



**UNIVERSIDAD MICHOACANA  
DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO**



**MCIAM**  
Maestría en Ciencias  
en Ingeniería Ambiental  
UMSNH

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA  
FACULTAD DE BIOLOGÍA**

**PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS  
EN INGENIERÍA AMBIENTAL**

*Escenarios factibles para el aprovechamiento de agua  
de lluvia en la Facultad de Ingeniería Civil (edificio  
“C”, C.U.) de la UMSNH*

**TESIS**

**Para obtener el grado de  
Maestro en Ciencias en Ingeniería Ambiental**

**Presenta:**

**Gabriel Arreola Sánchez**

**Ingeniero Civil**

**Director de tesis:**

**Dr. Luis Armando Ochoa Franco**

**Morelia, Michoacán. Septiembre de 2018.**

# Índice

Índice de figuras .....	V
Índice de tablas .....	VII
Índice de ecuaciones.....	IX
Resumen/Abstract.....	X

## 1. Introducción

1.1. Importancia del agua.....	1
1.2. El agua y su problemática .....	2
1.3. Ciclo hidrológico y cambio climático.....	5

## 2. Marco teórico

2.1. Conceptualización de la Ecotecnología .....	6
2.2. Agua pluvial como fuente de abastecimiento .....	7
2.3. Captación y aprovechamiento del agua de lluvia .....	9
2.4. Ventajas y desventajas en la captación de agua de lluvia .....	10
2.5. Factibilidad de la captación de agua de lluvia .....	12
2.6. Normativa en la captación de agua de lluvia.....	13
2.7. Captación de agua de lluvia en techos .....	16
2.8. Elementos que conforman un SCALL de techo .....	18
2.8.1. Área de captación .....	19
2.8.2. Recolección .....	20
2.8.3. Conducción .....	23
2.8.4. Separador de primeras lluvias .....	27

2.8.5. Caja de llegada .....	32
2.8.6. Almacenamiento .....	33
2.8.7. Equipos de tratamiento y desinfección .....	37
<b>3. Antecedentes</b>	
3.1. Muestreo y análisis de agua de lluvia para su aprovechamiento en las instalaciones de CU de la UMSNH.....	43
3.2. Diseño de sistemas de captación de agua de lluvia en Morelia .....	44
3.3. SCALL implementados por el IMTA .....	45
<b>4. Justificación</b> .....	47
<b>5. Hipótesis</b> .....	49
<b>6. Objetivos</b>	
6.1. Objetivo general .....	49
6.2. Objetivos particulares.....	49
<b>7. Metodología</b>	
7.1. Descripción de la zona de estudio .....	50
7.2. Levantamiento “in situ” de las instalaciones.....	53
7.3. Datos de precipitación pluvial de la zona en estudio.....	62
7.4. Volumen de captación de agua de lluvia.....	67
7.4.1. Demanda de agua del edificio “C” .....	68
7.4.2. Volumen existente en el tanque de almacenamiento.....	71
7.5. Muestras de agua de lluvia escurrida.....	72
7.6. Análisis en el laboratorio .....	74
7.7. Encuestas .....	76

<b>8. Escenarios factibles para el aprovechamiento de agua de lluvia en la Facultad de Ingeniería Civil, edificio “C”, CU .....</b>	<b>82</b>
8.1. Escenario 1 .....	84
8.1.1. Conducción del agua de lluvia del escenario 1 .....	87
8.1.2. Análisis económico del escenario 1 .....	89
8.1.3. Ventajas y desventajas del escenario 1 .....	91
8.2. Escenario 2 .....	92
8.2.1. Conducción del escenario 2.....	96
8.2.2. Análisis económico del escenario 2.....	98
8.2.3. Ventajas y desventajas del escenario 2.....	100
8.3. Escenario 3 .....	101
8.3.1. Análisis económico del escenario 3.....	104
8.3.2. Ventajas y desventajas del escenario 2.....	107
8.3.3. Máximo consumo para el escenario 3 .....	108
8.4. Escenario 4: capacidad de almacenamiento necesaria para tener agua lluvia todo el año.....	110
<b>9. Resultados .....</b>	<b>112</b>
9.1. Resultados del laboratorio.....	112
9.2. Análisis de los resultados del laboratorio .....	120
9.3. Resultados de los escenarios factibles propuestos.....	122
9.4. Costo-beneficio de los escenarios propuestos.....	124
9.5. Resultado de las entrevistas .....	125

<b>10. Conclusiones y recomendaciones</b> .....	126
<b>11. Referencias bibliográficas</b> .....	129
<b>12. Anexo</b> .....	135
12.1. Operación y mantenimiento de un SCALL .....	135
12.2. Responsabilidades del operador del SCALL.....	135
12.3. Operación y mantenimiento de los componentes de un SCALL .....	136
12.3.1. Área de captación (techo).....	136
12.3.2. Canaletas.....	137
12.3.3. Bajadas de agua .....	137
12.3.4. Separador de primeras lluvias .....	137
12.3.5. Tanque de almacenamiento (cisterna).....	138
12.3.6. Filtros .....	139
12.4. Análisis de calidad de agua de lluvia .....	141
12.4.1. Hoja de trabajo de mantenimiento del SCALL .....	141

## Índice de figuras

Figura 1. Distribución global del agua en el planeta .....	2
Figura 2. Ciclo del agua .....	4
Figura 3. Corte transversal de un Chultún maya .....	8
Figura 4. Corte transversal de un Chultún maya .....	8
Figura 5. Mapa de los Estados Norteamericanos que han incorporado la captura de agua lluvia dentro de su sistema legal.....	14
Figura 6. Aprovechamiento del agua de lluvia a través de un techo. ....	16
Figura 7. Elementos que conforman un sistema de captación de agua de lluvia en techos.....	18
Figura 8. Canaletas con malla para evitar la contaminación por hojas .....	21
Figura 9. Isoyetas de intensidad de lluvia .....	22
Figura 10. Ejemplos de separadores de primeras lluvias .....	28
Figura 11. Separadores de primeras lluvias .....	30
Figura 12. Válvula de drenado electrónica con temporizador .....	31
Figura 13. Caja de llegada .....	32
Figura 14. Diferentes formas para reducir turbulencia .....	36
Figura 15. Pichancha flotante .....	36
Figura 16. Esquema de un tren de tratamiento .....	37
Figura 17. Filtro de malla .....	39
Figura 18. Configuración de dos filtros .....	39
Figura 19. Filtro de carbón activado .....	40
Figura 20. Orden del tren de tratamiento .....	41
Figura 21. Clorador automático de pastillas .....	42

Figura 22. Facultad de Ingeniería Civil, edificio “C”, CU.....	50
Figura 23. Cubierta del tercer nivel, edificio “C” .....	51
Figura 24. Geometría de la cubierta del tercer nivel del edificio “C” .....	52
Figura 25. Vista en planta de la azotea del edificio “C” .....	53
Figura 26. Canaleta metálica adosada al techo .....	54
Figura 27. Canaleta sin malla de protección .....	55
Figura 28. Canaleta de acero .....	56
Figura 29. Canaleta con malla de protección .....	56
Figura 30. Tronera de PVC con lámina galvanizada .....	58
Figura 31. Detalle de conexión de bajada de agua pluvial a tronera.....	59
Figura 32. Bajada de agua pluvial de tubo de fierro galvanizado de 4” .....	59
Figura 33. Detalle de conexión de bajada de agua pluvial por tubo de fierro galvanizado .....	60
Figura 34. Tinacos de 1100 litros de capacidad .....	61
Figura 35. Gráfica de precipitación media mensual 1986-2015, Morelia.....	65
Figura 36. Medidor de agua de la cisterna del edificio “C” .....	70
Figura 37. Bajada de agua pluvial del edificio “C” .....	73
Figura 38. Conducción del escenario 1 .....	88
Figura 39. Conducción del escenario 2 .....	97
Figura 40. Mantenimiento del área de captación.....	136
Figura 41. Etiqueta para agua de lluvia no tratada del separador de primeras lluvias .....	138
Figura 42. Mantenimiento de filtro de malla .....	139
Figura 43. Mantenimiento de filtro de carbón activado .....	140

## Índice de tablas

Tabla 1. Área de captación máxima admisible para diferente intensidad de lluvia para el diseño de canaletas.....	22
Tabla 2. Área de captación máxima admisible para diferente intensidad de lluvia para el diseño de bajantes verticales .....	24
Tabla 3. Área de captación máxima admisible para diferente intensidad de lluvia para el diseño de bajadas de agua pluvial con 1% de pendiente .....	24
Tabla 4. Volúmenes recomendados para primeras lluvias según varios autores..	29
Tabla 5. Ventajas y desventajas de un tanque superficial o enterrado .....	34
Tabla 6. Especificaciones técnicas de la cubierta del edificio “C” .....	52
Tabla 7. Análisis económico para protección en canaleta con tela de criba .....	57
Tabla 8. Dimensiones de la cisterna del edificio “C” .....	62
Tabla 9. Clasificación de la precipitación .....	63
Tabla 10. Base de datos meteorológica. ....	64
Tabla 11. Precipitación media mensual (mm), Morelia, 1986-2015.....	66
Tabla 12. Coeficiente de escurrimiento $K_e$ .....	67
Tabla 13. Dotación de agua según el tipo de edificio .....	68
Tabla 14. Alumnos Facultad de Ingeniería Civil .....	69
Tabla 15. Consumo semanal de agua del edificio “C” .....	70
Tabla 16. Parámetros analizados en el laboratorio .....	75
Tabla 17. Parámetros de los escenarios factibles propuestos .....	83
Tabla 18. Parámetros utilizados en el escenario 1.....	84
Tabla 19. Simulación dinámica del agua de lluvia escenario 1 .....	84
Tabla 20. Balance del agua de lluvia para el escenario 1 .....	86
Tabla 21. Análisis económico del escenario 1.....	89

Tabla 22. Parámetros utilizados en el escenario 2.....	92
Tabla 23. Simulación dinámica del agua de lluvia escenario 2 .....	92
Tabla 24. Balance del agua de lluvia para el escenario 2 .....	95
Tabla 25. Análisis económico del escenario 2.....	98
Tabla 26. Parámetros utilizados en el escenario 3.....	101
Tabla 27. Simulación dinámica del agua de lluvia escenario 3 .....	101
Tabla 28. Análisis económico del escenario 3.....	104
Tabla 29. Consumo máximo para el escenario 3 .....	108
Tabla 30. Parámetros para tener agua de lluvia todo el año. ....	110
Tabla 31. Simulación dinámica del agua para tener agua de lluvia todo el año ..	110
Tabla 32. Resultados del laboratorio de la muestra 1 .....	112
Tabla 33. Resultados del laboratorio de la muestra 2 .....	114
Tabla 34. Resultados del laboratorio de la muestra 3 .....	116
Tabla 35. Resumen de los resultados de las 3 muestras de agua de lluvia.....	118
Tabla 36. Balance general de los tres escenarios factibles propuestos .....	122
Tabla 37. Simulación de la dinámica del agua de lluvia con diferentes capacidades de almacenamiento .....	123
Tabla 38. Resultados de las entrevistas.....	125

## Índice de ecuaciones

Ecuación 1. Ecuación de Manning .....	25
Ecuación 2. Radio hidráulico .....	25
Ecuación 3. Ecuación de la continuidad .....	25
Ecuación 4. Ecuación de Manning (gasto) .....	25
Ecuación 5. Área de un círculo.....	26
Ecuación 6. Perímetro mojado de un círculo.....	26
Ecuación 7. Radio hidráulico de un círculo.....	26
Ecuación 8. Fórmula de Manning para tubo completamente lleno.....	26
Ecuación 9. Precipitación promedio anual.....	64
Ecuación 10. Volumen promedio de captación anual.....	67
Ecuación 11. Volumen de agua al final de cada mes en el tanque .....	71

## **Resumen**

La captación y aprovechamiento del agua de lluvia es una de las técnicas más antiguas usadas por el hombre para obtener agua, si bien que se ha dejado de utilizar cuando se comenzó a utilizar el agua potable a través de tuberías en años recientes ha vuelto a tomar fuerza ante la creciente preocupación en el cuidado del agua y del medio ambiente. Captar el agua de lluvia otorga muchos beneficios el más importante que el agua que nos llega del cielo es gratis. Un sistema de captación de agua de lluvia (SCALL) consiste en un arreglo que permite interceptar, recolectar y almacenar el agua de lluvia. En el presente trabajo se analizaron y plantearon varios escenarios que resultan factibles para la captación y aprovechamiento del agua de lluvia que escurre del techo del edificio "C" de la Facultad de Ingeniería Civil de la UMSNH.

## **Abstract**

The collection and use of rainwater is one of the oldest techniques used by man to obtain water, although it has been discontinued when drinking water began to be used through pipelines in recent years. Strength in the face of growing concern in the care of water and the environment. Capturing rainwater provides many benefits, the most important is that the water that comes to us from the sky is free. A rainwater harvesting system (SCALL) consists of an arrangement that allows to intercept, collect and store rainwater. In the present work, several scenarios that are feasible for the collection and use of rainwater that runs off the roof of building "C" of the Faculty of Civil Engineering of the UMSNH were analyzed and raised.

**Palabras clave:** sistema, captación, agua, lluvia, recolección.



## 1. Introducción

### 1.1. Importancia del agua

Algunas teorías señalan que la vida comenzó en el agua, por lo que es reconocida como la fuente de la vida (Olmos, 2003). El agua es indispensable, no tiene sustituto y no se conoce forma de vida que prescindiera de ella. Sin esta sustancia aparentemente simple, no sería posible la existencia de la vida como la conocemos. El agua dio origen a la vida y la mantiene (CEMDA, 2006). Además de ser indispensable para la vida, nosotros empleamos el agua en nuestras actividades diarias, por ejemplo, cuando nos bañamos, cocinamos y regamos las plantas. También la usamos en la agricultura, en la actividad minera, en la industria textil, en fin, podemos seguir añadiendo más actividades y llegaríamos a la misma conclusión: el agua es un elemento imprescindible para el funcionamiento y desarrollo de nuestras sociedades. No sólo nosotros dependemos del agua para subsistir, también en los bosques, selvas y otras comunidades naturales, el agua es necesaria tanto para la supervivencia de las plantas y los animales, como para que puedan darse los flujos de nutrientes que mantienen a los ecosistemas (SEMARNAT, 2007). No se conoce ningún tipo de vida que no dependa del agua, con lo que se puede entender el papel crucial del agua en todo ecosistema y en nuestras propias vidas (CEMDA, 2006). El agua ha tenido una importancia crítica para la sociedad humana desde que las personas descubrieron que podían producir alimentos cultivando plantas. Las ciudades y pueblos que surgieron desde el este de Egipto hasta Mesopotamia (Irak actualmente) luego de la revolución agrícola que tuvo lugar alrededor del año 3500 a. C., requerían una provisión disponible de agua para sus necesidades domésticas y agrícolas. La abundancia del agua la hacía ideal como disolvente universal para limpiar y arrastrar todo tipo de residuos de las actividades humanas (Henry et al., 1999). El agua ha sido históricamente y seguirá siendo parte fundamental y vital en el desarrollo de todos los seres vivos en el planeta.



## 1.2. El agua y su problemática

Existen cerca de 1360 millones de kilómetros cúbicos de agua en el planeta, más del 97% se encuentra en los océanos (Barba & Colmenero, 2001). Aunque el agua es el elemento más frecuente en la Tierra, únicamente 2.5 % del total es agua dulce y el resto es agua salada. Aproximadamente las dos terceras partes del agua dulce se encuentran inmobilizadas en los glaciares y nieves perpetuas (UNESCO, 2003). El agua se distribuye globalmente tal como se indica en la figura 1.

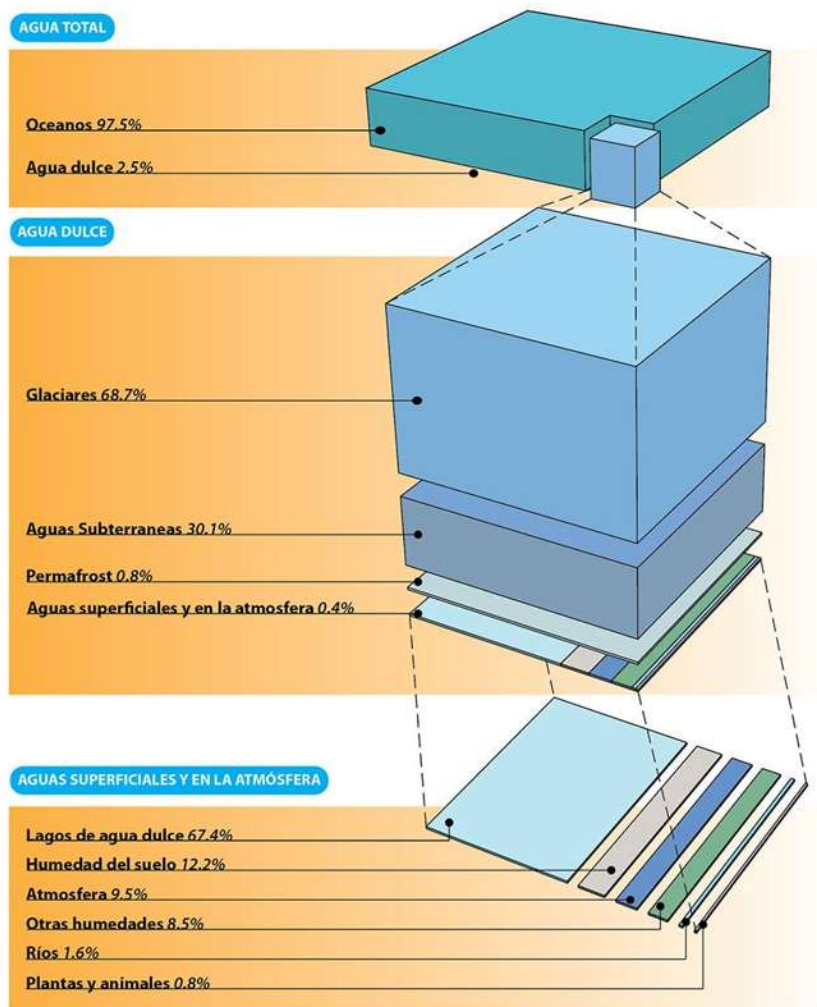


Figura 1. Distribución global del agua en el planeta (Secretaría de Recursos Hídricos y Coordinación, 2018).



El agua no es el problema, sino cómo es usada por la población; hoy en día vemos que el uso que se dio y se está dando al agua hace que el problema no sólo sea dirigido a las acciones de los usuarios, sino que también esté orientado hacia el recurso hídrico. Es decir, ya nadie se sorprende al oír que el agua está contaminada y que es cada vez más escasa. Este hecho obliga a los investigadores de las ciencias sociales y exactas, así como a los técnicos, ambientalistas y otros más a buscar los puntos de convergencia entre las distintas disciplinas, para estudiar y comprender de manera integral los problemas del agua, y así emprender la búsqueda de soluciones para tratar de evitar los conflictos que surgirán en este siglo XXI. Uno de los principales problemas del agua es su creciente escasez y por ende su disponibilidad. Entendemos por “escasez del agua” el desequilibrio que hay entre la demanda por el agua y la cantidad disponible en la naturaleza. La creciente demanda por el recurso se deriva del aumento poblacional que hace que se requiera de más agua, tanto para el consumo humano como para las actividades productivas de la agricultura y la industria. En este sentido, es importante señalar que de continuar usándola como lo estamos haciendo actualmente, será determinante para la situación de pobreza o bienestar de una nación (García, 2002). Aunque cada vez es más difícil tener acceso a las fuentes convencionales de agua que durante muchos años parecieron inagotables, es por eso que es de vital importancia buscar y promover el uso de fuentes alternativas de abastecimiento, entre ellas, la captación y aprovechamiento del agua de lluvia. Toda el agua disponible en el planeta es parte de un ciclo (figura 2). El desarrollo de la ciencia y de la tecnología para uso y manejo del agua deben orientarse a la búsqueda de un mejor aprovechamiento de este recurso en sus diversas fases y formas dentro del ciclo hidrológico (FAO, 2013). La cantidad de agua que tenemos en el planeta no varía. Sin embargo, el lugar, la forma y la calidad en que se encuentra sí presentan variaciones. A nivel local no disponemos de una cantidad fija. Hay promedios históricos, pero desgraciadamente cada vez es menos el agua disponible tanto en cantidad como en calidad, debido a la sobreexplotación, el cambio climático, la contaminación y la deforestación que hemos provocado. El agua es fundamental para la vida y su escasez afecta negativa y profundamente las posibilidades de



desarrollo de una región. Sin agua disponible todo el tiempo, quedan comprometidas las posibilidades de progreso económico y bienestar. Por otro lado, el exceso de agua también puede causar severos daños a la producción y la vida; pérdida de cosechas, empobrecimiento del suelo por lixiviación y erosión, riesgos de derrumbes, avalanchas e inundaciones, entre otros (CEMDA, 2006). Comprender el ciclo hidrológico y saber cuáles son sus variables manejables es importante para alcanzar el objetivo de mejorar la captación y aprovechamiento del agua de lluvia.

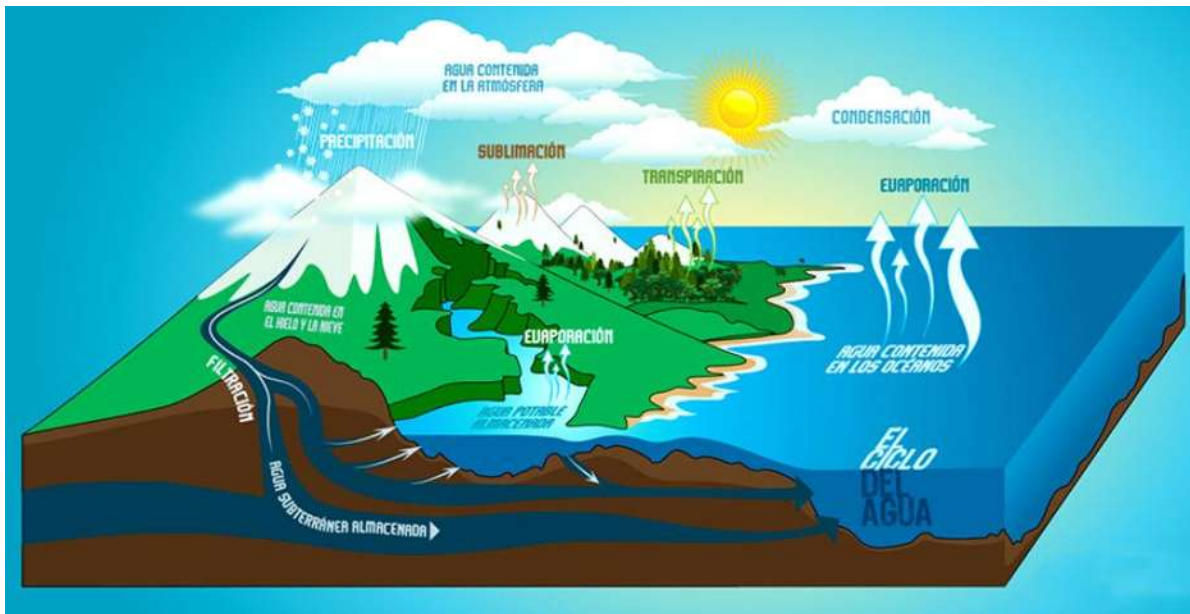


Figura 2. Ciclo del agua (Secretaría de Recursos Hídricos y Coordinación, 2018).

A medida que el hombre ha modificado el ciclo natural para poder utilizar el agua para su provecho, se han generado diferentes ciclos artificiales o antrópicos del agua que no sólo modifican su circulación, sino que implican una modificación de sus características, ya que en estos nuevos ciclos el agua ve alterada su calidad (Fernández, A., & Du Mortier, C., 2005). Tomamos y utilizamos grandes cantidades de agua limpia de la naturaleza y lamentablemente la devolvemos de nuevo contaminada en un grado alarmante (Lesur, 2000). El cambio climático, el aumento de la escasez de agua, el crecimiento de la población, los cambios demográficos y la urbanización ya suponen desafíos para los sistemas de abastecimiento de agua. De aquí a 2025, la mitad de la población mundial vivirá en zonas con escasez de agua (OMS, 1995).



### 1.3. Ciclo hidrológico y cambio climático

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

Algunos posibles cambios en el ciclo hidrológico causados por el cambio climático son (FAO, 2013):

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

Ante estos escenarios, donde no se percibe un futuro muy alentador, las acciones que se puedan tomar en relación al manejo y cuidado del agua, ya sean mínimas o de gran magnitud, adquieren una creciente importancia; en las que por supuesto se incluye la captación y aprovechamiento del agua de lluvia, aunque no como una solución total para terminar con la problemática del agua, pero sí como una medida que contribuye a la preservación del vital líquido.

*¡Es indispensable tomar acciones hoy para tener agua mañana!*



## 2. Marco teórico

### 2.1. Conceptualización de la Ecotecnología

En la década de los 80's repunta una creciente preocupación hacia el cuidado del medio ambiente y de su relación con las actividades y actitudes de la sociedad, que tiene su punto culminante en 1987 con la publicación por parte de las Naciones Unidas del informe Brundtland (titulado "Nuestro Futuro Común"), en el que se popularizó y se utilizó por primera vez el concepto de desarrollo sustentable, definido en este informe como "el desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras de satisfacer sus propias necesidades" (WCDE, 1987). Las primeras menciones del término "ecotecnología" en la bibliografía científica se remontan a la década de 1960, cuando Howard T. Odum, pionero del estudio de la ecología de ecosistemas, acuñó el término *ingeniería ecológica* o ecotecnología. Actualmente el término ecotecnología no tiene una definición precisa. En la bibliografía en inglés la mayoría de los resultados referentes a la palabra "Ecotechnology" se remiten a las aplicaciones de la ingeniería ecológica y la ecología industrial. En español las referencias científicas son escasas y por lo general están relacionadas con aplicaciones ecológicas como las tecnologías alternativas, dispositivos eficientes para el uso de agua y energía y algunas aplicaciones arquitectónicas. Una definición propuesta por Moreno et al. (UNAM) recientemente para el término ecotecnología es la siguiente: "*dispositivos, métodos y procesos que propician una relación armónica con el ambiente y buscan brindar beneficios sociales y económicos tangibles a sus usuarios, con referencia a un contexto socioecológico específico*". Un término que acompaña o se interpreta como sinónimo de la ecotecnología en la literatura, principalmente en el idioma español, es el de *ecotecnia*. Este concepto no ha sido definido en la bibliografía científica aunque su uso coloquial es tan común como el de ecotecnología. En los países desarrollados una gran parte de la discusión sobre ecotecnologías ha hecho énfasis en su utilización como medio para disminuir el impacto ambiental del crecimiento económico, e incluso en hacerlo compatible con el entorno ecológico, siguiendo los lineamientos del desarrollo sustentable (Moreno et al., 2014).



## 2.2. Agua pluvial como fuente de abastecimiento

La precipitación constituye la principal fuente de agua para todos los seres humanos y ecosistemas. El agua de lluvia representa un regalo de la naturaleza que debe aprovecharse integralmente. El agua de lluvia se valora por su pureza y suavidad. Tiene un pH casi neutro (generalmente), y está libre de subproductos de desinfección, sales, minerales y otros contaminantes naturales y artificiales, el agua de lluvia no contiene sodio. El riego con agua de lluvia capturada promueve el crecimiento saludable de las plantas. El riego con agua de lluvia capturada promueve el crecimiento saludable de las plantas. (Krishna et al, 2005). La captación y aprovechamiento del agua de lluvia es una de las varias ecotecologías que existen (paneles fotovoltaicos, estufas de leña mejoradas, biodigestores, deshidratadores solares, sanitarios secos, etc.) de la cual podemos obtener agua de una manera relativamente sencilla. En muchos lugares del planeta con alta o media precipitación y en donde no se dispone de agua en cantidad y calidad necesaria para consumo humano, se recurre al agua de lluvia como fuente de abastecimiento (CEPIS/OPS, 2004). En diversas partes del mundo se han construido desde tiempos remotos captaciones y reservorios para el almacenamiento de agua pluvial y algunos se han preservado hasta nuestros días. El agua pluvial se recolecta conforme se escurre por techos o sobre suelos naturales, caminos, patios o áreas de captación especialmente preparadas. La captación de agua de lluvia es una de las técnicas más antiguas para obtener agua para consumo humano y/o riego. Fuentes históricas mencionan el uso del agua pluvial hace unos 4000 años para el abastecimiento doméstico de agua en la región del Mediterráneo (Huisman et al., 1988). En México se conocen construcciones para el aprovechamiento de aguas pluviales que datan de 1,500 a. C. (Rojas et al, 2009). La carencia de agua fue resuelta por los antiguos Mayas mediante obras hidráulicas, como los Chultunes, aprovechando el agua de lluvia que escurría y la pendiente del terreno, construían cisternas subterráneas de forma irregular semejando el cuerpo de una vasija de barro (figura 3) para captar agua de lluvia y poder hacer uso de esta (Calderón, Z., & Hermes, B., 2005). Al igual que los chultunes existieron los jagüeyes, que por lo general se construían en lugares

cercanos a las montañas o cerros, la forma en la que funcionaban era canalizando las pequeñas corrientes que bajaban de los cerros hacia un depósito.

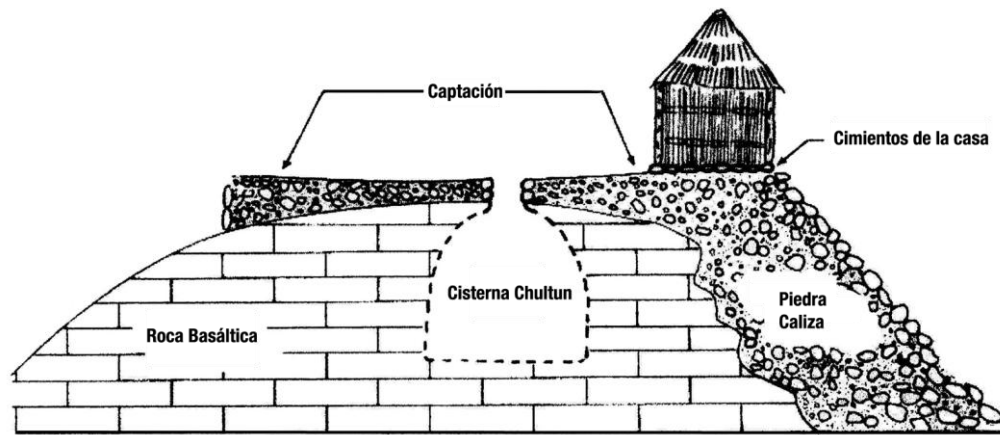


Figura 3. Corte transversal de un Chultún Maya. (Fuente: cortesía INAH).

Otras formas de jagüeyes se implementaban en las casas y edificios (figura 4) ya fuera en forma de pilas, cisternas o aljibes, los cuales por medio de los techos que daban directamente a un depósito de agua donde se asentaban las impurezas, de ahí pasaba al aljibe donde estaba lista para ser tomada (Rojas, 2009).

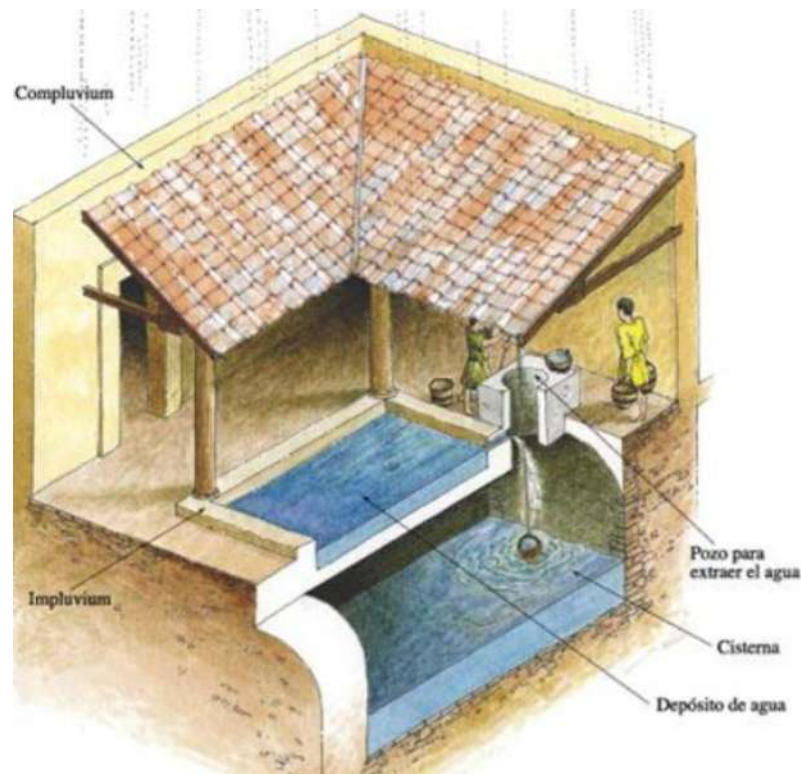


Figura 4. Aprovechamiento del agua de lluvia a través de un techo.



### 2.3. Captación y aprovechamiento de agua de lluvia

Dentro de la literatura especializada en el tema de captación y aprovechamiento de agua de lluvia, de fuentes gubernamentales, tanto nacionales como internacionales, así como instituciones educativas que han realizado investigación en esta área, podemos encontrar diversas definiciones que nos ayudan a comprender el significado de la captación y aprovechamiento pluvial o cosecha de agua de lluvia como también se le conoce, algunas definiciones son las siguientes:

- La cosecha de agua de lluvia es la captación de la precipitación pluvial para usarse en la vida diaria (SEMARNAT, 2007).
- Se entiende por captación y aprovechamiento del agua de lluvia todo tipo de esfuerzo técnico, simple o complejo, surgido de la iniciativa de los agricultores o desarrollado científicamente, para aumentar la cantidad de agua de lluvia que se almacena en el suelo o en estructuras construidas, de tal manera que pueda ser utilizada posteriormente, bajo condiciones de déficit de lluvias (FAO, 2013).
- La captación de agua de lluvia es la recolección, transporte y almacenamiento del agua de lluvia que cae sobre una superficie de manera natural o hecha por el hombre, usada para algún fin (Adler et al., 2008).
- Un sistema de captación y aprovechamiento de Agua de Lluvia (SCALL) consiste en un arreglo que permite interceptar, recolectar y almacenar el agua de lluvia (Moreno et al., 2014).
- Es la práctica de recolectar y utilizar el agua de lluvia que se descarga de las superficies duras, como los techos o el escurrimiento de suelos (Garza, 2008).
- Los sistemas de aprovechamiento de agua lluvia son el resultado de las necesidades (demanda), los recursos disponibles (precipitación, dinero para invertir y materiales de construcción), y las condiciones ambientales en cada región (Ballén *et al.*, 2006).



## 2.4. Ventajas y desventajas en la captación de agua de lluvia

La captación de agua de lluvia presenta las siguientes ventajas (Adler et al., 2008):

- El agua de lluvia es gratis.
- Alta calidad físico química del agua de lluvia.
- Comodidad y ahorro de tiempo en la recolección.
- Independencia relativa del sistema municipal o convencional.
- Algunos sistemas no requieren de energía para operar.
- El uso final del agua recolectada está situado cerca de la fuente, eliminando la necesidad de sistemas de distribución complejos y costosos.
- Los sistemas presentan un fácil mantenimiento.
- Ahorro económico por concepto de pago de agua potable.
- El agua lluvia no entra en contacto con el suelo y las rocas donde se disuelven las sales y los minerales, por lo tanto es suave.
- Captar el agua lluvia reduce en cierta medida las inundaciones y la erosión.
- El agua lluvia es ideal para la irrigación de los jardines y cultivos.
- Al recolectar el agua lluvia, se reduce el caudal del alcantarillado pluvial, evitando así el ingreso de altos volúmenes a los sistemas de tratamiento de aguas residuales.
- Se mantienen los acuíferos en mejores condiciones al tener una menor necesidad de extracción.
- Los usuarios del sistema se concientizan en el cuidado del medio ambiente y uso racional del agua.



Algunas de las desventajas que ofrecen los sistemas de captación de agua de lluvia son (Caballero, 2006):

- El agua de lluvia no es controlable y no se dispone durante las épocas de sequía.
- El agua de lluvia puede llegar a contaminarse por la excreta de los animales (aves principalmente) y por la materia orgánica (hojas).
- Las cisternas o tanques tienen un alto costo de construcción y puede ser una limitante.
- En algunas ocasiones puede ser que el tamaño de la cisterna esté limitado por el costo de construcción y que el agua disponible para el uso doméstico no sea suficiente.
- La disponibilidad del agua es limitada; por la cantidad de precipitación pluvial en cada ciudad, por el tamaño de la superficie de captación y por el tamaño de la cisterna. Fuentes suplementarias de agua pueden ser necesarias en algunas temporadas del año
- El costo inicial de la construcción o adecuación del sistema puede llegar a ser una inversión fuerte. Aunque esta dependerá de la construcción o modificaciones que se tengan que hacer en cada caso.
- El almacenamiento de agua puede inducir la presencia de mosquitos si no se cubre, los cuales pueden producir algunas enfermedades en el hombre



## 2.5. Factibilidad de la captación de agua de lluvia

En el diseño de un sistema de captación de agua de lluvia es necesario considerar los factores técnicos, económicos y sociales.

### Factor técnico

Los factores técnicos a tener presente son la producción u oferta y la demanda de agua:

- a) *Producción u “oferta” de agua*; está relacionada directamente con la precipitación pluvial durante el año y con las variaciones estacionales de la misma. Por ello es necesario contar con datos suministrados por la autoridad competente del país o de la región donde se pretende ejecutar el proyecto.
- b) *Demanda de agua*; la demanda depende de las necesidades del interesado y los usos que quiere darle al agua.

### Factor económico

Existe una relación directa entre la inversión requerida para implementar el sistema, el área de captación y el volumen de almacenamiento, resultando muchas veces una restricción para la mayor parte de los interesados. Asimismo, los costos del sistema propuesto deben ser comparados con los costos de otras alternativas destinadas al mejoramiento del abastecimiento de agua, teniendo presente el impacto que representa la cantidad de agua.

### Factor social

En la evaluación de las obras de ingeniería a nivel comunitario, siempre se debe tener presente los factores sociales, representados por los hábitos y costumbres que puedan afectar la sostenibilidad de la intervención. Al efecto, el responsable del estudio debe discutir con la comunidad las ventajas y desventajas de la manera tradicional de abastecimiento de agua y de la tecnología propuesta, buscando que la propia comunidad seleccione lo que más le conviene emplear. Los análisis deben considerar la conveniencia de adoptar soluciones individuales y colectivas, el tipo de material empleado en la fabricación de sus techos, la existencia de materiales alternativos en el lugar o sus alrededores y el grado de participación de la comunidad en la implementación del proyecto (CEPIS/OPS, 2004).



## **2.6. Normativa en la captación de agua de lluvia**

Hasta ahora no existe una normatividad que regule o determine las características de los SCALL, aunque instituciones como el CIDECALLI-CP (Centro Internacional de Demostración y Captación en Aprovechamiento del Agua de Lluvia) están realizando esfuerzos para establecerla. Esta institución está trabajando en la elaboración de una norma sobre sistemas de captación de agua de lluvia con el objeto de certificar a técnicos especializados en la materia. Desafortunadamente, varias organizaciones han promovido y construido SCALL que no funcionan de manera óptima, reduciendo la aceptación social de la tecnología en las comunidades en que son implementados. Por esta razón, es fundamental establecer una normatividad que certifique a los SCALL que son diseñados e implementados correctamente. En el Distrito Federal la Ley de Aguas aprobada en 2003 exige la cosecha de agua de lluvia en todas las nuevas edificaciones, promueve la implementación de estos sistemas en todas las construcciones y cuenta con un programa de certificación de edificaciones sustentables establecido en noviembre de 2008 por la Secretaría de Medio Ambiente en cuyo apartado de agua privilegia la captación y/o infiltración de las aguas pluviales. La NOM-127-SSA1-1994 determina los límites permisibles de calidad del agua para uso y consumo humano y la NOM-041-SSA1-1993 para agua embotellada. El agua cosechada por un SCALL que se destine al consumo humano debe cumplir con los parámetros establecidos en estas normas. Además, la NOM-230-SSA1-2002 establece los requisitos sanitarios que deben cumplir los sistemas de abastecimientos públicos y privados durante el manejo de agua para preservar la calidad del agua para uso y consumo humano (Moreno et al., 2014). Aunque en México la normativa relacionada con la captación y aprovechamiento del agua de lluvia es muy escasa un ejemplo a seguir es cómo los Estados Unidos de Norteamérica han logrado grandes avances en relación a este tema, los registros de sequías y las preocupaciones relacionadas con el abastecimiento de agua han servido como catalizadores para la creación de nuevas leyes que involucran captación y almacenamiento de agua de lluvia para distintos usos. Desde comienzos del presente siglo se ha incrementado el interés de incorporar los SCALL



en la legislación estatal de los Estados Unidos, lo que permitirá definir y clarificar cuándo la captura y acumulación de agua de lluvia puede realizarse. Según las leyes estadounidenses, la captura de agua de lluvia es el acto de utilizar un sistema de recolección de agua de lluvia para su uso doméstico, irrigación, ganadero e incluso sanitario. Algunos Estados de los USA (figura 5) han aprobado leyes que fomentan el uso de aguas grises para el riego y otras aplicaciones de conservación del agua.

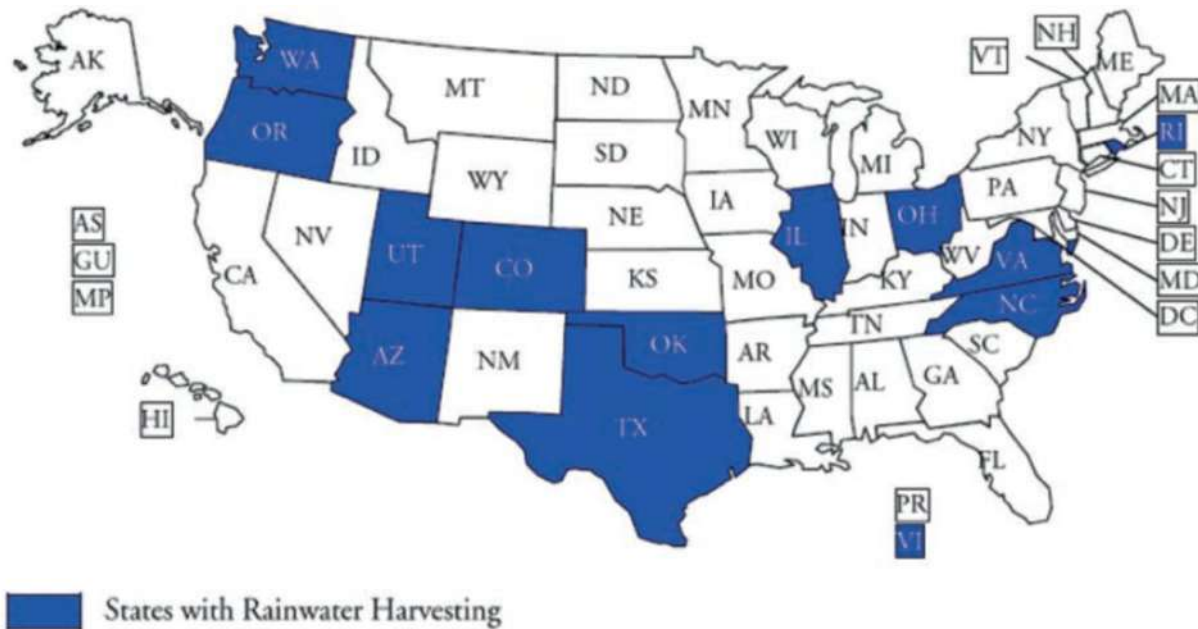


Figura 5. Mapa de los estados norteamericanos que han incorporado la captura de agua lluvia dentro de su sistema legal (Pizarro et al., 2015).

Cada Estado debe garantizar los estándares de calidad del agua capturada con el fin de asegurar la salud pública. Por ende, los estándares a cumplir se encuentran en función de qué uso se le dará al agua de lluvia. Para sistemas urbanos, lo más común es irrigación, por lo cual el nivel de exigencia es menor para estos casos. Sin embargo, puesto que cada Estado desarrolla su propio sistema legal, el concepto de captura de agua de lluvia varía dependiendo de dónde se instala el SCALL. Pese a que la mayoría de los Estados incentivan la captura y uso de agua de lluvia, en Colorado se tiene la visión de que toda agua que cae debe dejarse fluir, pues de



este modo el agua producida por la cuenca puede ser utilizada por quienes poseen los derechos de agua. Sin embargo, Colorado ha promulgado dos leyes importantes al respecto; una que permite a los dueños de ciertos tipos de pozos el uso de agua de lluvia, y otra que autoriza proyectos piloto de desarrollo. Texas, Ohio, Oklahoma y Arizona son algunos de los estados que han dedicado una considerable atención a este tema, puesto que tienen numerosas leyes promulgadas que regulan la práctica de la captura de aguas pluviales. Texas ofrece, por ejemplo, una exención del impuesto sobre las ventas en la compra de equipos de recolección de agua de lluvia. Tanto Texas como Ohio permiten abiertamente la práctica de capturar agua de lluvia, incluso para fines potables. Por otro lado, Oklahoma aprobó en el 2012 la Ley del Agua para el 2060, con el fin de promover proyectos piloto para el uso de agua de lluvia y aguas grises. Similarmente, Arizona, uno de los estados líderes en el uso de SCALL, promueve exhaustivamente el uso del agua de lluvia para regadío, en combinación con una arquitectura del paisaje basada en especies de bajo requerimiento hídrico. La mayoría de los estados norteamericanos que han incorporado la recolección de agua de lluvia en su sistema legal tratan de promover la captura y almacenamiento del recurso, en base a reducciones de impuestos a pagar y, en algunos casos, considerando reembolsos monetarios directos, según lo que haya gastado el propietario en la compra e instalación del sistema. Tal vez el más completo sistema legislativo relacionado con los SCALL está en Texas, ya que considera el almacenamiento de agua de lluvia para uso potable, doméstico e irrigación. Es obligatorio en la mayoría de las construcciones nuevas. También tienen instituciones financieras involucradas y estrictos estándares de calidad, lo que fuerza a cada condado para que promuevan el uso del agua de lluvia entre sus residentes. Por último, Arizona ofrece hasta US \$ 2,000 en devoluciones de impuestos y lo más importante, el Estado da incentivos para captar la lluvia no solo en el nivel del techo, sino también la escorrentía generada en el jardín residencial e incluso desde la escorrentía urbana que fluye por las calles (Pizarro et al., 2015).



## 2.7. Captación de agua de lluvia en techos

Esta tecnología se fundamenta en capturar y almacenar el agua de lluvia interceptada por los techos de las casas u otras superficies (figura 6), este tipo de sistema se conoce como sistema de captación de techo. La superficie que recibe la lluvia y genera la escorrentía a almacenar es el área de captación del SCALL. El techo de una casa es la primera opción para la captación pluvial. El capturar el agua mediante los techos, antes de que llegue al suelo, permite lograr altos niveles de calidad, normalmente mejor que el agua captada en otras estructuras (UNEP, 1983). La calidad del agua proveniente de distintos techos está en función del tipo de material del cual está construido, de las condiciones climáticas y del medio ambiente circundante. Además, la cantidad de agua de lluvia que se puede captar de un techo está en función de la textura del material: mientras más suave e impermeable es la superficie, más agua de escorrentía se genera. Sin embargo, lo que genera más escorrentía no siempre es lo más apropiado en términos de calidad del agua.

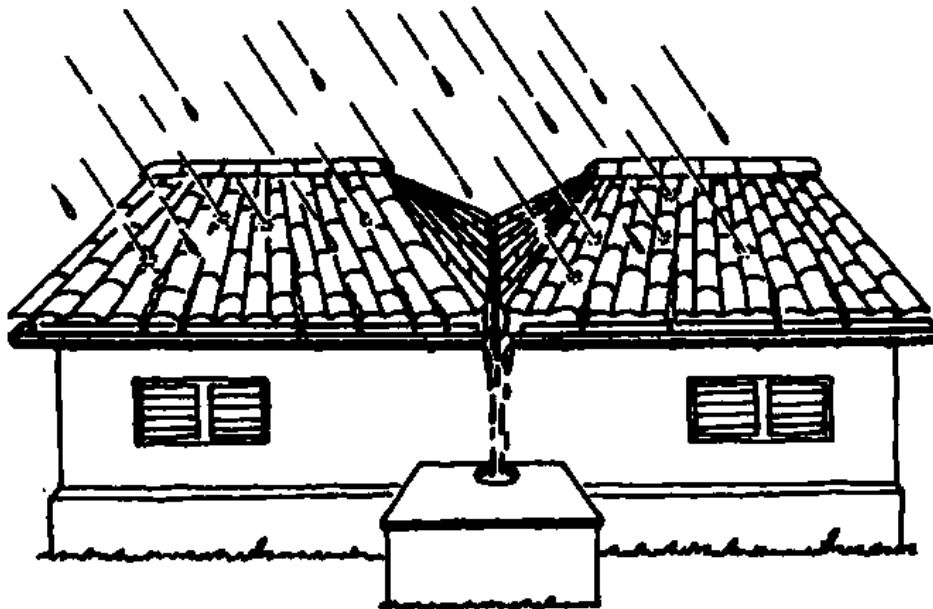


Figura 6. Aprovechamiento del agua de lluvia a través de un techo. (Fuente: Radulovich, 1994).



Dependiendo del clima en que el propietario se encuentre, un techo puede tener una superficie de acumulación natural de polvo, hojas, flores, ramas, insectos, excrementos de animales, pesticidas y otros residuos que viajan con el viento en forma suspendida.

Este tipo de captura de agua de lluvia es lejos el más popular, pues hay incontables prototipos y alternativas disponibles para capturar la escorrentía generada en los techos (Pizarro et al., 2015). Así, los sistemas de captación de los techos de las viviendas son el ícono de los sistemas de captación de agua de lluvia (Alfaro, 2009). Los techos requieren a menudo de algunos arreglos antes de utilizarlos con este fin (Brito et al., 2007).

Los techos, por su condición impermeable, producen un volumen de escorrentía cercano al volumen de lluvia. El hecho de que estén en posición elevada e inclinada facilita la captación y almacenamiento del agua (FAO, 2013). Los techos son superficies captadoras que siempre y cuando no desprendan residuos o contaminantes al contacto con el agua, se pueden ocupar (Farreny et al., 2011).

En caso de querer utilizar un SCALL cuya fuente de agua sea un techo, es conveniente ubicarlo cerca de la construcción, para reducir costos en las tuberías de transporte del agua. De igual forma, el SCALL debe estar ubicado lo más cerca posible del lugar donde se utilizará el agua. El sistema de captación de agua de lluvia puede ser tan sencillo como generalmente se emplea en países en desarrollo o tan sofisticado con tratamientos automáticos en cada proceso y con monitoreo electrónico (Caballero, 2006).



## 2.8. Elementos que conforman un SCALL de techo

Un sistema típico para nuestro caso es el mostrado en la figura 7, compuesto por los siguientes elementos:

- Área de captación
- Recolección y conducción
- Interceptor de primeras aguas
- Almacenamiento

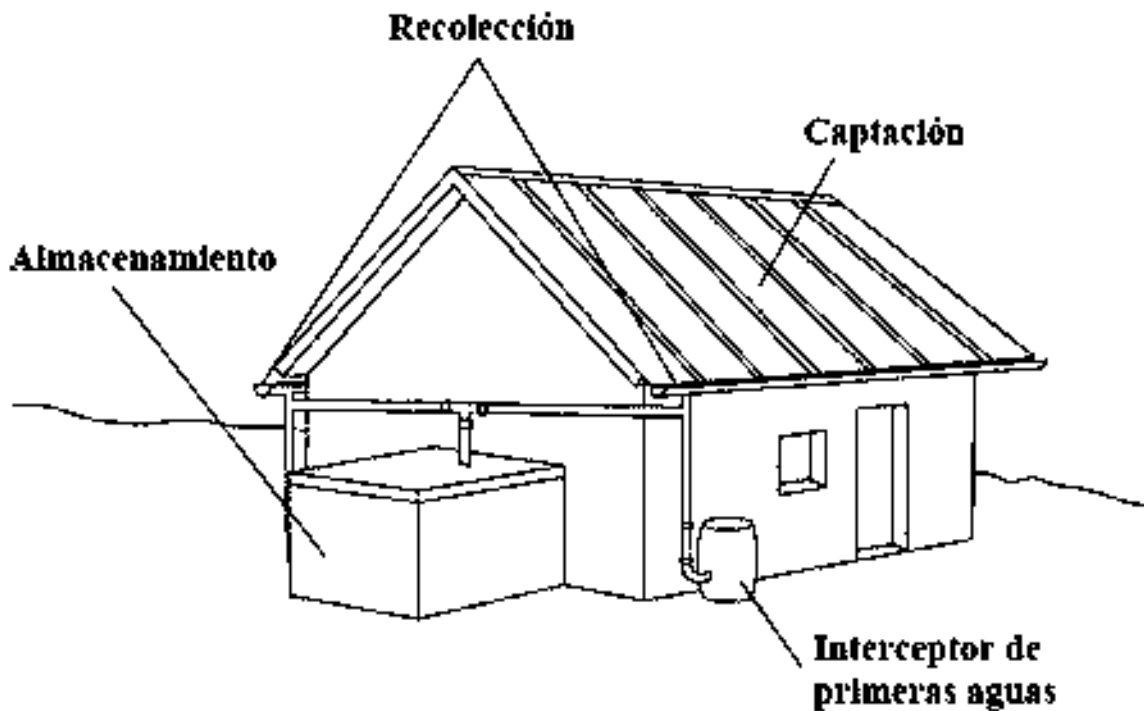


Figura 7. Elementos que conforman un sistema de captación de agua de lluvia en techos (CEPIS/OPS, 2004).



### 2.8.1. Área de captación

Es el área del techo proyectado de forma horizontal el cual debe tener una pendiente que facilite el escurrimiento del agua de lluvia al sistema de recolección (Caballero, 2006). El techo de un edificio o casa es la primera opción obvia para la captación (Krishna et al., 2005). El techo es el componente más importante del sistema. Debe ser de material impermeable, liso y uniforme (sin deformidades) para que el coeficiente de escurrimiento sea elevado, arriba de 0.8 u 80%, (FAO, 2013). El material de techo más recomendable es la lámina galvanizada, aunque en el medio rural se encuentran techos de fibrocemento, tejas de arcilla, palma, losas de concreto, etc. La ventaja que proporciona la lámina galvanizada es que presenta una superficie lisa de fácil escurrimiento y efecto esterilizante debido al calentamiento del metal por el sol. Cuando llueve existen pérdidas de agua en el techo debido a infiltraciones; por evaporación del agua que humedece la superficie y por salpicaduras debido a fuertes vientos. Estas pérdidas se representan como un coeficiente de escurrimiento y es un número entre 0 y 1.

Existen tres características fundamentales referentes al área de captación disponible (techo) (Radulovich, 1994):

- a) Debe estar limpio, libre de roturas y fugas, y lo más uniforme posible para facilitar el flujo del agua. Esta es una consideración que incide directamente sobre la calidad y la cantidad del agua capturada por unidad de captación disponible.
- b) El área existente, para un patrón de lluvia dado, determinará la capacidad máxima de captación, existe una relación entre el área disponible de captación y el diseño de los tanques de almacenamiento.
- c) Se seleccionará la parte del techo (que puede ser su totalidad) que presente las mejores características para ser usado para la captación, incluyendo cercanía al tanque de almacenamiento.



### **2.8.2. Recolección**

La recolección del agua de lluvia que escurre sobre una superficie generalmente lo constituyen las canaletas que van adosadas a los aleros de los techos, en donde el agua se recolecta y conduce por medio de tuberías al tanque de almacenamiento. Las canaletas se instalan en los bordes más bajos del techo, en donde el agua de lluvia tiende a acumularse antes de caer al suelo; el material debe ser liviano, resistente, fácil de unir entre sí, debe combinar con los acabados de las instalaciones (zonas urbanas), que no contamine con compuestos orgánicos o inorgánicos; por lo que se recomienda se coloquen mallas (figura 8) que detengan basura, sólidos y hojas, para evitar la obstrucción del flujo en la tubería de conducción; así mismo, realizar en los techos labores de limpieza a inicio de la época de lluvias (Phillips, 2010). Hay algunas pautas generales para seleccionar e instalar canaletas en un sistema de captación de agua de lluvia. Criterios generales para seleccionar e instalar canaletas (Mechelle et al, 2010):

- Seleccione canaletas de al menos 5 pulgadas (12.7 cm) de ancho.
- Seleccione canaletas hechas de acero galvanizado (mínimo de calibre 29) o aluminio (mínimo de 0.025 pulgadas).
- Se prefieren canaletas de fondo redondeado para disminuir que los desechos queden adheridos a ella.
- Tener una pendiente de 1/16 de pulgada por cada pie en la canaleta para mejorar el flujo (0.5 cm por cada metro lineal).
- Use juntas de expansión en las conexiones para tramos rectos que excedan 12 metros.
- Proporcione soportes colgantes al menos cada metro.

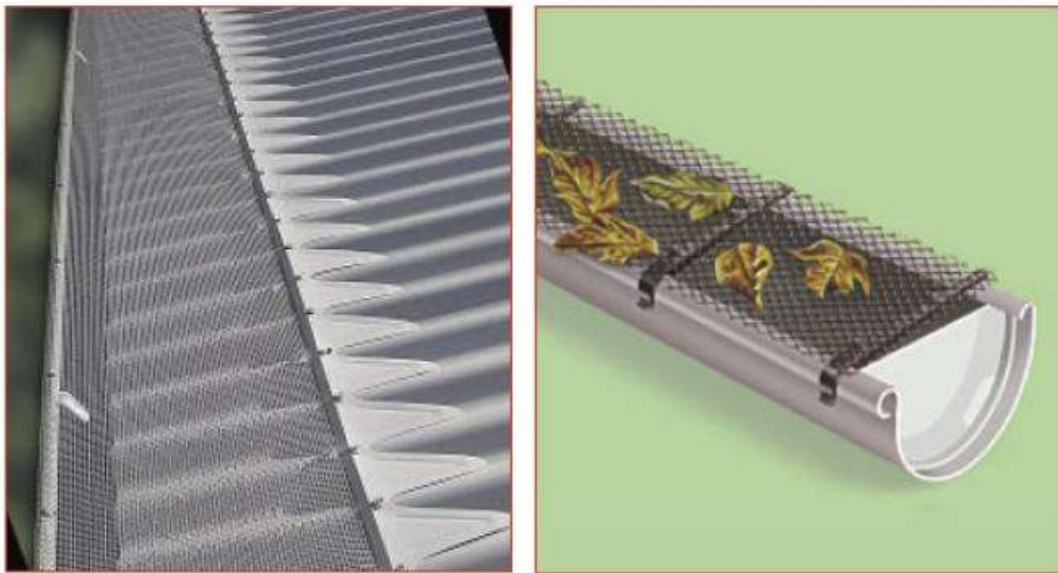


Figura 8. Canaletas con malla para evitar la contaminación por hojas.

El dimensionamiento de canales y bajantes es crítico para el transporte eficiente de agua y la minimización de pérdidas. Las dimensiones de las canaletas estarán en función de las dimensiones del techo y de la precipitación, aunque se ha comprobado que para techos de viviendas de aproximadamente 60 m<sup>2</sup>, son suficientes canaletas con sección de ½ tubo de 15 cm (6") o de sección cuadrada de 18.9 cm y 1% de pendiente (Caballero, 2006).

Los siguientes pasos describen el proceso de dimensionamiento de una canaleta (Mechelle et al, 2010):

1. Determine el número de la intensidad de la lluvia para un periodo de retorno de 100 años y una duración de 60 minutos para la ubicación del área de captación (figura 9).
2. Calcular el área de captación.
3. Determine el tamaño de la canaleta usando pendiente, intensidad de lluvia y área máxima (consultar la tabla 1).
4. Compare las pendientes de las canaletas y áreas para ajustar el tamaño de la canaleta.





### **2.8.3. Conducción**

Es la tubería que conduce el agua retenida en las canaletas hacia el almacenamiento (Pizarro et al, 2015). En el caso de techos planos de losas de concreto, se recomienda conducir el agua hacia un punto donde se capte y canalice a la cisterna. Para la conducción del agua de la canaleta al tanque, es suficiente para viviendas una tubería de 2 pulgadas, pero si existe en la zona una alta precipitación o el área de captación es grande, se recomienda utilizar tubería de mayor diámetro (4, 6 o más pulgadas). Se recomienda utilizar tubería de PVC sanitario, porque es el más económico, pero se puede utilizar PVC hidráulico, tubería de fierro galvanizado, etc. (Caballero, 2006). Aunque lo normal es que vayan en los extremos de las canales, las bajadas pueden instalarse en cualquier punto a lo largo del recorrido de una canaleta. Cuando la pendiente es poca, una bajada cada 5 o 6 metros de canal puede ser suficiente. Si la pendiente es mayor, considere una cada 9 o 10 metros. Normalmente, una bajada sirve para evacuar aproximadamente 65 m<sup>2</sup> de superficie de techo. Al igual que las canales, el tamaño de su sección debe estar relacionado con la superficie de cubierta que desagua (Pizarro et al, 2015).

Los siguientes pasos describen el proceso de dimensionamiento de la tubería vertical de una bajante de agua (Mechelle et al, 2010):

1. Determine el número de la intensidad de la lluvia para un periodo de retorno de 100 años y una duración de 60 minutos para la ubicación del área de captación.
2. Calcular el área de captación.
3. Determine el tamaño de la bajante de agua usando pendiente, intensidad de lluvia y área máxima (consultar la tabla 2 y 3).
4. Verifique el tamaño con las pautas generales previamente expuestas para bajantes de agua.



Tabla 2. Área de captación máxima admisible para diferente intensidad de lluvia para el diseño de bajantes verticales (Mechelle et al., 2010. Traducción y conversión de unidades por el autor).

		Área de techo proyectada horizontal máxima permitida para diferente intensidad de lluvia (m <sup>2</sup> )					
Díámetro de tubo (in)	Flujo (l/s)	Intensidad 25 mm/hr	Intensidad 50 mm/hr	Intensidad 75 mm/hr	Intensidad 100 mm/hr	Intensidad 125 mm/hr	Intensidad 150 mm/hr
2	1.5	202	101	67	51	40	34
3	4.2	600	300	200	150	120	100
4	9.1	1286	643	429	321	257	214
5	16.5	2334	1117	778	583	467	389
6	26.8	3790	1895	1263	948	758	632
8	57.6	8175	4088	2725	2044	1635	1363

Tabla 3. Área de captación máxima admisible para diferente intensidad de lluvia para el diseño bajadas de agua pluvial con 1% de pendiente (Mechelle et al., 2010. Traducción y conversión de unidades por el autor).

Pendiente 1%		Área de techo proyectada horizontal máxima permitida para diferente intensidad de lluvia (m <sup>2</sup> )					
Díámetro de tubo (in)	Flujo (l/s)	Intensidad 25 mm/hr	Intensidad 50 mm/hr	Intensidad 75 mm/hr	Intensidad 100 mm/hr	Intensidad 125 mm/hr	Intensidad 150 mm/hr
3	2.1	305	153	102	76	61	51
4	4.9	699	349	233	175	140	116
5	8.8	1241	621	414	310	248	207
6	14.0	1988	994	663	497	398	331
8	30.2	4274	2137	1424	1068	855	713
10	54.3	7692	3846	2564	1923	1540	1282



## Fórmula de Manning

Para los cálculos hidráulicos de tuberías existe gran diversidad de fórmulas por lo general la fórmula de Manning se ha usado para canales, en tuberías la fórmula se usa para canal circular parcial y totalmente lleno. La ecuación de Manning se expresa como (CONAGUA, 2016):

$$v = \frac{1}{n} Rh^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} \quad \text{Ecuación (1)}$$

En donde:

v = velocidad del flujo (m/s)

n = coeficiente de rugosidad (adimensional)

Rh = radio hidráulico (m)

S = pendiente del tubo (m/m)

$$Rh = \frac{A}{Pm} \quad \text{Ecuación (2)}$$

En donde:

Pm = perímetro mojado (m)

A = área del tubo (m<sup>2</sup>)

Ya que el gasto es igual al producto del área por la velocidad, esto es:

$$Q = vA \quad \text{Ecuación (3)}$$

Sustituyendo la ecuación 3 en la ecuación 1 tenemos:

$$Q = \frac{A}{n} Rh^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} \quad \text{Ecuación (4)}$$

Donde:

Q= gasto (m<sup>3</sup>/s)

n = coeficiente de rugosidad (adimensional)

Rh = radio hidráulico (m)

S = pendiente del tubo (m/m)



Para tubo completamente lleno el área, el perímetro mojado y el radio hidráulico quedan definidos de la siguiente manera:

$$A = \frac{\pi D^2}{4} \quad \text{Ecuación (5)}$$

$$Pm = \pi D \quad \text{Ecuación (6)}$$

$$Rh = \frac{A}{Pm} = \frac{\left(\frac{\pi D^2}{4}\right)}{\pi D} = \frac{D}{4} \quad \text{Ecuación (7)}$$

Donde:

$$\pi = 3.1415927$$

D = diámetro interno de la tubería (m)

La fórmula de Manning para tubo completamente lleno es la siguiente:

$$Q = \frac{A}{n} \left(\frac{D}{4}\right)^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} \quad \text{Ecuación (8)}$$



#### 2.8.4. Separador de primeras lluvias

También conocido como interceptor o desviador de primeras lluvias, es el dispositivo de descarga de la primera agua de lluvia proveniente del lavado del techo y que contiene todos los materiales que en él se encuentren en el momento del inicio de la lluvia (CEPIS/OPS, 2004). Un techo puede recolectar sobre su superficie de manera natural polvo, hojas, flores, ramitas, cuerpos de insectos, heces de animales, pesticidas, y otros residuos transportados por el aire (Krishna et al, 2005) Un separador de primeras lluvias consiste en un tanque que puede ser de diferentes materiales, de volumen mucho menor al del depósito de almacenamiento, donde se acumula la primera lluvia que escurre de una superficie, al llenarse este dispositivo el agua se conduce al lugar donde se almacena para su posterior uso. La fuente de alimentación se drena a través de la instalación de una llave o agujero en la parte baja del separador de primeras lluvias que permita desalojar esa primera agua más sucia. Debido al hecho de que los períodos iniciales de cada lluvia contienen el más alto nivel de contaminación, desviar esta agua puede reducir la concentración de contaminantes en el tanque de almacenamiento (Mechelle et al, 2010). Los separadores de primeras lluvias los podemos encontrar en venta en el mercado, aunque también se pueden construir, haciendo algunos arreglos de plomería. El *tlaloque* (figura 10.a) es un separador de primeras lluvias desarrollado y comercializado por Isla Urbana, el tlaloque permite conectar superficies de hasta 120 m<sup>2</sup> y elegir cuantos litros de lluvia a separar. Su capacidad total es de 210 litros, tiene un costo de \$ 3,250.00 MXN. El separador de primeras lluvias con pelota (figura 10.b) es un arreglo con tubería de PVC y accesorios, que utiliza una bola flotante, la primera agua de lluvia llega y se introduce al tanque de plástico, al subir su nivel llega un punto donde la pelota bloquea la entrada de agua y la obliga a desviarse hacia la cisterna de almacenamiento. La desventaja de este sistema de desvío es que en ocasiones la pelota no sella por completo mezclando de esta manera el agua limpia con la más sucia. El separador de tubo vertical (figura 10.c) aprovecha la tubería existente como separador de la primera descarga de lluvia, la longitud de la bajada determina el volumen (litros) que puede ser desviado, el tubo al llegar a su capacidad máxima desvía el agua más limpia al depósito de



almacenamiento. Los desviadores de tubo vertical pueden no ser el mejor dispositivo de elección porque el volumen de agua de lluvia que puede ser desviada no es mucha.

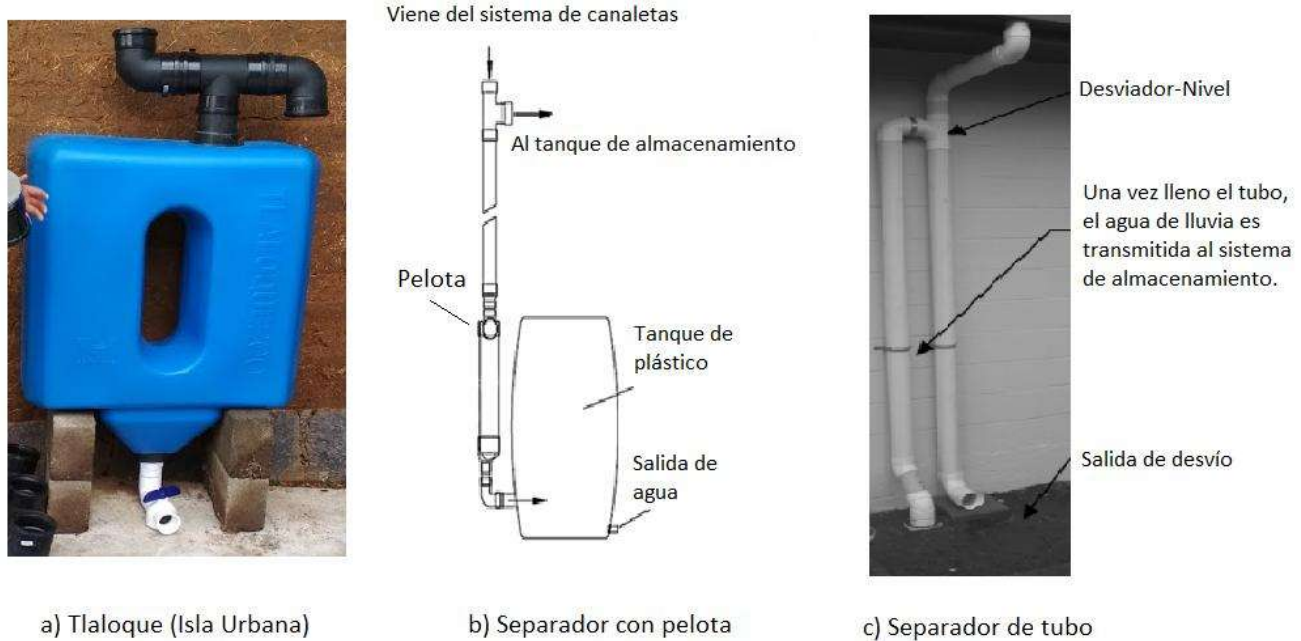


Figura 10. Ejemplos de separadores de primeras lluvias.

Las recomendaciones de volúmenes óptimos de agua de la primera descarga para ser desviada varían mucho. El objetivo es desviar suficiente agua para reducir efectivamente la carga de contaminantes sin disminuir sustancialmente los volúmenes de agua almacenada. Basado en la literatura hay muchas sugerencias y recomendaciones para determinar el volumen del separador de las primeras lluvias. Una regla general para determinar el volumen de primera descarga de agua de lluvia es recomendada en *The Texas Manual of Rainwater Harvesting* y consiste en desviar un mínimo de 10 galones (37.85 litros) por cada 1,000 pies cuadrados (92.9 metros cuadrados) de superficie de recolección. Un estudio preliminar de cosecha de agua recomienda que entre 13 y 49 galones se desviarán por cada 1,000 pies cuadrados. La razón principal de la amplia variación en las estimaciones es que no hay cálculo exacto para determinar cuánta agua debe ser desviada porque hay muchas variables que harían determinar la efectividad del lavado de los contaminantes de la superficie de colección, al igual que hay muchas variables que



determinan la composición de los contaminantes mismos (Krishna et al, 2005). A continuación se muestran en la tabla 4 varias recomendaciones de los volúmenes de desvío de las primeras lluvias.

Tabla 4. Volúmenes recomendados para primeras lluvias según varios autores (Mechelle et al., 2010. Traducción y conversión de unidades por el autor).

Volumen de primera descarga (en litros o mm de lluvia)	Criterios de destino	Fuente
0.25 mm	"Casa típica"	Jenkins and Pearson, 1978
0.41-0.79 mm	100 m <sup>2</sup>	Krishna, 2005
25 L	"Techo de tamaño promedio"	Cunliffe, 2004
20-25 L	-	WHO, 2004
2 mm	100 m <sup>2</sup>	Wade, 2003
5 L	-	Yaziz et al., 1989
0.5-1 mm	-	Gardner et al., 2004
3.6-8.38 mm	Basado en turbiedad	Martinson and Thomas, 2004
0.05-0.08 mm	Por cada 93 m <sup>2</sup> basado en el nivel de contaminación	ARCOSA, 2009

Muchos de los volúmenes de desvío recomendados se basan en reglas empíricas (resultado de la práctica y experiencia) debido a que la carga de contaminantes del agua de lluvia de un sistema de recolección varía según las características de la lluvia, ubicación de la zona de aprovechamiento, número de días secos, área, pendiente y material de la superficie de captación, así como otras variables específicas del sitio (Krishna et al., 2005).

Los factores que influyen en la cantidad para desviar incluyen (Mechelle et al., 2010):

- Es necesario desviar menos agua con techos de materiales metálicos.
- Es necesario desviar más agua si hay árboles con ramas sobresaliendo en el techo, cables, fuentes potenciales de basuras sobre la azotea.
- Es necesario desviar más agua cuando hay niebla contaminante (*esmog*) y contaminación del viento predominante.



- Es necesario desviar menos agua con las azoteas más inclinadas que lavan más rápidamente los desechos contaminantes.

Aunque se ha comprobado que desviar las primeras lluvias reduce significativamente la contaminación del agua, se sabe también que la contaminación microbiana no disminuye con esta medida, si se contempla usar el agua para uso y consumo humano. Los dispositivos de desvío de primeras lluvias mencionados anteriormente, son ideales para áreas de captación típicas de una casa habitación. Para áreas más grande se recomienda usar tanques de polietileno de alta densidad con capacidad de volumen superior a los 500 litros. En la figura 11 se ilustra el arreglo para un desviador de primeras lluvias que utiliza un tinaco como almacenamiento.

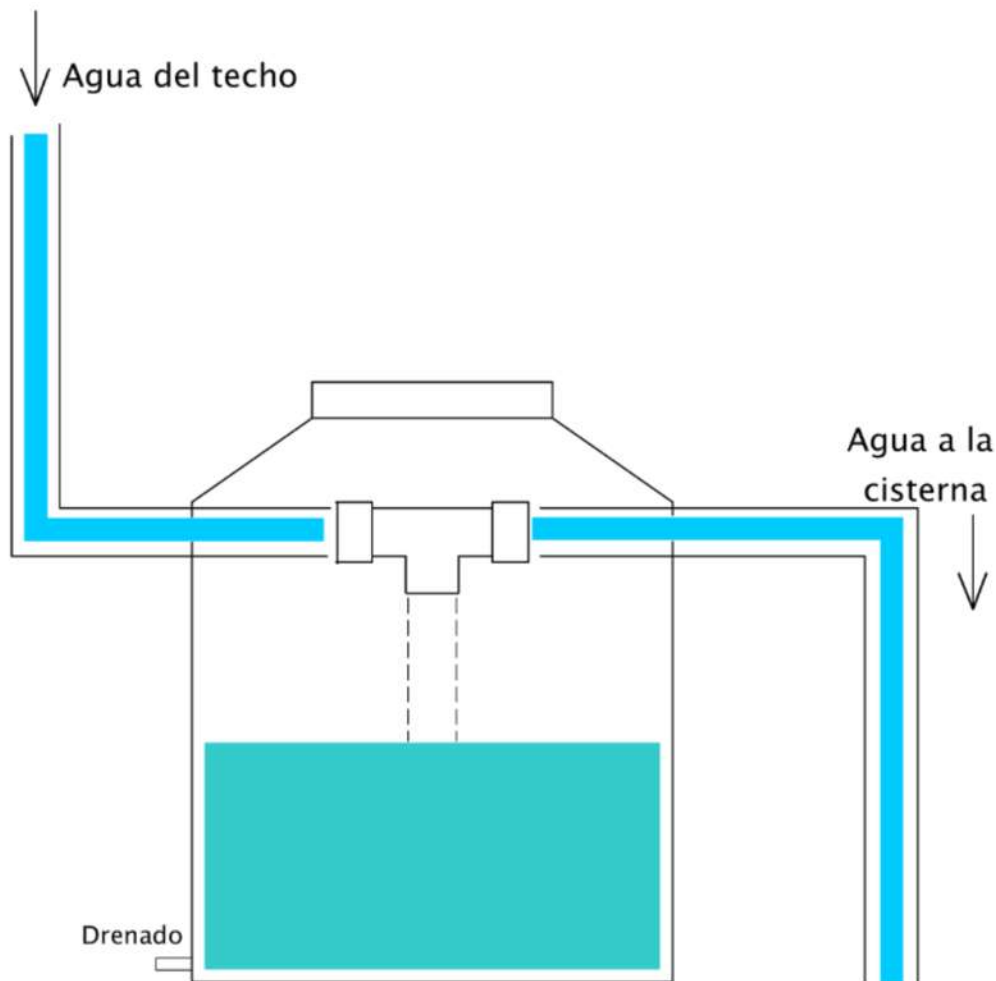


Figura 11. Separador de primeras lluvias (fuente: elaboración propia).



## Drenado del separador de primeras lluvias

Para garantizar la calidad del agua de lluvia que se pretende utilizar para un uso determinado es necesario tener un correcto funcionamiento del separador de primeras lluvias. El drenado del dispositivo de almacenamiento del separador es de vital importancia para un correcto funcionamiento ya que el separador de primeras lluvias debe estar vacío al comienzo de cada lluvia para poder almacenar los primeros chorros de agua que son el resultado del lavado de la superficie de captación y que es agua más sucia que la que se capta posterior a los primeros minutos del comienzo de la lluvia, si el drenado no se hace de manera periódica por el operador del SCALL no se desviará esa agua contaminada e irá de manera directa al tanque de almacenamiento lo cual afectará significativamente la calidad del agua de lluvia a utilizar además de ocasionar problemas en el uso de filtros y otros dispositivos de desinfección. El drenado manual se puede cambiar por el uso de una electroválvula (figura 12) para el drenado automático del separador de primeras lluvias que se conecta junto a un temporizador para programar el vaciado del separador cada determinado tiempo.



Figura 12. Válvula de drenado electrónica con temporizador.



### 2.8.5. Caja de Llegada

Es una especie de registro de mampostería generalmente, que se puede usar en combinación con un separador de primeras lluvias, la caja de llegada (figura 13) iría después del separador y antes del tanque de almacenamiento. Esta caja funcionaría como una especie de prefiltro, detiene partículas de cierto tamaño ya que en su interior se adapta una malla o criba de cierta abertura, además de calmar el agua que viene del separador. Esta caja además de las funciones ya mencionadas serviría para controlar la entrada y demasías del agua de lluvia, ya que al estar antes de la cisterna se puede impedir la entrada de agua de lluvia que entra a través de la caja y a su vez ésta en su parte superior tiene una tubo de rebosadero de agua de lluvia para dirigir el agua a otro lugar.

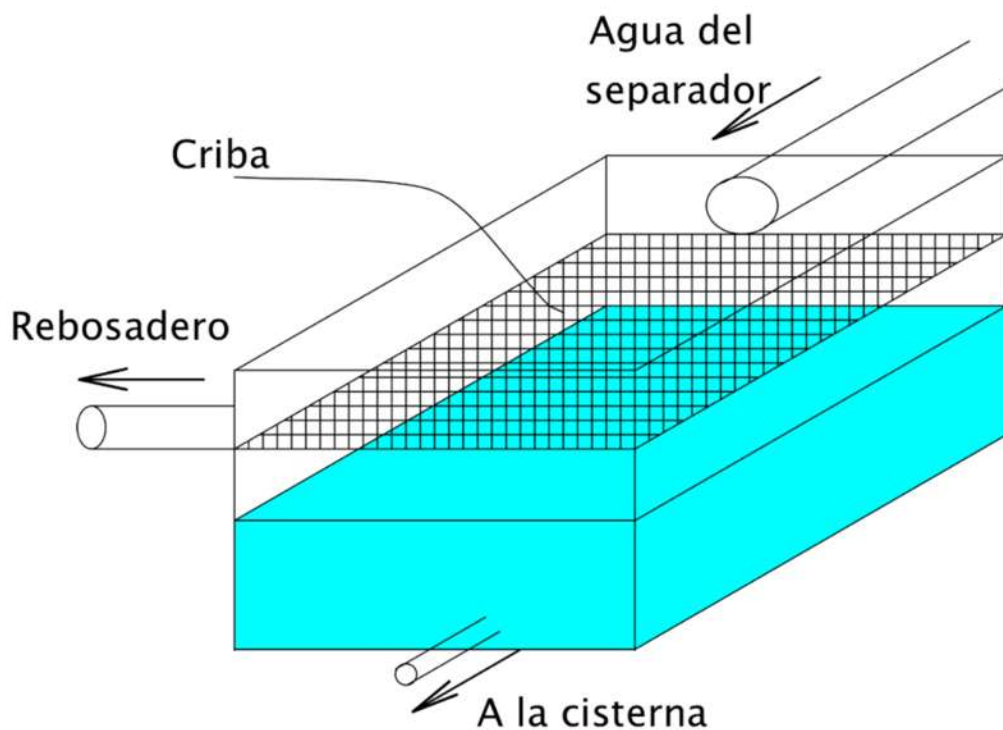


Figura13. Caja de llegada (fuente: elaboración propia).



### **2.8.6. Almacenamiento**

Es el elemento más importante del sistema de captación por su costo, pues representa aproximadamente el 90% del costo total del sistema.

#### **Requisitos del depósito de almacenamiento**

Los tanques o depósitos de almacenamiento de agua deben considerar los siguientes requerimientos:

- Tener suficiente resistencia estructural ante fenómenos naturales (sismo).
- No deben de permitir que pase la luz y evitar la entrada de polvo e insectos. La luz genera la aparición de algas (agua con tonalidad verde) y los insectos encuentran un lugar apto para reproducirse.
- Tener un dispositivo de filtrado. Para el medio rural y por cuestiones económicas, es suficiente un filtro a base de grava, arena y carbón activado para obtener agua apta para uso doméstico.
- Tener una tubería de entrada del agua de la canaleta al tanque de almacenamiento.
- Tener un dispositivo de extracción del agua por gravedad (llave de toma).
- Tener un dispositivo para eliminar el agua de excedencias sin dañar al tanque o su cimentación.
- Tener una tapa de acceso al interior para limpieza y reparaciones.
- Tener un dispositivo para eliminar el agua durante su limpieza (desagüe).

#### **Tipos de tanques de almacenamiento**

Los tanques pueden clasificarse en función a su posición con respecto al nivel del terreno, así se tienen:

- Tanques elevados.
- Tanques superficiales (asentados en la superficie del terreno).
- Tanques semienterrados.
- Tanques enterrados, conocidos comúnmente como cisternas.

Los tanques o depósitos pueden construirse o fabricarse de diferentes tipos de materiales como: láminas de acero galvanizado, fibra de vidrio, plástico (PVC), concreto, ferrocemento, mampostería, polietileno de alta densidad, etc. Con relación



a la forma, los tanques pueden ser cilíndricos, esféricos, cúbicos, etc. En el caso del ferrocemento, este material permite la construcción de cualquier forma y por su facilidad de construcción se recomienda la forma cilíndrica con una tapa o cubierta que generalmente es un domo (Caballero, 2006). Las ventajas y desventajas de construir un tanque superficial o enterrado se indican en la tabla 5.

Tabla 5. Ventajas y desventajas de un tanque superficial o enterrado (Caballero, 2006).

Descripción	Ventajas y desventajas	
	Tanque superficial	Tanque enterrado
Sistema de captación de agua de lluvia	Capta el agua de los techos si está a un nivel inferior	Puede requerir o no un espacio en la superficie
Características del terreno de cimentación	El suelo es menos resistente si está suelto o contiene mucha materia orgánica, provocando problemas de estabilidad	El suelo es más firme para soportar las cargas y las paredes del tanque pueden ser más delgadas
Presión del terreno lateral	No lo tiene	Cuando el tanque está vacío, el suelo poco compacto puede ejercer una presión importante
Presión del agua	Las paredes del tanque están sujetas a la presión del agua y se incrementa durante los sismos. La falla puede ser más peligrosa	La presión que ejerce el agua a las paredes del tanque disminuye por la presión que ejerce del otro lado del terreno y el tanque es más estable durante los sismos
Efectos de la intemperie	Las paredes del tanque están sujetas a esfuerzos de expansión o contracción por calentamiento y enfriamiento	Las paredes están más protegidas a los efectos del intemperismo

Continúa tabla 5...



Descripción	Ventajas y desventajas	
	Tanque superficial	Tanque enterrado
Efectos del nivel freático	No le afecta	Si el nivel freático está superficial, el tanque puede flotar cuando esté vacío
Temperatura del agua	La temperatura cambia conforme ésta varíe con el exterior	La temperatura se mantiene más fresca y uniforme
Mantenimiento	El mantenimiento resulta fácil	El mantenimiento resulta más complicado
Reparación de grietas	Las grietas son más visibles y fáciles de reparar	Es difícil detectar las grietas y la reparación es más costosa
Contaminación del agua almacenada	Es difícil que el agua se contamine si el tanque tiene la tapa bien sellada, salvo por los contaminantes del techo	El agua puede contaminarse por aguas negras si las paredes del tanque tienen alguna permeabilidad o por introducción del agua en la tapa de registro durante las tormentas si no están selladas
Toma del agua	La toma se encuentra más cercana a la superficie	para disponer del agua se requiere bombearlo,
Susceptibilidad a daños por agentes externos	Está más expuesto a golpes e impactos	El tanque puede dañarse por raíces de árboles o por el tránsito de personas en la cubierta
Espacio	Puede ocupar mucho espacio en la superficie	No ocupa espacio en la superficie
Paisaje	Puede afectar la estética del paisaje	No es visible sobre la superficie
Costo	El costo es variable dependiendo del material del tanque	Se incrementa por los trabajos de excavación y uso de bombeo



### Componentes adicionales para el tanque de almacenamiento

Si es posible el agua no debe llegar en cascada desde la parte superior del tanque. Independientemente de la ubicación de la entrada, el agua debe ser liberada cerca del fondo del tanque y dirigida hacia arriba. La tubería de entrada, ya sea desde la parte superior, lateral o inferior, debe minimizar la turbulencia del agua almacenada existente. Para hacer efectiva la sedimentación, el ingreso de agua a la cisterna debe ser calmada, evitando que la misma revuelva sedimentos previamente depositados en el fondo. La figura 14 muestra diferentes configuraciones de entradas para reducir la turbulencia en el agua.

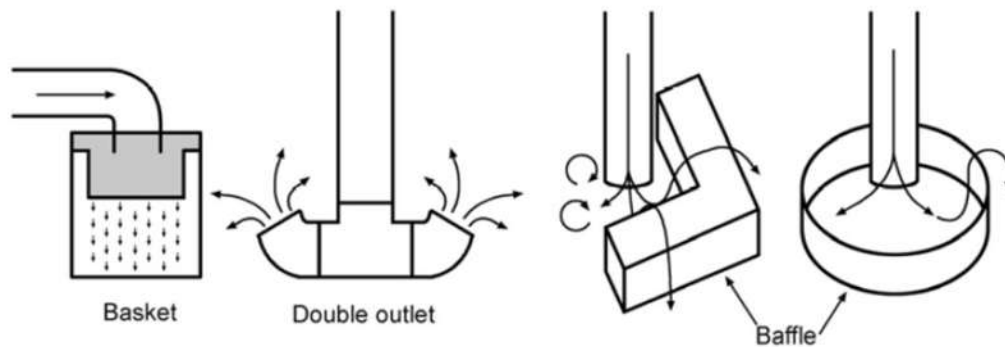


Figura 14. Diferentes formas para reducir turbulencia (fuente: Mechelle et al., 2010)  
Para minimizar la suciedad, la recolección de la salida del tanque no debe tomar agua de la superficie o directamente del fondo. El agua debería ingresar por tubería de salida rígida al menos a 10 cm del fondo del tanque. En términos generales, la mejor calidad de agua se encuentra justo debajo de la superficie del agua, donde el material flotante o sedimentado no está presente. Se recomienda usar una pichancha flotante (figura 15) (Mechelle et al., 2010).



Figura 15. Pichancha flotante (fuente: Isla Urbana, 2018).



### 2.8.7. Equipos de tratamiento y desinfección

El saneamiento es el tema más importante, complicado y controvertido relacionado con el agua de lluvia. La principal preocupación es ¿cuándo es mi agua segura para beber? Aunque generalmente el agua de lluvia es muy segura, el agua es un excelente medio para que los patógenos dañinos sobrevivan y prosperen. Para sistemas de agua potable, más allá de usar un separador de primeras lluvias es necesario un tratamiento para eliminar los sedimentos y patógenos alojados en el agua que causan enfermedades. El tratamiento generalmente consiste en procesos de filtración y desinfección en serie antes de la distribución para garantizar salud y seguridad.

Un ejemplo de un tren de tratamiento para un sistema de agua potable que deriva de la captación de agua de la lluvia podría estar compuesta de los siguientes dispositivos: cribado, sedimentación, filtración, exposición a la luz ultravioleta, cloración y aditivos anticorrosivos (figura 16). Cada dispositivo en un tren de tratamiento debe tener un propósito específico para reducir o eliminar los niveles de contaminantes.

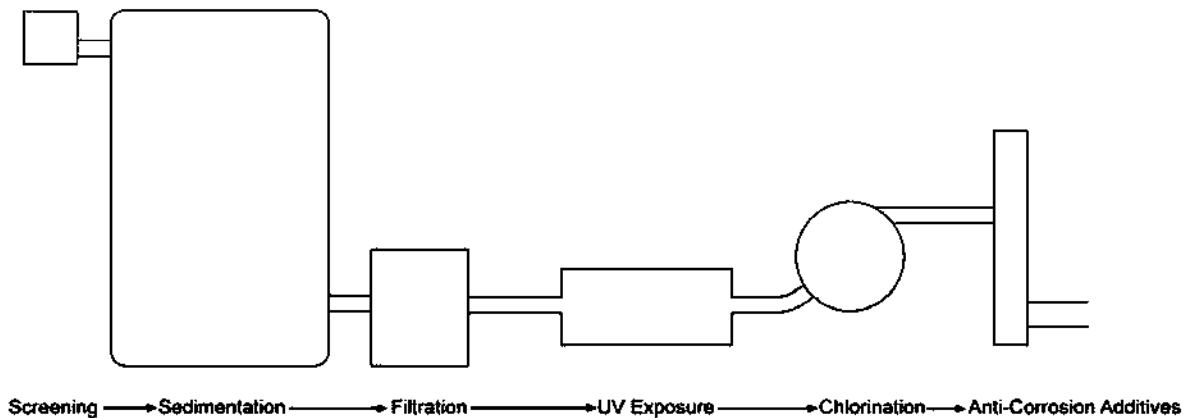


Figura 16. Esquema de un tren de tratamiento (fuente: Mechelle et al., 2010).



## **Filtros**

Las instalaciones de tratamiento a gran escala a menudo usan filtración para eliminar la gran mayoría de partículas del agua, además de microorganismos, las partículas que se eliminan incluyen arcillas, limos, materia orgánica natural, hierro y manganeso (Krishna et al., 2005). Los filtros son los elementos más complejos utilizados en el sistema para la limpieza del agua. Estos se determinan según el uso que se le vaya a dar al agua captada. Y deberán cumplirse las normas de mantenimiento y reposición de los elementos con caducidad de los filtros (Adler et al., 2008). Existe en el mercado una gran variedad de filtros para agua a continuación se describen e ilustran los más comúnmente utilizados para el saneamiento del agua de lluvia

### **Filtro de malla**

Un filtro de malla está formado por un cuerpo cilíndrico que aloja en su interior un cartucho de malla (figura 17), a través del cual circula el agua que se pretende filtrar, el movimiento del agua en el filtro es siempre de adentro hacia afuera del cartucho, al atravesar la malla, las partículas quedan retenidas en la parte interior. El filtro se tapa gradualmente y aumenta la pérdida de carga que produce. El filtro se limpia manualmente abriendo la válvula de la cámara interior por la que sale el agua arrastrando las impurezas retenidas. Se puede realizar una limpieza más a fondo desmontando el cartucho y limpiándolo con agua a presión o con un cepillo.



Figura 17. Filtro de malla (fuente: fotografía tomada por el autor, 2018).

La elección del modelo del filtro, así como la determinación del momento para la limpieza, se hace en función de las pérdidas de carga que produce (Canales & Martínez, 2010). El filtro de malla está ubicado después de la bomba y en un lugar accesible para facilitar su limpieza regularmente. Las mallas de los filtros varían en diferentes tamaños de micras. Cuando se instalan dos filtros el primer filtro debe tener el tamaño de malla mayor, el segundo filtro un tamaño de malla menor que el primero. En la instalación de un filtro de malla se debe prever la colocación de manómetros, en ambos lados de los filtros (figura 18) permitiendo al operador del sistema saber cuándo los filtros se tapan (Mechelle et al., 2010).

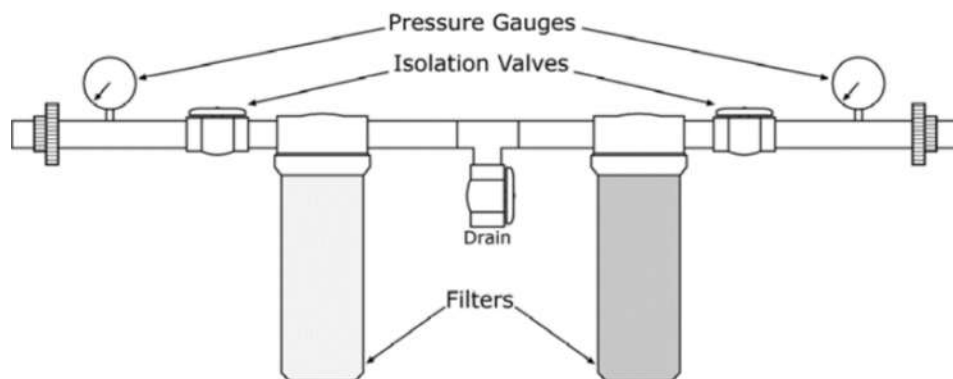


Figura 18. Configuración de dos filtros (fuente: Mechelle et al., 2010)



### Filtro de carbón activado

La adsorción es un proceso en el que una sustancia, como un contaminante orgánico, es atraída a la superficie de un material como el carbón activado. El carbón activado es carbón a partir de maderas duras, cáscaras de nueces, cáscaras de cocos, mediante procesos que abren un enorme número de poros de diámetro pequeñísimo. Esa enorme cantidad de microporos tiene una capacidad absorbente muy grande. Los filtros de carbón activado más empleados son los de cartucho (figura 19), de los que hay dos tipos: el de cama de carbón o carbón granulado y el de cartucho precubierto con polvo de carbón. Los filtros de carbón activado granular no sólo eliminan los olores y sabores indeseados en el agua, sino que remueven y absorben prácticamente todos los contaminantes orgánicos del ambiente. Los filtros de cartucho precubierto tienen una doble acción, pues filtran, desodorizan y eliminan el mal sabor del agua. El retrolavado de los filtros de carbón activado ayuda a conservar su capacidad de filtración y adsorción. Después de varias lavadas se reemplaza el filtro (Lesur, 2000).



Figura 19. Filtro de carbón activado (fuente: Isla Urbana, 2018).



## Desinfección

### Cloración

El cloro se ha utilizado para tratar eficazmente el agua potable. El cloro se puede agregar al agua en líquido, sólido o gas, forma y mata la mayoría de los microorganismos y es especialmente efectivo contra virus. Un beneficio notable del uso de cloro es su capacidad de continuar protegiendo el sistema de suministro de agua incluso después intervalos de almacenaje largos o mientras el agua se mueve por el sistema de distribución. Si se utilizan filtros de carbón activados en el tren de tratamiento, los dispositivos de cloración deberían ser colocados aguas abajo, es decir, después de los filtros (figura 20).

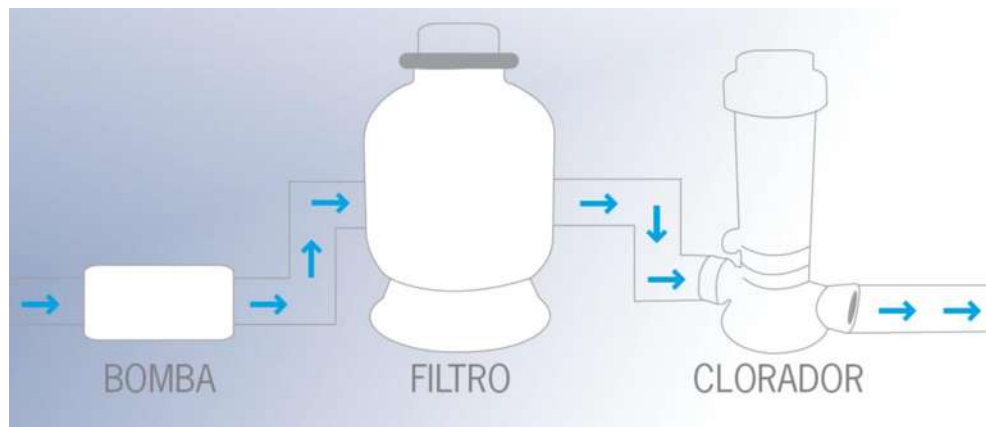


Figura 20. Orden del tren de tratamiento (fuente: Inter Water, 2018).

Aunque la cloración sea relativamente simple, tres variables tienen un impacto sobre la eficacia: pH del agua, temperatura, nivel de concentración y tiempo de contacto. La forma sólida, el hipoclorito de calcio se puede comprar en pastillas o gránulos, la forma líquida es el hipoclorito de sodio (Mechelle et al., 2010). Las dosis comúnmente utilizadas en plantas potabilizadoras para el caso del hipoclorito de sodio se usa de 0.2 a 2 mg/L y para el hipoclorito de calcio de 0.5 a 5 mg/L (CONAGUA, 2016).

La selección del equipo dosificador o alimentador de cloro, depende de tres factores:

1. las características del producto clorado
2. La dosis de cloro en el agua.
3. El caudal del agua a desinfectar.



Los equipos dosificadores que trabajan bajo el “sistema por erosión” (figura 21) utilizan tabletas de hipoclorito de calcio de alta concentración (HTH), que se pueden obtener de distribuidores o prepararse localmente comprimiendo mecánicamente polvo de hipoclorito de calcio. Este sistema ha encontrado un lugar importante en la desinfección de abastecimientos de agua para comunidades pequeñas e individuales. Los equipos son muy fáciles de manipular y mantener, además de ser baratos y duraderos; y las tabletas son más seguras que las soluciones de hipoclorito y el cloro gaseoso, y más fáciles de manejar y de almacenar. Los dosificadores de erosión disuelven gradualmente las tabletas de hipoclorito a una tasa predeterminada mientras fluye una corriente de agua alrededor de ellas. Este mecanismo proporciona la dosificación necesaria de cloro para desinfectar el agua. Según las tabletas se van diluyendo, se reemplazan con otras nuevas que van cayendo por gravedad en la cámara (OPS, 2007).



Figura 21. Clorador automático de pastillas (fuente: Inter Water, 2018).



### 3. Antecedentes

#### 3.1. Muestreo y análisis de agua de lluvia para su aprovechamiento en las instalaciones de CU de la UMSNH

Como trabajo de investigación de tesis de licenciatura, *muestreo y análisis de agua de lluvia para su aprovechamiento en las instalaciones DE C.U. DE LA UMSNH* (Arreola Sánchez, 2015), se realizaron siete muestreos de diferentes edificios dentro de las instalaciones del campus de Ciudad Universitaria, del agua de lluvia que escurría de las respectivas azoteas, para analizarlos en el laboratorio de Ingeniería Ambiental y Sanitaria de la facultad de Ingeniería Civil y determinar su calidad en base a los parámetros que marca la NOM-127-SSA1-1994, agua para uso y consumo humano. Cabe mencionar que de los siete muestreos de agua de lluvia que se realizaron ninguno fue del edificio “C” de Ingeniería Civil ya que se encontraba en proceso la construcción del tercer nivel. Teniendo como referencia la NOM-127-SSA1-1994, se determinó que el agua de lluvia que escurre de las azoteas es de una calidad aceptable, a pesar de no haber recibido las azoteas alguna limpieza previa antes de que se realizaran los muestreos, ya que la mayoría de los parámetros analizados se encuentran por debajo de los límites permisibles a excepción del pH, coliformes totales, sólidos totales, turbiedad, color verdadero y Bario (Arreola Sánchez, 2015). Las conclusiones del trabajo mencionado nos indican que en base a los resultados de los análisis obtenidos en el laboratorio, existe un buen potencial para captar y aprovechar el agua de lluvia de las azoteas de los edificios de CU, ya que se trata de agua de buena calidad y los parámetros que no cumplen con los límites permisibles se pueden someter a tratamientos relativamente sencillos. Esta investigación resulta una buena referencia en relación a la calidad del agua de lluvia que escurre del techo del edificio “C” ya que los resultados que se esperarían obtener de los muestreos de dicho edificio tendrían cierta tendencia a los obtenidos anteriormente, por tratarse de la misma zona de estudio (CU) y en un periodo muy cercano, incluso podrían esperarse resultados más favorables en los muestreos del edificio “C” ya que su último nivel es de reciente construcción y por la superficie que presenta en el techo.. Los resultados del análisis



del agua de lluvia que escurre de las azoteas se pueden encontrar de manera completa en la tesis antes mencionada.

### **3.2. Diseño de sistemas de captación de agua de lluvia en Morelia.**

Como un antecedente reciente referente al tema de captación y aprovechamiento de agua de lluvia en Morelia se tiene el trabajo de tesis de Maestría en Ciencias en Ingeniería Ambiental, realizado por la Ing. Rukmini Espinoza Díaz, de la UMSNH, titulado: *Diseño de un sistema de captación y aprovechamiento de agua de lluvia, realizando su caracterización, para las instalaciones del CECTI en la ciudad de Morelia*. Dicho trabajo de investigación tuvo como objetivo evaluar la calidad del agua de lluvia (en una locación de la ciudad de Morelia) con base en algunos parámetros de la NOM-127-SSA1-1994, 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 Consejo Estatal de ciencia y Tecnología (CECTI), tomando en cuenta las características de la zona de estudio, así como las necesidades de los usuarios (Espinoza Díaz, 2015). Algunas de las conclusiones y recomendaciones más importantes fueron:

- La lluvia tiene la suficiente calidad para su aprovechamiento en las instalaciones del CECTI con un tratamiento sencillo.
- En función del 100% de agua que el CECTI usa para abastecer sus necesidades de riego y sanitarias, con el sistema de captación propuesto se logra un ahorro del 40%.
- Este 40% corresponde a la dotación de riego, que equivale a un total de \$6,930.00 MN al año ( $420 \text{ m}^3 * \$16.50$ ), de acuerdo al decreto tarifario de 2014 del estado de Michoacán.
- El uso del agua de lluvia propuesto fue principalmente para riego de jardines y uso en sanitarios, donde se incluyeron algunos trenes de tratamiento como recomendaciones.
- El total de agua que se ahorraría en el CECTI con la implementación de un sistema de captación de agua de lluvia sería de aproximadamente 525,000 litros de agua al año.



### 3.3. SCALL implementados por el IMTA

En México existen más de 180.000 localidades rurales (INEGI, 2010). De estas, 137.000 tienen una población menor a 100 habitantes, lo que representa una gran dispersión y por tanto, baja o nula cobertura de abastecimiento de agua. Adicionalmente, un alto porcentaje de estas regiones se caracteriza por ser zonas de alta precipitación. Sin embargo, el tipo de suelo permite escurrimientos e infiltraciones, por lo que carecen de fuentes superficiales y/o subterráneas de abastecimiento de agua. Por otra parte, existen localidades que extraen el agua de pozos a una profundidad mayor a los 200 metros, con los altos costos de bombeo que esto significa y la consiguiente escasez de recursos económicos para sufragar el costo de operación y mantenimiento de la red de agua potable.

Para atender esta problemática, el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), desde hace más de 20 años realiza proyectos para el diseño, adaptación y transferencia de tecnología para el abastecimiento mediante sistemas de captación de agua de lluvia (SCALL), tanto a nivel de viviendas como a nivel comunitario. La implementación de los SCALL por parte del IMTA en México se realiza generalmente, en el marco de programas para la recuperación ambiental de cuencas. Entre las regiones atendidas se incluyen:

- La cuenca del Lago de Pátzcuaro, Michoacán.
- La región Huasteca de San Luis Potosí, San Luis Potosí.
- La región de los Altos de Morelos, Morelos.
- La cuenca del río Apatlaco, Morelos.
- Península de Yucatán (tres estados: Campeche, Yucatán y Quintana Roo).

En cada región, para realizar el proceso de selección de comunidades/beneficiarios, se aplica la metodología para la transferencia de tecnologías apropiadas en el medio rural, indígena y zonas periurbanas, que elaboró el IMTA a partir de la sistematización de la experiencia en este tipo de proyectos. Para el diseño de los sistemas a nivel de vivienda y comunitarios, el IMTA aplica una metodología adaptada IMTA - Centro Internacional de Demostración y Capacitación en Aprovechamiento del Agua de Lluvia (CIDECALLI).



El proceso se inicia con un diagnóstico socioeconómico y técnico para conocer y evaluar la situación con respecto a la infraestructura de abastecimiento y su relación con la marginación. De los resultados obtenidos, se determinan el tipo y cantidad de tecnología(s) a transferir, se diseña la estrategia para la capacitación, la entrega de materiales, la instalación, la asesoría, la supervisión y el seguimiento.

A la fecha, se han instalado 1,910 sistemas de captación de agua de lluvia (SCALL) en viviendas de comunidades rurales marginadas, lo que representa un volumen de almacenamiento de 31,471 m<sup>3</sup>. A nivel comunitario, se instalaron 23 cisternas tipo capuchino, lo que representa un volumen de 4,141 m<sup>3</sup>. Se rehabilitaron y techaron 10 ollas de almacenamiento de agua de lluvia con lo que se recuperaron 30,727 m<sup>3</sup> para el almacenamiento del agua pluvial. Se diseñaron e instalaron dos modelos SCALL, uno de 2,800 m<sup>3</sup> instalado en la localidad de Felipe Neri, Tlalnepantla, Morelos, y el segundo, el más grande hasta ahora en México de 20,000 m<sup>3</sup> de capacidad, que está en proceso de instalación en la comunidad indígena de Cherán, Michoacán (Pizaro et al., 2015)



#### **4. Justificación**

En los albores del siglo XXI, se distingue una nueva etapa enfocada a la sustentabilidad hídrica, México está viviendo una crisis de agua cada vez más grave y millones de personas carecen de un acceso digno y seguro, según las Naciones Unidas el mundo enfrentará un déficit de agua del 40% para el 2030. (Isla Urbana, 2016). Para enfrentar las próximas décadas, gobierno y sociedad deberán seguir participando en el ejercicio político, económico, social y ambiental, para el diseño de métodos y sistemas que mejoren el aprovechamiento del agua.

Dadas las condiciones ambientales y de explotación que imperan en algunas zonas del país, el abastecimiento de agua de fuentes convencionales y tradicionales cada vez resulta más complicado y costoso, por lo que el abastecimiento de agua mediante el uso de fuentes alternas, como la cosecha de agua de lluvia, resulta una alternativa muy buena y de bajo costo, que proporciona agua de una excelente calidad. La ciudad de Morelia tiene un clima templado con lluvias en verano con una precipitación media anual que oscila entre los 700 y 1000 mm (CONAGUA, 2004), lo que nos indica que hay un buen potencial para poder hacer uso del agua de lluvia. Cada temporal de lluvia, diversas ciudades de México, incluida la Ciudad de Morelia, sufren grandes inundaciones debido a la saturación de los drenajes por la enorme cantidad que llueve. Con la captación de esta agua pluvial podríamos lograr que esta agua, en vez de contaminarse y saturar los drenajes sea aprovechada.

La Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, como Máxima Casa de Estudios en el Estado, debe liderar con el ejemplo las políticas de sustentabilidad, incluyendo por supuesto la sustentabilidad hídrica, por ello es importante conocer e investigar cómo se puede lograr un buen aprovechamiento del agua de lluvia, promoviendo e impulsando investigaciones y proyectos relacionados con el tema.

La facultad de Ingeniería Civil cuenta con uno de los edificios más grandes de CU (edificio C) tiene un techo con un área considerablemente grande, con un alto potencial para captar y aprovechar un gran volumen de agua de lluvia; además de tener una comunidad estudiantil numerosa que puede resultar beneficiada. Recientemente el edificio "C" fue ampliado con un tercer nivel, en el cual se construyeron aulas y sanitarios con lo que la demanda de agua será mayor que la



que necesitaba cuando sólo contaba con un segundo nivel, ante este escenario resulta la necesidad de buscar un mayor suministro de agua por parte de la red de agua potable para dicho edificio, o la búsqueda de fuentes alternas como puede ser la captación y aprovechamiento del agua de lluvia que escurre de la techumbre del mismo edificio, para cubrir el déficit de agua que pudiera presentarse. Gracias al mal uso del agua y por factores tales como la deforestación masiva en el planeta, el agua irá escaseando progresivamente lo cual significa que en un futuro no muy lejano, el sistema de captación de agua de lluvia será un mecanismo de sobrevivencia necesario. El Instituto Mexicano del Agua (IMTA, 2007) plantea que los cuatro factores importantes para el diseño de sistemas de captación de agua lluvia son la precipitación (cantidad, frecuencia y distribución), el área de captación, la capacidad de almacenamiento y la demanda de agua, factores que se pretenden investigar a fondo en este trabajo para ver la factibilidad de captar y aprovechar el agua de lluvia que escurre del techo del edificio “C”, de la Facultad de Ingeniería Civil en la ciudad de Morelia.



## 5. Hipótesis

Para este trabajo se parte de dos hipótesis:

- El agua de lluvia que escurre de la azotea del edificio “C” de CU de la UMSNH, puede satisfacer cualitativa y cuantitativamente (parcial o totalmente), algunas de las necesidades de consumo propias del edificio.
- Es factible y conveniente el aprovechar el agua de lluvia en el edificio “C” de CU de la UMSNH, teniendo en cuenta aspectos técnicos, económicos y sociales.

## 6. Objetivos

### 6.1. Objetivo general

El objetivo general del proyecto es investigar, plantear y evaluar diversos escenarios que resulten factibles para el aprovechamiento del agua de lluvia que escurre de la azotea del edificio de la facultad de Ingeniería Civil de la UMSNH (edificio “C”, de Ciudad Universitaria), desde un punto de vista técnico, económico y social.

### 6.2. Objetivos particulares

- Realizar la caracterización del agua de lluvia, para determinar la calidad del agua que escurre del edificio “C” de la Facultad de Ingeniería Civil, conforme a los parámetros e índices de calidad establecidos por las normas oficiales mexicanas correspondientes, con el apoyo del laboratorio de Ingeniería sanitaria y ambiental
- Proponer diversas alternativas de tratamiento que puedan llevarse a cabo, dependiendo el uso final que se le pretenda dar al agua de lluvia escurrida de la azotea.
- Realizar entrevistas a autoridades administrativas, docentes, estudiantes, etc. para conocer sus puntos de vista y comentarios acerca del proyecto.
- Recopilación documental de las características de la precipitación pluvial en la zona de estudio.
- Propuestas de diferentes escenarios para la cosecha de agua de lluvia en el edificio.



## 7. Metodología

### 7.1. Descripción de la zona de estudio

El edificio “C” de la facultad de Ingeniería Civil (figura 22) se localiza dentro de Ciudad Universitaria, aproximadamente a 95 m al Sur de la entrada principal, sobre la calle Gral. Francisco J. Mújica, en la ciudad de Morelia, Michoacán, México. El sitio en estudio, geográficamente se localiza a una altura promedio de 1911 m.s.n.m., en las coordenadas geográficas 19° 41’ 23.08” de latitud norte y 101° 12’ 09.61” de longitud oeste.



Figura 22. Facultad de Ingeniería Civil, edificio “C”, CU (fuente: fotografía por el autor).

### Características del techo

El edificio “C” cuenta con 3 niveles, el tercer nivel fue construido recientemente, con dimensiones generales en planta de 37 m de ancho y 60 m de largo; el techo está formado por una cubierta ligera de lámina galvanizada y pintada marca *multytecho* de 1 ½” de espesor y calibre 28/28, de color blanca con pendiente del 5% a dos aguas (figura 23) apoyada en armaduras y columnas de acero.



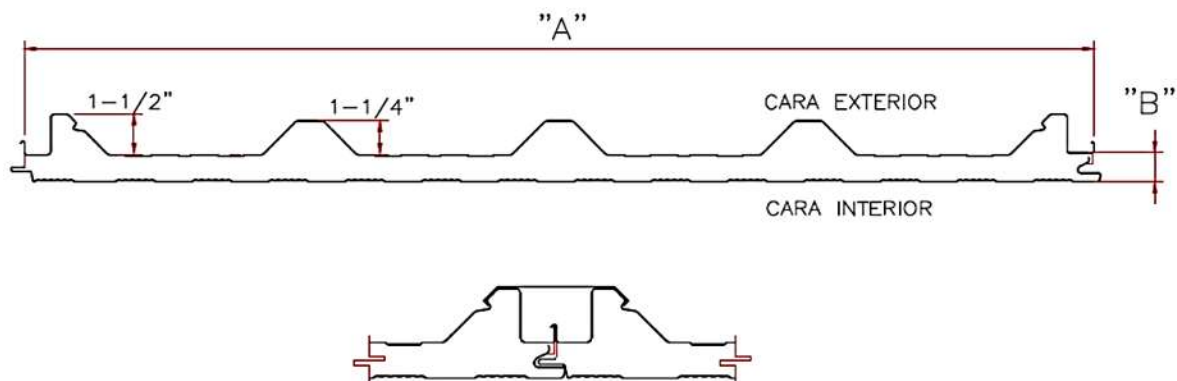
Figura 23. Cubierta del tercer nivel, edificio “C (fuente: autor).

Es importante conocer las especificaciones técnicas de la techumbre y los materiales con que fue elaborada la cubierta, ya que el agua de lluvia escurre por esta superficie y la calidad del agua se verá afectada si arrastra contaminantes que puedan desprenderse de los materiales de construcción de dicha cubierta. En la tabla 6 se muestran a detalle las especificaciones técnicas de los componentes de la superficie de lámina.

Tabla 6. Especificaciones técnicas de la cubierta del edificio "C" (Ternium, 2001).

Acero	Características
Lámina	Galvanizada y pintada Pintro
Calibre	28 (0.015" / 0.41 mm.) MULTYTECHO
Calidad	Comercial SAE-1010, con bajo contenido de carbón
Obtención	Por el Proceso de Laminación en Frío y galvanizado conforme a la Norma ASTM A-653
Límite de fluencia	2,800 Kg/cm <sup>2</sup> mínimo
Grado	"C"
Galvanizado	Recubrimiento de zinc aplicado por el proceso de inmersión en caliente para obtener una capa tipo G-90 (equivalente a 0.9 Oz/pie <sup>2</sup> por ambas caras), con la finalidad de proteger el acero contra la corrosión.
Pinturas	Poliéster estándar, duraplus, plastisol

La cubierta es lisa y traslapada con pijas, su geometría se muestra en la figura 24.



Detalle Unión

Figura 24. Geometría de la cubierta del tercer nivel del edificio "C" (fuente: Ternium Multytecho).



## 7.2. Levantamiento “in situ” de las instalaciones

Como resultado del levantamiento “in situ” de la azotea del tercer nivel del edificio “C” tenemos la figura 25.

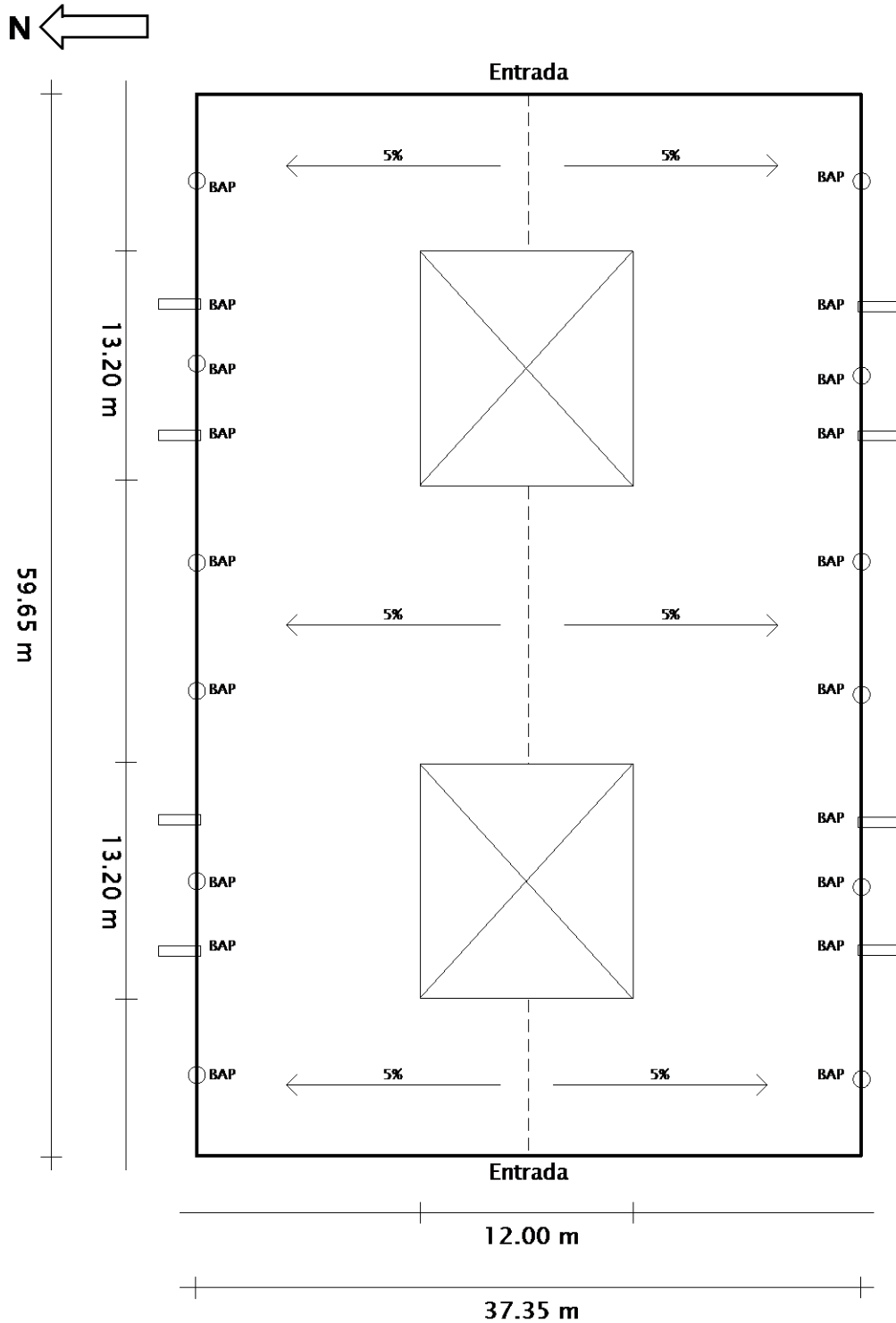


Figura 25. Vista en planta de la azotea del edificio “C” (fuente: elaboración propia).



### Área efectiva de captación

El techo del edificio “C” es de forma rectangular con un área efectiva total para la captación de agua de lluvia de **1911 m<sup>2</sup>**, a dos aguas con una pendiente del 5% (ver figura 25).

### Recolección de agua pluvial

El agua de lluvia que escurre por la techumbre del edificio “C” se recolecta en dos direcciones (Norte y Sur) por medio de una canaleta de lámina de 6” (15 cm) de ancho, las canaletas adosadas al techo se muestran en la figura 26.



Figura 26. Canaleta metálica adosada al techo (lado derecho inferior). (Fuente: autor).

Como se puede ver en la figura 27 la canaleta no cuenta con algún tipo de protección que le permita interceptar, por ejemplo, hojas de árboles, pequeñas ramas, algunas basuras arrastradas por el viento, etc. Esto resulta un aspecto negativo en el diseño y construcción del tercer nivel del edificio, ya que pueden presentarse obstrucciones en la canaleta y en las bajadas de agua pluvial ocasionando que el agua pluvial no se desaloje de manera correcta, ocasionando cargas no consideradas en el diseño de la estructura.



Figura 27. Canaleta sin malla de protección (fuente: autor).

Ante esta situación mencionada anteriormente, se hace la recomendación de proteger la canaleta con malla de acero (figura 28), también conocida como tela de criba, consiste en una malla formada por alambres de acero galvanizado, ondulados y tejidos para formar una cuadrícula con cierta flexibilidad para su manejo, existen en el mercado de diferente calibre y tamaño de abertura, se encuentra para su venta en presentación de rollos de 0.91 m de ancho y 5, 10 y 30 m de largo, con un costo aproximado que oscila entre los 1000 pesos M.N. el rollo de 10 m de largo. Ante una posible captación y aprovechamiento del agua de lluvia en las instalaciones del edificio “C” es imprescindible contar con una canaleta protegida con una malla de acero para tener agua limpia en mayor medida, pero aunque no se lleve a cabo las acciones de cosecha de agua de lluvia, se recomienda proteger las canaletas ya que al hacer un reconocimiento del techo se encontró gran cantidad de ramas, hojas y frutos producto de los árboles circundantes al edificio “C”.



Figura 28. Malla de acero (fuente: Home Depot, 2018).

La malla debe poder quitarse con facilidad para limpiarlas como parte del mantenimiento. El arreglo para proteger la canaleta con malla de acero, del edificio “C” quedaría ya terminado como se muestra en la figura 29.

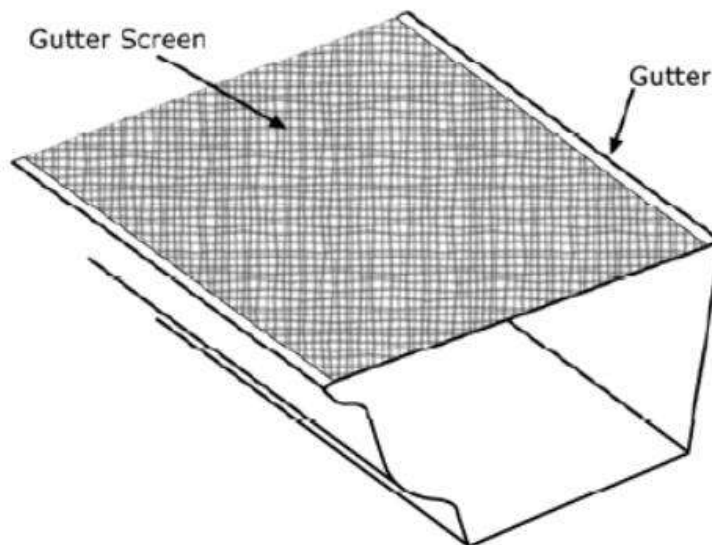


Figura 29. Canaleta con malla de protección (fuente: Michell et al, 2010).



De acuerdo al levantamiento realizado al edificio “C”, se cuenta con dos canaletas instaladas para la recolección del agua pluvial que escurre del techo, una del lado norte y otra del lado sur que se extienden en todo el largo del edificio (59.65 m) con un ancho de canaleta de 15 cm, para obtener el área total de canaleta tenemos que:

$$A_{canaleta} = 2 (59.65 * 0.15) = 17.9 m^2$$

El análisis económico se muestra en la tabla 7.

Tabla 7. Análisis económico para protección en canaleta con tela de criba.

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Monto
Tela de criba de 5 X 5 de acero galvanizado*	m <sup>2</sup>	17.9	\$100	\$1,790

\*No se incluye en el monto la mano de obra.

De acuerdo a la información descrita en el marco teórico de este trabajo, referente a la recolección de agua pluvial, podemos verificar si las dimensiones de la canaleta son las adecuadas para recolectar de manera eficiente el agua que escurre del techo del edificio, específicamente revisaremos si el ancho de la canaleta (6 pulgadas) es la ideal en función de la intensidad de la lluvia y el área del techo. La figura 9 nos indica una intensidad de lluvia para Morelia de 40 mm/hr con un periodo de retorno de 100 años y una duración de 60 minutos, la pendiente de la canaleta es del 1%, si ingresamos con esta información a la tabla 1 tenemos que el área máxima de captación admisible es de 253 m<sup>2</sup>, al distribuir el área total (1911 m<sup>2</sup>) entre el número de bajantes (20) tendríamos un área de contribución de 95.6 m<sup>2</sup> por cada bajante. De esta manera confirmamos que la canaleta instalada en el edificio “C” cumple con los requerimientos de diseño para recolectar el agua pluvial de una manera efectiva, incluso se puede decir que la canaleta será capaz de soportar lluvias más intensas y sin ningún problema podrá recolectar y desalojar el agua de lluvia que escurre del techo del edificio.



## Bajadas de agua pluvial

El edificio cuenta con un total de 20 bajadas de agua pluvial, 10 por el lado norte y 10 por el lado sur, las bajadas son de dos tipos:

1. *Tronera*: tubo de PVC de 4" protegido con lámina galvanizada rectangular y que desaloja hacia los jardines (figura 30), 8 troneras en total, 4 por cada lado.
2. *Tubo de acero*: de diámetro de 4" que bajan directamente hacia el drenaje. 12 tubos en total, 6 por cada lado y que están expuestos (figura 32).



Figura 30. Tronera de PVC con lámina galvanizada (fuente: autor).

En la figura 31 se muestra a detalle cómo se conecta la canaleta de lámina de la azotea hacia el tubo de PVC protegido con una lámina rectangular y que desemboca hacia los jardines del edificio.



Figura 31. Detalle de conexión de bajada de agua pluvial a tronera (fuente: autor).



Figura 32. Bajada de agua pluvial de tubo de hierro galvanizado de 4" (fuente: autor).



En la figura 33 se muestra a detalle cómo se conecta la canaleta de lámina de la azotea con el tubo de acero de 4”.



Figura 33. Detalle de conexión de bajada de agua pluvial por tubo de hierro galvanizado (fuente: autor).

En una eventual captación y aprovechamiento de agua de lluvia en el edificio “C”, la conducción del agua se haría por medio de un tubo de PVC sanitario que conectarían a cada una de las bajas de agua pluvia y que se ubicaría entre el techo y el plafón del edificio con una pendiente del 1% ya que la altura disponible entre el techo y el plafón es de 60 cm.



## Suministro y almacenamiento de agua

El edificio “C” cuenta con un cuarto de máquinas en el tercer nivel, donde se ubican 4 tinacos (figura 34) de 1100 litros de capacidad cada uno y que están interconectados uno con otro. Además de un sistema hidroneumático para un correcto funcionamiento de los sanitarios con fluxómetro.



Figura 34. Tinacos de 1100 litros de capacidad (fuente: autor).

El edificio “C” cuenta con una cisterna para almacenar agua que se extrae del pozo de CU, dicho pozo se encuentra ubicado en la zona sur de CU por los edificios de Metalurgia y es administrado por el OOAPAS, dicho pozo es la fuente de abastecimiento de toda Ciudad Universitaria y las colonias aledañas a ella; la cisterna abastece las necesidades de consumo de agua propias del edificio “C”, excepto para áreas verdes, está ubicada en el jardín sur a un costado de una de las entradas. La cisterna está construida con muros de mampostería (tabique rojo recocido) confinados con dalas y castillos de concreto armado, aplanados y con una losa de concreto armado; y suministra de agua a los tinacos del tercer nivel por medio de un sistema de bombeo automatizado. Las dimensiones de la cisterna se muestran en la tabla 8.



Tabla 8. Dimensiones de la cisterna del edificio "C".

Cisterna	
Largo	2.65 m
Ancho	2.1 m
Tirante	2 m
<b>Capacidad</b>	<b>11.13 m<sup>3</sup></b>

### 7.3. Datos de precipitación pluvial de la zona en estudio

Las precipitaciones son importantes porque ayudan a mantener el balance atmosférico. Sin precipitaciones, todo el planeta sería un desierto. Las precipitaciones ayudan a la flora, las siembras y nos proporcionan agua para beber. Como precipitación se conocen todas las formas de humedad que caen a la tierra, provenientes de las nubes, como agua, nieve y hielo. La precipitación constituye la entrada primordial del sistema hidrológico y es el factor principal que controla la hidrología de una región. En meteorología, la precipitación es cualquier forma de hidrometeoro que se precipita del cielo a la superficie terrestre. Según la definición oficial de la Organización Meteorológica Mundial, la lluvia es la precipitación de partículas de agua líquida de diámetro mayor de 0.5 mm, o de gotas menores pero muy dispersas. La precipitación se mide por la altura que el agua caída alcanzaría sobre una superficie plana y horizontal, en la que no existieran pérdidas por infiltración y evaporación; tal altura se mide en milímetros (mm).

La medición de la precipitación se efectúa por medio de pluviómetros o pluviógrafos. El pluviómetro proporciona la altura de precipitación total en milímetros en intervalos de tiempo fijados, generalmente de 24 horas.

El pluviógrafo: mide continuamente la precipitación en el tiempo, es el mismo pluviómetro provisto de un mecanismo de relojería que le permite marcar en un tipo especial de papel la variación de la precipitación con el tiempo.

Cada milímetro medido de precipitación representa la altura en lámina precipitada, que tendría un cubo con un área igual a un metro cuadrado y una altura de 1 mm y que equivale a un litro de agua.



En la tabla 9 se muestra la clasificación de la precipitación según su intensidad.

Tabla 9. Clasificación de la precipitación (Viñas & López, 2015).

Clase	Intensidad media en una hora (mm/h)
Débiles	$\leq 2$
Moderadas	$> 2 \text{ y } \leq 15$
Fuertes	$>15 \text{ y } \leq 30$
Muy fuertes	$>30 \text{ y } \leq 60$
Torrenciales	$>60$

El clima en la ciudad de Morelia es templado subhúmedo con lluvia en verano, de humedad media (INEGI, 2004). Para poder determinar si la instalación de un sistema de captación de agua de lluvia y escurrimientos pluviales es factible en una edificación, se debe de realizar la recopilación de la información pluviométrica de la zona de por lo menos 15 años anteriores (CONAGUA, 2016).

La Comisión Nacional del Agua, a través del Servicio Meteorológico Nacional (SMN), a la fecha de agosto de 2016, tiene una red instalada de cinco mil 420 estaciones, de las cuales tres mil 200 se encuentran operando y dos mil 220 están suspendidas. Estas últimas a pesar de ya no seguir generando datos, aún tienen información histórica, útil para la caracterización de la precipitación. La información histórica registrada por estas estaciones se encuentra en una base de datos llamada CLICOM y gracias a la evolución de los equipos de cómputo y sistemas de comunicación, actualmente se puede consultar a través de Internet. Se deben seleccionar las estaciones más cercanas a la zona de estudio, como recomendación oficial el área de influencia de cada estación es de 5 kilómetros (CONAGUA, 2016). Para el caso en estudio la estación climatológica más cercana se encuentra a una distancia aproximada de 2.5 kilómetros.

En la tabla 10 se muestra la información de la base de datos climatológica donde se obtuvo la información de precipitación para la zona en estudio.



Tabla 10. Base de datos meteorológica.

Base de datos meteorológica	
Estación	16080
Nombre	Morelia (OBS)
Estado	Michoacán de Ocampo
Municipio	Morelia
Situación	Operando
Organismo	CONAGUA-SMN
CVE-OMM	76665
Latitud	19.727
Longitud	-101.177
Altitud	1913 msnm
Emisión	09/06/2017

Con esta información, se obtiene la precipitación anual promedio según la NMX-AA-164-SCFI-2013 (Edificación Sustentable. Criterios y Requerimientos Ambientales Mínimos), con la ecuación 9:

$$\bar{p} = \sum_{i=1}^n \frac{(pi)}{n} \quad \text{Ecuación (9)}$$

Donde:

$\bar{p}$ : Precipitación promedio anual, en mm.

$pi$ : precipitación en el año “i”, en mm

n: número de años.

A partir de la precipitación diaria mensual que se obtuvo de la base de datos meteorológica de CONAGUA, se elaboró la tabla 11, que corresponde a la precipitación total mensual para un periodo de 1986 al 2015, con un total de 29 años con datos. Con esta tabla se establecieron los valores de la precipitación media mensual para el periodo que se tiene información (1986-2015), que serán utilizados para los cálculos posteriores. A partir de los datos de la precipitación media mensual tenemos la figura 35 donde podemos ver claramente los meses más lluviosos históricamente para la ciudad de Morelia: junio, julio, agosto y septiembre, con más de 120 mm de precipitación mensual.

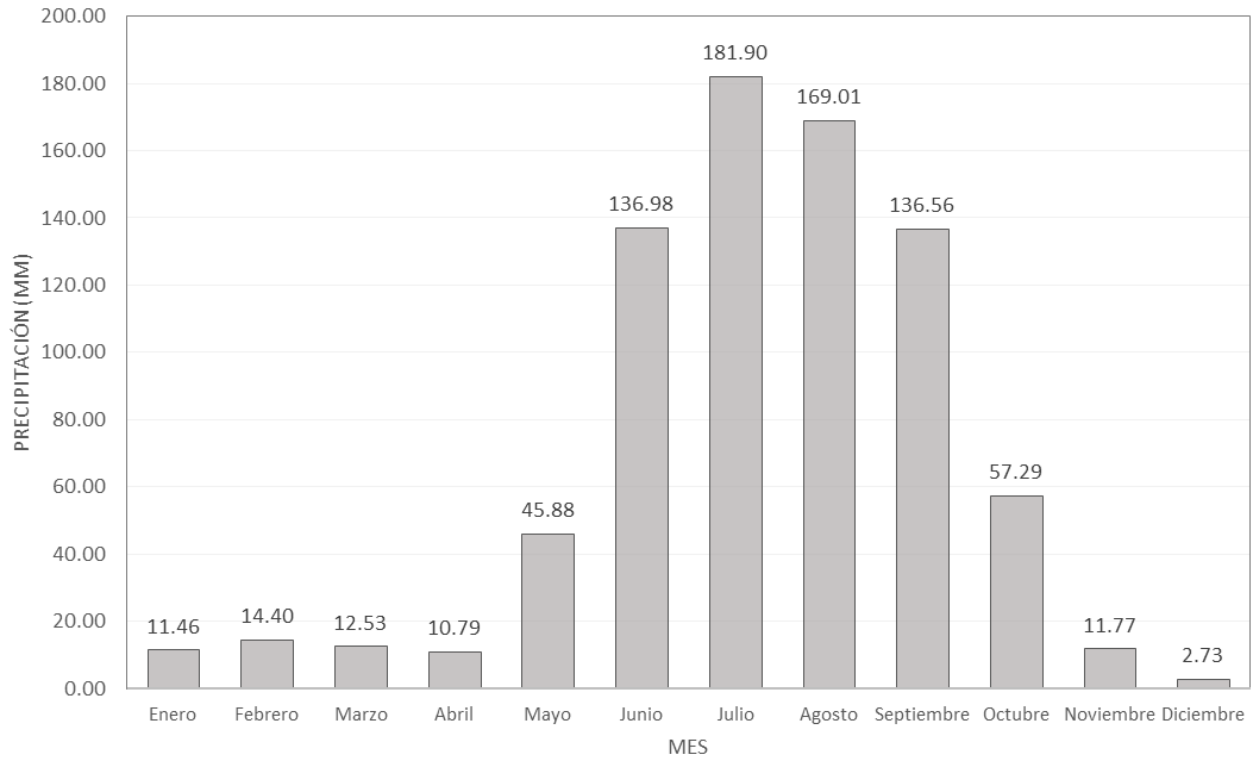


Figura 35. Gráfica de precipitación media mensual 1986-2015, Morelia (fuente: elaboración del autor a partir de la fuente ya citada).



Tabla 11. Precipitación media mensual (mm), Morelia, 1986-2015 (fuente: elaboración propia a partir de la fuente ya citada).

<b>Año/Mes</b>	<b>Enero</b>	<b>Febrero</b>	<b>Marzo</b>	<b>Abril</b>	<b>Mayo</b>	<b>Junio</b>	<b>Julio</b>	<b>Agosto</b>	<b>Septiembre</b>	<b>Octubre</b>	<b>Noviembre</b>	<b>Diciembre</b>
1986	SD	SD	SD	SD	57.5	139	134.2	144.9	112	38.3	11.3	4.7
1987	0	1	4.9	35.6	1.6	84.9	162.7	183	53.2	0	28.6	0.9
1988	3.9	2	29	1.7	0	134	260.3	240.4	150.3	24.9	2	0
1989	14.2	0.3	0	0	13.4	71.8	60.7	177.7	155.9	37.6	6.9	19
1990	10.5	9.1	5.3	9.8	40.6	192.3	209	167	125.3	86.6	1.8	3.8
1991	1.8	3.2	0	0.3	52.9	111.4	281.8	163.4	222.5	65.7	4.6	2.5
1992	131	20	0.5	27.5	74.2	23	179.2	194.4	208.4	77.3	25.4	0.5
1993	6.4	7.5	4.7	19.3	0.8	257	241	222.4	112.7	52.7	7.5	0
1994	15.6	4.8	0	1.4	27.7	233.5	74.4	128.1	130.5	91.9	3.8	1.1
1995	4.6	22.3	5.2	12.9	87	94.2	146.9	205.2	SD	SD	SD	SD
1996	SD	0	2.6	3.1	45.3	111.6	108	99	118.1	21.4	4.4	0
1997	3.5	0	48.6	25.8	55.4	171.1	194.6	113.9	51.6	14.6	32	2.1
1998	0.2	0	0	0	0	187	142	236.7	287.9	131.6	3.3	0
1999	0	0	3.6	0.7	34.7	243.5	208.3	164.5	80.2	29.3	0	8.4
2000	0	8.5	0	0	69.5	185.1	86.8	76.2	32.7	49.7	13.1	15
2001	SD	0.4	7.2	18.2	74.9	179.7	173.6	209.6	107.7	70.9	5.8	0
2002	17.2	32.8	16	12.8	92	284	158.9	139.9	162.8	49.7	52.1	1.5
2003	7.6	7.8	1	8.1	37.1	128.6	226.2	225	217	83.5	17.6	0.1
2004	18.8	0	11.3	7.5	94.6	209.4	234.3	153.7	208.4	96.3	0	5.2
2005	10.6	18.7	18.5	3	12	52.4	192	240.4	149.3	40	7.5	3.7
2006	27.4	0	1.1	3.9	130.5	72.6	197.8	281.8	167.5	148.2	3.5	0
2007	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
2008	0	3	0	50.3	12.7	96.9	158.9	157.3	126.4	28.8	0	0
2009	6.7	16.3	3.3	14.5	46.3	80.8	120.7	107.9	142.6	42.9	0	1.4
2010	0	159.3	0	2	25.2	154.1	231.1	222.2	101.9	0	0	0
2011	2	0	14.1	35	17.7	109.2	333.9	108.9	88.8	34	7.4	0
2012	2.2	62.7	17.5	0	10.2	58	194.9	239.8	63.8	27.7	50.4	3.5
2013	7	0	2.3	0	17.7	90.3	208.7	144.6	216	49.6	22	0
2014	6.7	4.1	0.9	1.5	67.9	109.6	153.3	73	131.9	158.3	6.8	0.2
2015	0	19.4	153.2	7.1	131	107.5	201	80.3	98.2	52.6	SD	SD
<b>Promedio</b>	<b>11.46</b>	<b>14.40</b>	<b>12.53</b>	<b>10.79</b>	<b>45.88</b>	<b>136.98</b>	<b>181.90</b>	<b>169.01</b>	<b>136.56</b>	<b>57.29</b>	<b>11.77</b>	<b>2.73</b>

\*SD: sin datos



#### 7.4. Volumen de captación de agua de lluvia

Para calcular el volumen promedio de captación utilizamos la ecuación 10:

$$V_A = \bar{p} * A * k_e \quad \text{Ecuación (10)}$$

Donde:

$V_A$ : Volumen promedio de captación anual, en litros.

$\bar{p}$ : Precipitación promedio anual, en mm.

A: Área de la proyección horizontal de las instalaciones de captación, en m<sup>2</sup>.

$k_e$ : Coeficiente de escurrimiento de acuerdo al material de las instalaciones de captación, adimensional.

Para conocer la cantidad de agua que se puede captar, es necesario conocer datos de precipitación pluvial, área de captación y coeficiente de escurrimiento.

Cuando el agua cae y escurre, ocurren pérdidas por varias causas, estas pérdidas pueden variar de 5 a 10%; de igual manera, puede haber pérdidas cuando el agua está almacenada en el tanque, ya sea por evaporación o por pequeñas filtraciones o fugas, pudiendo considerar otros 5 o 10%. Esto indica que la eficiencia del sistema ya no es captar el 100% de la precipitación, sino un valor menor denominado coeficiente de escurrimiento, en la tabla 12 tenemos valores para el coeficiente de escurrimiento según el tipo de material.

Tabla 12. Coeficiente de escurrimiento  $K_e$  (Secretaría de Economía, 2013).

Material o tipo de construcción	$K_e$
Cubiertas metálicas o plásticas	0.95
Techos impermeabilizados o cubiertos con materiales duros (p. ej. Tejas)	0.9
Concreto hidráulico	0.9
Calles asfaltadas	0.85
Lámina corrugada	0.8
Adoquinado o empedrado con cemento	0.75
Terrazas	0.6
Adoquín sin juntar	0.6
Terracerías	0.4



### 7.4.1. Demanda de agua del edificio “C”

A través de encuentros de consulta con administrativos de la Facultad de Ingeniería Civil se trató de investigar el consumo promedio diario de agua que tiene el edificio, dato que no pudo proporcionarse para el presente trabajo de investigación ya que se desconoce el valor de dicho consumo. A manera de observación los administrativos hicieron de nuestro conocimiento que aproximadamente diario se consume un equivalente a la capacidad de los 4 tinacos del tercer nivel, es decir, 4400 litros. Además de esta información a manera de sugerencia nos comentaron que revisáramos la normativa del Instituto Nacional de la Infraestructura Física Educativa (INIFED) referente al suministro de agua para edificaciones de ese tipo. El proyecto para el suministro y distribución de agua potable a un edificio, deberá diseñarse en tal forma que garantice, la pureza del agua y evite su contaminación, el consumo mínimo de agua necesario y el correcto funcionamiento y limpieza del sistema, estará basado en las consideraciones que se establecen a continuación en la tabla 13 (INIFED, 2014).

Tabla 13. Dotación de agua según el tipo de edificio (INIFED, 2014).

TIPOS DE EDIFICIOS		DOTACIÓN MÍNIMA RECOMENDABLE
Habitacional		150 l / habitante / día
Oficinas		70 l / empleado / día o 20 l / m <sup>2</sup> de área rentable
Auditorios		5 l / espectador / función
Escuelas	Nivel Elemental	40 l / alumno / día
	Nivel Básico	50 l / alumno / día
	Nivel Medio y Superior	60 l / alumno / día
Cafeterías		15 a 30 l / comensal
Lavanderías		40 l / kg ropa seca
Riego de jardines		3 l / m <sup>2</sup> / día

La información del total de alumnos fue proporcionada por la dirección de la Facultad de Ingeniería Civil y se muestra en la tabla 14.



Tabla 14. Alumnos Facultad de Ingeniería Civil.

<b>Alumnos</b>	
Mujeres	339
Hombres	1589
<b>Total</b>	<b>1928</b>

La Facultad de Ingeniería Civil ofrece a través de la Coordinación de Educación Continúa cursos de actualización que se imparten en el edificio “C”. El total de alumnos a la fecha de este trabajo es de 42 alumnos en estos cursos que se llevan a cabo generalmente los fines de semana. Sumando este número tendremos un total de 1970 alumnos en la Facultad de Ingeniería Civil que se encuentran estudiando en las instalaciones del edificio “C”.

Si tomamos la dotación mínima recomendable por el INIFED para escuelas de nivel superior, 60 litros/alumno/día y lo multiplicamos por el total de alumnos de la Facultad de Ingeniería Civil, nos daría un total aproximado de 118 m<sup>3</sup> diarios de agua para poder satisfacer las necesidades propias del edificio, lo cual en base a este diseño, el edificio “C” está lejos de disponer de tal cantidad de agua; de tal forma que se tomarán otras alternativas para determinar el consumo de agua que tiene el edificio “C”. Como parte del trabajo de investigación se han realizado algunas entrevistas con el personal de mantenimiento de la Universidad, ya que por la experiencia que tienen a lo largo de años trabajando, aportan datos que son de gran utilidad para los fines de esta investigación, es el caso del jefe de plomeros, el señor Dimas Sánchez que al preguntarle si tenía un estimado del consumo de agua del edificio “C”, nos respondió que es más o menos el equivalente a 4 tinacos de 1100 litros al día. Esta información nos da un panorama más real del agua que puedo consumir el edificio. Al hacer la inspección de la cisterna del “C”, nos percatamos de la existencia de un medidor volumétrico de pistón rotativo (figura 36), con la ayuda de este dispositivo se monitoreó durante 5 semanas consecutivas, del 9 de abril al 14 de mayo de 2018, para conocer el consumo semanal aproximado de agua correspondiente al edificio “C” de la facultad de Ingeniería Civil, las mediciones obtenidas se muestran en la tabla 15.



Figura 36. Medidor de agua de la cisterna del edificio “C” (fuente: autor).

Tabla 15. Consumo semanal de agua para el edificio “C”.

Semana	Consumo agua (m <sup>3</sup> )
1	35
2	29
3	19
4	22
5	22
Promedio	25

El valor obtenido de promediar los consumos de agua del edificio “C” fue de 25 m<sup>3</sup>/semana, este valor se acerca al que nos fue proporcionado por encargados del mantenimiento de la cisterna del edificio, 22 m<sup>3</sup>/semana, dicho valor fue obtenido por la experiencia de años de trabajo como plomeros en la Universidad Michoacana. Este consumo de 25 m<sup>3</sup>/semana será utilizado para los cálculos que resulten posteriormente.



#### 7.4.2. Volumen existente en el tanque de almacenamiento.

Este valor se calcula de acuerdo al funcionamiento del tanque de almacenamiento, es decir, tomando en cuenta, las entradas y salidas de agua, con la ecuación 11:

$$Alm_n = Alm_{n-1} + V_A - DA \quad \text{Ecuación (11)}$$

Donde:

$Alm_n$ : Volumen de agua al final de cada mes en el tanque, en  $m^3$ .

$Alm_{n-1}$ : Volumen de agua en el tanque el mes anterior, en  $m^3$ .

$V_A$ : Volumen de captación mensual, en  $m^3$ .

$DA$ : Demanda de agua mensual, en  $m^3$

Utilizando las ecuaciones presentadas anteriormente, para cada escenario propuesto se harán simulaciones de la dinámica del agua de lluvia, se determinará el volumen de agua de lluvia a captar, la dinámica del agua del sistema de captación a lo largo de todo el año, así como el volumen de agua disponible en la cisterna al final de cada ciclo. Un punto importante a señalar es la definición de la palabra "ciclo", para fines de este trabajo un ciclo se define como el tiempo que resulta de dividir la precipitación media mensual del mes entre 4. Con lo cual tendríamos un total de 48 ciclos al año.



### **7.5. Muestreos de agua de lluvia escurrida**

Se hicieron un total de 3 muestreos de agua de lluvia que escurre del techo del tercer nivel del edificio “C”, esto con el fin de tener seguridad en la calidad del agua de lluvia y validar los resultados obtenidos. Los muestreos se tomarán de las bajadas de agua pluvial con las que cuenta el edificio, específicamente de las troneras tanto norte y sur que riegan el jardín con el agua de lluvia. Las muestras recogidas fueron del tipo simple y preservadas por el autor. Se hizo un muestreo el día 16 de diciembre de 2016 con la restricción de que para este muestreo no se tenía acceso al tercer nivel y por consiguiente a la azotea, se desconocía bajo qué condiciones se encontraba el techo, este muestreo preliminar quedó descartado para los fines de esta investigación ya que no se pudo determinar de qué superficie y en qué condiciones escurría el agua de lluvia muestreada. Ante esta situación fue necesario hacer las gestiones pertinentes con los directivos de la Facultad de Ingeniería Civil para facilitar el acceso al tercer nivel y al techo del edificio.

En un primer acercamiento con directivos de la Facultad de Ingeniería Civil se nos facilitó toda la documentación del proyecto ejecutivo y demás estudios que se realizaron (análisis estructural, estudio geotécnico, etc.) para la construcción del tercer nivel. Se pudo tener acceso al tercer nivel y a la azotea del edificio “C” y hacer una inspección de reconocimiento de la zona en estudio para identificar las bajadas de agua pluvia y de qué manera estaban funcionando, además de verificar la presencia de algunos contaminantes en la superficie de captación que pudieran afectar la calidad del agua de lluvia a muestrear. Ya con la visita de reconocimiento al tercer nivel del edificio, la revisión de las condiciones en que se encontraba el techo y teniendo la certeza de que los muestreos a realizar iban a ser representativo del agua de lluvia que escurre de la techumbre del edificio “C”, se determinó muestrear de las troneras (figura 37) que dan hacia los jardines de edificio tanto del lado Norte como Sur. Las bajadas de agua pluvial del segundo nivel no fueron consideradas como opción para el muestreo por la mínima cantidad de agua que desalojan.



Figura 37. Bajada de agua pluvial del edificio “C” (fuente: autor).

El primer muestreo se realizó el día 11 de julio de 2017. El segundo muestreo fue realizado el día 21 de septiembre de 2017 de una de las troneras que desaloja el agua de lluvia que escurre del techo del edificio “C” del lado Sur. El tercer y último muestreo de agua de lluvia fue realizado el día 25 de febrero de 2018 igualmente de una de las troneras del edificio del lado Sur. Las muestras fueron recolectadas en frascos de vidrio de medio litro y para el análisis microbiológico en un vaso recolector estéril.



## 7.6 Análisis en el laboratorio

Para caracterizar el agua de lluvia que escurre del techo del edificio “C”, fue necesario hacer varios análisis y pruebas de laboratorio. Algunas de ellas se pueden hacer de manera práctica con equipos sencillos, pero los más importantes para la salud deben realizarse en un laboratorio especializado. Para un correcto y confiable análisis de las muestras de agua de lluvia, contamos con el apoyo del Laboratorio de Ingeniería Ambiental y Sanitaria de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo y de todo el personal que en él labora. Las instalaciones del laboratorio se ubican en Ciudad Universitaria en la planta baja del edificio de posgrado de la Facultad de Ingeniería Civil.

En el laboratorio se analizaron tres tipos de características al agua pluvial (Secretaría de Salud, 2000):

- Características microbiológicas: que son debidas a microorganismos nocivos a la salud humana, para efectos de control sanitario se determina el contenido de indicadores generales de contaminación microbiológica, específicamente coliformes totales, y *Escherichia coli* o coliformes fecales.
- Características físicas y organolépticas: son las que se detectan sensorialmente. Para efectos de evaluación, el sabor y el olor se ponderan por medio de los sentidos, el color y la turbiedad se determinan por medio de métodos analíticos.
- Características químicas: son las debidas a elementos o compuestos químicos, que como resultado de la investigación científica se ha comprobado que pueden causar efectos nocivos a la salud humana.

Los parámetros analizados a las muestras de agua de lluvia que escurre del techo del edificio “C” se muestran en la tabla 16.



Tabla 16. Parámetros analizados en el laboratorio.

Parámetros	
pH	Sólidos Totales Fijos
Oxígeno Disuelto	Sólidos Totales Volátiles
Conductividad Eléctrica	Sólidos Suspendidos Fijos
DQO	Sólidos Suspendidos Volátiles
Coliformes Totales	Dureza Total ( $\text{CaCO}_3$ )
Salinidad	Dureza Cálcica ( $\text{CaCO}_3$ )
Acidez	Dureza Magnésica ( $\text{CaCO}_3$ )
Alcalinidad	Sulfatos
Cloruros	Turbiedad
Color Verdadero	Fluoruros
Hidróxidos	Aluminio
Carbonatos	Bario
Bicarbonatos	Cadmio
Temperatura del Agua	Cobre
Sólidos Totales	Cromo Total
Sólidos Disueltos Totales	Manganeso
Sólidos Suspendidos Totales	Nitrógeno Total
Sólidos Disueltos Fijos	Plomo
Sólidos Disueltos Volátiles	Zinc



## 7.7. Encuestas

Con el fin de obtener información y saber el punto de vista acerca del proyecto de aprovechamiento de agua de lluvia en las instalaciones del edificio “C” de la Facultad de Ingeniería Civil, se realizaron una serie de encuestas a alumnos, administrativos y trabajadores de la Universidad Michoacana. Los cuestionarios fueron aplicados a alumnos de semestres diferentes, 4 alumnos por semestre, y de manera general las respuestas fueron las siguientes:

### Encuesta Captación Agua de Lluvia – Alumnos Maestría en Ciencias en Ingeniería Ambiental Facultad de Ingeniería Civil

Encuestado No.: xxxxxx Sección: xxxxxx Semestre: xxxxxx Fecha: xxxxxx

1. ¿Funcionan bien los sanitarios del edificio “C” de la FIC?  SI  NO

¿Por qué? **No hay agua; están tapados; están sucios.**

2. ¿Es suficiente el agua de los sanitarios del edificio “C” de la FIC?  SI  NO

3. ¿Utilizas el bebedero de la planta baja del edificio “C” de la FIC?  SI  NO

¿Por qué? **No da confianza; está sucia el agua, no sabía de su existencia.**



**Encuesta Captación Agua de Lluvia – Administrativos**  
**Maestría en Ciencias en Ingeniería Ambiental**  
**Facultad de Ingeniería Civil**

Nombre: Dr. Crisanto Mendoza Covarrubias Cargo: Director de servicios generales  
Fecha: 19 de enero de 2018

1. ¿Qué opina acerca de utilizar un sistema de captación de agua de lluvia en el edificio “C” de CU?

**Excelente.**

2. ¿Existe alguna problemática relacionada con el agua el edificio “C”?

**Se ha reportado el taponamiento de las bajadas del drenaje.**

3. Si se instala un sistema para aprovechamiento de agua de lluvia en el edificio “C”, ¿cómo preferiría el tanque de almacenamiento?

A) Elevado

B) Superficial

C) Enterrado

i) Plástico

ii) Ferrocemento

iii) Concreto

iv) Mampostería

**La opción que resulte más viable considerando tanto lo económico, estético al paisaje y funcionalidad.**

4. ¿Hay apoyos especiales para este tipo de proyecto en la Universidad Michoacana?

**Consultar en el PAI y con planeación universitaria.**

5. ¿Tiene algún comentario adicional o alguna sugerencia sobre la implementación de un sistema de captación de agua lluvia en el edificio “C”?

**Tratar de replicar estos proyectos en toda la Universidad; invitar a los estudiantes a que se involucren en este tipo de acciones ambientales.**





**Encuesta Captación Agua de Lluvia – Administrativos**  
**Maestría en Ciencias en Ingeniería Ambiental**  
**Facultad de Ingeniería Civil**

Nombre: Dr. Carlos Alberto León Patiño Cargo: Director de Planeación  
Institucional UMSNH Fecha: 26 de enero de 2018

1. ¿Qué opina acerca de utilizar un sistema de captación de agua de lluvia en el edificio “C” de CU?

**Muy Buena opción.**

2. ¿Existe alguna problemática relacionada con el agua el edificio “C”?

**NO APLICA**

3. Si se instala un sistema para aprovechamiento de agua de lluvia en el edificio “C”, ¿cómo preferiría el tanque de almacenamiento?

A) Elevado

B) Superficial

C) Enterrado

i) Plástico

ii) Ferrocemento

iii) Concreto

iv) Mampostería

**Enterrado y mampostería; buscando que las opciones que resulten más factibles sean las más económicas por cuestiones del recurso.**

4. ¿Hay apoyos especiales para este tipo de proyecto en la Universidad Michoacana?

**Fondo de recursos extraordinarios.**

5. ¿Tiene algún comentario adicional o alguna sugerencia sobre la implementación de un sistema de captación de agua lluvia en el edificio “C”?

**Los proyectos actualmente priorizan para su aprobación, que estén dentro del marco de la sustentabilidad, principalmente captación de agua de lluvia, energía fotovoltaica y energía eólica.**



**Encuesta Captación Agua de Lluvia – Administrativos**  
**Maestría en Ciencias en Ingeniería Ambiental**  
**Facultad de Ingeniería Civil**

Nombre: Arq. Salvador González, Ing. Elí Durán Gómez Cargo: administrativos  
de planeación universitaria Fecha: 25 de enero de 2018

1. ¿Qué opina acerca de utilizar un sistema de captación de agua de lluvia en el edificio “C” de CU?

**Buena opción, es deseable.**

2. ¿Existe alguna problemática relacionada con el agua el edificio “C”?

**NO APLICA.**

3. Si se instala un sistema para aprovechamiento de agua de lluvia en el edificio “C”, ¿cómo preferiría el tanque de almacenamiento?

A) Elevado

B) Superficial

C) Enterrado

i) Plástico

ii) Ferrocemento

iii) Concreto

iv) Mampostería

**Enterrado y mampostería tradicional, como normalmente se hacen las cisternas en la Universidad.**

4. ¿Hay apoyos especiales para este tipo de proyecto en la Universidad Michoacana?

**Fondo de aportaciones múltiples (FAM).**

5. ¿Tiene algún comentario adicional o alguna sugerencia sobre la implementación de un sistema de captación de agua lluvia en el edificio “C”?

**Es interesante pero no se implementan este tipo de proyectos hasta que se le exigen a la Universidad por parte de algunos organismos.**



**Encuesta Captación Agua de Lluvia – Administrativos**  
**Maestría en Ciencias en Ingeniería Ambiental**  
**Facultad de Ingeniería Civil**

Nombre: Sr. Dimas Sánchez Cargo: Jefe de plomeros UMICH Fecha: 22 de enero de 2018

1. ¿Qué opina acerca de utilizar un sistema de captación de agua de lluvia en el edificio “C” de CU?

**Muy bien.**

2. ¿Existe alguna problemática relacionada con el agua el edificio “C”?

**El agua de la cisterna es insuficiente.**

3. Si se instala un sistema para aprovechamiento de agua de lluvia en el edificio “C”, ¿cómo preferiría el tanque de almacenamiento?

A) Elevado

B) Superficial

C) Enterrado

i) Plástico

ii) Ferrocemento

iii) Concreto

iv) Mampostería

**No tengo preferencia alguna.**

4. ¿Habría apoyos especiales para este tipo de proyecto en la Universidad Michoacana?

**NO APLICA.**

5. ¿Tiene algún comentario adicional o alguna sugerencia sobre la implementación de un sistema de captación de agua lluvia en el edificio “C”?

**Tratar de limpiar el agua de lluvia antes de utilizarla.**



## **8. Escenarios factibles para el aprovechamiento de agua de lluvia en la Facultad de Ingeniería Civil, edificio “C”, CU**

Al plantear los escenarios factibles, para poder captar y aprovechar el agua de lluvia que escurre del techo del edificio “C”, de la facultad de Ingeniería Civil, partiremos de lo más práctico y simple a lo más complejo, es decir, el primer escenario será presentado en base a la infraestructura ya existente con que cuenta actualmente el edificio “C”, pensando en hacer las mínimas modificaciones posibles y que esto nos represente una inversión o gasto inicial menor que no sea tan significativo, económicamente hablando. Por el contrario el último escenario contemplará propuestas más ambiciosas tanto en el sentido técnico, económico, de beneficio y bienestar a los usuarios de la facultad de Ingeniería Civil (edificio “C”). Se analizaron y discernieron varios posibles escenarios para la captación y aprovechamiento de agua de lluvia en el edificio “C”. Cabe mencionar que del total de escenarios propuestos, algunos resultan con perspectivas muy altas, más no por ello, imposibles de realizar, todas las opciones planteadas serán expuestas, pero se hará especial énfasis en los escenarios que resulten más convenientes y factibles, es decir, se desarrollarán más a detalle, en los siguientes apartados de este trabajo. Los parámetros que fueron tomados en cuenta en dichos escenarios y que resultaron como variables que podíamos manipular según la conveniencia al realizar las simulaciones de agua de lluvia, fueron:

- Área de captación
- Capacidad del tanque de almacenamiento

En la tabla 17 se muestra de manera general los parámetros que se incluyen en los tres escenarios factibles propuestos para la captación y aprovechamiento de agua de lluvia en el edificio “C”.



Tabla 17. Parámetros de los escenarios factibles propuestos.

Escenario	Área captación (m <sup>2</sup> )	Consumo semanal (litros)	Capacidad Cisterna (litros)
1	956 (50%)	25000	11000
2	1911 (100%)	25000	11000
3	1911 (100%)	25000	25000

Como se observa en la tabla 17 se plantea un total de 3 escenarios factibles para el aprovechamiento de agua de lluvia que escurre de la techumbre del edificio “C” de CU, más adelante se analizarán detalladamente cada uno de ellos determinando su factibilidad y conveniencia además de sus ventajas y desventajas; respecto al área de captación, se contemplan nada más 2 opciones, usar el 100% del área del techo (1911 m<sup>2</sup>) o sólo un lado del techo 50% del área de captación total (956 m<sup>2</sup>); referente al consumo de agua del edificio se tomó el valor obtenido a través del medidor de agua de la cisterna y que es el aproximado que se suministra semanalmente (25 m<sup>3</sup>); el uso del agua de lluvia recolectada se pretende que sea para los sanitarios del edificio (inodoros, mingitorios y lavamanos); la capacidad de la cisterna que se utilizó fue de 11 m<sup>3</sup> que es la capacidad de almacenamiento de la cisterna construida con que cuenta actualmente el edificio, además de contemplar una capacidad de almacenamiento de 25 m<sup>3</sup>, que resultaría de sumar la capacidad de almacenamiento de dos cisternas. Se analizaron diferentes escenarios para el aprovechamiento de agua de lluvia en las instalaciones del edificio “C”, descartando la gran mayoría, estos tres escenarios se ajustan a la información recabada en las entrevistas realizadas tanto a estudiantes, directivos de la Facultad de Ingeniería Civil, como a funcionarios y trabajadores de la UMSNH que se involucran en el proyecto.



### 8.1. Escenario 1

En este escenario no. 1 se contempla utilizar sólo la mitad del área de captación total disponible, que corresponde al área del techo del lado sur del edificio “C”, en la tabla 18 tenemos los parámetros utilizados en este escenario no. 1. En la simulación de la dinámica del agua de lluvia, vemos el comportamiento de este escenario en la tabla 19.

Tabla 18. Parámetros utilizados en el escenario 1.

Escenario no.	Área de captación	Almacenamiento	Consumo de agua (semanal)
1	956 m <sup>2</sup> (50%)	1 Cisterna de 11m <sup>3</sup> (disponible actualmente)	25 m <sup>3</sup>

Tabla 19. Simulación dinámica del agua de lluvia escenario 1.

Mes	Ciclo	Captación agua de lluvia	Consumo de agua	Volumen de agua disponible	Volumen de agua en la cisterna al final del ciclo
		(litros)	(litros)	(litros)	(litros)
				0	0
Junio	1	31,102	25,000	6,102	6,102
Junio	2	31,102	25,000	12,204	11,000
Junio	3	31,102	25,000	17,102	11,000
Junio	4	31,102	25,000	17,102	11,000
Julio	5	41,301	25,000	27,301	11,000
Julio	6	41,301	25,000	27,301	11,000
Julio	7	41,301	25,000	27,301	11,000
Julio	8	41,301	25,000	27,301	11,000
Agosto	9	38,373	25,000	24,373	11,000
Agosto	10	38,373	25,000	24,373	11,000
Agosto	11	38,373	25,000	24,373	11,000
Agosto	12	38,373	25,000	24,373	11,000
Septiembre	13	31,005	25,000	17,005	11,000
Septiembre	14	31,005	25,000	17,005	11,000
Septiembre	15	31,005	25,000	17,005	11,000
Septiembre	16	31,005	25,000	17,005	11,000



Continúa tabla 19...

<b>Mes</b>	<b>Ciclo</b>	<b>Captación agua de lluvia</b>	<b>Consumo de agua</b>	<b>Volumen de agua disponible</b>	<b>Volumen de agua en la cisterna al final del ciclo</b>
		(litros)	(litros)	(litros)	(litros)
Octubre	17	13,008	25,000	-992	0
Octubre	18	13,008	25,000	-11,992	0
Octubre	19	13,008	25,000	-11,992	0
Octubre	20	13,008	25,000	-11,992	0
Noviembre	21	2,672	25,000	-22,328	0
Noviembre	22	2,672	25,000	-22,328	0
Noviembre	23	2,672	25,000	-22,328	0
Noviembre	24	2,672	25,000	-22,328	0
Diciembre	25	619	25,000	-24,381	0
Diciembre	26	619	25,000	-24,381	0
Diciembre	27	619	25,000	-24,381	0
Diciembre	28	619	25,000	-24,381	0
Enero	29	2,601	25,000	-22,399	0
Enero	30	2,601	25,000	-22,399	0
Enero	31	2,601	25,000	-22,399	0
Enero	32	2,601	25,000	-22,399	0
Febrero	33	3,270	25,000	-21,730	0
Febrero	34	3,270	25,000	-21,730	0
Febrero	35	3,270	25,000	-21,730	0
Febrero	36	3,270	25,000	-21,730	0
Marzo	37	2,845	25,000	-22,155	0
Marzo	38	2,845	25,000	-22,155	0
Marzo	39	2,845	25,000	-22,155	0
Marzo	40	2,845	25,000	-22,155	0
Abril	41	2,449	25,000	-22,551	0
Abril	42	2,449	25,000	-22,551	0
Abril	43	2,449	25,000	-22,551	0
Abril	44	2,449	25,000	-22,551	0
Mayo	45	10,416	25,000	-14,584	0
Mayo	46	10,416	25,000	-14,584	0
Mayo	47	10,416	25,000	-14,584	0
Mayo	48	10,416	25,000	-14,584	0



De acuerdo a los parámetros establecidos y a la simulación anterior del escenario 1 obtendríamos un total 4 meses, de junio a septiembre, de independencia de la fuente que suministra agua al edificio “C”, cubriendo el 100% de la demanda de agua. A partir del mes de septiembre el agua de lluvia ya no sería suficiente para satisfacer la demanda de agua, se tendría a partir de ese mes que abastecer de la fuente convencional. Sin embargo es este primer escenario se aporta agua de lluvia prácticamente todo el año, en menor o mayor cantidad, el balance de este escenario 1 se muestra en la tabla 20. Se obtendrían más de 550 m<sup>3</sup>/año cubriendo el 50% de la demanda de agua del edificio “C” con agua de lluvia. Algo que no se debe olvidar es que en este escenario 1 sólo estamos contemplando utilizar la mitad del área total del techo.

Tabla 20. Balance del agua de lluvia para el escenario 1.

Mes	Precipitación (mm)	Volumen agua disponible (litros)	Demanda de agua mensual (litros)	Demanda de agua anual (litros)	Agua de lluvia utilizada (litros)	Satisfacción de la demanda con agua de lluvia	Agua de lluvia aprovechada anual (litros)	Aportación a la demanda con agua de lluvia
Enero	11.46	10,406	100,000		10,406	10%		
Febrero	14.40	13,078	100,000		13,078	13%		
Marzo	12.53	11,378	100,000		11,378	11%		
Abril	10.79	9,796	50,000		9,796	20%		
Mayo	45.88	41,664	100,000		41,664	42%		
Junio	136.98	124,408	100,000	1,100,000	100,000	100%	551,518	50%
Julio	181.90	165,205	100,000		100,000	100%		
Agosto	169.01	153,492	100,000		100,000	100%		
Septiembre	136.56	124,021	100,000		100,000	100%		
Octubre	57.29	52,030	100,000		52,030	52%		
Noviembre	11.77	10,690	100,000		10,690	11%		
Diciembre	2.73	2,476	50,000		2,476	5%		



### 8.1.1. Conducción del agua de lluvia del escenario 1

Para determinar el diámetro de tubería que se necesita para conducir el agua de lluvia que escurre del techo del edificio “C” hacia la cisterna de almacenamiento, nos auxiliamos de la tabla 3, los valores necesarios para entrar a esta tabla son la intensidad de lluvia, que para este caso utilizaremos 50 mm/hr (figura 9) y el área de captación 956 m<sup>2</sup>. De acuerdo con la tabla el diámetro del tubo de PVC sería de 6 pulgadas considerando una pendiente del 1%, esta pendiente se propone en base a que la altura entre el techo y el plafón es de 60 cm.

Para validar el valor del diámetro del tubo de 6 pulgadas revisamos el gasto con la fórmula de Manning. Para la zona en estudio tenemos una intensidad de lluvia de 40 mm/hr y un área de captación de 1911 m<sup>2</sup>, si multiplicamos la intensidad de lluvia por el área obtenemos un gasto de:

$$40 \frac{mm}{hr} * 956 m^2 = 38,240 \frac{litros}{hr} = 38.24 \frac{m^3}{hr} = 0.012 \frac{m^3}{s}$$

Utilizando la ecuación 8 tenemos que<sup>1</sup>:

$$Q = \frac{\pi * 0.15^2}{4 * 0.009} * \left(\frac{0.15}{4}\right)^{\frac{2}{3}} * (0.01)^{\frac{1}{2}} = 0.022 \frac{m^3}{s}$$

Como 0.022 m<sup>3</sup>/s > 0.012 m<sup>3</sup>/s por lo tanto el tubo de 6” es suficiente. Respecto a la bajante vertical y de acuerdo a la información de la tabla 2, el área con que disponemos en este escenario es de 956 m<sup>2</sup>, el diámetro del tubo de PEAD sería de 5 pulgadas, pero por cuestiones comerciales se utilizaría el de 6”. En la figura 38 se ilustra cómo queda la conducción del agua de lluvia que escurre del techo para este primer escenario. Para determinar volumen del separador de primeras lluvias para este escenario 1 tomamos como referencia lo propuesto por *The Texas Manual of Rainwater Harvesting* y consiste en desviar un mínimo de 37.85 litros por cada 92.9 m<sup>2</sup> de superficie de recolección.

---

<sup>1</sup> Coeficiente de rugosidad de Manning para PVC n=0.009.



Entonces para un área de captación de 956 m<sup>2</sup> tendríamos que desviar 390 litros de agua de lluvia, dicho esto se propone un separador de primeras lluvias conformado por un tinaco de polietileno de alta densidad con capacidad de 450 litros como el de la figura 12.

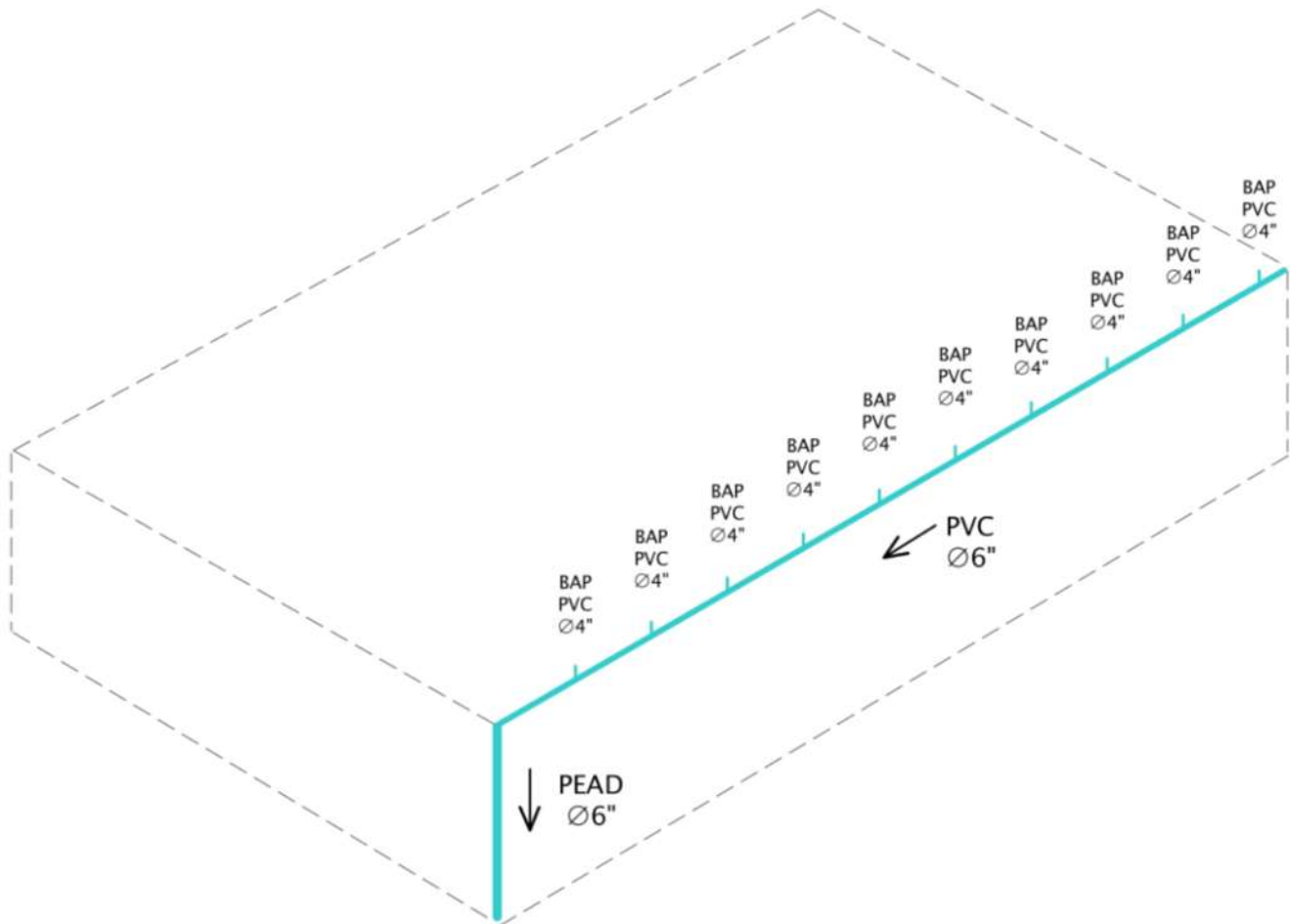


Figura 38. Conducción del escenario 1 (fuente: elaboración propia).



### 8.1.2. Análisis económico del escenario 1

En la tabla 21 se muestra el análisis económico para el escenario no. 1.

Tabla 21. Análisis económico del escenario 1.

No.	Concepto	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Monto
<b>Recolección</b>					
1	Suministro y colocación de tela de criba de 5 X 5 de acero galvanizado para canaleta	m <sup>2</sup>	8.95	\$125	\$1,119.91
				<b>Subtotal</b>	<b>\$1,119.91</b>
<b>Conducción</b>					
2	Suministro, instalación y pruebas de tubo de PVC tipo sanitario unión cementar, extremos lisos de 160 mm (6") de diámetro *	m	59.65	\$142.48	\$8,498.93
3	Te sencilla de pvc tipo sanitario unión anger de 150 x 102 mm *	pza	9	\$181.94	\$1,637.46
4	Suministro, instalación y pruebas de codo de pvc tipo sanitario unión cementar de 90° x 160 mm de diámetro*	pza	2	\$118.78	\$237.56
5	Suministro, instalación de tubo de polietileno de alta densidad (PEAD) con sistema integrado de unión espiga-campana de 6" de diámetro y 6.1 m de longitud *	pza	2	\$750.00	\$1,500.00
				<b>Subtotal</b>	<b>\$11,873.95</b>



Continúa tabla 21...

No.	Concepto	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Monto
<b>Separador de primeras lluvias</b>					
6	Suministro e instalación de tinaco de polietileno triple capa, de 450 litros de capacidad, con accesorios, marca Rotoplas o similar *	pza	1	\$1,558.07	\$1,558.07
7	Suministro e instalación de válvula de drenado electrónica con temporizador marca OMS o similar *	pza	1	\$1,150.00	\$1,150.00
				<b>Subtotal</b>	<b>\$2,708.07</b>
<b>Caja de llegada</b>					
8	Registro de concreto con tapa resistencia normal f'c= 200 kg/cm <sup>2</sup> reforzado, de 50 x 65 x 60 cm de profundidad, medidas interiores.*	pza	1	\$1,383.49	\$1,383.49
				<b>Subtotal</b>	<b>\$1,383.49</b>
<b>Tratamiento</b>					
9	Filtro Amiad 3/4" malla 50 micras	pza	1	\$1,600.00	\$1,600.00
10	Filtro carbón activado block BB20 (incluye vaso y cartucho)	pza	1	\$2,000.00	\$2,000.00
11	Clorador automático Inter Water 4.08 kg "en línea"	pza	1	\$850.00	\$850.00
				<b>Subtotal</b>	<b>\$4,450.00</b>

<b>Total</b>	<b>\$21,535</b>
--------------	-----------------

\* Incluye: los materiales, la mano de obra, la herramienta, el equipo, acarreo libre, limpieza y todo lo necesario para la correcta ejecución de los trabajos



### **8.1.3. Ventajas y desventajas del escenario 1**

- Se puede satisfacer la demanda de agua del edificio con agua de lluvia hasta por 4 meses en el año (de julio a octubre).
- Se utilizaría sólo la mitad del techo, lo que hace que sea más fácil manejar la limpieza y el mantenimiento del área de captación.
- Se utilizaría menos tubería para la conducción del agua
- El gasto por concepto de conducción del agua de lluvia sigue siendo elevado, representa más de la mitad del total de la inversión
- No habría necesidad de construir otra cisterna o comprar algún otro dispositivo de almacenamiento, se aprovecharía la cisterna existente, con algunas adecuaciones.
- El bombeo del agua hacia el tercer nivel se haría empleando la bomba con que se cuenta actualmente.
- El volumen de agua de lluvia captado se aprovecharía en mayor medida en relación con la capacidad de almacenamiento.
- El volumen del separador de primeras lluvias sería el de menor capacidad, 450 litros.
- En este primer escenario se tiene la menor inversión de los escenarios propuestos.
- La otra mitad del techo que no se utiliza sigue desalojando el agua de lluvia y regando las áreas verdes y permitiendo la filtración del agua hacia el subsuelo.
- La tubería de conducción que corre a lo largo del lado norte únicamente.
- La tubería de conducción vertical quedaría expuesta.
- Este escenario se puede implementar como una primera etapa, evaluar su funcionamiento para después ampliar y mejorar el sistema a través de usar toda el área disponible e incrementar la capacidad de almacenamiento del agua.



## 8.2. Escenario 2

En este escenario se aprovecha la infraestructura ya existente del edificio “C”, donde se evitan grandes modificaciones que puedan repercutir significativamente a la inversión de implementar un sistema de captación de agua de lluvia; las consideraciones que se tomaron en este primer escenario se muestran en la tabla 22.

Tabla 22. Parámetros utilizados para el escenario 2.

Escenario no.	Área de captación	Almacenamiento	Consumo de agua (semanal)
2	1911 m <sup>2</sup> (100%)	1 Cisterna de 11m <sup>3</sup> (disponible actualmente)	25 m <sup>3</sup>

A través de una simulación de la dinámica del agua de lluvia donde se involucran los parámetros de la tabla anterior, tenemos la tabla 23:

Tabla 23. Simulación dinámica del agua de lluvia escenario 2.

Mes	Ciclo	Captación de agua de lluvia	Consumo de agua	Volumen de agua disponible	Volumen de agua en la cisterna al final del ciclo
		(litros)	(litros)	(litros)	(litros)
				0	0
Junio	1	62,171	25,000	37,171	11,000
Junio	2	62,171	25,000	48,171	11,000
Junio	3	62,171	25,000	48,171	11,000
Junio	4	62,171	25,000	48,171	11,000
Julio	5	82,559	25,000	68,559	11,000
Julio	6	82,559	25,000	68,559	11,000
Julio	7	82,559	25,000	68,559	11,000
Julio	8	82,559	25,000	68,559	11,000
Agosto	9	76,706	25,000	62,706	11,000
Agosto	10	76,706	25,000	62,706	11,000
Agosto	11	76,706	25,000	62,706	11,000
Agosto	12	76,706	25,000	62,706	11,000



Continúa tabla 23...

Mes	Ciclo	Captación de agua de lluvia	Consumo de agua	Volumen de agua disponible	Volumen de agua en la cisterna al final del ciclo
		(litros)	(litros)	(litros)	(litros)
Septiembre	13	61,978	25,000	47,978	11,000
Septiembre	14	61,978	25,000	47,978	11,000
Septiembre	15	61,978	25,000	47,978	11,000
Septiembre	16	61,978	25,000	47,978	11,000
Octubre	17	26,001	25,000	12,001	11,000
Octubre	18	26,001	25,000	12,001	11,000
Octubre	19	26,001	25,000	12,001	11,000
Octubre	20	26,001	25,000	12,001	11,000
Noviembre	21	5,342	25,000	-8,658	0
Noviembre	22	5,342	25,000	-19,658	0
Noviembre	23	5,342	25,000	-19,658	0
Noviembre	24	5,342	25,000	-19,658	0
Diciembre	25	1,237	25,000	-23,763	0
Diciembre	26	1,237	25,000	-23,763	0
Diciembre	27	1,237	25,000	-23,763	0
Diciembre	28	1,237	25,000	-23,763	0
Enero	29	5,200	25,000	-19,800	0
Enero	30	5,200	25,000	-19,800	0
Enero	31	5,200	25,000	-19,800	0
Enero	32	5,200	25,000	-19,800	0
Febrero	33	6,536	25,000	-18,464	0
Febrero	34	6,536	25,000	-18,464	0
Febrero	35	6,536	25,000	-18,464	0
Febrero	36	6,536	25,000	-18,464	0
Marzo	37	5,686	25,000	-19,314	0
Marzo	38	5,686	25,000	-19,314	0
Marzo	39	5,686	25,000	-19,314	0
Marzo	40	5,686	25,000	-19,314	0
Abril	41	4,895	25,000	-20,105	0
Abril	42	4,895	25,000	-20,105	0
Abril	43	4,895	25,000	-20,105	0
Abril	44	4,895	25,000	-20,105	0
Mayo	45	20,821	25,000	-4,179	0
Mayo	46	20,821	25,000	-4,179	0
Mayo	47	20,821	25,000	-4,179	0
Mayo	48	20,821	25,000	-4,179	0



Al hacer un análisis detallado de la tabla 23 de la simulación de la dinámica del agua de lluvia del escenario 2, primeramente podemos indicar, que bajo las condiciones que se plantean, tendríamos el agua suficiente durante cinco meses , de junio a octubre, para atender el consumo de agua (uso en sanitarios) que demanda el edificio “C”, sin depender de la fuente que suministra agua al edificio, tiempo que resulta ser bastante bueno ya que estamos hablando de casi la mitad de un año; a partir del mes de noviembre el agua de lluvia que escurre de la techumbre ya no sería suficiente, es decir, habría un déficit de agua que se tendría que cubrir haciendo uso de la fuente convencional (pozo de agua subterránea) para cubrir la demanda de agua. Otro punto importante a mencionar es que, aunque el volumen de agua de lluvia captado disponible sea muy grande, en este caso va de los 30 mil hasta los 60 mil litros, no se podría aprovechar tales cantidades, ya que la capacidad de la cisterna existente (11 mil litros), donde se almacenaría el agua de lluvia no sería suficiente, es decir, el volumen de agua de lluvia que exceda el nivel máximo de la cisterna tendrá que ser depositado a otro lugar, redirigirlo al drenaje o hacia los jardines, por ejemplo. De esta manera no se haría un aprovechamiento tan eficiente y total del agua de lluvia que escurre de la techumbre del edificio “C”. En la tabla 24 se hace un balance del agua de lluvia que podemos utilizar a lo largo del año, se muestra la cantidad de agua de lluvia que podemos utilizar en cada mes, el porcentaje de satisfacción de acuerdo a la demanda; en los meses de junio a octubre se cubre con un 100% la demanda de agua del edificio, además el sistema prácticamente todo el año estará aportando agua de lluvia para suministrar al edificio, la cantidad de agua de lluvia total que podemos llegar a aprovechar durante un año para este primer escenario, es de 698,872 litros, casi 700 m<sup>3</sup>/año, esto representa el 64% del total de agua que consume el edificio “C”, dicho de otra manera, el edificio “C” puede obtener más de la mitad del agua que consume a través de captar y aprovechar la lluvia. El edificio consume anualmente 1,100 m<sup>3</sup> aproximadamente.



Tabla 24. Balance del agua de lluvia para el escenario no. 2.

Mes	Precipitación (mm)	Volumen agua disponible (litros)	Demanda de agua mensual (litros)	Demanda de agua anual (litros)	Agua de lluvia utilizada (litros)	Satisfacción de la demanda con agua de lluvia	Agua de lluvia aprovechada anual (litros)	Aportación a la demanda con agua de lluvia
Enero	11.46	20,801	100,000		20,801	21%		
Febrero	14.40	26,142	100,000		26,142	26%		
Marzo	12.53	22,745	100,000		22,745	23%		
Abril	10.79	19,581	50,000		19,581	39%		
Mayo	45.88	83,285	100,000		83,285	83%		
Junio	136.98	248,685	100,000	1,100,000	100,000	100%	698,872	64%
Julio	181.90	330,237	100,000		100,000	100%		
Agosto	169.01	306,824	100,000		100,000	100%		
Septiembre	136.56	247,913	100,000		100,000	100%		
Octubre	57.29	104,006	100,000		100,000	100%		
Noviembre	11.77	21,369	100,000		21,369	21%		
Diciembre	2.73	4,949	50,000		4,949	10%		



### 8.2.1. Conducción del agua de lluvia del escenario 2

Como ya se mencionó anteriormente, la conducción del agua de lluvia que escurre sobre un techo se hace a través de tuberías y conexiones de PVC generalmente y otros materiales. Para determinar el diámetro de tubería que se necesita para conducir el agua de lluvia que escurre del techo del edificio "C" hacia la cisterna de almacenamiento, nos auxiliamos de la tabla 3, los valores necesarios para entrar a esta tabla son, la intensidad de lluvia, que para nuestro caso utilizaremos 50 mm/hr (figura 9) y el área de captación. El área tanto del lado norte como del lado sur es de 956 m<sup>2</sup>. De acuerdo con la tabla el diámetro del tubo de PVC sería de 6 pulgadas considerando una pendiente del 1%, la pendiente se propone en base a que la altura entre el techo y el plafón es de 60 cm. En la conducción del escenario 1 se hizo la validación del tubo de 6" con la ecuación de Manning. El diámetro de tubo de la bajante vertical de polietileno de alta densidad necesario para desalojar el agua de lluvia, para un área total del techo de 1911 m<sup>2</sup> se obtiene de la tabla 2 y nos arroja un diámetro de 6". Se hace la recomendación que el tubo de la bajante vertical sea de PEAD o de algún material similar ya que al ir expuesto a la intemperie es el material más adecuado bajo estas condiciones. En la figura 39 se ilustra la configuración de la conducción para el escenario no. 2.

Para determinar volumen del separador de primeras lluvias para este escenario 2 tomamos como referencia lo propuesto por *The Texas Manual of Rainwater Harvesting* y consiste en desviar un mínimo de 37.85 litros por cada 92.9 m<sup>2</sup> de superficie de recolección. Entonces para un área de captación de 1911 m<sup>2</sup> tendríamos que desviar 779 litros de agua de lluvia como mínimo, dicho esto se propone un separador de primeras lluvias conformado por un tinaco de polietileno de alta densidad con capacidad de 1100 litros como el de la figura 11.

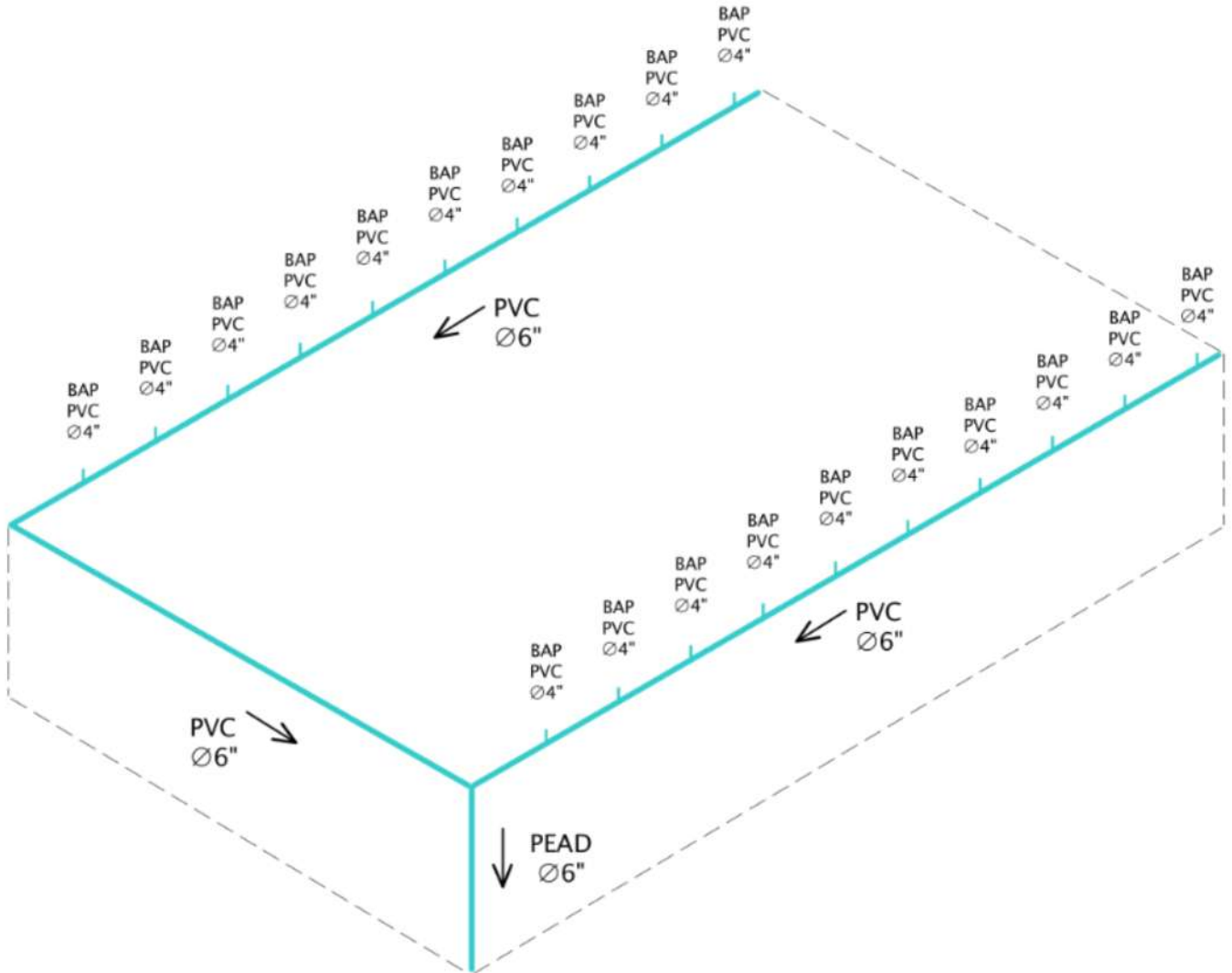


Figura 39. Conducción para el escenario 2 (fuente: elaboración propia).



## 8.2.2. Análisis económico del escenario 2

En la tabla 25 se muestra el análisis económico para el escenario 2.

Tabla 25. Análisis económico del escenario 2.

No.	Concepto	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Monto
<b>Recolección</b>					
1	Suministro y colocación de tela de criba de 5 X 5 de acero galvanizado para canaleta *	m <sup>2</sup>	17.9	\$125	\$2,239.83
				<b>Subtotal</b>	<b>\$2,239.83</b>
<b>Conducción</b>					
2	Suministro, instalación y pruebas de tubo de PVC tipo sanitario unión cementar, extremos lisos de 102 mm de diámetro *	m	63	\$74.90	\$4,718.70
3	Suministro, instalación y pruebas de tubo de PVC tipo sanitario unión cementar, extremos lisos de 160 mm de diámetro *	m	97	\$142.48	\$13,820.56
4	Suministro, instalación y pruebas de te sencilla de PVC tipo sanitario unión anger de 102 mm de diámetro.	pza	10	\$115.69	\$1,156.90
5	Suministro, instalación y pruebas de reducción excéntrica de PVC tipo sanitario unión cementar de 160 x 102 mm de diámetro *	pza	2	\$84.90	\$169.80
6	Te sencilla de PVC tipo sanitario unión anger de 150 x 102 mm *	pza	10	\$181.94	\$1,819.40
7	Suministro, instalación y pruebas de codo de PVC tipo sanitario unión cementar de 90° x 102 mm de diámetro*	pza	2	\$68.87	\$137.74
8	Suministro, instalación y pruebas de codo de PVC tipo sanitario unión cementar de 90° x 160 mm de diámetro*	pza	2	\$118.78	\$237.56
9	Suministro, instalación y pruebas de cople de PVC tipo sanitario unión cementar de 102 mm de diámetro.	pza	20	\$62.22	\$1,244.40
10	Suministro, instalación de tubo de polietileno de alta densidad (PEAD) con sistema integrado de unión espiga-campana de 6" de diámetro y 6.1 m de longitud *	pza	2	\$750	\$1500
				<b>Subtotal</b>	<b>\$24,805</b>



Continúa tabla 25...

No.	Concepto	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Monto
<b>Separador de primeras lluvias</b>					
7	Suministro e instalación de tinaco de polietileno triple capa, de 1100 litros de capacidad, con accesorios, marca Rotoplas o similar *	pza	1	\$2,427.32	\$2,427.32
8	Suministro e instalación de válvula de drenado electrónica con temporizador marca OMS o similar *	pza	1	\$1,150.00	\$1,150.00
				<b>Subtotal</b>	<b>\$3,577.32</b>
<b>Caja de llegada</b>					
9	Registro de concreto con tapa resistencia normal f'c= 200 kg/cm <sup>2</sup> reforzado, de 50 x 65 x 60 cm de profundidad, medidas interiores.*	pza	1	\$1,383.49	\$1,383.49
				<b>Subtotal</b>	<b>\$1,383.49</b>
<b>Tratamiento</b>					
10	Filtro Amiad 3/4" malla 50 micras	pza	1	\$1,600.00	\$1,600.00
11	Filtro carbón activado block BB20 (incluye vaso y cartucho)	pza	1	\$2,000.00	\$2,000.00
12	Clorador automático Inter Water 4.08 kg "en línea"	pza	1	\$850.00	\$850.00
				<b>Subtotal</b>	<b>\$4,450.00</b>
				<b>Total</b>	<b>\$39,424</b>

\* Incluye: los materiales, la mano de obra, la herramienta, el equipo, acarreo libre, limpieza y todo lo necesario para la correcta ejecución de los trabajos



### 8.2.3. Ventajas y desventajas del escenario 2

- Se puede satisfacer la demanda de agua del edificio con agua de lluvia hasta por 5 meses en el año.
- El gasto por concepto de conducción del agua de lluvia es elevado, representa más de la mitad del total de la inversión para este primer escenario.
- No habría necesidad de construir otra cisterna o comprar algún otro dispositivo de almacenamiento, se aprovecharía la cisterna existente, con algunas adecuaciones.
- El bombeo del agua hacia el tercer nivel se haría empleando la bomba con que se cuenta actualmente.
- El agua que se puede captar en función del área del techo no se aprovecha en su totalidad, mucha agua se redirigiría a otro lugar.
- La tubería de conducción vertical quedaría expuesta.
- Las bajadas de agua (troneras) dejarían de funcionar, no cumpliría con el propósito que fueron diseñadas de desalojar el agua hacia los jardines del edificio.
- El área de captación es muy grande, podría dificultarse su limpieza y mantenimiento.



### 8.3. Escenario 3

En este tercer escenario se contempla la construcción de una cisterna enterrada de mampostería, con una capacidad de 14 mil litros, con dimensiones de 2 m de alto, 2.65 m de ancho y 2.65 m de largo, sumados a los 11 mil litros de la cisterna ya existente del edificio “C” interconectadas ambas cisternas nos daría un total de 25 mil litros, este cisterna cumple con las recomendaciones hechas por directivos de planeación universitaria. Los parámetros utilizados para este escenario se muestran en la tabla 26. La simulación de la dinámica del agua de lluvia correspondiente se muestra en la tabla 27.

Tabla 26. Parámetros utilizados en el escenario 3.

Escenario no.	Área de captación	Almacenamiento	Consumo de agua (semanal)
3	1911 m <sup>2</sup> (100%)	1 cisterna de 11m <sup>3</sup> (disponible actualmente) 1 cisterna de 14 m <sup>3</sup> (futura)	25 m <sup>3</sup>

Tabla 27. Simulación dinámica del agua de lluvia escenario 3.

Mes	Ciclo	Captación agua de lluvia	Consumo de agua	Volumen de agua disponible	Volumen de agua en la cisterna al final del ciclo
		(litros)	(litros)	(litros)	(litros)
				0	0
Junio	1	62,171	25,000	37,171	25,000
Junio	2	62,171	25,000	62,171	25,000
Junio	3	62,171	25,000	62,171	25,000
Junio	4	62,171	25,000	62,171	25,000
Julio	5	82,559	25,000	82,559	25,000
Julio	6	82,559	25,000	82,559	25,000
Julio	7	82,559	25,000	82,559	25,000
Julio	8	82,559	25,000	82,559	25,000
Agosto	9	76,706	25,000	76,706	25,000
Agosto	10	76,706	25,000	76,706	25,000
Agosto	11	76,706	25,000	76,706	25,000
Agosto	12	76,706	25,000	76,706	25,000
Septiembre	13	61,978	25,000	61,978	25,000
Septiembre	14	61,978	25,000	61,978	25,000
Septiembre	15	61,978	25,000	61,978	25,000
Septiembre	16	61,978	25,000	61,978	25,000



Continúa tabla 27...

Mes	Ciclo	Captación agua de lluvia	Consumo de agua	Volumen de agua disponible	Volumen de agua en la cisterna al final del ciclo
		(litros)	(litros)	(litros)	(litros)
Octubre	17	26,001	25,000	26,001	25,000
Octubre	18	26,001	25,000	26,001	25,000
Octubre	19	26,001	25,000	26,001	25,000
Octubre	20	26,001	25,000	26,001	25,000
Noviembre	21	5,342	25,000	5,342	5,342
Noviembre	22	5,342	25,000	-14,316	0
Noviembre	23	5,342	25,000	-19,658	0
Noviembre	24	5,342	25,000	-19,658	0
Diciembre	25	1,237	25,000	-23,763	0
Diciembre	26	1,237	25,000	-23,763	0
Diciembre	27	1,237	25,000	-23,763	0
Diciembre	28	1,237	25,000	-23,763	0
Enero	29	5,200	25,000	-19,800	0
Enero	30	5,200	25,000	-19,800	0
Enero	31	5,200	25,000	-19,800	0
Enero	32	5,200	25,000	-19,800	0
Febrero	33	6,536	25,000	-18,464	0
Febrero	34	6,536	25,000	-18,464	0
Febrero	35	6,536	25,000	-18,464	0
Febrero	36	6,536	25,000	-18,464	0
Marzo	37	5,686	25,000	-19,314	0
Marzo	38	5,686	25,000	-19,314	0
Marzo	39	5,686	25,000	-19,314	0
Marzo	40	5,686	25,000	-19,314	0
Abril	41	4,895	25,000	-20,105	0
Abril	42	4,895	25,000	-20,105	0
Abril	43	4,895	25,000	-20,105	0
Abril	44	4,895	25,000	-20,105	0
Mayo	45	20,821	25,000	-4,179	0
Mayo	46	20,821	25,000	-4,179	0
Mayo	47	20,821	25,000	-4,179	0
Mayo	48	20,821	25,000	-4,179	0



De acuerdo a la tabla anterior en este tercer escenario tendríamos un total de 5 meses y una semana aproximadamente, de junio a la primera semana de noviembre donde con el agua de lluvia que se capte del techo del edificio podemos cubrir la demanda de agua al 100% durante ese tiempo. La gran diferencia de este escenario no. 3 con los dos anteriores, es la propuesta de construir una cisterna adicional con la que se cuenta. El edificio "C" tiene suficiente espacio en las zonas que actualmente se destinan como áreas verdes para poder construir una cisterna más, en la captación y aprovechamiento del agua de lluvia en la medida que se pueda tener más capacidad de almacenamiento será más probable que se pueda cubrir la demanda de agua. Actualmente el edificio "C" consume en promedio 5 mil litros diarios de agua, si dividimos esa cantidad entre el número de estudiantes que es de 1928 nos da un valor de 2.6 litros/estudiante/día, muy lejos de la provisión mínima de agua potable para educación media superior y superior de 25 litros/alumno/turno (Gaceta Oficial DF, 2011) que se recomienda en la norma técnica complementaria para el proyecto arquitectónico del Distrito Federal y aún más lejos de la dotación mínima que recomienda el Instituto Nacional de Infraestructura Física Educativa para escuelas de este nivel que es de 60 litros/alumno/día (INIFED, 2014). Con la información recabada en las encuestas realizadas a los estudiantes del "C" ellos opinaron que el agua en el edificio no es suficiente desde su punto de vista, la construcción de otra cisterna ayudaría de alguna manera a suministrar más agua para los estudiantes de la facultad de Ingeniería Civil.

La conducción del agua de lluvia que escurre del techo para este tercer escenario es la misma que la que se propuso para el escenario no. 2 (ver figura 38), de igual manera el separador de primeras lluvias es igual que en dicho escenario con una capacidad de 1100 litros.



### 8.3.1. Análisis económico del escenario 3

En la tabla 28 se muestra el análisis económico para el escenario no. 3.

Tabla 28. Análisis económico escenario no. 3.

No.	Concepto	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Monto
<b>Recolección</b>					
1	Suministro y colocación de tela de criba de 5 X 5 de acero galvanizado para canaleta	m <sup>2</sup>	17.9	\$125	\$2,239.83
<b>Subtotal</b>					<b>\$2,239.83</b>
<b>Conducción</b>					
2	Suministro, instalación y pruebas de tubo de PVC tipo sanitario unión cementar, extremos lisos de 160 mm de diámetro *	m	156.65	\$142.48	\$22,319.49
3	Te sencilla de pvc tipo sanitario unión anger de 150 x 102 mm *	pza	18	\$181.94	\$3,274.92
4	Suministro, instalación y pruebas de codo de pvc tipo sanitario unión cementar de 90° x 160 mm de diámetro*	pza	4	\$118.78	\$475.12
5	Suministro, instalación y pruebas de ye de pvc tipo sanitario unión cementar de 160 mm de diámetro *	pza	1	\$204.29	\$204.29
6	Suministro, instalación de tubo de polietileno de alta densidad (PEAD) con sistema integrado de unión espiga-campana de 6" de diámetro y 6.1 m de longitud *	pza	2	\$750.00	\$1,500.00
<b>Subtotal</b>					<b>\$27,773.82</b>
<b>Separador de primeras lluvias</b>					
7	Suministro e instalación de tinaco de polietileno, de 1100 litros de capacidad, marca Rotoplas o similar *	pza	1	\$2,427.32	\$2,427.32
8	Suministro e instalación de válvula de drenado electrónica con temporizador marca OMS o similar *	pza	1	\$1,150.00	\$1,150.00
<b>Subtotal</b>					<b>\$3,577.32</b>



Continúa tabla 28...

No.	Concepto	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Monto
<b>Cisterna</b>					
9	Excavación por medios mecánicos para formación de caja en terreno seco, cualquier zona, material II. Incluye: corte y acamellonado del material, medido en banco.	m <sup>3</sup>	14	\$51.64	\$722.96
10	Muros junteados con mortero cemento arena de tabique rojo recocido de 14 cm de espesor, acabado común, en áreas planas. **	m <sup>2</sup>	21.2	\$452.26	\$9,587.91
11	Castillo de concreto hidráulico resistencia normal f'c = 200 kg/cm2 reforzado con 4 varillas de 9.52 mm (3/8") y estribos de 6.35 mm (1/4") de diámetro @ 20 cm, acabado común dos caras, incluye: cimbra y descimbra, armado, colocación, vibrado y curado hasta 4.00 m de altura, sección de 12 x 15 cm.	m	8	\$236.37	\$1,890.96
12	Cadena de concreto hidráulico resistencia normal f'c = 200 kg/cm2 reforzado con 4 varillas de 9.52 mm (3/8") y estribos de 6.35 mm (1/4") de diámetro @ 20 cm, acabado común dos caras, incluye: cimbra y descimbra, armado, colocación, vibrado y curado, sección de 15 x 15 cm.	m	10.6	\$256.58	\$2,719.75
13	Dala de concreto hidráulico resistencia normal f'c = 200 kg/cm2 reforzado con 4 varillas de 9.52 mm (3/8") y estribos de 6.35 mm (1/4") de diámetro @ 20 cm, acabado común, incluye: cimbra y descimbra, armado, colocación, vibrado y curado, sección de 15 x 20 cm.	m	10.6	\$294.69	\$3,123.71
14	Aplanado pulido con llana metálica en muros, con mortero cemento-arena en proporción 1:6, de 2.5 cm de espesor, incluye: el repellido	m <sup>2</sup>	21.2	\$149.16	\$3,162.19
15	Firme de concreto hidráulico resistencia normal f'c= 200 kg/cm2 de 10 cm de espesor	m <sup>2</sup>	7.02	\$260.13	\$1,826.11



Continúa tabla 28...

No.	Concepto	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Monto
16	Piso de concreto hidráulico elaborado en obra resistencia normal f'c= 200 kg/cm <sup>2</sup> , de 10 cm de espesor reforzado con malla electro soldada 66 - 1010.	m <sup>2</sup>	7.02	\$331.74	\$2,328.81
17	Losa con vigueta pretensada P-13 y bovedilla de concreto, de dimensiones 70 x 20 x 16 cm, capa de compresión de concreto r. n. f'c= 200 kg/cm <sup>2</sup> de 4 cm de espesor y malla electro soldada 66-10-10, incluye: apuntalamiento, materiales, mano de obra y herramienta.	m <sup>2</sup>	7.02	\$467.10	\$3,279.04
				<b>Subtotal</b>	<b>\$28,641.46</b>
<b>Caja de llegada</b>					
18	Registro de concreto con tapa resistencia normal f'c= 200 kg/cm <sup>2</sup> reforzado, de 50 x 65 x 60 cm de profundidad, medidas interiores.*	pza	1	\$1,383.49	\$1,383.49
				<b>Subtotal</b>	<b>\$1,383.49</b>
<b>Tratamiento</b>					
19	Filtro Amiad 3/4" malla 50 micras	pza	1	\$1,600.00	\$1,600.00
20	Filtro carbón activado block BB20 (incluye vaso y cartucho)	pza	1	\$2,000.00	\$2,000.00
21	Clorador automático Inter Water 4.08 kg "en línea"	pza	1	\$850.00	\$850.00
				<b>Subtotal</b>	<b>\$4,450.00</b>
				<b>Total</b>	<b>\$68,066</b>

\* Incluye: los materiales, la mano de obra, la herramienta, el equipo, acarreo libre, limpieza y todo lo necesario para la correcta ejecución de los trabajos.



### 8.3.2. Ventajas y desventajas del escenario 3

- Se puede satisfacer la demanda de agua del edificio con agua de lluvia hasta por más de 5 meses en el año, de junio a la primera semana de noviembre aproximadamente.
- El gasto por concepto de conducción del agua de lluvia es elevado.
- Se construiría una cisterna de 14 mil litros, el edificio tendría mayor capacidad de almacenamiento para suministrar agua a los estudiantes de la facultad de Ingeniería Civil.
- El costo de la construcción de la cisterna representa el 46% del total del escenario 3.
- Entre más capacidad de almacenamiento de agua de lluvia más probabilidad hay de cubrir la demanda de agua del edificio.
- El bombeo del agua hacia el tercer nivel se haría empleando la bomba con que se cuenta actualmente.
- La cisterna a construir sería enterrada no afectaría a la estética del edificio.
- La tubería no quedaría expuesta, iría oculta, no afectaría la estética del edificio.
- Las bajadas de agua (troneras) dejarían de funcionar, no cumpliría con el propósito que fueron diseñadas de desalojar el agua hacia los jardines del edificio.
- El área de captación es muy grande, podría dificultarse su limpieza y mantenimiento.



### 8.3.3. Máximo consumo para el escenario 3

Dentro de la simulación de la dinámica de agua de lluvia para el escenario número 3, se determinó cuál es el consumo máximo de agua que podría suministrar el sistema de captación de agua de lluvia al edificio “C”, bajo los parámetros ya mencionados (tabla 26) si las lluvias se presentan acorde al histórico de precipitación. De acuerdo a la tabla 29 el consumo máximo de agua puede llegar a ser de 58,000 litros a la semana durante un lapso de 4 meses de junio a septiembre, tal cantidad de agua representa más del doble de lo que se suministra actualmente al edificio, 25 m<sup>3</sup>.

Tabla 29. Consumo máximo para el escenario 3.

Mes	Ciclo	Captación agua de lluvia	Consumo de agua	Volumen de agua disponible	Volumen de agua en la cisterna al final del ciclo
		(litros)	(litros)	(litros)	(litros)
				0	0
Junio	1	62,171	58,000	4,171	4,171
Junio	2	62,171	58,000	8,343	8,343
Junio	3	62,171	58,000	12,514	12,514
Junio	4	62,171	58,000	16,685	16,685
Julio	5	82,559	58,000	41,245	25,000
Julio	6	82,559	58,000	49,559	25,000
Julio	7	82,559	58,000	49,559	25,000
Julio	8	82,559	58,000	49,559	25,000
Agosto	9	76,706	58,000	43,706	25,000
Agosto	10	76,706	58,000	43,706	25,000
Agosto	11	76,706	58,000	43,706	25,000
Agosto	12	76,706	58,000	43,706	25,000
Septiembre	13	61,978	58,000	28,978	25,000
Septiembre	14	61,978	58,000	28,978	25,000
Septiembre	15	61,978	58,000	28,978	25,000
Septiembre	16	61,978	58,000	28,978	25,000



Continúa tabla 29...

Mes	Ciclo	Captación agua de lluvia	Consumo de agua	Volumen de agua disponible	Volumen de agua en la cisterna al final del ciclo
		(litros)	(litros)	(litros)	(litros)
Octubre	17	26,001	58,000	-6,999	0
Octubre	18	26,001	58,000	-31,999	0
Octubre	19	26,001	58,000	-31,999	0
Octubre	20	26,001	58,000	-31,999	0
Noviembre	21	5,342	58,000	-52,658	0
Noviembre	22	5,342	58,000	-52,658	0
Noviembre	23	5,342	58,000	-52,658	0
Noviembre	24	5,342	58,000	-52,658	0
Diciembre	25	1,237	58,000	-56,763	0
Diciembre	26	1,237	58,000	-56,763	0
Diciembre	27	1,237	58,000	-56,763	0
Diciembre	28	1,237	58,000	-56,763	0
Enero	29	5,200	58,000	-52,800	0
Enero	30	5,200	58,000	-52,800	0
Enero	31	5,200	58,000	-52,800	0
Enero	32	5,200	58,000	-52,800	0
Febrero	33	6,536	58,000	-51,464	0
Febrero	34	6,536	58,000	-51,464	0
Febrero	35	6,536	58,000	-51,464	0
Febrero	36	6,536	58,000	-51,464	0
Marzo	37	5,686	58,000	-52,314	0
Marzo	38	5,686	58,000	-52,314	0
Marzo	39	5,686	58,000	-52,314	0
Marzo	40	5,686	58,000	-52,314	0
Abril	41	4,895	58,000	-53,105	0
Abril	42	4,895	58,000	-53,105	0
Abril	43	4,895	58,000	-53,105	0
Abril	44	4,895	58,000	-53,105	0
Mayo	45	20,821	58,000	-37,179	0
Mayo	46	20,821	58,000	-37,179	0
Mayo	47	20,821	58,000	-37,179	0
Mayo	48	20,821	58,000	-37,179	0



#### 8.4. Escenario 4: capacidad de almacenamiento necesaria para tener agua de lluvia todo el año

A continuación se presenta el escenario donde se puede satisfacer la demanda de agua del edificio “C” durante todo un año únicamente con agua de lluvia, los parámetros utilizados de la simulación se muestran en la tabla 30. Aunque este escenario es poco factible por la inversión económica necesaria para poder almacenar tal cantidad de agua, no es imposible de llevarse a cabo. Sin embargo, se muestran los resultados de la simulación de la dinámica de agua, que se muestra en la tabla 31, para demostrar que sería posible tener agua a lo largo de todo un año con el agua de lluvia que escurre del techo del edificio “C”.

Tabla 30. Parámetros para tener agua de lluvia todo el año.

Área de captación	Capacidad Almacenamiento	Consumo de agua (semanal)
1911 m <sup>2</sup> (100%)	501,108 litros	25 m <sup>3</sup>

Tabla 31. Simulación dinámica del agua para tener agua de lluvia todo el año.

Mes	Ciclo	Captación agua de lluvia	Consumo de agua	Volumen de agua disponible	Volumen de agua aprovechable (existente en tanque)
		(litros)	(litros)	(litros)	(litros)
				0	0
Junio	1	62,171	25,000	37,171	37,171
Junio	2	62,171	25,000	74,343	74,343
Junio	3	62,171	25,000	111,514	111,514
Junio	4	62,171	25,000	148,685	148,685
Julio	5	82,559	25,000	206,245	206,245
Julio	6	82,559	25,000	263,804	263,804
Julio	7	82,559	25,000	321,363	321,363
Julio	8	82,559	25,000	378,922	378,922
Agosto	9	76,706	25,000	430,628	430,628
Agosto	10	76,706	25,000	482,334	482,334
Agosto	11	76,706	25,000	534,040	501,128
Agosto	12	76,706	25,000	552,834	501,128
Septiembre	13	61,978	25,000	538,106	501,128
Septiembre	14	61,978	25,000	538,106	501,128
Septiembre	15	61,978	25,000	538,106	501,128
Septiembre	16	61,978	25,000	538,106	501,128



Continúa tabla 31...

Mes	Ciclo	Captación agua de lluvia	Consumo de agua	Volumen de agua disponible	Volumen de agua aprovechable (existente en tanque)
		(litros)	(litros)	(litros)	(litros)
Octubre	17	26,001	25,000	502,129	501,128
Octubre	18	26,001	25,000	502,129	501,128
Octubre	19	26,001	25,000	502,129	501,128
Octubre	20	26,001	25,000	502,129	501,128
Noviembre	21	5,342	25,000	481,470	481,470
Noviembre	22	5,342	25,000	461,812	461,812
Noviembre	23	5,342	25,000	442,154	442,154
Noviembre	24	5,342	25,000	422,497	422,497
Diciembre	25	1,237	25,000	398,734	398,734
Diciembre	26	1,237	25,000	374,971	374,971
Diciembre	27	1,237	25,000	351,208	351,208
Diciembre	28	1,237	25,000	327,445	327,445
Enero	29	5,200	25,000	307,646	307,646
Enero	30	5,200	25,000	287,846	287,846
Enero	31	5,200	25,000	268,046	268,046
Enero	32	5,200	25,000	248,246	248,246
Febrero	33	6,536	25,000	229,782	229,782
Febrero	34	6,536	25,000	211,317	211,317
Febrero	35	6,536	25,000	192,853	192,853
Febrero	36	6,536	25,000	174,389	174,389
Marzo	37	5,686	25,000	155,075	155,075
Marzo	38	5,686	25,000	135,761	135,761
Marzo	39	5,686	25,000	116,447	116,447
Marzo	40	5,686	25,000	97,134	97,134
Abril	41	4,895	25,000	77,029	77,029
Abril	42	4,895	25,000	56,924	56,924
Abril	43	4,895	25,000	36,819	36,819
Abril	44	4,895	25,000	16,715	16,715
Mayo	45	20,821	25,000	12,536	12,536
Mayo	46	20,821	25,000	8,357	8,357
Mayo	47	20,821	25,000	4,179	4,179
Mayo	48	20,821	25,000	-0	0



## 9. Resultados

### 9.1. Resultados del laboratorio

**Origen de la muestra: Edificio "C", Ciudad Universitaria, Morelia, Michoacán.**

Número de muestra: **1 (Única)**

Origen: **Lluvia.**

Tipo de muestreo: **simple**

Fecha de muestreo: **11 de julio de 2017**

Fecha de análisis: **12-21 de julio de 2017.**

Tipo de agua: **clara.**

Tabla 32. Resultados del laboratorio de la muestra 1.

PARÁMETRO	RESULTADO	LÍMITE MÁXIMO		MÉTODO UTILIZADO
		NOM-127-SSA1-1994		
Cloro Residual (mg/l)	0.0	0.2-1.5	X No cumple	NMX-AA-108-SCFI-2001
Temperatura de la muestra (°C)	16.6	No aplica	No aplica	NMX-AA-007-SCFI-2000
Sólidos Disueltos Totales (SDT mg/l)	526	1000	✓ cumple	NMX-AA-034-SCFI-2001
Sólidos Totales (ST mg/l)	653	No aplica	No aplica	NMX-AA-034-SCFI-2001
Sólidos Suspendidos Totales (SST mg/l)	127	No aplica	No aplica	NMX-AA-034-SCFI-2001
Sólidos Totales Fijos (STF mg/l)	286	No aplica	No aplica	NMX-AA-034-SCFI-2001
Sólidos Totales Volátiles (STV mg/l)	367	No aplica	No aplica	NMX-AA-034-SCFI-2001
Sólidos Disuelto Fijos (SDF mg/l)	212	No aplica	No aplica	NMX-AA-034-SCFI-2001
Sólidos Disueltos Volátiles (SDV mg/l)	314	No aplica	No aplica	NMX-AA-034-SCFI-2001
Sólidos Suspendidos Fijos (SSF mg/l)	74	No aplica	No aplica	NMX-AA-034-SCFI-2001
Sólidos Suspendidos Volátiles (SSV mg/l)	53	No aplica	No aplica	NMX-AA-034-SCFI-2001
Cloruros (Cl mg/l)	1.84	250	✓ cumple	NMX-AA-073-SCFI-2001
Sulfato como SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/l)	interferencia	400	No aplica	NMX-AA-074-1981
Dureza total como CaCO <sub>3</sub> (mg/l)	interferencia	500	No aplica	NMX-AA-072-SCFI-2001
Dureza Magnésica como Mg <sup>2+</sup> (mg/l)	interferencia	No aplica	No aplica	NMX-AA-072-SCFI-2001
Dureza Cálcica como Ca <sup>2+</sup> (mg/l)	interferencia	No aplica	No aplica	NMX-AA-072-SCFI-2001
Carbonatos como CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> (mg/l)	1.06	No aplica	No aplica	NMX-AA-036-SCFI-2001
Alcalinidad Total (mg/l)	7	No aplica	No aplica	NMX-AA-036-SCFI-2001
Bicarbonatos como HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	5.94	No aplica	No aplica	NMX-AA-036-SCFI-2001



Continúa tabla 32...

PARÁMETRO	RESULTADO	LÍMITE MÁXIMO		MÉTODO UTILIZADO
		NOM-127-SSA1-1994		
Hidróxidos como OH <sup>-</sup> (mg/l)	0	No aplica	No aplica	NMX-AA-036-SCFI-2001
Alcalinidad a la Fenolftaleína (mg/l)	0.53	No aplica	No aplica	NMX-AA-036-SCFI-2001
Fluoruros como F <sup>-</sup> (mg/l)	0.0	1.5	✓ cumple	NMX-AA-077-SCFI-2001
Conductividad Eléctrica (µs/cm)	1050	No aplica	No aplica	NMX-AA-093-SCFI-2000
Salinidad (‰)	0.3	No aplica	No aplica	NMX-AA-093-SCFI-2000
pH (unidades de pH)	6.6	6.5-8.5	✓ cumple	NMX-AA-008-SCFI-2000
Acidez (mg/l)	interferencia	No aplica	No aplica	NMX-AA-036-SCFI-2001
Coliformes Totales (UFC/ml)	138	ausente	X No cumple	NOM-113-SSA1-1994
Coliformes Fecales (NMP/100ml)	1.1X10 <sup>4</sup>	ausente	X No cumple	NMX-AA-042-1987
Oxígeno Disuelto (mg/l)	2.3	No aplica	No aplica	NMX-AA-012-SCFI-2001
Color Verdadero (UC Pt-Co)	32	20	X No cumple	NMX-AA-017-1980
Turbiedad (UTN)	26	5.0	X No cumple	NMX-AA-038-SCFI-2001
Demanda Química de Oxígeno (DQO mg O <sub>2</sub> /L)	87	NO APLICA		NMX-AA-030-SCFI-2001



**Origen de la muestra: Edificio “C”, Ciudad Universitaria, Morelia, Michoacán.**

Número de muestra: **2 (Única)**

Origen: **Lluvia.**

Tipo de muestreo: **simple** Fecha de muestreo: **20 de septiembre de 2017**

Fecha de análisis: **21-29 de septiembre de 2017.**

Tipo de agua: **clara.**

Tabla 33. Resultados del laboratorio de la muestra 2.

PARÁMETRO	RESULTADO	LÍMITE MÁXIMO		MÉTODO UTILIZADO
		NOM-127-SSA1-1994		
Cloro Residual (mg/l)	0.0	0.2-1.5	X No cumple	NMX-AA-108-SCFI-2001
Temperatura de la muestra (°C)	20.0	No aplica	No aplica	NMX-AA-007-SCFI-2000
Sólidos Disueltos Totales (SDT mg/l)	12	1000	✓ cumple	NMX-AA-034-SCFI-2001
Sólidos Totales (ST mg/l)	44	No aplica	No aplica	NMX-AA-034-SCFI-2001
Sólidos Suspendidos Totales (SST mg/l)	32	No aplica	No aplica	NMX-AA-034-SCFI-2001
Sólidos Totales Fijos (STF mg/l)	40	No aplica	No aplica	NMX-AA-034-SCFI-2001
Sólidos Totales Volátiles (STV mg/l)	4	No aplica	No aplica	NMX-AA-034-SCFI-2001
Sólidos Disuelto Fijos (SDF mg/l)	8	No aplica	No aplica	NMX-AA-034-SCFI-2001
Sólidos Disueltos Volátiles (SDV mg/l)	4	No aplica	No aplica	NMX-AA-034-SCFI-2001
Sólidos Suspendidos Fijos (SSF mg/l)	32	No aplica	No aplica	NMX-AA-034-SCFI-2001
Sólidos Suspendidos Volátiles (SSV mg/l)	0	No aplica	No aplica	NMX-AA-034-SCFI-2001
Cloruros (Cl mg/l))	3.68	250	✓ cumple	NMX-AA-073-SCFI-2001
Sulfato como SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> (mg/l)	4.0	400	✓ cumple	NMX-AA-074-1981
Dureza total como CaCO <sub>3</sub> (mg/l)	0.0	500	✓ cumple	NMX-AA-072-SCFI-2001
Dureza Magnésica como Mg <sup>2+</sup> (mg/l)	0.0	No aplica	No aplica	NMX-AA-072-SCFI-2001
Dureza Cálctica como Ca <sup>2+</sup> (mg/l)	0.0	No aplica	No aplica	NMX-AA-072-SCFI-2001
Carbonatos como CO <sub>3</sub> <sup>=</sup> (mg/l)	9.98	No aplica	No aplica	NMX-AA-036-SCFI-2001
Alcalinidad Total (mg/l)	10	No aplica	No aplica	NMX-AA-036-SCFI-2001
Bicarbonatos como HCO <sub>3</sub> <sup>=</sup> (mg/l)	0.02	No aplica	No aplica	NMX-AA-036-SCFI-2001
Hidróxidos como OH <sup>=</sup> (mg/l)	0.0	No aplica	No aplica	NMX-AA-036-SCFI-2001
Alcalinidad a la Fenolftaleina (mg/l)	0.01	No aplica	No aplica	NMX-AA-036-SCFI-2001



Continúa tabla 33...

PARÁMETRO	RESULTADO	LÍMITE MÁXIMO		MÉTODO UTILIZADO
		NOM-127-SSA1-1994		
Fluoruros como F- (mg/l)	0.09	1.5	✓ cumple	NMX-AA-077-SCFI-2001
Conductividad Eléctrica (µs/cm)	25.2	No aplica	No aplica	NMX-AA-093-SCFI-2000
Salinidad (‰)	0.0	No aplica	No aplica	NMX-AA-093-SCFI-2000
pH (unidades de pH)	8.2	6.5-8.5	✓ cumple	NMX-AA-008-SCFI-2000
Acidez (mg/l)	54.0	No aplica	No aplica	NMX-AA-036-SCFI-2001
Coliformes Totales (UFC/ml)	18	ausente	X No cumple	NOM-113-SSA1-1994
Coliformes Fecales (NMP/100ml)	4X103	ausente	X No cumple	NMX-AA-042-1987
Oxígeno Disuelto (mg/l)	4.9	No aplica	No aplica	NMX-AA-012-SCFI-2001
Color Verdadero (UC Pt-Co)	2	20	✓ cumple	NMX-AA-017-1980
Turbiedad (UTN)	12	5.0	X No cumple	NMX-AA-038-SCFI-2001
Aluminio (mg/l)	0.0	0.20	✓ cumple	HACH TNT 848
Cadmio (mg/l)	0.0	0.005	✓ cumple	HACH TNT 852
Cobre (mg/l)	0.01	2.00	✓ cumple	HACH CuVer1
Cromo Total (mg/l)	0.026	0.05	✓ cumple	HACH TNT 856
Nitrógeno Total (mg/l)	4.39	No aplica	No aplica	HACH TNT 826
Manganeso (mg/l)	0.017	0.15	✓ cumple	HACH HPT291
Demanda Química de Oxígeno (DQO mg O <sub>2</sub> /L)	23.0	NO APLICA		NMX-AA-030-SCFI-2001



**Origen de la muestra: Edificio “C”, Ciudad Universitaria, Morelia, Michoacán.**

Número de muestra: **1 (Única)**

Origen: **Lluvia.**

Tipo de muestreo: **simple**

Fecha de muestreo: **25 de febrero de 2018**

Fecha de análisis: **26 de febrero-09 de marzo de 2018.**

Tipo de agua: **clara.**

Tabla 34. Resultados del laboratorio de la muestra 3.

PARÁMETRO	RESULTADO	LÍMITE MÁXIMO		MÉTODO UTILIZADO
		NOM-127-SSA1-1994		
Cloro Residual (mg/l)	0.0	0.2-1.5	X No cumple	NMX-AA-108-SCFI-2001
Temperatura de la muestra (°C)	16.0	No aplica	No aplica	NMX-AA-007-SCFI-2000
Sólidos Disueltos Totales (SDT mg/l)	36.0	1000	✓ cumple	NMX-AA-034-SCFI-2001
Sólidos Totales (ST mg/l)	40.0	No aplica	No aplica	NMX-AA-034-SCFI-2001
Sólidos Suspendidos Totales (SST mg/l)	4.0	No aplica	No aplica	NMX-AA-034-SCFI-2001
Sólidos Totales Fijos (STF mg/l)	12.0	No aplica	No aplica	NMX-AA-034-SCFI-2001
Sólidos Totales Volátiles (STV mg/l)	28.0	No aplica	No aplica	NMX-AA-034-SCFI-2001
Sólidos Disuelto Fijos (SDF mg/l)	8.0	No aplica	No aplica	NMX-AA-034-SCFI-2001
Sólidos Disueltos Volátiles (SDV mg/l)	28.0	No aplica	No aplica	NMX-AA-034-SCFI-2001
Sólidos Suspendidos Fijos (SSF mg/l)	4.0	No aplica	No aplica	NMX-AA-034-SCFI-2001
Sólidos Suspendidos Volátiles (SSV mg/l)	0.0	No aplica	No aplica	NMX-AA-034-SCFI-2001
Cloruros (Cl mg/l))	23.04	250	✓ cumple	NMX-AA-073-SCFI-2001
Sulfato como SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	7.0	400	✓ cumple	NMX-AA-074-1981
Dureza total como CaCO <sub>3</sub> (mg/l)	0.0	500	✓ cumple	NMX-AA-072-SCFI-2001
Dureza Magnésica como Mg <sup>2+</sup> (mg/l)	0.0	No aplica	No aplica	NMX-AA-072-SCFI-2001
Dureza Cálctica como Ca <sup>2+</sup> (mg/l)	0.0	No aplica	No aplica	NMX-AA-072-SCFI-2001
Carbonatos como CO <sub>3</sub> <sup>=</sup> (mg/l)	0.02	No aplica	No aplica	NMX-AA-036-SCFI-2001
Alcalinidad Total (mg/l)	12.0	No aplica	No aplica	NMX-AA-036-SCFI-2001
Bicarbonatos como HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	11.98	No aplica	No aplica	NMX-AA-036-SCFI-2001
Hidróxidos como OH <sup>-</sup> (mg/l)	0.0	No aplica	No aplica	NMX-AA-036-SCFI-2001



Continúa tabla 34...

PARÁMETRO	RESULTADO	LÍMITE MÁXIMO NOM-127-SSA1-1994		MÉTODO UTILIZADO
Alcalinidad a la Fenolftaleína (mg/l)	0.01	No aplica	No aplica	NMX-AA-036-SCFI-2001
Fluoruros como F <sup>-</sup> (mg/l)	0.0	1.5	✓ cumple	NMX-AA-077-SCFI-2001
Conductividad Eléctrica (µs/cm)	30.4	No aplica	No aplica	NMX-AA-093-SCFI-2000
Salinidad (‰)	0.0	No aplica	No aplica	NMX-AA-093-SCFI-2000
pH (unidades de pH)	8.3	6.5-8.5	✓ cumple	NMX-AA-008-SCFI-2000
Acidez (mg/l)	6.0	No aplica	No aplica	NMX-AA-036-SCFI-2001
Coliformes Totales (UFC/ml)	377	ausente	X No cumple	NOM-113-SSA1-1994
Coliformes Fecales (NMP/100ml)	2.3x10 <sup>3</sup>	ausente	X No cumple	NMX-AA-042-1987
Oxígeno Disuelto (mg/l)	5.18	No aplica	No aplica	NMX-AA-012-SCFI-2001
Color Verdadero (UC Pt-Co)	1.0	20	✓ cumple	NMX-AA-017-1980
Turbiedad (UTN)	20.0	5.0	X No cumple	NMX-AA-038-SCFI-2001
Aluminio (mg/l)	0.0	0.20	✓ cumple	HACH TNT 848
Zinc (mg/l)	0.06	5.0	✓ cumple	HACH método 8009
Cobre (mg/l)	0.0	2.00	✓ cumple	HACH CuVer1
Cromo Total (mg/l)	0.045	0.05	✓ cumple	HACH TNT 856
Nitrógeno Total (mg/l)	6.02	No aplica	No aplica	HACH TNT 826
Manganeso (mg/l)	0.01	0.15	✓ cumple	HACH HPT291
Demanda Química de Oxígeno (DQO mg O <sub>2</sub> /L)	46.0	No aplica	No aplica	NMX-AA-030-SCFI-2001



En la tabla número 35 se muestra un resumen con los resultados proporcionados por el laboratorio, de las 3 muestras de agua de lluvia que escurren del techo del edificio “C”.

Tabla 35. Resumen de los resultados de las 3 muestras de agua de lluvia.

Parámetro	Resultado			Límite máximo permisible NOM-127-SSA1-1994
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	
Cloro Residual (mg/l)	0	0	0	0.2-1.5
Temperatura de la muestra (°C)	16.6	20	16	No aplica
Sólidos Disueltos Totales (SDT mg/l)	526	12	36	1000
Sólidos Totales (ST mg/l)	653	44	40	No aplica
Sólidos Suspendidos Totales (SST mg/l)	127	32	4	No aplica
Sólidos Totales Fijos (STF mg/l)	286	40	12	No aplica
Sólidos Totales Volátiles (STV mg/l)	367	4	28	No aplica
Sólidos Disuelto Fijos (SDF mg/l)	212	8	8	No aplica
Sólidos Disueltos Volátiles (SDV mg/l)	314	4	28	No aplica
Sólidos Suspendidos Fijos (SSF mg/l)	74	32	4	No aplica
Sólidos Suspendidos Volátiles (SSV mg/l)	53	0	0	No aplica
Cloruros (Cl mg/l)	1.84	3.68	23.04	250
Sulfato como $SO_4^-$ (mg/l)	interferencia	4	7	400
Dureza total como $CaCO_3$ (mg/l)	interferencia	0	0	500
Dureza Magnésica como $Mg^{2+}$ (mg/l)	interferencia	0	0	No aplica
Dureza Cálcica como $Ca^{2+}$ (mg/l)	interferencia	0	0	No aplica
Carbonatos como $CO_3$ (mg/l)	1.06	9.98	0.02	No aplica



Parámetro	Resultado			Límite máximo permisible NOM-127-SSA1-1994
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	
Alcalinidad Total (mg/l)	7	10	12	No aplica
Bicarbonatos como HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	5.94	0.02	11.98	No aplica
Hidróxidos como OH <sup>-</sup> (mg/l)	0	0	0	No aplica
Alcalinidad a la Fenolftaleína (mg/l)	0.53	0.01	0.01	No aplica
Fluoruros como F <sup>-</sup> (mg/l)	0	0.09	0	1.5
Conductividad Eléctrica (µs/cm)	1050	25.2	30.4	No aplica
Salinidad (‰)	0.3	0	0	No aplica
pH (unidades de pH)	6.6	8.2	8.3	6.5-8.5
Acidez (mg/l)	Interferencia	54	6	No aplica
Coliformes Totales (UFC/ml)	138	18	377	ausente
Coliformes Fecales (NMP/100ml)	1.1X10 <sup>4</sup>	4X10 <sup>3</sup>	2.3x10 <sup>3</sup>	ausente
Oxígeno Disuelto (mg/l)	2.3	4.9	5.18	No aplica
Color Verdadero (UC Pt-Co)	32	2	1	20
Turbiedad (UTN)	26	12	20	5
Demanda Química de Oxígeno (DQO mg O <sub>2</sub> /L)	87	23	46	No aplica



## 9.2. Análisis de los resultados del laboratorio

A partir de los resultados obtenidos en el laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental de la UMSNH, podemos determinar que el agua de lluvia que escurre de la techumbre del tercer nivel de la Facultad de Ingeniería Civil, de donde se obtuvieron las muestras, es de buena calidad, ya que la mayoría de parámetros cumplen con lo normado por la NOM-127-SSA1-1994, que establece los límites permisibles del agua para uso y consumo humano, y que fue nuestro punto de referencia para poder comparar la calidad del agua de lluvia que escurre. Los resultados obtenidos están dentro de lo razonable que se espera para agua de lluvia, teniendo como antecedentes los datos de muestreos anteriores realizados dentro de las instalaciones de CU de la Universidad Michoacana y algunos otros resultados de trabajos donde se caracterizó agua de lluvia. En algunos parámetros de la muestra no. 1 se presentó “interferencia”, es decir, no pudo llevarse a cabo la prueba correspondiente por la presencia de sólidos disueltos. Al hacer un balance de la tabla 20, en algunos parámetros se debe tener particular atención, en las tres muestras de agua de lluvia escurrida del techo hubo presencia de coliformes, tanto fecales como totales, esto hace que el agua de lluvia que escurre del techo no esté en condiciones para ser utilizada para uso y consumo humano, por lo cual se deberá someter a algún tipo de tratamiento de desinfección. El pH de las tres muestras estuvo dentro de lo normado, entre 6 y 8.5 unidades de pH, el valor de pH de la primer muestra 6.5, resultó ser más bajo que las muestras 2 y 3, 8.2 y 8.3 respectivamente, basándonos a la lógica que las primeras lluvias de la temporada suelen hacer un lavado o limpieza de la atmosfera. La turbiedad o turbidez es otro de los parámetros analizados que ninguna de las 3 muestras de agua de lluvia escurrida cumplen con el máximo permisible, 5 UTN. La turbidez es una medida del grado en el cual el agua pierde su transparencia debido a la presencia de partículas en suspensión, cuantos más sólidos en suspensión haya en el agua, más alta será la turbidez y con apariencia más sucia, típicamente el agua de lluvia no tiene valores de turbidez elevados, sin embargo el agua de lluvia que escurre sobre una superficie como un techo, arrastra y lava las partículas presentes en él al momento que comienza a llover, a causa de esto el agua de lluvia analizada presenta valores de



turbiedad, sin ser valores elevados, por encima de la norma, esta turbidez del agua de lluvia se pueden reducir si tomamos medidas de limpieza y mantenimiento en el área de captación, procurando que el techo de donde recogemos el agua de lluvia se encuentre en lo posible limpio y libre de partículas que puedan ser arrastradas por la lluvia que escurre del techo, otra medida a tomar para reducir la turbiedad es utilizar un separador de primeras lluvias, si este dispositivo funciona de manera adecuada desviará los primeros volúmenes de agua de lluvia que resulta del lavado del techo, disminuyendo la cantidad de sólidos suspendidos en nuestra agua. En cuanto al color verdadero, únicamente la muestra 1 no cumple con el límite permisible de 20 (UC Pt-Co) esto por su alta concentración de sólidos disueltos a comparación de las otras 2 muestras. Los parámetros normados por la NOM-127-SSA1-1994 y que se cumplen por estar por debajo del límite máximo permisible en las 3 muestras de agua de lluvia escurrida son: sólidos disueltos totales, cloruros, sulfatos, dureza total, y fluoruros. Los demás parámetros analizados no se encuentran normados dentro del agua para uso y consumo humano, sin embargo nos dan un indicador de la calidad del agua de lluvia que escurre del techo del edificio "C". Al tratarse de un techo de lámina galvanizada se recomienda hacer análisis de metales pesados, ya que el agua de lluvia que escurre sobre este tipo de techos se puede contaminar por el desprendimiento de los componentes metálicos de la superficie, principalmente en techos con mucho tiempo de antigüedad, deteriorados por la intemperie. En el caso de la techumbre del "C" que se instaló recientemente es un "techo joven", sin embargo se hicieron los análisis correspondientes. Aluminio, zinc, cobre, cromo y manganeso se analizaron en el tercer muestreo y todos cumplieron con el límite máximo permitido por la norma, por lo que se descarta contaminación por metales pesados del agua de lluvia que escurre del techo del edificio "C".



### 9.3. Resultados de los escenarios factibles propuestos

En la tabla 36 se muestra un balance general de los tres escenarios factibles para el aprovechamiento de agua de lluvia en el edificio “C”.

Tabla 36. Balance general de los tres escenarios factibles propuestos.

Escenario	Área captación (m <sup>2</sup> )	Consumo (litros)	Capacidad de Cisterna (litros)	Meses de independencia	Inversión del SCALL (MXN)
1	956 (50%)	25000	11000	4 (junio-septiembre)	\$21,535
2	1911 (100%)	25000	11000	5 (junio-octubre)	\$39,534
3	1911 (100%)	25000	25000	>5 (junio-noviembre)	\$68,066

Por ser un tema muy recurrente y de preocupación por parte de las autoridades universitarias, comenzaremos analizando los tres escenarios factibles desde el punto de vista económico, la implementación del sistema de captación de agua de lluvia en el escenario 1 sería el que necesitaría de la menor inversión, \$21,535 MXN; el siguiente en orden ascendente sería el escenario 2 con una inversión casi del doble de la inversión del escenario 1, \$39,534 MXN; y por último el escenario que resultaría más costoso sería el escenario número 3, con una inversión de \$68,066 MXN, casi duplicando la inversión del escenario 2 y más del triple que la inversión del escenario 1. Los análisis económicos de los escenarios factibles propuestos se hicieron utilizando como referencia el tabulador general de precios unitarios del mes de mayo de 2018 de la Secretaría de Obras y Servicios de la Ciudad de México. El escenario 1 representa la menor inversión ya que se considera utilizar solamente la mitad del área de captación lo cual nos lleva a reducir los gastos por concepto de conducción del agua de lluvia (tubería, conexiones, accesorios, etc.), además de que no contempla la construcción de una cisterna adicional, sino que utiliza la ya existente; por otra parte el incremento en la inversión del escenario 2 aumenta debido a la otra mitad del techo que se tiene que adaptar para la conducción del agua de lluvia con la tubería ya mencionada; finalmente el gasto mayor en el escenario 3 se debe en buena medida a la construcción de una cisterna adicional a la que cuenta actualmente el edificio “C”. En relación a los meses de independencia que podemos obtener de la fuente convencional que suministra agua al edificio, el escenario 1 representa la menor cantidad con 4 meses, que no son para nada poco



tiempo, de acuerdo a las condiciones planteadas, la independencia para el escenario 2 y 3, es de 5 meses y 5 meses y 1 semanas respectivamente, donde no hay una gran diferencia en relación al tiempo de independencia, pero el hecho de tener una mayor capacidad de almacenamiento nos ayuda a tener de agua de lluvia de reserva almacenada ante un eventual caso que no se presente la precipitación pluvial. Una limitación importante en la captación y aprovechamiento de agua de lluvia siempre serán los dispositivos de almacenamiento de agua, entre más volumen dispongas para almacenamiento más meses podrás cubrir la demanda con agua de lluvia. En la tabla 37 se muestra los resultados que se obtuvieron de la simulación de la dinámica del agua de lluvia, con el consumo actual del edificio, variando la capacidad del tanque de almacenamiento y como resultado obteníamos los meses de independencia.

Tabla 37. Simulación de la dinámica del agua de lluvia con diferentes capacidades de almacenamiento.

Consumo (litros)	Capacidad Cisterna (litros)	Independencia de la fuente convencional
25,000	25,000	5 meses
25,000	50,000	5 meses y dos semanas
25,000	100,000	6 meses
25,000	150,000	6 meses y tres semanas
25,000	200,000	7 meses y 1 semana
25,000	300,000	8 meses y 3 semanas
25,000	400,000	9 meses y 3 semanas
25,000	500,000	11 meses y tres semanas
25,000	501,128	12 meses

Como podemos ver en la tabla 37 el hecho de contar con una mayor capacidad de volumen para almacenar el agua de lluvia, para nuestro caso no representa una gran avance en los meses de independencia que podemos tener de la fuente convencional, por ejemplo con una cisterna de 100 m<sup>3</sup> obtendríamos 6 meses de independencia, al duplicar nuestra capacidad de almacenamiento a 200 m<sup>3</sup> tan sólo obtendríamos 5 semanas más de independencia, es decir, 7 meses y una semana, sin embargo el costo de duplicar el almacenamiento sí sería muy significativo y poco factible técnicamente.



#### **9.4. Costo-beneficio de los escenarios propuestos**

En la actualidad el edificio “C” de la Facultad de Ingeniería Civil obtiene agua para hacer frente a sus necesidades de consumo a través de un pozo de agua ubicado dentro de Ciudad Universitaria que según información de los funcionarios universitarios es operado por el OOAPAS (Organismo Operador de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de Morelia) desconociendo si la Universidad Michoacana pagaba por el vital líquido. A manera de obtener un costo-beneficio desde el punto de vista económico de los escenarios factibles propuestos para la captación y aprovechamiento del agua de lluvia que escurre del techo del edificio “C” se revisaron las tarifas de agua potable y alcantarillado para el ejercicio fiscal 2018 de la ciudad de Morelia (Gobierno del Estado de Michoacán, 2017), según el uso destinado al agua se divide en: doméstico, comercial, industrial, asistencial, oficial y mixto; para cuestiones de obtener un costo por concepto de agua el uso oficial es el que más se adecúa es el uso oficial que nos indica que los usuarios que consuman más de 16 m<sup>3</sup> mensuales, pagarán una tarifa de \$17.08 por cada metro cúbico consumido, en base a esta tarifa en el escenario 1 se estaría ahorrando un total de \$9,428 MXN al año al captar y aprovechar 552 m<sup>3</sup> de agua de lluvia; para el escenario 2 y 3 un total de \$11,939 MXN al año al captar y aprovechar 699 m<sup>3</sup> de agua de lluvia. Aunque no se sabe si en la actualidad la Universidad Michoacana cubre tales cantidades por concepto de agua o la recibe de manera gratuita. Otro beneficio importante al captar y aprovechar el agua de lluvia desde la perspectiva ambiental es la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente por el uso de bombas para transportar el agua desde la fuente hasta su destino final de consumo.



## 9.5. Resultados de las entrevistas

Tabla 38. Resultado de las entrevistas.

	Dr. Crisanto Mendoza Covarrubias/Director de servicios generales	Mtro. Wilfrido Martínez Molina/Director Facultad Ingeniería Civil	Dr. Carlos Alberto León Patiño/Director de Planeación Institucional UMSNH	Arq. Salvador González, Ing. Elí Durán Gómez/Administrativos de planeación universitaria	Sr. Dimas Sánchez/Jefe de plomeros UMICH
1. ¿Qué opina acerca de utilizar un sistema de captación de agua de lluvia en el edificio "C" de CU?	Excelente	Muy buena opción	Muy Buena opción	Buena opción, es deseable	Muy bien
2. ¿Existe alguna problemática relacionada con el agua el edificio "C"?	Se ha reportado el taponamiento de las bajadas del drenaje	No hay suministro de agua al edificio cuando la bomba falla	No aplica	No aplica	El agua de la cisterna es insuficiente
3. Si se instala un sistema para aprovechamiento de agua de lluvia en el edificio "C", ¿cómo preferiría el tanque de almacenamiento?	La opción que resulte más viable considerando tanto lo económico, estético al paisaje y funcionalidad	Semienterrado; el material que resulte más barato entre mampostería y plástico	Enterrado y mampostería; buscando que las opciones que resulten más factibles sean las más económicas por cuestiones del recurso	Enterrado y mampostería tradicional, como normalmente se hacen las cisternas en la Universidad	No tengo preferencia alguna
4. ¿Hay apoyos especiales para este tipo de proyecto en la Universidad Michoacana?	Consultar en el PAI y con planeación universitaria	Fondo de aportaciones múltiples (FAM)	Fondo de recursos extraordinarios	Fondo de aportaciones múltiples (FAM)	No aplica
5. ¿Tiene algún comentario adicional o alguna sugerencia sobre la implementación de un sistema de captación de agua lluvia en el edificio "C"?	Tratar de replicar estos proyectos en toda la Universidad; invitar a los estudiantes a que se involucren en este tipo de acciones ambientales	Preguntar por los recursos extraordinarios con las personas de planeación universitaria	Los proyectos actualmente priorizan para su aprobación, que estén dentro del marco de la sustentabilidad, principalmente captación de agua de lluvia, energía fotovoltaica y energía eólica	Es interesante pero no se implementan este tipo de proyectos hasta que se le exigen a la Universidad por parte de algunos organismos	Tratar de limpiar el agua de lluvia antes de utilizarla



## 10. Conclusiones y recomendaciones

La captación y aprovechamiento del agua de lluvia es una de las varias medidas que podemos llevar a cabo para hacer frente a las diversas problemáticas relacionadas con el vital líquido. La Facultad de Ingeniería Civil, en su edificio “C” cuenta con un techo ideal para captar la precipitación pluvial, ya que por el tipo de material que está construido, lámina de acero galvanizado, tiene un coeficiente de escurrimiento alto, superior al 90%, además de la gran área efectiva de captación, 1911 m<sup>2</sup> que lo coloca como uno de los techos con mayor área en toda ciudad universitaria. Considerando aspectos técnicos, económicos y sociales se llegó a la propuesta de 3 escenarios factibles para el aprovechamiento de agua de lluvia en la Facultad de Ingeniería Civil, edificio “C” de ciudad universitaria de la UMSNH. Las principales variables fueron el porcentaje del área de captación a utilizar y el volumen del tanque de almacenamiento, dando como resultado los meses en que se podría cubrir la demanda de agua del edificio con agua de lluvia. El escenario número 1 es el que representa la inversión más baja. Contempla para mayor control en la operación y mantenimiento del sistema utilizar la mitad del área del techo. Utilizaría como tanque de almacenamiento la cisterna ya existente con que cuenta el edificio. En base a lo propuesto en este escenario 1 sería técnicamente, económicamente y de acuerdo a los beneficios que otorga, más factible de llevarse a cabo. Aunque la construcción de una cisterna más como la que se contempla en el escenario no. 3 no estaría por demás, independientemente que se propone la construcción de esta cisterna con fines para la captación de agua de lluvia, la Facultad de Ingeniería Civil ha crecido en los últimos años, la cisterna con que cuenta actualmente no es suficiente para satisfacer las necesidades de agua de los estudiantes. Un buen punto de partida que se recomienda es implementar el escenario 1, evaluar su funcionamiento, beneficios y todo lo que conlleva el aprovechamiento de agua de lluvia, para posteriormente tratar de pasar al escenario 3 que es un proyecto más grande y de mayor inversión. Básicamente en los tres escenarios presentados la demanda de agua de lluvia que tiene el edificio “C” estaría cubierta durante la época de lluvia, de junio a septiembre, el edificio sería



autosuficiente durante ese tiempo, no necesitaría recurrir a la fuente que le suministra agua. Fuera del periodo de lluvias difícilmente podremos cubrir la demanda de agua, ya que aunque contáramos con tanques de mucha capacidad de almacenamiento, desde el punto de vista económico ya no sería conveniente aprovechar el agua de lluvia. Después de hacer una serie de muestreos y análisis en el laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental de la UMSNH, se determinó la calidad del agua de lluvia que escurre de la techumbre del edificio “C”, teniendo como referencia la NOM-127-SSA1-1994, agua para uso y consumo humano. Sólo algunos parámetros no cumplieron con los límites máximos permisibles que establece la norma, sin embargo el agua de lluvia analizada se puede considerar como agua de buena calidad que debe someterse a una serie de tratamientos para que pueda ser utilizada en los sanitarios de la facultad. Al revisar las instalaciones del edificio “C” de la Facultad de Ingeniería Civil, en específico los sanitarios, se recomienda cambiar los muebles sanitarios de fluxómetro (mingitorios) por el uso de los denominados mingitorios secos, es decir, no utilizan agua. Funcionan con un filtro que retiene la sedimentación de la orina para evitar obstrucción de las tuberías. Es higiénico, no hay olores y su limpieza y mantenimiento es muy sencilla. Una de las recomendaciones que hicieron las autoridades universitarias fue la de involucrar a la comunidad estudiantil en este tipo de proyectos que promueven y fomentan el cuidado del medio ambiente, la implementación de un sistema de captación de agua de lluvia en las instalaciones del “C” acerca a los estudiantes a tomar conciencia sobre el cuidado del agua además que los mismos estudiantes de la Facultad de Ingeniería Civil se pueden involucrar en la implementación, operación y mantenimiento del SCALL como parte de las actividades del servicio social que se realizan en la Facultad. El beneficio ambiental ante una eventual implementación de un sistema de captación y aprovechamiento de agua de lluvia que escurre del techo del edificio “C” es muy conveniente ya que miles de metros cúbicos de agua de lluvia dejarían de contaminarse al ser dirigidos de manera directa al drenaje, además de dejar de sobre explotar las aguas subterráneas y propiciar su gradual recuperación. Además de las emisiones de CO<sub>2</sub> que se dejarían de emitir a la atmósfera al no hacer uso de bombas para transportar el agua desde la fuente convencional hasta



los usuarios. En el aspecto social se tendría mayor disponibilidad de agua para los usuarios del edificio “C” de la Facultad de Ingeniería Civil, mejorando las condiciones en que funcionan actualmente los sanitarios otorgando un mayor confort para quienes utilizan diariamente dichas instalaciones. El costo beneficio desde el punto de vista económico se ve reflejado en las cantidades de dinero que se estarían ahorrando por concepto de agua anualmente las inversiones iniciales para la implementación de los escenarios factibles para la captación y aprovechamiento de agua de lluvia se estarían recuperando en un lapso relativamente corto, alrededor de 3 años. Los análisis económicos de los escenarios factibles propuestos se hicieron utilizando como referencia el tabulador general de precios unitarios del mes de mayo de 2018 de la Secretaría de Obras y Servicios de la Ciudad de México, los totales de los escenarios factibles propuestos pueden sufrir alzas en su costo conforme vayan pasando el tiempo por lo que sería adecuado tener en cuenta dichos incrementos para ajustar los presupuestos de los escenarios factibles. Dentro del análisis económico que se hizo para cada escenario factible, estamos hablando de inversiones relativamente accesibles, si tomamos en cuenta los presupuestos que se manejan dentro de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, que aunque sabemos que la situación económica de la universidad actualmente no es la mejor, se confía en que pronto se establezca y pueda dirigir recursos para realizar este tipo de proyectos, que además de cuidar el agua y el medio ambiente hace conciencia entre la comunidad universitaria y eventualmente puede colocar a la Universidad Michoacana como un líder que con el ejemplo fomente y promueva la captación y aprovechamiento del agua de lluvia.



## 11. Referencias bibliográficas

Adler, I., Carmona, G., & Bojalil, J. A. (2008). Manual de captación de aguas de lluvia para centros urbanos. México DF. México: International Renewable Resources Institute Mexico.

American Rainwater Catchment Systems Association (ARCSA). 2009. Draft Rainwater Catchment Design and Installation Standards. Austin, TX.

Arreola Sánchez, G. (2015). *Muestreo y análisis de agua de lluvia para su aprovechamiento en las instalaciones DE C.U. DE LA UMSNH*. (Tesis de licenciatura). Facultad de Ingeniería Civil, UMSNH. Morelia, Michoacán.

Ballén S., J.A., Galarza G., M.A., and Ortiz M. 2006. Sistemas de Aprovechamiento de Agua Lluvia para Vivienda Urbana. VI SEREA - Seminario Iberoamericano sobre Sistemas de Abastecimiento Urbano de Agua.

Barba, B. E. G., & Colmenero, N. I. H. (2001). *La ingeniería ambiental en México*. Limusa.

Brito, L. D. L., Silva, A. D. S., Porto, E. R., de AMORIM, M. C. C., & Leite, W. D. M. (2007). *Cisternas domiciliarias: água para consumo humano*. Embrapa Semiárido- Capítulo em livro técnico-científico (ALICE).

Caballero. (2006). *Captación de agua de lluvia y almacenamiento en tanques de ferrocemento. Manual técnico*. México, DF: IPN.

Calderón, Z., & Hermes, B. (2005). Chultuns in the surrounding areas of the yaxha lagoon, peten.

Canales, A. R., & Martínez, J. M. M. (2010). *Automatización y telecontrol de sistemas de riego*. Marcombo.

CEMDA, FEA, PCM. (2006). *El agua en México: lo que todas y todos debemos saber*. México: Comisión nacional del Agua. Disponible en formato digital en <http://www.cemda.org.mx>

CEPIS/OPS. (2004). *Guía de Diseño para Captación del Agua de Lluvia*. Lima, Perú.

CONAGUA. (2004). *“Registro Mensual de Precipitación Pluvial en mm”*. México: Comisión Nacional del Agua.



CONAGUA. (2016). *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento (MAPAS), libro 4: Datos Básicos para Proyectos de Agua Potable y Alcantarillado*. México: CONAGUA.

CONAGUA. (2016). *Lineamientos Técnicos: Sistema De Captación de Agua de Lluvia con Fines de Abasto de Agua Potable a Nivel Vivienda*. México: CONAGUA

CONAGUA. (2016). *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento (MAPAS), libro 23: manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento. Desinfección para sistemas de agua potable y saneamiento*. México: CONAGUA.

Cunliffe, D.A. (2004). *Guidance of Use of Rainwater Tanks*. EN Health Council. Department of Health and Ageing. Australian Government.

De Distrito Federal, G. O. (2011). *Norma Técnica Complementaria para el Proyecto Arquitectónico*. México DF: *Gaceta Oficial del Distrito Federal*.

Espinosa Díaz, R. (2015). *Diseño de un sistema de captación y aprovechamiento de agua de lluvia, realizando su caracterización, para las instalaciones del CECTI en la ciudad de Morelia. (Tesis de maestría)*. Maestría en Ciencias en Ingeniería Ambiental, UMSNH. Morelia, Michoacán.

FAO. (2013). *CAPTACIÓN Y ALMACENAMIENTO DE AGUA DE LLUVIA. Opciones técnicas para la agricultura familiar en América Latina y el Caribe*. Santiago, Chile.

Farreny, R., Morales-Pinzón, T., Guisasola, A., Taya, C., Rieradevall, J., & Gabarrell, X. (2011). *Roof selection for rainwater harvesting: quantity and quality assessments in Spain*. *Water research*, 45(10), 3245-3254.

Fernández, A., & Du Mortier, C. (2005). *Evaluación de la condición del agua para consumo humano en Latinoamérica*. Centro de Estudios Transdisciplinarios del Agua, Facultad de Ciencias Veterinarias, Universidad de Buenos Aires, Argentina, 17-32.

García Ávila, P. (Ed.). (2002). *Agua, cultura y sociedad en México*. El Colegio de Michoacán AC.

Gardener, T., J. Braisden, and G. Miller. 2004. *Rainwater catchment systems for domestic supply: design, construction and implementation*. Intermediate Technology Publications Ltd. London, England.



Gobierno del Estado de Michoacán. (2017). Ley de ingresos del municipio de Morelia, Michoacán, para el ejercicio fiscal del año 2018. Morelia, Mich: Periódico Oficial del Gobierno del Estado de Michoacán.

Henry, J. G., Heinke, G. W., & Escalona, H. J. (1999). *Ingeniería ambiental*. Pearson Educación.

Huisman, L., Azevedo Netto, J. M. D., Sundaresan, B. B., Lanoix, J. N., & Hofkes, E. H. (1988). *Sistemas de abastecimiento de agua para pequeñas comunidades: tecnología de pequeños sistemas de abastecimiento de agua en países en desarrollo*. In *CIR documentos técnicos (Vol. 18)*. CEPIS.

IAPMO. (2016). *The plumbing technical Committee Report on proposal for public review and comment*. The International Association of Plumbing and Mechanical Codes (IAPMO). Los Angeles, CA.

INEGI. (2204). *Cuaderno Estadístico Municipal de Morelia, Michoacán de Ocampo*. México: INEGI.

INIFED. (2014). *Normas y Especificaciones Para Estudios, Proyectos, Construcción e Instalaciones*. Volumen 5 Instalaciones de Servicio. Tomo II Instalaciones Hidrosanitarias. México: Instituto Nacional de la Infraestructura Física Educativa (INIFED).

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA). (2007). *Ingeniería hidráulica en México: Ciencia y tecnología del agua*.

IPCC/ONU. 2007. *Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático. Cambio climático 2007: La base de la ciencia física*. París.

Isla Urbana. (2016). Dirección Web: <http://islaurbana.org> fecha de consulta: enero de 2017.

Isla Urbana. (2018). Manuales y fichas técnicas. Operación y mantenimiento del filtro de carbón activado. Dirección Web: <http://islaurbana.mx> fecha de consulta: julio de 2018.

Jenkins, D. and F. Pearson (1978). Feasibility of rainwater collection systems in California. California Water Resources Centre, University of California. Davis, CA.

Krishna, H. J., Brown, C., Gerston, J., & Colley, S. (2005). *The Texas manual on rainwater harvesting*. Texas Water Development Board, 3rd Edition, Austin, Texas, United States of America.



Krishna, H. J., Brown, C., Gerston, J., & Colley, S. (2005). *The Texas manual on rainwater harvesting*. Texas Water Development Board, 3rd Edition, Austin, Texas, United States of America.

León Garza, E. (2008). *Agua. Guía de agua y construcción sustentable*. México: centro virtual de información del agua.

Lesur, L. (2000). *Manual de purificación del agua: una guía paso a paso*. México: Trillas.

Martinson, D., and T. Thomas. 2005. Qualifying the first flush phenomenon. Proceedings of the 12th International Rainwater Catchment Systems Association Conference. New Delhi, India.

Mechell J., Kniffen B., Lesikar B., Kingman D., Jaber F., Alexander R. y B. Clayton (2010), *Rainwater Harvesting: System Planning*. Texas AgriLife Extension.

Moreno, J. A. O., Cerutti, O. R. M., & Gutiérrez, A. F. F. (2014). *La ecotecnología en México*. IMAGIA.

Olmos, R. R. (2003). *El agua en el medio ambiente: muestreo y análisis*. Plaza y Valdés.

O.M.S., O. P. A. S. (1995). *Guías para la calidad del agua potable*. Organization of American States, General Secretariat.

OPS. (2007). Organización Panamericana de la Salud. *Guía para la selección de sistema de desinfección*. Lima Perú.

Phillips, D. V. (2010). *Captación de agua de lluvia como alternativa para afrontar la escasez del recurso*. México: GEM.

Pizarro, R., Abarza, A., Morales, C., Calderón, R., Tapia, J., García, P., & Cordova, M. (2015). Manual de diseño y construcción de sistemas de captación de aguas lluvias en zonas rurales de Chile. *Documento Técnico*. UNESCO.

Pladeyr. S.C., Oscar Escolero Fuentes, Eloísa Domínguez Mariani, Sandra Martínez. (2006). *Atlas de la Cuenca Lerma-Chapala, construyendo una visión conjunta* Edda. 968-817-783-0 16-21 – México: Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Materiales.

Radulovich, R. A. (1994). *Captación de agua de lluvia en el hogar rural* (No. 220). Bib. Orton IICA/CATIE.



Rojas Rabiela, T. (2009). *Las obras hidráulicas en las épocas prehispánica y colonial. Semblanza Histórica del Agua en México.*

Rojas, T., Martínez, J. L., Murillo, D. (2009). *Cultura hidráulica y simbolismo mesoamericano del agua en el México prehispánico.* Jiutepec: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.

Secretaría de Economía. (2013). Norma Mexicana NMX-AA-164-SCFI-2013 Edificación Sustentable. Criterios y Requerimientos Ambientales Mínimos. México: Secretaría de Economía.

Secretaría de Obras y Servicios, Ciudad de México. (2018). *Tabulador general de precios unitarios mes de mayo de 2018.* Recuperado de: <https://www.obras.cdmx.gob.mx/servicios/servicio/tabulador-general-de-precios-unitarios>

Secretaría de Recursos Hídricos y Coordinación. Ministerio de agua, ambiente y servicios públicos. Gobierno de la Provincia de Córdoba. (2018). Ciclo hidrológico distribución global. <http://tinshot.ferozo.com/hidricos/componentes-del-ciclo-hidrologico-distribucion-global/>. Fecha de consulta: Julio de 2018.

Secretaría de Salud. (2000). Modificación a la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización. México: Secretaría de Salud.

SEMARNAT. (2007). *¿Y el medio ambiente? Problemas en México y el mundo.* México: SEMARNAT.

Ternium. (2001). Ficha técnica del producto, multytecho. Dirección web: <http://mx.ternium.com> fecha de consulta: agosto de 2017.

UNEP. (1983). *Rain and stormwater harvesting in rural areas.* Water resources series. Vol. 5. Dublin: Tycooly International.

UNESCO. (2003). *WATER FOR PEOPLE, WATER FOR LIFE. Executive Summary of the UN World. Water Development Report.* Paris, France: UNESCO.

Viñas Rubio, J. M., & López, M. (2015). Nuevo manual de uso de términos meteorológicos de AEMET.

Wade, R. 2003. Sustainable water from rain harvesting. Environmental Conservation Planning. 3rd Ed. Queensland, Australia.



WHO. 2004. Guidelines for drinking water quality. 3rd Ed. Vol. 1. World Health Organization. Geneva, Switzerland.

WORLD COMMISSION ON ENVIRONMENTAL AND DEVELOPMENT (WCDE). (1987). Our Common Future (Vol. 383). Oxford: Oxford University Press.

Yaziz, M.I., H. Gunting, N. Sapari, and A.W. Ghazalia. 1989. Variations in rainwater quality from roof catchments. *Water Research*. 23: 761- 765.



## **12. Anexo**

### **12.1. Operación y mantenimiento de un SCALL**

La operación y el mantenimiento de un sistema de captación de agua de lluvia es un proceso continuo de verificación para ver si los componentes individuales del sistema funcionan correctamente, observando el volumen de almacenamiento y monitoreando el uso del agua. El mantenimiento de rutina y adecuado está directamente relacionado con la calidad del agua. El mantenimiento incorrecto o deficiente del equipo da como resultado una menor calidad del agua y mayores riesgos para la salud. Las pruebas regulares de contaminantes (análisis en laboratorio) es un determinante clave de la función del sistema. Cada sistema es único y tiene sus propias variaciones sutiles en el rendimiento y la funcionalidad. Un operador de sistema aprende estos matices y mantiene el sistema funcionando a un nivel aceptable.

### **12.2. Responsabilidades del operador del sistema**

Una persona, el operador del sistema, debe ser responsable del mantenimiento del SCALL. En un caso donde varias personas comparten la responsabilidad de mantener un sistema, eventualmente una de ellas falla, la carga de mantener un sistema debería descansar en un único individuo que tenga un gran interés en mantener la más alta calidad de agua y es capaz de reconocer un nivel decreciente de rendimiento en el sistema.

El operador del sistema tiene los siguientes deberes y responsabilidades:

- Leer el manual del usuario de cada dispositivo.
- Desarrollar un plan de mantenimiento.
- Reemplazar el equipo roto.
- Familiarizarse con las técnicas utilizadas por los dispositivos del sistema.
- Verificar los filtros.
- Familiarizarse con las especificaciones de rendimiento de cada dispositivo.
- Documentar reparaciones.
- Inspeccionar y limpiar los tanques de almacenamiento.
- Reconocer una disminución en el rendimiento del sistema.
- Monitorear niveles de almacenamiento.

### 12.3. Operación y mantenimiento de los componentes del SCALL

A continuación se describe el mantenimiento recomendado que debe llevarse a cabo en cada uno de los elementos que conforman un SACALL.

#### 12.3.1. Área de captación (techo)

El techo del inmueble que capta agua de lluvia se convierte en el primer punto de contacto del agua precipitada y representa generalmente la mayor fuente de elementos indeseables. Debe permanecer lo más limpio posible. Se hacen las siguientes recomendaciones para el techo (figura 40):

- Antes de la entrada de la temporada de lluvias limpiar el techo, barrer el área de captación y en lo posible trapear, si el techo se encuentra con mucha suciedad.
- Sí las ramas de los árboles que circundan al edificio se encuentran sobre la superficie del techo provocando basura como hojas, ramas o frutos, se deberá podar el árbol de tal manera que ya no se tengan ramas encima del techo.
- Evitar usar el techo como depósito de escombros

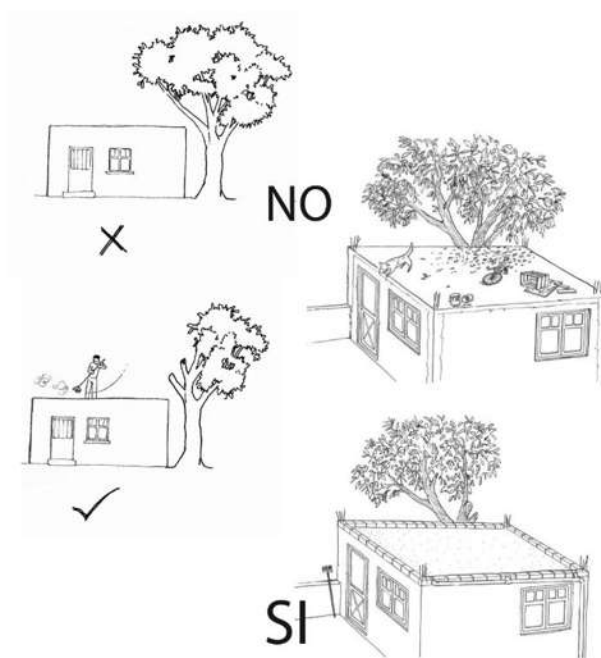


Figura 40. Mantenimiento del área de captación (fuente: Isla Urbana)



### **12.3.2. Canaletas**

Las canaletas están diseñadas para atrapar toda el agua de escorrentía de un techo. El diseño inteligente pero simple también resulta en la captura de desechos bloqueando el flujo de agua. Se recomienda:

- Inspecciones mensuales de la canaleta y la eliminación de todos los materiales, especialmente la materia orgánica.
- Los canales deben ser inspeccionados después de tormentas de alta intensidad que incluyen fuertes ráfagas de viento.
- Al menos una vez al año, las canaletas deben enjuagarse para eliminar los sedimentos y escombros alojado en esquinas, transiciones.

### **12.3.3. Bajadas de agua**

Las bajantes deben inspeccionarse regularmente en busca de escombros, equipo suelto y obstrucción al flujo. Las bajantes de PVC sin pintar deberían inspeccionarse para el crecimiento de algas, fugas y grietas. Con el tiempo, el PVC expuesto se vuelve frágil y amarillento en color. Secciones abolladas o aplastadas de las bajantes obstaculizan el flujo o pueden causar fugas.

### **12.3.4. Separador de primeras lluvias**

El separador está compuesto por un tinaco por lo que se recomienda para su mantenimiento y correcto funcionamiento:

- Mantener el tinaco cerrado para evitar la entrada de bacterias que pudieran contaminar el agua.
- Revisar por lo menos una vez al año las paredes del tinaco.
- Lavar el Tinaco 2 veces al año, antes de la entrada y al finalizar la temporada de lluvia para evitar la proliferación de bacterias y asentamiento de tierra.
- Controlar y llevar a cabo el drenado del separador de primeras lluvias, el tinaco deberá estar vacío antes de la próxima tormenta. Se puede dejar abierta de manera parcial la válvula de drenado del tinaco para que este proceso se realice de manera lenta y gradual.
- El agua contenida en el separador de primeras lluvias es el agua más sucia del sistema que no se ha tratado, no está en condiciones para uso y consumo



humano, por lo que se recomienda poner una etiqueta en un lugar visible del tanque, como se muestra en la figura 41.

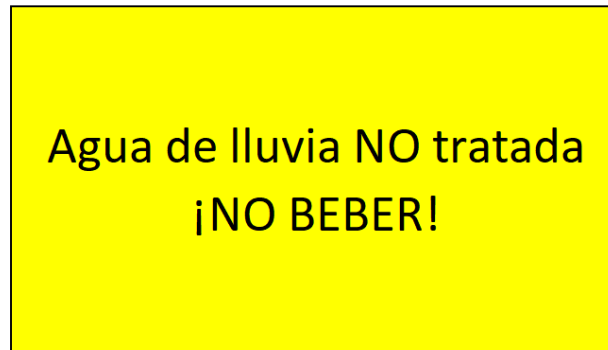


Figura 41. Etiqueta para agua de lluvia no tratada del separador de primeras lluvias.

### **12.3.5. Tanque de almacenamiento (cisterna)**

La condición del agua en el tanque de almacenamiento afecta la calidad del agua al sistema de distribución. Los componentes más pequeños son relativamente fáciles de limpiar o reemplazar, pero el tanque es el menos accesible y el más difícil de limpiar. La mayoría de las personas se sienten más cómodas con algún nivel de mantenimiento mensual o anual de un tanque de almacenamiento. Los tanques deben ser inspeccionados mensualmente o más a menudo. La base del tanque debe inspeccionarse para detectar grietas, erosión y asentamiento.

Los tanques enterrados deben inspeccionarse con más frecuencia que los tanques sobre el suelo. Los cambios en los tanques subterráneos pueden ocurrir sin ser notados fácilmente. El tanque debe ser desinfectado lavándolo a fondo y aplicando una mezcla de agua y cloro a toda superficie. Es extremadamente peligroso ingresar a espacios confinados como tanques o cisternas sin la capacitación y el equipo adecuados. Cuando sea necesario ingresar a un espacio confinado tome todas las precauciones y medidas de seguridad.

El siguiente es un procedimiento típico de limpieza de tanques:

- Vacíe el tanque.
- Nunca ingrese a un tanque sin un observador externo.
- Desconecte todos los dispositivos eléctricos.
- Use el equipo de protección adecuado: gafas, botas de goma y traje químico.
- Limpiar posibles sedimentos en el fondo del tanque.



- La ventilación es clave cuando se usa cloro.
- Rocíe las paredes y el tanque con una mezcla de agua y cloro.
- Permita que la superficie rociada se seque.
- Enjuague a fondo hasta que desaparezcan la suciedad y el cloro.
- Documente el proceso de limpieza, la fecha, los productos químicos utilizados y la relación de agua/cloro.

### 12.3.6. Filtros

Los filtros están diseñados para detener partículas de un tamaño específico, evitándolas de continuar en la corriente de agua. Como la superficie del filtro se obstruye con partículas, el flujo se ve obstaculizado lo que provoca una caída de presión. Algunos filtros pueden ser limpiados, mientras que otros, especialmente el carbón, deben ser reemplazados.

#### Filtro de malla

Este tipo de filtro no requiere sustituir el cartucho, sólo darle mantenimiento.

1. Desenrosque la tapa del filtro.
2. Saque el cartucho (figura 42).
3. Limpie la malla con agua limpia a presión o con ayuda de un cepillo.
4. Coloque nuevamente el cartucho. No fuerce la rosca.
5. Revise periódicamente empaques y la malla del filtro

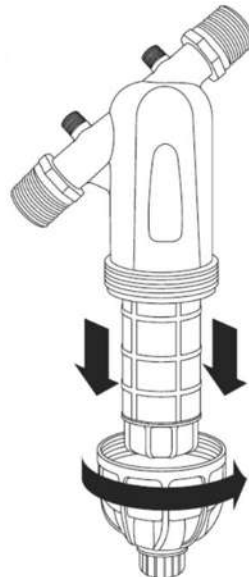


Figura 42. Mantenimiento de filtro de malla (fuente: USA, 2018)

### Filtro de carbón activado

Para un correcto funcionamiento y mantenimiento del filtro seguir las instrucciones (Isla Urbana 2018), ver figura 43.

1. Antes de iniciar su uso, asegurarse que hay un cartucho útil correctamente colocado dentro del vaso
2. Mantenimiento una vez al año lavar con agua y un cepillo la cabeza del vaso y la cabeza del filtro
3. Reemplazar el cartucho completo por uno nuevo
4. Antes de retirar el cartucho, puede liberarse presión de agua con el botón rojo de la parte superior del filtro. Con el mismo botón puede purgarse la tubería del aire atrapado.
5. Los filtros desprenderán una cantidad mínima de partículas de carbón, después de la instalación, debe limpiar el cartucho de estas partículas corriendo el agua por lo menos por 20 segundos después de la instalación.



Figura 43. Mantenimiento de filtro de carbón activado (fuente: Isla Urbana, 2018).

### Clorador

Los cloradores automáticos son eficientes y libre de mantenimiento, lo único que se necesita es supervisar y suministrar las pastillas de 1" o tabletas de 3" de cloro. Eventualmente el operador del sistema puede variar la dosis de cloro de forma automática según las necesidades.



## **12.4. Análisis de calidad del agua de lluvia**

Antes de usar el agua de lluvia, una evaluación inicial de la calidad del agua debería ser llevada a cabo. La evaluación debe ser realizada por un laboratorio de confianza. El análisis original debe mantenerse en el archivo. Los resultados de las pruebas brindan punto de referencia para comparar los resultados posteriores. Como mínimo el agua debe analizarse para:

- pH.
- Turbiedad.
- Bacterias coliformes totales y fecales.
- Cloro residual.
- Giardia y Cryptosporidium.

### **12.4.1. Hoja de trabajo de mantenimiento del SCALL**

Una buena hoja de trabajo de mantenimiento ayuda a reunir toda la información en un solo lugar para facilitar la evaluación. La hoja de trabajo asegura que cada componente del sistema se evalúa adecuadamente. Todas las hojas de trabajo deben ser guardadas en una ubicación segura con toda la demás información del sistema. Un ejemplo de una hoja de mantenimiento de un sistema de captación de agua de lluvia se muestra en la página siguiente.



## Hoja de trabajo de mantenimiento SCALL

Ubicación del sistema: \_\_\_\_\_

Instalador: \_\_\_\_\_

Operador: \_\_\_\_\_

Filtros: \_\_\_\_\_

Sistema UV: \_\_\_\_\_

Sistema de aplicación de cloro: \_\_\_\_\_

Bomba: \_\_\_\_\_

Fecha: \_\_\_\_\_

### 1) Superficie de captación:

Libre de escombros:  Sí  No

### 2) Recolección y conducción:

a) Canaletas limpias:  Sí  No

b) Malla de canaleta limpia:  Sí  No

c) ¿Bajadas de agua pluvial intactas?:  Sí  No

### 3) Separador de primeras lluvias

¿Separador de primeras lluvias drenado y limpio?:  Sí  No

### 4) Tanque de almacenamiento

a) Tubería intacta:  Sí  No

b) Cubiertas y tapas en su lugar:  Sí  No

c) Rebosadero de agua funcionando correctamente:  Sí  No



d) Tanque de almacenamiento limpio:  Sí  No

e) Pantallas de cesta limpias:  Sí  No

### 5) Tratamiento

a) limpieza de filtros:  Sí  No

b) Cambio de cartucho o filtro:  Sí  No

c) Aplicador de cloro lleno:  Sí  No

Dosis de cloro: \_\_\_\_\_

### 6) Prueba de calidad del agua

a) Muestra tomada:  Sí  No

b) Lugar y hora de donde se tomó la muestra: \_\_\_\_\_

c) Ubicación de la prueba: \_\_\_\_\_

d) Prueba para ejecutar: \_\_\_\_\_

Comentarios