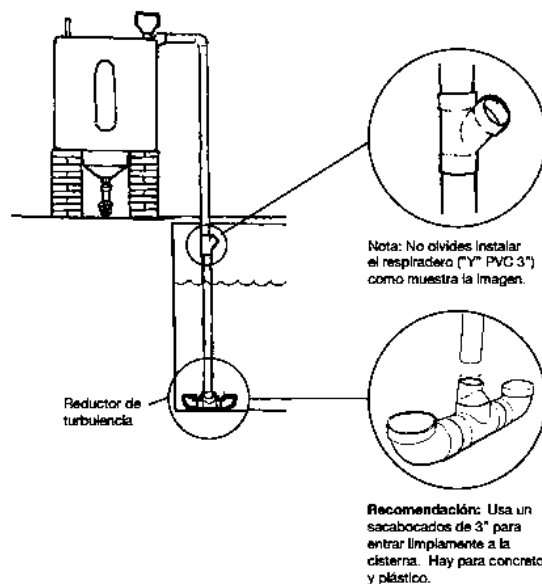


Figura 10-3. Reductor de turbulencia. Fuente: Isla Urbana

Adicionalmente se colocará la pichancha flotante, cuya función será bombear el agua de la superficie, que es la más cristalina. La pichancha flotante es conformada por una manguera la cual le permite flotar y extraer el agua solamente de la superficie sin importar a que nivel se encuentre el agua, tal como se muestra en la figura 10-4.

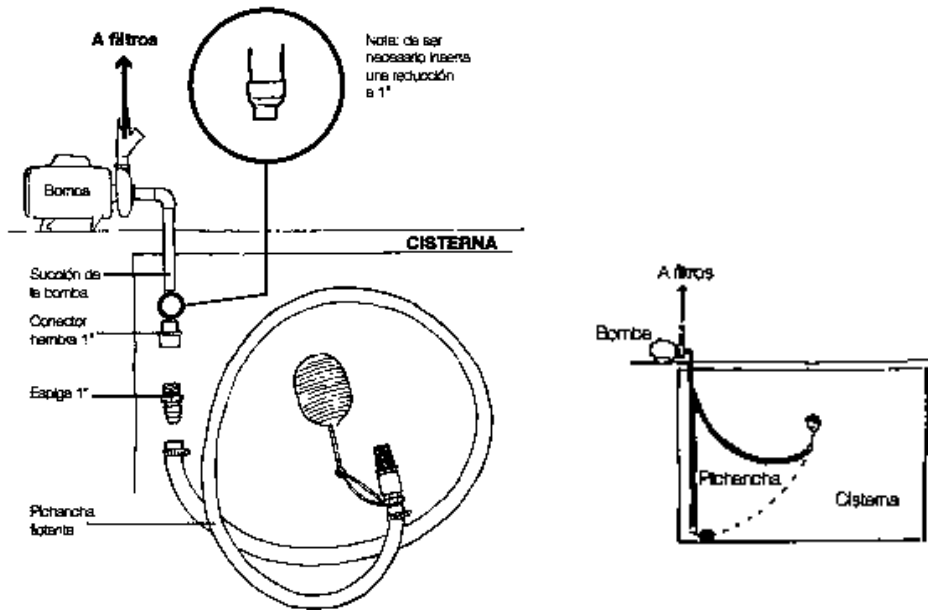


Figura 10-4. Pichancha flotante. Fuente: Isla Urbana.

### 10.5.3. Filtración secundaria

A diferencia de la pre-filtración y la separación de primeras lluvias así como también la sedimentación, la filtración secundaria retiene las partículas suspendidas que no pudieron ser removidas en los procesos anteriores.

La importancia de tener una filtración secundaria para remoción de sólidos suspendidas, se debe a que en el proceso de desinfección las bacterias patógenas y virus, pueden refugiarse en los sólidos suspendidos provocando la baja efectividad del desinfectante, además también se evita la colmatación innecesaria de filtros en el tratamientos terciario y/o biológico, y por último cabe destacar que el proceso de remoción de sólidos en suspensión se logra también remover algunos metales traza, bacterias patógenas y virus, compuestos orgánicos tóxicos y radionúclidos.

---

Los filtros de sedimentos son una buena opción ya que previenen la acumulación de sedimentos en el tanque haciendo el agua más cristalina. Existe una gran variedad de filtros en el mercado, algunos de ellos se describen a continuación:

**Cartuchos aglomerados:** El elemento filtrante es 100% de polipropileno aglomerado térmicamente. La filtración se da por medio de la densidad graduada de las microfibras en una estructura de capas múltiples. Esto permite altos rangos de remoción y mejor retención de partículas contaminantes. No presenta migración de fibras o partículas y es totalmente libre de adhesivos, resinas y agentes activos de superficie.

**Cartuchos encordados:** Su elemento filtrante es polipropileno politejido sinterizado. En su fabricación se utiliza un proceso de hilvanado continuo de alta velocidad. Dicho proceso favorece la elaboración de una sola pieza, con cientos de túneles en forma de diamante que se hacen progresivamente más pequeños a medida que se acercan al núcleo. Las partículas más finas son atrapadas a medida que el fluido viaja hacia el centro del cartucho, permitiendo una retención mayor que aquella asociada a medios filtrantes planos de igual dimensión y porosidad. Este medio filtrante, proporciona una retención de partículas de gran capacidad, inclusive cuando la concentración de sólidos es alta.

**Cartuchos plisados:** Para este tipo de filtros el elemento filtrante es a base de una tela plisada de poliéster reusable. El medio filtrante está construido a partir de la adhesión térmica de microfibras de poliéster, las tapas y los núcleos son termosellados al medio filtrante. El medio filtrante es plisado para maximizar la capacidad de retención de partículas sólidas y de ésta manera minimizar el tiempo de sustitución del filtro.

**Filtros de plástico:** El elemento del filtro puede ser muy variable, dependerá del caudal, grado de filtración y la aplicación del filtro, el elemento filtrante puede ser de los siguientes materiales:

- Elementos de malla: Ya sea de alambre o nylon tejido de acero inoxidable para grados de filtración de 800 a 2 micrones.

- 
- Elementos de acero inoxidable perfo: Este elemento filtrante es adecuado para una filtración gruesa de entre 3500 y 800 micrones.
  - Elementos de anillos: Este elemento proporciona una gran retención de sustancias orgánicas y están construidas a partir de anillos de plásticos que se aplican en un centro telescópico. Estos anillos están ranurados de ambos lados y se entrecruzan para formar el elemento de filtración cuando se comprimen sobre el centro.

#### 10.5.4. Desinfección

La desinfección es un proceso unitario que involucra reacciones que “convierten” a los microorganismos patógenos en inofensivos para la salud. Conforma los tratamientos avanzados terciarios. Para ello se recomienda usar un dispositivo dosificador de iones de plata anti microorganismos o simplemente clorar el agua.

La plata se usa como desinfectante desde épocas antiguas. En la actualidad, los iones de plata son una tecnología efectiva contra microorganismos y no tienen efectos adversos contra la salud como otros tratamientos.

“Un equipo de iones de plata puede sustituir a la cloración, pues está considerado para la potabilización de agua en la modificación a la NOM-127-SSA1-1994, ya que tiene un efecto residual, no es afectado por la temperatura y no deja el desagradable olor del cloro ni tiene efectos crónicos en la salud en estas dosis. Además la plata ayuda a reducir la formación de biopelículas en los medios filtrantes, alargando su vida útil.” (García, 2012).

Para el caso de la cloración, ésta incluye el uso de cloro gaseoso ( $Cl_2$ ) y sus derivados, como: hipoclorito de sodio ( $NaClO$ ) en solución, hipoclorito de calcio ( $Ca(ClO)_2$ ) sólido y dióxido de cloro ( $ClO_2$ ) en solución. Cada uno de los estados anteriores requiere parámetros especiales de operación, como son el tiempo de contacto, pH del agua y la concentración, todo esto debe ser especificado por el fabricante.

Debe hacerse notar que al agregar cloro al agua se combina de cuatro maneras: primero una parte se mezcla con los compuestos orgánicos que tiene el agua y se

---

destruyen; segundo, otra parte se combina con compuestos de nitrógeno y amoníaco, formando como lo que se conoce como cloro disponible combinado; tercero, otra parte se combina con el agua para formar ácido hipocloroso, y otra parte más se combina para formar iones de hipocloro.

El ácido hipocloroso y el ion de hipoclorito constituyen lo que se conoce como cloro residual disponible que se puede decir que es la parte germicida más importante del cloro. El poder germicida del ácido hipocloroso es cien veces mayor que el de ion hipocloro. Por tanto, la parte más importante en la desinfección es la formación de ácido hipocloroso.

La proporción con que se formen las especies de cloro antes mencionadas, depende de cuantos compuestos orgánicos, nitritos y amoníaco contenga el agua, y principalmente de pH. El Manual de Purificación del agua de Luis Lesur de 1998, menciona que el ácido hipocloroso, o bien, como cloro residual disponible, es mucho más abundante cuando el pH esta entre 4 y 6. Por eso, cuando el agua no se puede mantener en el rango de 4 a 6 de pH, hay de necesidad de aumentar la dosis de cloro o aumentar el tiempo de contacto del agua con el cloro, ante de usarlo.

---

## 11. *Análisis multi-criterio*

El análisis multi-criterio considera de manera simultánea varios criterios que se discurren en la toma de decisiones. El uso de este tipo de análisis ofrece cierta flexibilidad para analizar los efectos de decisiones con diversos criterios cualitativos.

El análisis multi-criterio sirve entonces como herramienta metodológica que pretende entender la complejidad e incertidumbre de una situación o decisión donde hay una gran variedad de actores e intereses, mediante la comparación de distintas valoraciones. Permite describir, evaluar, ordenar, jerarquizar, seleccionar o rechazar las opciones, con base en una evaluación de acuerdo con varios criterios. Ya que, como su nombre lo dice, se utilizan diversos criterios con los que se puede “calificar” las opciones, estos criterios pueden ser de orientados a los aspectos económicos, ecológicos, ambientales, sociales, entre otros. Los criterios pueden representar diferentes aspectos, objetivos metas, valores de referencia, niveles de aspiración o inclusive de utilidad.

Para este caso en particular la implementación del análisis multi-criterio se basó en seis criterios fundamentales, los cuales son:

1. **Costo de instalación:** Todos aquellos costos referentes a la instalación del sistema de captación.
2. **Costo de operación y mantenimiento:** Todos aquellos costos referentes a la operación y mantenimiento del sistema de captación, como son insumos, gasto energético y mano de obra especializada.
3. **Facilidad de instalación:** Referente a la complejidad o facilidad para la instalación del sistema, como lo es la mano de obra.
4. **Facilidad de operación y mantenimiento:** Referente a la complejidad o facilidad para operar y mantener en funcionamiento del sistema, como lo es para insumos y mano de obra.
5. **Armonía arquitectónica:** Es la alteración ya sea negativa o positiva de la arquitectura en las instalaciones del CECTI.
6. **Amplitud de la dotación:** Se refiere a la importancia para los usuarios de cubrir al 100% la dotación de agua potable con agua de lluvia.

---

Los criterios fueron estructurados a partir de la complejidad de tener que almacenar un volumen considerable de agua en las instalaciones del CECTI las cuales, como se ha mencionado anteriormente, no tienen el espacio para alojar un tanque de magnitudes excesivas o bien un número considerable de tanques, esto sin alterar la armonía arquitectónica existente en el CECTI. Por otro lado se tiene, la instalación, mantenimiento y operación del sistema, que si bien uno de los objetivos principales de éste trabajo es diseñar un sistema automático, escalable, flexible y accesible, no se puede pasar de cuenta el costo de dichos propósitos.

La prioridad o el peso que se le pueda dar a cada criterio, puede ser muy subjetivo dependiendo de las necesidades del usuario, por esta razón se encuestaron a algunos trabajadores del CECTI con diferentes puestos que priorizaron de acuerdo a su puesto y ocupación, los diferentes criterios mencionados anteriormente. El personal encuestado fue el siguiente:

1. Delegada Administrativa
2. Jefe del Departamento de Administración
3. Jefa del Departamento Académico
4. Técnico Profesional del Área de Administración

Las evaluaciones de acuerdo al criterio de cada uno del personal fueron en base al 100%, donde el mayor porcentaje define el criterio con mayor prioridad. La suma de todos los porcentajes debe ser igual a 100, los resultados se muestran en la tabla 11-1, el personal es representado con número de acuerdo a la lista anterior. Cabe mencionar que la encuesta se realizó de manera personal a cada uno de ellos y no se tuvo influencia de ningún tipo.



Tabla 11-1 Evaluación de criterios del personal del CECTI

Criterios	Personal entrevistado			
	1	2	3	4
Costo de instalación	25%	25%	20%	40%
Costo de operación y mantenimiento	20%	25%	20%	10%
Facilidad de instalación	10%	5%	5%	10%
Facilidad de operación y mantenimiento	15%	15%	20%	25%
Armonía arquitectónica	10%	5%	20%	10%
Amplitud de la dotación	20%	25%	15%	5%
	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>

De acuerdo a los resultados de la tabla 11-1 se observa que para la persona con el número uno, la cual corresponde al cargo de la Delegada Administrativa se tiene que para el costo de instalación le otorgo un 25% de importancia, para el costo de operación y mantenimiento le otorgo un 20%, para la facilidad de instalación fue un 10%, para la facilidad de operación y mantenimiento un 15%, para armonía arquitectónica se le otorgo un 10% y por último para la amplitud de la dotación fue un 20%. Con la información obtenida de la tabla 11-1 se podrá definir un solo porcentaje para cada criterio con el cual se evaluará el sistema de captación.

Para poder determinar qué porcentajes serán otorgados para cada criterio se realizó una evaluación conforme a los criterios vistos en la tabla anterior, donde para el costo de instalación y costos de operación y mantenimiento se promediaron los porcentajes del número 1 y 2, correspondientes a la Delegada administrativa y al Jefe del Departamento de administración respectivamente; para la facilidad de instalación y facilidad de operación y mantenimiento se promediaron los porcentajes dados por el número 2 y 4, correspondientes al Jefe del Departamento de Administración y al Técnico Profesional del Área de Administración respectivamente; para la armonía arquitectónica y la amplitud de la dotación se promediaron el 1, 2 y 3 correspondientes a la Delegada Administrativa, el Jefe del Departamento de Administración y la Jefa del Departamento Académico. Los resultados se muestran en la tabla 11-2 y fueron ajustados al múltiplo de 5 más cercano para sumar 100%.

Tabla 11-2 Porcentaje promediado a base de la encuesta de la tabla 11-1

CRITERIOS	Costo de instalación	Costo de operación y mantenimiento	Facilidad de instalación	Facilidad de operación y mantenimiento	Armonía arquitectónica	Amplitud de la dotación
<b>%PONDERADO</b>	25%	20%	5%	20%	10%	20%

Para evaluar cada uno de los criterios fue necesario calificar cada uno de ellos con base a lo propuesto, de esta manera se podrá observar que tan factible puede ser o no, con respecto a una u otra propuesta. Para éste caso se evaluó una propuesta con base a los elementos descritos en el capítulo anterior, por lo que la evaluación se muestra en la tabla 11-3.

Tabla 11-3. Evaluación a base de multi-criterio para el sistema propuesto

Opciones	Costo de instalación	Costo de operación y mantenimiento	Facilidad de instalación	Facilidad de operación y mantenimiento	Armonía arquitectónica	Amplitud de la dotación	Calificación Total
<b>%PONDERADO</b>	25%	20%	5%	20%	10%	20%	<b>100%</b>
<b>HDPE</b>	4	7	9	9	4	5	<b>6.05</b>
<b>CONCRETO</b>	9	3	4	2	4	5	<b>4.85</b>
<b>FERROCEMENTO</b>	7	4	1	4	4	5	<b>4.80</b>

Las calificaciones totales para las diferentes opciones, fueron en base a una escala del 1 al 10, siendo el 1 la calificación más desfavorable y 10 la más favorable. Las calificaciones fueron otorgadas en base a la complejidad de la instalación, operación y mantenimiento, además del costo de las mismas. Para los tanques de HDPE se obtuvo una calificación de 6.05, el cual se determinó como un promedio ponderado, es decir, la suma del producto de la calificación y el % Promediado, para los tanques de concreto se obtuvo una calificación de 4.85 y por último para el tanque de ferrocemento se obtuvo una calificación de 4.80. Es importante recalcar que para la evaluación anterior, todos los tanques se están considerando redondos en su forma, de ésta manera los tanques pueden ser evaluados bajo éste mismo esquema.

Las evaluaciones anteriores, arrojan que la opción más viable corresponde a los tanques de HDPE, ya que si bien el costo de adquisición es elevado, los costos de mantenimiento e instalación amortiguan el de adquisición ya que disminuyen significativamente en comparación a las otras dos opciones.

Por otro lado, es posible amortizar la inversión en etapas, con las que el CECTI pueda llevar a cabo la construcción del sistema pero gradualmente, y de esta manera se pueda ejecutar el proyecto al 100% aprovechando de sus incontables beneficios. Por lo que el análisis se aplicará entonces a 3 etapas, que describen posteriormente en la tabla 11-4.

*Tabla 11-4. Evaluación a base de multi-criterio para el sistema propuesto para cada etapa.*

CRITERIOS	Costo de instalación	Costo de operación y mantenimiento	Facilidad de instalación	Facilidad de operación y mantenimiento	Armonía arquitectónica	Amplitud de la dotación	Total
<b>%PONDERADO</b>	25%	20%	5%	20%	10%	20%	<b>100%</b>
<b>CALIFICACIÓN ETAPA 1</b>	7	8	9	9	9	4	<b>7.3</b>
<b>CALIFICACIÓN ETAPA 2</b>	5	6	8	8	8	6	<b>6.5</b>
<b>CALIFICACIÓN ETAPA 3</b>	6	6	9	8	7	8	<b>7.1</b>

Básicamente la etapa 1 consistirá en la colocación de las canaletas y bajadas de agua hacia el separador de primeras lluvias, tanque sedimentador de 10, 000 L y 3 tanques de almacenamiento de 25, 000 L. La segunda etapa tendrá los mismos elementos que la etapa primera, sin embargo tendrá 5 tanques de almacenamiento. Por último la etapa tres solo consistirá en 5 tanques de almacenamiento de 25, 000 L y uno de 15,000 L. En total, se tendrán 13 tanques de 25, 000 L y uno de 15, 000 L para tener un total de 335, 000 L de agua almacenados. Cada una de las etapas se describen en el capítulo siguiente, mientras que en la tabla anterior podemos observar que la ejecución del sistema por etapas arroja una calificación más alta que si se ejecutarán a la vez, esto se debe principalmente a que es más conveniente comenzar con una inversión menor, de esta manera la recuperación comenzará desde la primera inversión, cuando se ejecute la segunda etapa ya se tendrá recuperada cierta inversión de la etapa 1, por lo que no se comenzará de cero en la recuperación de la inversión

---

ya que el agua almacenada en la etapa 1 pudo satisfacer cierto porcentaje de agua para riego que se ve reflejada durante el tiempo en que tarde en ejecutarse la etapa 2.

Otra ventaja de la ejecución por etapas, es que el usuario puede prestar atención al beneficio con una inversión menor, comprobando por sí mismo la conveniencia de tener un sistema de captación pluvial. Es por eso, que se recomienda la ejecución del sistema de captación en tres etapas, que se podrán ejecutar en el tiempo que el usuario crea conveniente sin dejar de beneficiarse del sistema.

---

## 12. Diseño final del sistema de captación de agua de lluvia

De acuerdo a la modelación anteriormente descrita en el capítulo 10, los resultados para el caso específico del CECTI se muestran descritas en las siguientes etapas, en dónde de acuerdo al periodo se dictamina el agua disponible de agua de lluvia almacenada.

Por otro lado, en la figura 12-1 se muestra el diagrama de flujo del tratamiento propuesto para el sistema de captación del CECTI, desde la filtración primaria hasta el almacenamiento. Más adelante, se describen a fondo cada una de las partes de dicho tratamiento.

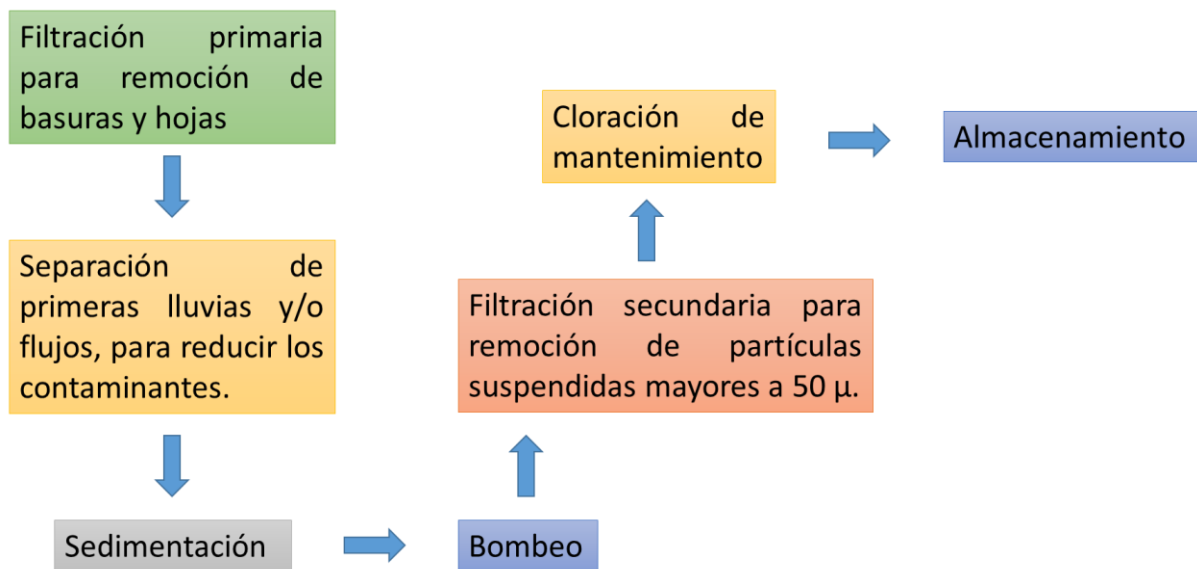


Figura 12-1. Diagrama de flujo del tratamiento para el sistema de captación de agua de lluvia en el CECTI.

## 12.1. Etapa 1

Para el arranque del sistema y como primera etapa, se consideraron 3 tanques de almacenamiento de 25, 000 L únicamente, se partirá del menor número de tanques ya que la implementación inicial suele ser más costosa ya que llevará instalaciones hidráulicas y un sistema para el tratamiento para abastecer dos edificios, la distribución se muestra en la figura 15-3 del Anexo A. Se contemplan dos separadores de primeras lluvias, uno por edificio. La disponibilidad de agua en relación al número de tanques propuestos para ésta etapa se muestra en la tabla 12-1. Cabe mencionar que para ésta primera etapa las áreas de captación a utilizar serán únicamente la del edificio B y C, es decir las azoteas más pequeñas, con un área total de 203.37 m<sup>2</sup>.

Tabla 12-1. Modelación pluvial para el sistema de captación (no incluye uso sanitario) primera etapa.

AREA DE	203.37	M <sup>2</sup> EN EL CECTI		
MES	PERIODO	CAPTACION AGUA	CONSUMO AGUA	EXISTENCIA EN TANQUE
		(Litros)	(Litros)	(Litros)
				0
Junio	1	4,754	0	4,754
Junio	2	4,754	0	9,508
Junio	3	4,754	0	14,262
Junio	4	4,754	0	19,016
Julio	5	6,732	0	25,748
Julio	6	6,732	0	32,481
Julio	7	6,732	0	39,213
Julio	8	6,732	0	45,945
Agosto	9	6,115	0	52,060
Agosto	10	6,115	0	58,175
Agosto	11	6,115	0	64,291
Agosto	12	6,115	0	70,406
Septiembre	13	4,917	0	75,000
Septiembre	14	4,917	0	75,000
Septiembre	15	4,917	0	75,000
Septiembre	16	4,917	0	75,000
Octubre	17	2,033	7,500	69,533
Octubre	18	2,033	7,500	64,067
Octubre	19	2,033	7,500	58,600
Octubre	20	2,033	7,500	53,133

Continúa Tabla 12-1. Modelación pluvial para el sistema de captación (no incluye uso sanitario) primera etapa.

AREA DE	203.37	M <sup>2</sup> EN EL CECTI		
MES	PERIODO	CAPTACION AGUA	CONSUMO AGUA	EXISTENCIA EN TANQUE
		(Litros)	(Litros)	(Litros)
Noviembre	21	395	15,000	38,528
Noviembre	22	395	15,000	23,922
Noviembre	23	395	15,000	9,317
Noviembre	24	395	15,000	-5,288
Diciembre	25	182	15,000	-20,106
Diciembre	26	182	15,000	-34,924
Diciembre	27	182	15,000	-49,742
Diciembre	28	182	15,000	-64,560
Enero	29	487	15,000	-79,073
Enero	30	487	15,000	-93,587
Enero	31	487	15,000	-108,100
Enero	32	487	15,000	-122,614
Febrero	33	402	15,000	-137,212
Febrero	34	402	15,000	-151,810
Febrero	35	402	15,000	-166,409
Febrero	36	402	15,000	-181,007
Marzo	37	303	15,000	-195,704
Marzo	38	303	15,000	-210,402
Marzo	39	303	15,000	-225,099
Marzo	40	303	15,000	-239,797
Abril	41	432	15,000	-254,365
Abril	42	432	15,000	-268,933
Abril	43	432	15,000	-283,501
Abril	44	432	15,000	-298,069
Mayo	45	1,622	7,500	-303,947
Mayo	46	1,622	7,500	-309,825
Mayo	47	1,622	7,500	-315,703
Mayo	48	1,622	7,500	-321,581

El déficit que se obtendrá en esta etapa está indicado por los números negativos en color rojo, por lo que para finales de Noviembre se comenzará con un déficit de 5,288 L de agua.

---

El sistema de captación pluvial estará conformado entonces por los siguientes componentes:

1. Canaletas de lámina galvanizada para conducir el agua, incluyendo las bajadas de agua tal como se muestra en la figura 12-1, este material es más durable y más económico que otros, además su instalación es muy sencilla.



Figura 12-2. Canaletas de lámina galvanizada

2. La separación de primeras lluvias se llevará a cabo con el tlaoque descrito anteriormente en el sub capítulo 10.5.1 Pre - Filtración y separación de primeras lluvias. La colocación se hará justo antes de pasar a los tanques, tal como se muestra en la figura 12-2. Antes de que el agua entre al *Tlaoque* se colocará un filtro de hojas como se muestra en la figura 12-3, esto con el motivo de detener el paso de basura más grande como hojas y bolsas al *Tlaoque*.

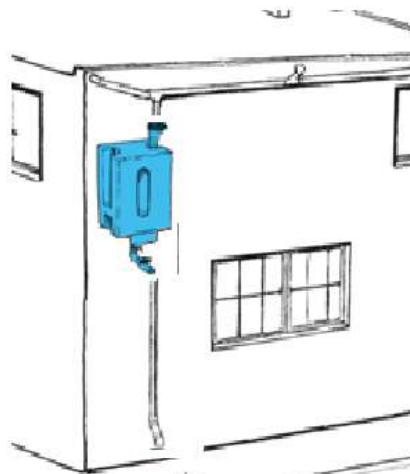


Figura 12-3. Ubicación del Tlaoque





Figura 12-4. Filtro de hojas. Fuente: Isla Urbana.

El volumen de separación de agua por medio del *tlaoque* o cualquier otro dispositivo es variable, pero la literatura recomienda de manera general que por cada 1 m<sup>2</sup> se debe separar 1 L, de esta manera se estará reduciendo 50% aproximadamente de los contaminantes, o bien si se separan 2 L por cada m<sup>2</sup> se reducen 75% de los contaminantes del agua. Estas cifras se deben tomar con reserva, ya que la reducción de los contaminantes por medio del *first flush* dependerá de varios factores.

3. Para la sedimentación se utilizará un tanque de 10,000 L tal como se mencionó anteriormente, el tiempo de residencia en el tanque se espera que se por lo menos de 12 h, que podría ser el tiempo entre lluvia y lluvia; sin embargo para resultados más precisos se recomienda elaborar un dispositivo piloto. Además de lo anterior, se deberá instalar la pichancha flotante para bombeo a los tanques de almacenamiento, la cual tomará agua de la parte superficial del tanque, que se considera más cristalina y con la menor concentración de partículas sedimentables (Ver figura 10-4).

4. Para la filtración secundaria se colocará un filtro de plástico que tendrá la función de retener partículas suspendidas iguales o mayores a 50  $\mu$ . Existe una gran variedad de marcas disponibles en el mercado que cumplen las características necesarias para retención de partículas suspendidas. El filtro más recomendable para las condiciones de operación del sistema en cuestión, es un filtro Jumbo marca

---

Rotoplas o similar de cartucho plisado (Ver Figura 12-5), para un gasto de 56 LPM y una presión de trabajo igual a la proporcionada por la red municipal (aproximadamente 1.5 kg/cm<sup>2</sup>). Éstos cartuchos son fabricados a partir de poliéster resistente, son lavables y reutilizables. Algunas de sus características y ventajas son:

- Fabricados a partir de poliéster durable
- Lavables y reutilizables
- Resistente a las bacterias y algunos químicos.
- Rango de temperatura de 40 ° F a 125 ° F (4,4 ° a 51,7 ° C)



*Figura 12-5. Filtro plisado*

5. Por último, para garantizar que el agua tendrá la calidad suficiente para ser almacenada durante mucho tiempo y no generar un cultivo de virus y bacterias, además de ser segura para tener contacto con el ser humano, se recomienda una cloración de mantenimiento.

El hipoclorito de sodio es una solución de agua y cloro, que contiene entre 5% y 15% de cloro libre disponible. El hipoclorito de calcio se encuentra en forma de polvo o pastillas, en concentraciones que contienen del 30% al 75% de cloro activo por peso.

---

En general se usa menos que el hipoclorito de sodio, porque tiende a formar depósitos que tapan los aparatos dosificadores.

De acuerdo al Manual de Purificación del agua de Luis Lesur de 1998, la cantidad de cloro necesaria para desinfectar agua es pequeña, usualmente 1 a 5 partes de cloro por millón de partes de agua. Cantidades más grandes resultan antieconómicas y pueden dañar la salud.

La dosis necesaria que se debe agregar al agua es determinada por la siguiente formula:

$$v = \frac{V * D}{C * 10}$$

Donde:

v= volumen de solución de hipoclorito requerido en mL

V= volumen de agua desinfectar en litros

D= dosis a lograrse en mg/L

C= concentración % de cloro disponible en la solución de hipoclorito

10= valor constante

Por lo tanto, para realizar la cloración de mantenimiento en el sistema de captación del CECTI por cada tanque de 25, 000L se necesitará 750 mL de hipoclorito de sodio con una dosis de 1.5 ppm al 5% de cloro disponible.

La dosificación podrá realizarse de manera automática con un dosificador de cloro Hayward o similar ver figura 12-6, los cuales constan de un cuerpo cilíndrico, una pantalla para desechos pequeños, una válvula de retención y una tapa O-ring. Las tabletas de cloro se colocan dentro del cuerpo de tubo del clorador, las cuales se mezclan con el agua que sale de la línea del sedimentador, desinfectando el agua antes de que pase de nuevo a través de las tuberías al almacenamiento. La pantalla de desechos situada en la base de los filtros del clorador elimina pequeñas basuras

---

que puedan obstruir las líneas del clorador y dificultar el saneamiento. La tapa del dispositivo de junta tórica evita las fugas y mantiene el clorador sellados herméticamente. Las ventajas de éste dispositivo radican en que su mantenimiento es mínimo y no necesitan de corriente eléctrica para funcionar.



*Figura 12-6. Dosificador de cloro Hayward*

Otra manera para suministrar el cloro sería de forma manual, una vez almacenada el agua en los tanques el cloro se suministrará a cada uno de ellos. Ésta manera podría ser la más económica, sin embargo se depende totalmente del personal de mantenimiento, por lo que dejaría de ser automático y por otra parte se correría el riesgo de que no se suministrará el cloro al sistema.

## **12.2. Etapa 2**

Para la etapa dos se consideran 5 tanques de almacenamiento adicionales a la etapa anterior y con las mismas especificaciones que los anteriores, la distribución de éstos se muestra en la figura 15-4 del Anexo A. En esta etapa también se considera un tanque sedimentador de 10, 000 L, un separador de primeras lluvias y el tren de tratamiento descrito en la Etapa 1. La modelación realizada hasta la segunda etapa se muestra en la tabla 12-2, en donde se consideró el área total para captación de agua de lluvia, que es de 762 m<sup>2</sup>.

Tabla 12-1. Modelación pluvial para el sistema de captación (no incluye uso sanitario) segunda etapa.

AREA DE	762	M <sup>2</sup> EN EL CECTI		
MES	PERIODO	CAPTACION AGUA	CONSUMO AGUA	EXISTENCIA EN TANQUE
		(Litros)	(Litros)	(Litros)
				0
Junio	1	17,813	0	17,813
Junio	2	17,813	0	35,626
Junio	3	17,813	0	53,439
Junio	4	17,813	0	71,251
Julio	5	25,225	0	96,476
Julio	6	25,225	0	121,701
Julio	7	25,225	0	146,925
Julio	8	25,225	0	172,150
Agosto	9	22,913	0	195,062
Agosto	10	22,913	0	200,000
Agosto	11	22,913	0	200,000
Agosto	12	22,913	0	200,000
Septiembre	13	18,423	0	200,000
Septiembre	14	18,423	0	200,000
Septiembre	15	18,423	0	200,000
Septiembre	16	18,423	0	200,000
Octubre	17	7,618	7,500	200,000
Octubre	18	7,618	7,500	200,000
Octubre	19	7,618	7,500	200,000
Octubre	20	7,618	7,500	200,000
Noviembre	21	1,479	15,000	186,479
Noviembre	22	1,479	15,000	172,958
Noviembre	23	1,479	15,000	159,437
Noviembre	24	1,479	15,000	145,916
Diciembre	25	682	15,000	131,598
Diciembre	26	682	15,000	117,280
Diciembre	27	682	15,000	102,963
Diciembre	28	682	15,000	88,645
Enero	29	1,823	15,000	75,468
Enero	30	1,823	15,000	62,291
Enero	31	1,823	15,000	49,114
Enero	32	1,823	15,000	35,937
Febrero	33	1,505	15,000	22,442
Febrero	34	1,505	15,000	8,947

Continúa Tabla 12-2. Modelación pluvial para el sistema de captación (no incluye uso sanitario) segunda etapa.

AREA DE	762	M <sup>2</sup> EN EL CECTI		
MES	PERIODO	CAPTACION AGUA	CONSUMO AGUA	EXISTENCIA EN TANQUE
		(Litros)	(Litros)	(Litros)
Febrero	35	1,505	15,000	-4,548
Febrero	36	1,505	15,000	-18,044
Marzo	37	1,134	15,000	-31,910
Marzo	38	1,134	15,000	-45,776
Marzo	39	1,134	15,000	-59,642
Marzo	40	1,134	15,000	-73,508
Abril	41	1,618	15,000	-86,890
Abril	42	1,618	15,000	-100,272
Abril	43	1,618	15,000	-113,654
Abril	44	1,618	15,000	-127,036
Mayo	45	6,077	7,500	-128,459
Mayo	46	6,077	7,500	-129,882
Mayo	47	6,077	7,500	-131,305
Mayo	48	6,077	7,500	-132,727

En ésta segunda etapa el déficit será de hasta 132, 727 L y comenzará en la semana 35, 12 periodos más tarde que en la primera etapa.

En esta etapa se empezará a utilizar el área de mayor captación por lo que será necesario contar con otro tren de tratamiento con las mismas características que el tren de la etapa 1, un tanque sedimentador de 10, 000 L y un separador de primeras lluvias. Lo anterior debido a que es imposible transportar el agua captada del edificio A hacia la ubicación del tren de tratamiento en el edificio B, por lo que implementar un tren de tratamiento para todo el edificio A es lo más indicado (Ver Figura 12-4).

### 12.3. Etapa 3

Para la etapa tres y última, recordemos el volumen necesario de agua captada para satisfacer las necesidades de riego del CECTI durante todo el año que resulto de 337, 965 L de acuerdo al capítulo 10.3, por lo que para esta última etapa se considerará cubrir dicha demanda completando el número de tanques con 5 tanques de 25, 000 L y uno de 15, 000 L, donde se podrá hacer uso de las instalaciones que actualmente

funcionan como un ranario, ya que por parte del CECTI se tiene previsto demoler dicha instalación para su uso posterior, ver figura 15-5 del anexo A.

Con las tres etapas descritas anteriormente se completa un volumen de 340, 000 L, por lo que tendremos 5, 238 L de agua sobrantes al final del primer año tomando en cuenta el volumen de riego descrito en el capítulo 10.1. La modelación para ésta etapa se muestra en la Tabla 12-3.

Tabla 12-3. Modelación pluvial para el sistema de captación (no incluye uso sanitario) tercera etapa.

AREA DE	762	M <sup>2</sup> EN EL CECTI		
MES	PERIODO	CAPTACION AGUA	CONSUMO AGUA	EXISTENCIA EN TANQUE
		(Litros)	(Litros)	(Litros)
				<b>0</b>
Junio	1	17,813	0	<b>17,813</b>
Junio	2	17,813	0	<b>35,626</b>
Junio	3	17,813	0	<b>53,439</b>
Junio	4	17,813	0	<b>71,251</b>
Julio	5	25,225	0	<b>96,476</b>
Julio	6	25,225	0	<b>121,701</b>
Julio	7	25,225	0	<b>146,925</b>
Julio	8	25,225	0	<b>172,150</b>
Agosto	9	22,913	0	<b>195,062</b>
Agosto	10	22,913	0	<b>217,975</b>
Agosto	11	22,913	0	<b>240,888</b>
Agosto	12	22,913	0	<b>263,801</b>
Septiembre	13	18,423	0	<b>282,223</b>
Septiembre	14	18,423	0	<b>300,646</b>
Septiembre	15	18,423	0	<b>319,069</b>
Septiembre	16	18,423	0	<b>337,492</b>
Octubre	17	7,618	7,500	<b>337,610</b>
Octubre	18	7,618	7,500	<b>337,728</b>
Octubre	19	7,618	7,500	<b>337,847</b>
Octubre	20	7,618	7,500	<b>337,965</b>
Noviembre	21	1,479	15,000	<b>324,444</b>
Noviembre	22	1,479	15,000	<b>310,923</b>
Noviembre	23	1,479	15,000	<b>297,402</b>
Noviembre	24	1,479	15,000	<b>283,881</b>
Diciembre	25	682	15,000	<b>269,563</b>

Continúa Tabla 12-4. Modelación pluvial para el sistema de captación (no incluye uso sanitario) tercera etapa.

AREA DE	762	M <sup>2</sup> EN EL CECTI		
MES	PERIODO	CAPTACION AGUA	CONSUMO AGUA	EXISTENCIA EN TANQUE
		(Litros)	(Litros)	(Litros)
Diciembre	26	682	15,000	255,246
Diciembre	27	682	15,000	240,928
Diciembre	28	682	15,000	226,610
Enero	29	1,823	15,000	213,433
Enero	30	1,823	15,000	200,256
Enero	31	1,823	15,000	187,079
Enero	32	1,823	15,000	173,902
Febrero	33	1,505	15,000	160,407
Febrero	34	1,505	15,000	146,912
Febrero	35	1,505	15,000	133,417
Febrero	36	1,505	15,000	119,922
Marzo	37	1,134	15,000	106,055
Marzo	38	1,134	15,000	92,189
Marzo	39	1,134	15,000	78,323
Marzo	40	1,134	15,000	64,457
Abril	41	1,618	15,000	51,075
Abril	42	1,618	15,000	37,693
Abril	43	1,618	15,000	24,311
Abril	44	1,618	15,000	10,929
Mayo	45	6,077	7,500	9,506
Mayo	46	6,077	7,500	8,083
Mayo	47	6,077	7,500	6,661
Mayo	48	6,077	7,500	5,238

Con esta última etapa se logra satisfacer el 100% de la demanda de agua para riego en las instalaciones del CECTI.

Cabe mencionar que para ésta etapa ya se tiene el tren de tratamiento, puesto que este corresponde a la etapa 2, sin embargo, hay que tener en cuenta el mantenimiento que se le debe de dar al sistema, como lo es la regeneración de algunos filtros y/o el cambio de cartuchos por uno nuevo para otros. También se recomienda tener las azoteas y las canaletas limpias antes de cada época de lluvias, esto para asegurar una mejor calidad del agua de lluvia entrante al sistema.



---

### **13. Conclusiones y recomendaciones**

Con base a la calidad del agua de lluvia obtenida, se puede decir que se cumple la hipótesis en la cual se plantea que la lluvia tiene la suficiente calidad para su aprovechamiento con un tratamiento sencillo. Mientras que la hipótesis referente a las coliformes totales, los resultados muestran que de manera general la cercanía con el zoológico no afectó dicho parámetro; sin embargo, se debe tomar en cuenta que la concentración de organismos depende de varios factores ambientales, como es la dirección del viento, humedad, hora del día, intensidad de la precipitación, etc.

En función del 100% de agua que el CECTI usa para abastecer sus necesidades de riego y sanitarias, con el sistema de captación se logra un ahorro del 40%. Éste 40 % corresponde a la dotación de riego, que equivale a un total de \$6930.00 MN al año ( $420 \text{ m}^3 * 16.50$ ), de acuerdo al decreto tarifario de 2014 del estado de Michoacán, cabe mencionar que este porcentaje está dado a partir de la dotación de 75 L/personal/día. Como ya se ha venido mencionado la dotación pudiera parecer un tanto exagerada por lo que es conveniente un ajuste en dicha dotación. Si se tomara una dotación más conservadora de 35 L/personal/día, el consumo total disminuiría considerablemente, por lo que ahora el ahorro sería en un 58.8% y si se tomarán muebles de bajo consumo para WC y mingitorios secos, el porcentaje de ahorro sería aún mayor. Con base en lo anterior se hace evidente establecer una dotación real para oficinas en el CECTI.

Adicionalmente a los beneficios ambientales, como por ejemplo, que el sistema corresponde a un abastecimiento *in situ*, significan que existe una disminución en los costos económicos del OOAPAS (Organismo Operador de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de Morelia) debido al bombeo y a los insumos de potabilización.

Otro beneficio importante, se deriva de la mitigación de CO<sub>2</sub> al ambiente. El uso de bombas para transporte de agua por parte del municipio hacia gran parte de la ciudad es de 9 bombas (3 de 75 HP; 2 de 300 HP y 4 de 400 HP). Arroyo, 2010 en su tesis sobre la “Colecta de agua pluvial como medida para el aprovechamiento sustentable de la energía” determinó el siguiente factor de conversión basado en el Balance Nacional de Energía de 2007;  $1\text{MWh} = 0.498 \text{ ton CO}_{2\text{eq}}$ . De esta manera determinó que

---

por el uso de dichas bombas, se emiten 7,180 ton de CO<sub>2eq</sub> al año y por uso de energía para potabilizar se emiten 97.08 ton CO<sub>2eq</sub> al año. El total de agua que se ahorraría con las tres etapas en el CECTI es de aproximadamente 420, 000 L al año, sin embargo, según Alatorre et. al, 2005 citado por Arroyo, 2010 se tienen pérdidas del 25% por transporte y distribución del agua, lo que resulta en realidad de un volumen de 525, 000 L al año. La mitigación de CO<sub>2eq</sub> para el CECTI sería entonces de alrededor de 10.8 ton al año, algo bastante significativo si se considera utilizar durante un periodo largo. Según el OOAPAS de Morelia, se tiene un consumo de 18, 900 L/casa/mes, lo que equivale al año y ya considerando el 25% de pérdidas de 283, 500 L/casa/año, si logramos que cada casa habitación en la Cd. De Morelia utilice agua de lluvia para consumo diario se podría mitigar aproximadamente hasta 4.66 ton/casa/año de CO<sub>2eq</sub>.

Por otro lado, en relación al sistema de captación descrito en la presente, cabe mencionar que el diseño fue basado en su mayoría por lo implementado en Isla Urbana, ya que tienen una trayectoria bastante larga en cosecha de agua de lluvia, por lo que es de bastante ayuda contar con investigaciones ya implementadas y que han funcionado, aunque se recomienda realizar un sistema piloto para resultados más exactos.

No hay que perder de vista que el presente trabajo da como resultado una guía para la implementación de un sistema de captación de agua de lluvia, para cubrir el suministro de riego. El CECTI como oficina gubernamental puede hacer uso de alguna otra tecnología que crea más conveniente, ya que las bases fueron presentadas en éste trabajo.

En resumen, la cosecha de agua de lluvia nos ayuda a mitigar CO<sub>2</sub>, minimiza indirectamente la explotación de mantos acuíferos y tener agua de mejor calidad y en cantidad en nuestros hogares; pero debemos tener en cuenta que la responsabilidad de esto recae en las manos de cada uno de los usuarios, ya que si mantenemos limpio y en funcionamiento nuestro sistema, tendremos agua en calidad y cantidad suficiente para ser nuestro propios abastecedores de agua potable y tendremos la confianza de saber que el agua que nuestra familia está consumiendo es sostenible para el ambiente.

---

Por otra parte, se recomienda pintar los tanques con murales alusivos al tema del cuidado del agua, esto no solo para crear cierta estética en los tanques, sino también para concientizar a las personas de lo importante que son el reúso y el reciclado del agua de lluvia.

En caso de que se quisiera usar parte del agua de lluvia captada para uso sanitario se recomienda seguir un tren de tratamiento similar al propuesto para riego, añadiendo únicamente el tratamiento terciario, tal como se muestra en el diagrama de la figura 13-1.

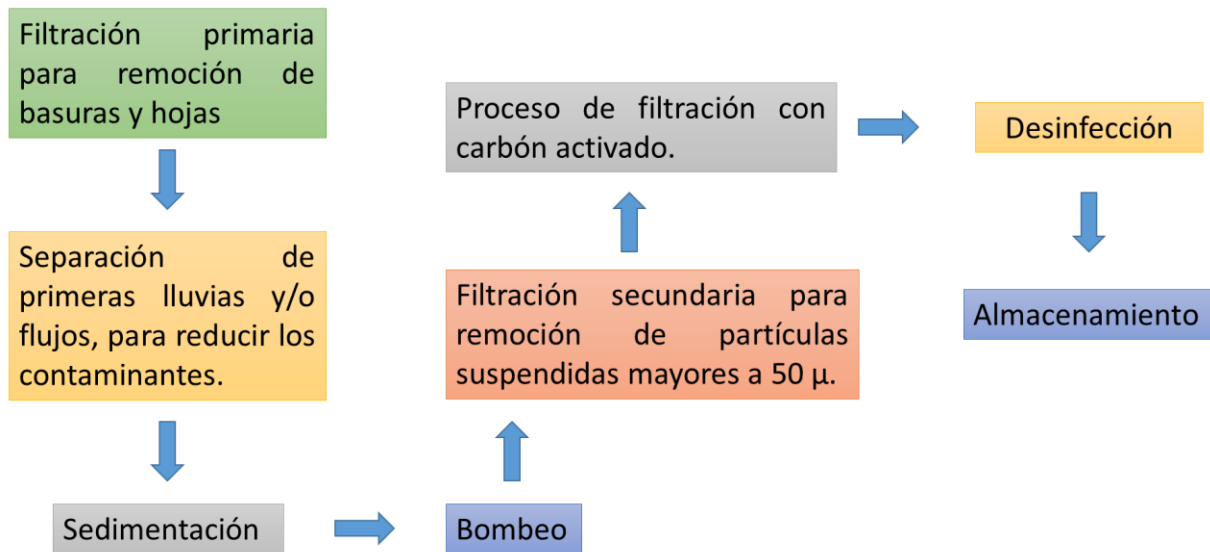


Figura 13-1. Tren de tratamiento para uso sanitario.

---

## 14. Referencias

- Agency for Toxic Substances and Disease Registry, (2012). "RESUMEN DE SALUD PÚBLICA. Cromo". Reseña Toxicológica del Cromo. Division of Toxicology and Human Health Sciences, 1600 Clifton Road NE, Mailstop F-57 Atlanta, GA 30333.
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry, (2008). "RESUMEN DE SALUD PÚBLICA. Aluminio". Reseña Toxicológica del aluminio. Division of Toxicology and Environmental Medicine, 1600 Clifton Road NE, Mailstop F-32 Atlanta, GA 30333.
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry, (2005). "RESUMEN DE SALUD PÚBLICA. Zinc". Reseña Toxicológica del zinc. Division of Toxicology, 1600 Clifton Road NE, Mailstop F-32 Atlanta, GA 30333.
- Arroyo, T. I. (2010). "Colecta de agua pluvial como medida para el aprovechamiento sustentable de la energía." Tesis de licenciatura en Ciencias Ambientales de la UNAM. Centro de Investigaciones en Ecosistemas. Cd. de Morelia, Michoacán.
- Ballén, J. (2006). "Historia de los sistemas de aprovechamiento de agua lluvia." VI SEREA - Seminario Iberoamericano sobre Sistemas de Abastecimiento Urbano de Agua João Pessoa (Brasil), 5 a 7 de junio de 2006.
- Chiu, Y.; Liaw, C.; Chen, L. (2009). "Optimizing Rainwater Harvesting Systems as an Innovative Approach to Saving Energy in Hilly Communities." Renewable Energy, 34. 492-498.
- CNA (2007). "Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento." Comisión Nacional del Agua 2007. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México, D.F.
- Duran, P. (2010). "Captación de agua de lluvia, alternativa sustentable." Instituto Politécnico Nacional. Congreso Nacional del medio ambiente 2010.

---

Enríquez, G. (2010). "Manual práctico de instalaciones hidráulicas, sanitarias y de calefacción." Editorial Limusa. México, D.F., pp. 28-29.

Espinosa, R.; Ochoa, L.; García, E.; Ruíz, R. y García, R. (2014). "Análisis del agua de lluvia en las instalaciones del Consejo Estatal de Ciencia, Tecnología e Innovación (Morelia, Michoacán) con fines de cosecha de agua." XI Coloquio Multidisciplinario. UNIP del Balsas (Artículo aceptado para publicación). Huetamo, Michoacán.

García, J. H. (2012) "Sistema de captación y aprovechamiento pluvial para un ecobarrio de la Cd. de México." Tesis de maestría en Ingeniería Ambiental de la UNAM. Cd. de México.

Gleick, P. H. (1993). "Water in crisis. A guide to the World's Fresh Water Resources. Chapter 6: Water and energy." Oxford University Press: New York, United States. 67-79.

Gould J. y E. Nissen-Petersen (1999). "Rainwater Catchment Systems for Domestic Supply: Design, Construction and Implementation." Action Publishing, EUA.

Isla Urbana (2010). "Separación de primeras lluvias". Ficha Técnica. Dirección web: <http://islaurbana.mx/captacion-de-lluvia-biblioteca/documentos-isla-urbana/>. Fecha de consulta 31 de Mayo de 2015.

Mendez, C.; Klenzendorf, J. B.; Afshar, B. R.; Simmons, M. T.; Barret, M. E.; Kinney. K. A. and Kirisits, M. J. (2011). "The effect of roofing material on the quality of harvested rainwater." Water Research, Issue 45. Austin, TX. 2049-2059.

NOM-127-SSA1-1994. MODIFICACION a la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización.

---

NOM-CCA/ 032-ECOL/1993. NORMA Oficial Mexicana NOM-CCA/032-ECOL/1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las aguas residuales de origen urbano o municipal para su disposición mediante riego agrícola

Ochoa, L.; García, E.; Ruíz, R.; García, R.; Echeverría, B.; y Espinosa, R. (2014). "Diseño, construcción, uso, evaluación y rediseño de un aparato para recolectar agua de lluvia para su análisis en laboratorio. Morelia." 9° Congreso Estatal de Ciencia, Tecnología e Innovación, CECTI, Morelia, Michoacán. 1314-1318.

Palacios, A. y América, L. (1997). "Introducción a la Toxicología Ambiental. Capítulo 14: Cromo" Fuente ECO. Metepec, ECO. 227-246

Pérez, J. M. (2011). "Manual para determinar la calidad del agua para riego Agrícola". Trabajo de Experiencia Recepcional. Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad Veracruzana.

Proy NOM-127-SSA1-1994. PROYECTO de Norma Oficial Mexicana NOM-XXXX, Agua para uso y consumo humano. Límites máximos permisibles de la calidad del agua, control y vigilancia de los sistemas de abastecimiento.

---

## **ANEXO A**

### **DISEÑO, CONSTRUCCIÓN, USO, EVALUACION Y REDISEÑO DE UN APARATO PARA RECOLECTAR AGUA DE LLUVIA PARA SU ANÁLISIS EN LABORATORIO**

*Luis Ochoa Franco, Ezequiel García Rodríguez, Ricardo Ruíz Chávez, Roberto García Acevedo, Belem Echeverría Toriz y Rukmini Espinosa Díaz<sup>20</sup>*

#### **Resumen**

Dentro del contexto de la cosecha de agua de lluvia (captación, conducción, almacenamiento, tratamiento y consumo) se encuentra la conveniencia de conocer la calidad del agua que está lloviendo en el sitio de interés: O sea, antes de que se le empiece a captar, ya que desde este momento el agua va a ser contaminada en mayor o menor medida por el sistema de cosecha. El conocer las propiedades físicas, químicas, biológicas y organolépticas del agua de lluvia en el sitio, permitirá un mejor diseño del sistema para su cosecha. Esta información se obtiene a través de pruebas de laboratorio, para lo cual se requiere la toma de muestras in-situ. En este trabajo se reporta (por escrito y gráficamente) el diseño, construcción, uso, evaluación y rediseño de un aparato para tomar dichas muestras, comentando sobre los criterios del diseño, incluyendo el costo del aparato.

**Palabras Clave:** (Agua, Lluvia, Medición)

#### **Introducción**

La población mundial va en crecimiento, pese a todas las enfermedades, guerras y demás problemas. De alguna manera y en forma clara, cada vez somos más, y esto seguirá así por lo menos a mediano plazo. México no es la excepción, y aunque el crecimiento demográfico de Morelia no es tan dramático como en otras regiones como la Ciudad de México, Guadalajara y Monterrey, de cualquier manera seguiremos creciendo. Obviamente requeriremos más agua para nuestro consumo, la cual muy difícilmente podrá ser suministrada por los organismos estatales en cantidad y calidad adecuadas [P. DURAN, 2010]. En este contexto, la cosecha de agua de lluvia (captación, conducción, almacenamiento, tratamiento y consumo) viene a ser una de

---

las mejores alternativas para atender el problema [T. ARROYO, 2010]. Los autores de este trabajo hemos venido incursionando en este tema y como resultado de un proyecto apoyado por la Coordinación de Investigación Científica de la UMSNH en este año, se tiene que muestrear agua de lluvia en diferentes locaciones de la Ciudad de Morelia, para lo cual se tuvo que diseñar un aparato que nos permitiera captar el agua -tal cual llueve- para tomar las muestras que después serán analizadas en el laboratorio. La finalidad de analizar el agua es la dar a conocer su composición física, química, biológica y organoléptica, de modo que los interesados en usar el agua de lluvia, tengan mejor información al respecto.

## **Objetivos**

Desarrollar un aparato que permita recoger muestras de agua de lluvia, en forma adecuada para los análisis de laboratorio, optimizando los siguientes criterios:

- Funcionamiento adecuado.
  - Volumen de captación
  - Materiales
  - Forma y operación

Costo.

- Facilidad de transporte.
- Facilidad de reparación.

## **Materiales y métodos**

Respecto al funcionamiento adecuado, un primer elemento es el del volumen de captación. Lo ideal sería que con un par de minutos de lluvia se pudieran coleccionar los cerca de tres litros para el laboratorio, pero eso requeriría una gran área de recolección que tiene que transportarse. Ya que se cuenta con una camioneta pick-up de 4 cilindros de caja larga (vehículo de transporte), se utilizó una hoja plástica (Micro plas) de 3.5 mm de espesor y de 1.22 m x 1.85 m. Como la hoja plástica se dobló en sus extremos para que no escurriera el agua fuera del extremo en donde se llenan las botellas de muestreo, el área aproximada de captación fue de 1.76 m x 0.81 m = 1.42 m<sup>2</sup>. Esto significa que por cada milímetro de lluvia se captarán 1.42 x 1 = 1.42 litros.



---

La hoja de captación se montó sobre una mesa de plástico de 0.8 m x 0.8 m por medio de perfiles de aluminio. Esta hoja se colocó con una inclinación doble, de modo que el agua escurra libremente hacia el punto más bajo de hoja. El punto más alto está a 1.13 m del nivel del piso, y el punto más bajo está a 0.73 del piso. Inicialmente en el punto más bajo se hizo un arreglo con el mismo material de la lámina con un agujero circular para que el agua bajara por ahí.

Para la colecta de las muestras se usaron botellas cilíndricas de plástico de 2.5 litros aproximadamente, para lo cual se construyó un soporte metálico fijado a un banco plástico en donde se pueden meter y sacar las botellas. El sistema también funciona para las botellas de vidrio y para las botellitas plásticas pequeñas (para muestra bacteriológica y para muestra para metales). Inicialmente se utilizó una brochita de cerdas plásticas de 1 1/2" de ancho para la limpieza inicial de la hoja plástica.

Por otro lado, el manejo de la hoja plástica no requiere de mayor sofisticación, ya que fue doblada a mano y los perfiles de aluminio fueron remachados y atornillados. Esto permite hacer cambios y adecuaciones al sistema sin mayores problemas. En la Figura 7.1 se puede ver la primera versión del sistema.



*Figura 0-1 Versión inicial del sistema de recolección de agua de lluvia*

---

En términos generales, se hace una primera limpieza de la superficie de captación utilizando el agua de lluvia y la brochita. Después se enjuaga con agua destilada y por último se vuelve a enjuagar a base de escurrimiento de agua de lluvia. Hecho esto, se procede a llenar las botellas -previamente enjuagadas con agua destilada- con el agua de lluvia. Las muestras se ponen en una cubeta con hielo y se llevan a laboratorio.

Un desglose aproximado de los costos del material es como sigue:

- Hoja plástica: \$ 130
- Mesa de plástico: \$ 450
- Perfiles de aluminio y remaches: \$ 250
- Embudo plástico: \$ 15
- Banco plástico: \$ 50
- Brocha: \$ 40

Como podemos ver, hablamos de unos \$935 aproximadamente.

## **Resultados**

En el mes de junio de este año se hizo una colecta de agua de lluvia en una vía pública de la Ciudad de Morelia con la primera versión del aparato. Los resultados del laboratorio nos indicaron que se tenía un agua bastante limpia al compararla con los límites de la NOM 127-SSA1-1994 [SIAPA, 2010], que establece los límites permisibles del agua para uso y consumo humano. Hecho que nos hizo pensar que las condiciones de limpieza del aparato de captación eran adecuadas. Por otro lado, el transporte y manejo del aparato fueron aceptables.

A raíz de esta primera experiencia se hicieron los siguientes cambios:

- Se le aumentaron unos perfiles de aluminio de modo que al transportarse el aparato en la pick-up no se maltratara. Con este arreglo el aparato se puede parar de cabeza como si fuera una mesa, al igual que cuando se para al derecho.
- Se redujo la inclinación de la hoja plástica de modo que el agua llegara con menos fuerza a la zona de alimentación a la botella muestreadora.

- 
- En la zona más baja de la hoja plástica se sustituyó el arreglo de salida por un embudo de plástico.
  - La brocha de cerdas plásticas se cambió por una brocha grado alimenticio.

Con estos cambios se espera tener un mejor desempeño y una operación más fácil. En la Figura 7.2 se puede ver esta segunda versión.



*Figura 0-2 Segunda versión del sistema de recolección de agua de lluvia*

## **Conclusiones**

A la fecha, nos ha resultado eficiente el aparato que diseñamos y construimos –y de hecho- ya lo estamos utilizando para nuestros proyectos. De cualquier manera, seguimos modificándolo para optimizar nuestro trabajo.

Hemos experimentado que es difícil recolectar 3 litros de agua de lluvia en la Ciudad de Morelia con este aparato, porque no siempre es posible aprovechar una buena lluvia durante un buen lapso de tiempo. En ocasiones la colecta nos puede llevar más de 2 horas. Para reducir este tiempo, se tendría que aumentar el área de recolección, lo cual se podría hacer por medio de otra(s) hojas que drenaran sobre la existente, para lo cual sería suficiente con curvar ligeramente a lo largo la segunda hoja, ya que el drenaje final ya está conectado a la primer hoja plástica. En esta arquitectura se tendría que cuidar que las hojas secundarias estuvieran rigidizadas para que el viento

---

y la lluvia no las tiraran. Probablemente sea ésta la modificación que haremos en el futuro cercano.

## Referencias

P. DURAN, 2010. Captación de agua de lluvia, alternativa sustentable. Instituto Politécnico Nacional. Congreso Nacional del medio ambiente 2010.

<http://www.conama10.es/conama10/download/files/CT%202010/41008.pdf> Última consulta: 3 enero 2014.

SIAPA, 2010. Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, SIAPA Contraloría, <http://www.siapa.gob.mx/transparencia/norma-oficial-mexicana-nom-127-ssa1-1994> Última consulta: 3 agosto 2014.

T. ARROYO, 2010. Colecta de agua pluvial como medida para el aprovechamiento sustentable de la energía. Tesis de Licenciatura en ciencias ambientales, CIECO, UNAM, Morelia, Mich. , Noviembre 2010.

-----Termina Artículo-----

# ANEXO B

## Croquis y planos



Figura 0-1 Instalaciones del CECTI

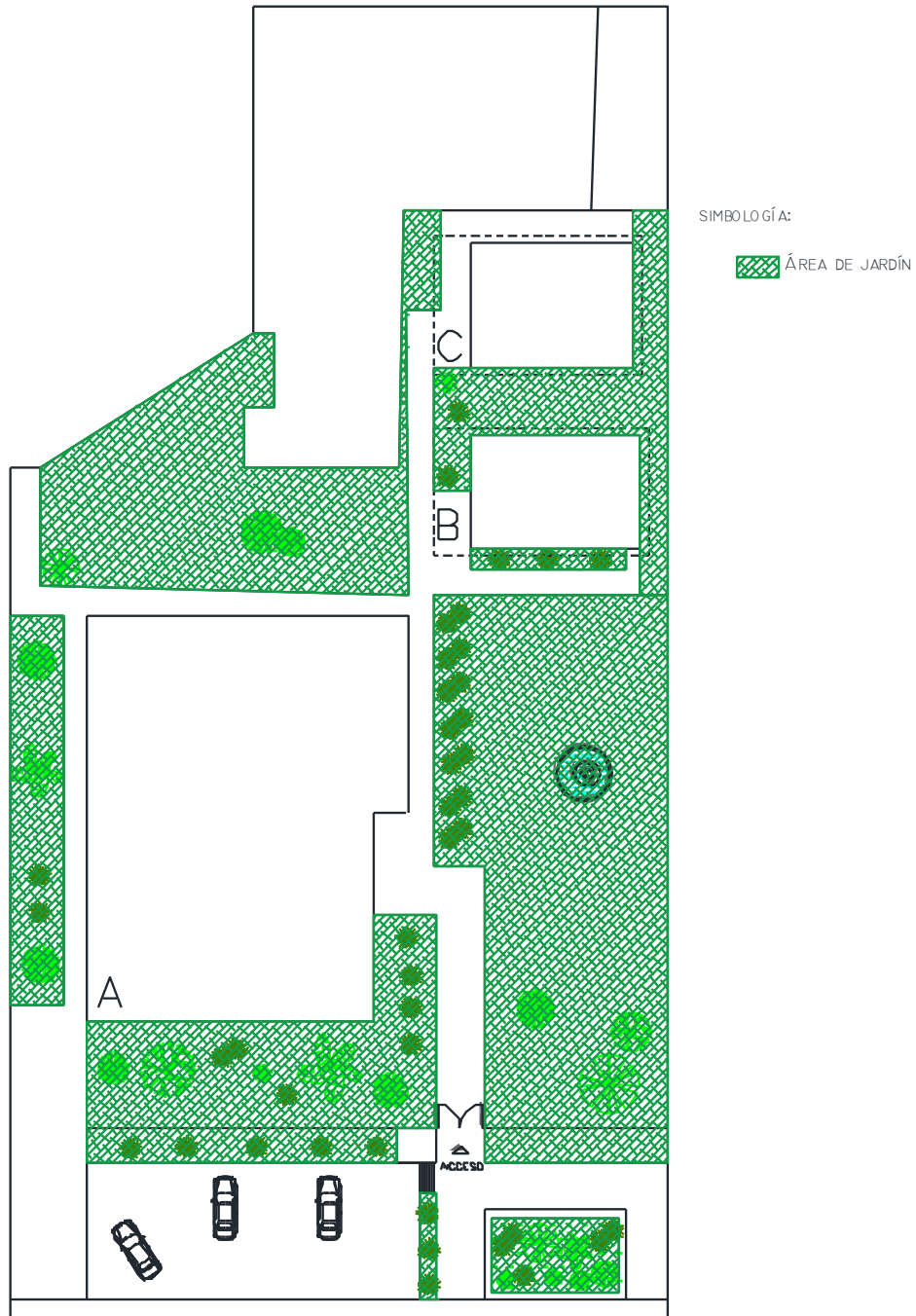


Figura 0-2 Área de riego del CECTI



Figura 0-3 Propuesta para la Etapa 1

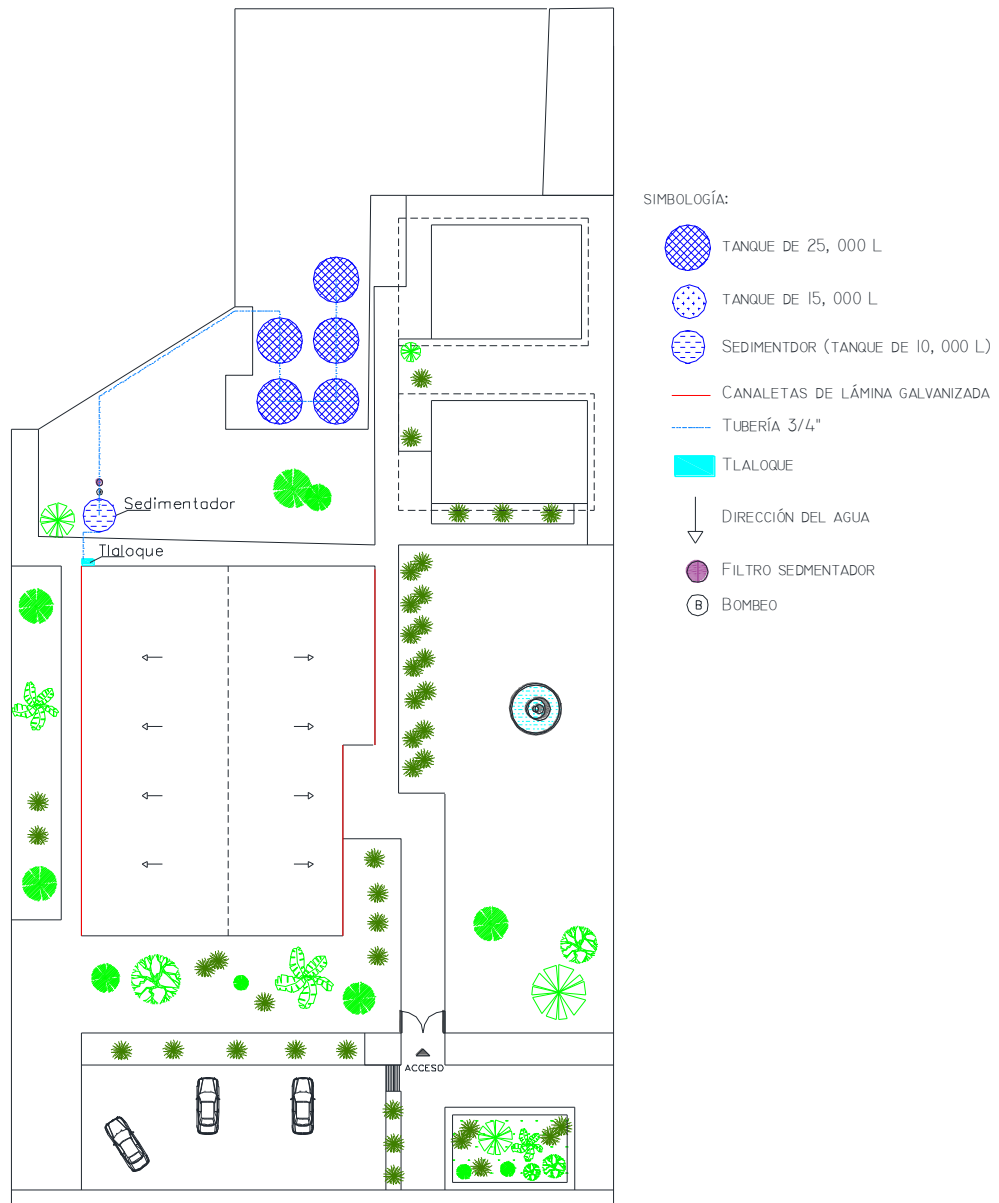


Figura 0-4 Propuesta para la Etapa 2





Figura 0-5 Propuesta para la Etapa 3



Figura 0-6 Propuesta completa para el sistema de captación de agua de lluvia para el CECTI

