



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN DE UN  
SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUA DE  
LLUVIA EN LA DELEGACIÓN MAGDALENA  
CONTRERAS COMO UNA FORMA DE  
CONTRIBUIR A UN DESARROLLO  
SOSTENIBLE**

**TESIS**

Que para obtener el título de  
**INGENIERO CIVIL**

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

LEONARDO ALONSO VELASCO VELASCO

**DIRECTOR DE TESIS**

M.I. RODRIGO TAKASHI  
SEPÚLVEDA HIROSE



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2020



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## Agradecimientos

A lo largo de toda mi trayectoria escolar y de mi vida, siempre he contado con mi madre, Gabriela Velasco Santiago, quien me ha apoyado en cada etapa de mi vida. Con su esfuerzo, me ha dado lo necesario para poder realizar mis estudios y cumplir mis metas. Ella, quien me enseñó los valores para formarme como persona y siempre salir adelante a pesar de todos los obstáculos que se presenten. Por esta y muchas razones más, quiero agradecerle en primer lugar.

A mi fallecido padre, Francisco Velasco SanJuan, quien me estuvo apoyando y motivando a tener un grado profesional. Gracias a él, quien me enseñó a no rendirme y seguir adelante hasta cumplir mis objetivos, luchar por los seres que nos importan y disfrutar tanto de la vida, como de las amistades.

También agradezco a mi director de tesis, el M.I. Rodrigo Takashi Sepúlveda Hirose, por guiarme en este paso tan importante en mi carrera profesional y por brindarme su atención y tiempo para cumplir este logro.

Quiero dar mis agradecimientos a los miembros de mi jurado, la Dra. Ana Beatriz Carrera Aguilar, el Dr. Adrián Pozos Estrada, el M.I. Francisco Javier Granados Villafuerte y a la Dra. Alma Chávez Mejía, por apoyarme y brindarme su atención, ante la difícil situación que se atraviesa por la emergencia sanitaria.

Escribir una tesis no es tarea fácil, sin duda alguna la Lic. Ana Yantzin Pérez Cortés me ayudó en este punto importante en mi trabajo.

De igual manera, a todos mis profesores de la Facultad de Ingeniería, quienes me transmitieron sus conocimientos para poder realizar mis investigaciones y poder aplicarlos en el presente trabajo y que me servirán a lo largo de mi vida profesional.

En muchas ocasiones los seres que nos rodean, nos motivan, nos apoyan moralmente y siempre hay cosas que podemos aprender de ellos. Es por eso que agradezco a todas mis amistades por cada momento de su vida que me han brindado.

*SIC PARVIS MAGNA*  
Sir Francis Drake

## Índice

Lista de figuras .....	1
Lista de tablas.....	2
Resumen.....	3
Introducción .....	4
I. Problemática del agua en el mundo .....	6
Distribución del agua en el mundo .....	6
Ciclo hidrológico.....	7
Usos del agua y su relación con el desarrollo .....	8
Escasez de agua.....	11
El cambio climático .....	13
Algunas soluciones por organizaciones internacionales.....	15
II. Estado del arte de los sistemas de captación de agua de lluvia .....	18
África .....	18
Asia .....	19
Oceanía.....	23
Europa .....	24
Norte América .....	27
América Latina y el Caribe.....	28
México.....	31
Objetivo.....	42
III. Fundamentos de los sistemas de captación de agua de lluvia, su diseño y aplicación en zonas urbanas.....	43
Precipitación.....	43
Precipitación media.....	46
Precipitación neta o lluvia efectiva en captación de agua de lluvia.....	48
Coeficiente de escurrimiento.....	48
Curvas i-d-T.....	49
Tiempo de concentración.....	51
Localización .....	52
Calidad del agua .....	52
Demanda de agua .....	57

Captación.....	58
Conducción.....	60
Primer filtrado.....	62
Almacenamiento.....	64
Tratamiento.....	67
Distribución.....	69
Sistemas de captación de agua de lluvia en zonas urbanas.....	73
IV. Situación del agua en México.....	85
Ciudad de México.....	91
Importancia del uso de sistemas de captación de agua de lluvia en la Ciudad de México.....	96
V. Marco jurídico del agua y de la captación de agua de lluvia.....	99
Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos.....	99
Ley de Aguas Nacionales.....	100
Ley General de Aguas.....	100
Ley de Aguas del Distrito Federal.....	101
VI. Caso de estudio: Mercado turístico La Magdalena.....	105
Información general.....	105
Estrategia viable.....	106
Identificación de fortalezas y debilidades.....	107
Posibles obstáculos.....	108
Definición conceptual del proyecto.....	109
Origen.....	109
Análisis de diferentes aspectos.....	112
Análisis de la demanda.....	122
Análisis de la oferta.....	123
Estudio técnico y tecnológico.....	124
Descripción del proyecto.....	128
Estimación económica.....	130
Estimación financiera.....	134
VII. Conclusiones.....	138
Referencias.....	141

## Lista de figuras

Figura I.I. Distribución del agua en el planeta.....	6
Figura I.II. Ciclo Hidrológico.....	7
Figura II.I. Proyecto Agua y Vida.....	32
Figura II.II. COLPOS 1.....	35
Figura II.III. COLPOS 2.....	36
Figura II.IV. COLPOS 3.....	36
Figura II.V. COLPOS 4.....	37
Figura II.VI. COLPOS 5.....	37
Figura III.I. Pluviómetro y pluviógrafo.....	44
Figura III.II. Pluviograma.....	44
Figura III.III. Curva masa acumulada.....	46
Figura III.IV. Tlaloque.....	63
Figura III.V. Filtro WISY.....	63
Figura III.VI. Bomba WaterBuck.....	71
Figura III.VII. Bomba step action.....	71
Figura III.VIII. Bomba de mecate manual.....	72
Figura III.IX. Bici-bomba de mecate.....	72
Figura III.X. Consumos por usos de agua.....	75
Figura III.XI. Sistema de captación de agua de lluvia en vivienda familiar.....	77
Figura III.XII. Cuneta verde.....	80
Figura III.XIII. Franja filtrante.....	80
Figura III.XIV. Humedal artificial.....	81
Figura III.XV. Pavimento permeable.....	82
Figura III.XVI. Techo verde.....	82
Figura III.XVII. Dren filtrante.....	83
Figura III.XVIII. Huerto urbano.....	83
Figura IV.I. Desarrollo y disponibilidad del agua, 2015.....	88
Figura IV.II. Sistemas Lerma, Cutzamala y Chiconautla.....	93
Figura VI.I. Mercado La Magdalena parte sur.....	109
Figura VI.II. Mercado La Magdalena parte norte.....	109
Figura VI.III. Croquis del mercado La Magdalena con locatarios.....	111
Figura VI.IV. Instalación de drenaje pluvial del mercado La Magdalena.....	116
Figura VI.V. Área de influencia de captación del mercado La Magdalena.....	118
Figura VI.VI. Sistema de Captación de Agua de Lluvia propuesto en el mercado La Magdalena ...	129
Figura VI.VII. Flujo de efectivo del proyecto.....	135

## Lista de tablas

Tabla 1. Datos del pluviograma.....	45
Tabla 2. Coeficientes de escurrimiento por tipo de material .....	49
Tabla 3. Límites permisibles de calidad de agua para uso y consumo humano .....	53
Tabla 4. Límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público .....	56
Tabla 5. Coeficientes de rugosidad para diferentes materiales.....	61
Tabla 6. Tipos de cisternas .....	65
Tabla 7. Datos geográficos y socioeconómicos por entidad federativa.....	85
Tabla 8. Datos geográficos y socioeconómicos por región hidrológico-administrativa.....	86
Tabla 9. Precipitación promedio mensual, 1981 - 2010 (mm).....	89
Tabla 10. Precipitación media mensual en la colonia La Magdalena.....	112
Tabla 11. Volumen captado por mes .....	113
Tabla 12. Precipitación máxima diaria .....	113
Tabla 13. Intensidad registrada en 1 h.....	114
Tabla 14. Precipitación máxima diaria multiplicada por el factor de 1.13.....	114
Tabla 15. Longitud equivalente de algunos accesorios, en m.....	120
Tabla 16. Pérdida de carga de elementos filtrantes .....	120
Tabla 17. Dotación mínima para algunas estructuras o usos .....	122
Tabla 18. Demanda de agua al día .....	123
Tabla 19. Demanda mensual de agua .....	123
Tabla 20. Demanda y volumen captado por mes.....	125
Tabla 21. Cálculo del volumen de almacenamiento .....	125
Tabla 22. Cálculo de longitud total en línea de conducción .....	127
Tabla 23. Presupuesto del Sistema de Captación de Agua de Lluvia en el mercado La Magdalena .....	130
Tabla 24. Costo de mantenimiento.....	133
Tabla 25. Cálculo de VPN y TIR.....	136

## Resumen

Los humanos y los ecosistemas necesitan del agua, de no existir este recurso o encontrarse con muy mala calidad, traería grandes consecuencias en todo el entorno y en la vida de todo ser vivo.

Hoy en día existe escasez de agua en varias partes del mundo, incrementándose los casos año con año. Por si fuera poco, el cambio climático afecta cada vez más a los humanos, presentándose desastres naturales con más frecuencia y mayor intensidad. Una de las tantas tecnologías existentes son los sistemas de captación de agua de lluvia, estos proporcionan agua a la población haciéndolos más resilientes ante estos desastres.

En México existen diferentes problemas con respecto al agua, una distribución no uniforme de las lluvias y escasez en varios estados. Un caso especial es la Ciudad de México donde se extrae más agua de lo que los acuíferos se tardan en recargar, provocando asentamientos, siendo necesario traer agua de otras cuencas, además de ser el estado más pequeño y generar la mayor parte del PIB del país.

Diseñar un SCALL no es complicado, pero existen diferentes factores que influyen, dependiendo principalmente de la zona y de las necesidades de los usuarios. Se propone implementar un sistema de captación de agua de lluvia en el mercado turístico La Magdalena. Tiene un espacio amplio y una cubierta capaz de captar más de 860 m<sup>3</sup> de agua al año. Esta cantidad cubre más del 80% de la demanda existente en el mercado, disminuyendo la presión sobre el sistema de abastecimiento de la ciudad. Además, se recupera la inversión en 5 años, generando ingresos a partir de este periodo. Aprovechar el agua pluvial proporcionará el recurso de manera eficiente, constante, segura y de calidad, a los usuarios.

## Introducción

Desde los primeros asentamientos, el ser humano ha buscado fuentes de agua cercanas, aprovechando los demás recursos naturales para sobrevivir. Mientras transcurría el tiempo, las poblaciones fueron creciendo y con ello el consumo de los recursos. Las fuentes de agua se fueron sobreexplotando, habiendo menos agua tanto para los humanos como para los ecosistemas, agotándose los demás recursos. Por otro lado, el cambio climático, proceso acelerado por la actividad humana, ha aumentado los desastres naturales e intensificándolos, mientras la humanidad se hace más vulnerable.

Existe una preocupación constante al aumentar la demanda del recurso hídrico año con año mientras que las fuentes se van agotando. Existe escasez de agua en diferentes partes del mundo y se prevé que aumente en los próximos años.

Un punto que destacar es el uso de las energías renovables, son una buena apuesta para el desarrollo sostenible, así como el mejoramiento en la eficiencia del uso del agua. Dentro de esas tecnologías se encuentran los sistemas de captación de agua de lluvia, ayudando a disminuir los efectos del cambio climático, además de apoyar a las personas al cubrir parte de sus necesidades, soportando de una mejor manera los desastres naturales.

Existe la participación de varias organizaciones internacionales al realizar publicaciones y programas para evitar situaciones de vulnerabilidad. La forma de brindar apoyo a las personas que se ven más afectadas por los desastres naturales y las invitaciones a los gobiernos de diferentes países en iniciar un desarrollo sostenible.

En el capítulo 1 "Problemática del agua en el mundo" se muestra la cantidad que existe de este recurso en el planeta, además de mencionar los diferentes usos al ser importante para el desarrollo ambiental, social, económico y político de un país. Así mismo, se exponen los diferentes problemas que se presentan en el mundo con respecto al agua y como las acciones humanas han afectado al medio ambiente.

Continuando con el capítulo 2 "Estado del arte de los sistemas de captación de agua de lluvia", se redacta la forma en que han sido utilizados los SCALL a lo largo del tiempo y alrededor del mundo. Desde las primeras civilizaciones se optó por aprovechar el agua de lluvia. Se mencionan los diferentes usos, estructuras, formas de aprovechar el agua y como se adaptan a las diferentes necesidades.

Siguiendo con el capítulo 3 "Fundamentos de los sistemas de captación de agua de lluvia, su diseño y aplicación en zonas urbanas" se detallan los diferentes conceptos relacionados con la captación de agua pluvial y la forma en que se diseñan los diferentes componentes, siendo la captación, conducción, primer filtrado, almacenamiento, tratamiento y distribución.

Por otra parte, se muestran las características de un SCALL en zona urbana, y su diferencia al momento de diseñarse con respecto a una en zona rural. También se

presentan algunos elementos de sistemas de drenaje para un desarrollo sostenible, sus características, ventajas y desventajas.

En el capítulo 4 "Situación del agua en México", se analiza información en materia del recurso hídrico a nivel nacional. Al observar las imágenes que se presentan y leer lo expuesto, es fácil percatarse de que existe una distribución muy desigual de las lluvias en el territorio, teniendo más cantidad de agua pluvial en el sur y centro que en el norte. Se observan algunos contrastes, a pesar de presentarse varias precipitaciones al sur, hay varias personas que no cuentan con agua suficiente. Por otro lado, existe una mayor aportación del PIB en los lugares donde no hay suficiente agua, el más representativo, la Ciudad de México es el estado más pequeño, con escasez de agua y donde se aporta la mayor parte del PIB.

También se presenta información sobre el abastecimiento de agua a la Ciudad de México. Es necesario traer el recurso de otras cuencas alrededor del Valle de México. Se está sacando más agua de los acuíferos de lo que se tardan en recargar, presentándose asentamientos importantes en la urbe. Se mencionan problemas, como el aumento de la temperatura, intensidad de las lluvias, frecuencia de las inundaciones y escasez de agua.

Complementando lo anterior, en el capítulo 5 "Marco jurídico del agua y de la captación de agua de lluvia" se presentan las diferentes leyes a nivel nacional en materia de agua que administran el recurso, sin embargo, existen diferentes puntos que no se tratan y se están desarrollando en otra ley, que rija el uso del recurso. Existen diferentes leyes que norman el recurso en la Ciudad de México. A pesar de que se menciona el uso de los sistemas de captación de agua pluvial no existe ley o norma alguna que regule el uso de estos sistemas.

Siguiendo con el capítulo 6 "Caso de estudio: Mercado turístico La Magdalena" se analiza y se propone la implementación de un sistema de captación pluvial en el mercado turístico La Magdalena. El lugar se eligió por ser un área con una gran cubierta, además de ser un espacio público. Lo anterior trae varios puntos, se puede captar más agua, existen varios tipos de usuarios y por tanto diferentes necesidades, hay suficiente espacio para colocar o construir una cisterna, existiendo diferentes beneficiarios.

Se diseñan los diferentes componentes del sistema, utilizando la información obtenida y lo presentado en el capítulo 3. Además del diseño se hace un análisis económico y financiero para dar una idea de la rentabilidad del proyecto propuesto.

Por último, en el capítulo 7 "Conclusiones" se mencionan tanto las ventajas como las desventajas obtenidos en el análisis y diseño del sistema propuesto, además de dar comentarios acerca de este.

## I. Problemática del agua en el mundo

Los seres humanos viven en diferentes lugares del planeta, ya sea ciudades, montañas, bosques, selvas o costas. Con el paso del tiempo se fueron aprovechando los recursos que existen alrededor para cubrir sus necesidades, sin tomar en cuenta las consecuencias de sus actos. Uno de los recursos más importantes y más explotado es el agua, y a pesar de que existan grandes porciones de este recurso, la humanidad hace frente a una problemática grave.

### Distribución del agua en el mundo

En el planeta, La Tierra, existe gran cantidad de agua. Casi tres cuartas partes de la superficie terrestre están conformadas por agua, tanta es la cantidad que es posible observarla desde el espacio, a tal grado que los astronautas la han llamado como el planeta Azul.

Esto no quiere decir que se dispone de toda el agua existente. La mayor parte del agua es salada, solo el 2.5% es agua dulce y gran cantidad se concentra en los glaciares y otra parte, un 30%, se encuentra en fuentes subterráneas de difícil acceso. Principalmente los humanos obtienen el agua de fuentes subterráneas relativamente poco profundas, de ríos y lagos. Se estima que solamente el 0.77% se encuentra como agua dulce accesible al ser humano, Centro Virtual de Información del Agua (agua.org.mx, 2017). A continuación, en la figura I.1, se muestra la distribución del agua en el planeta y sus porcentajes.

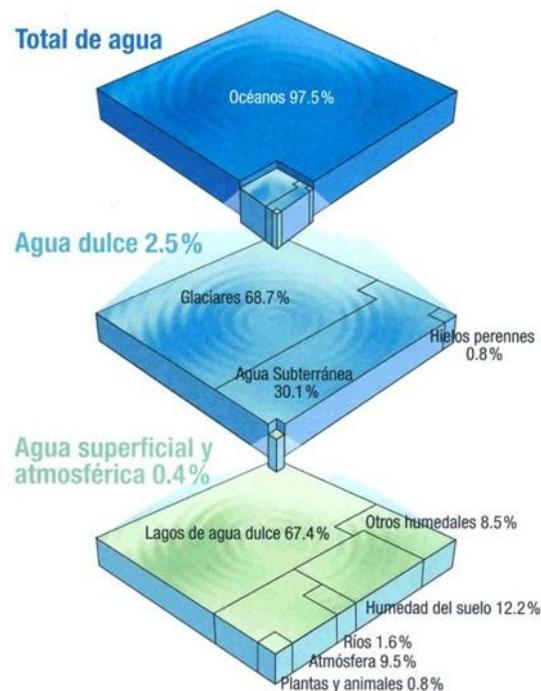


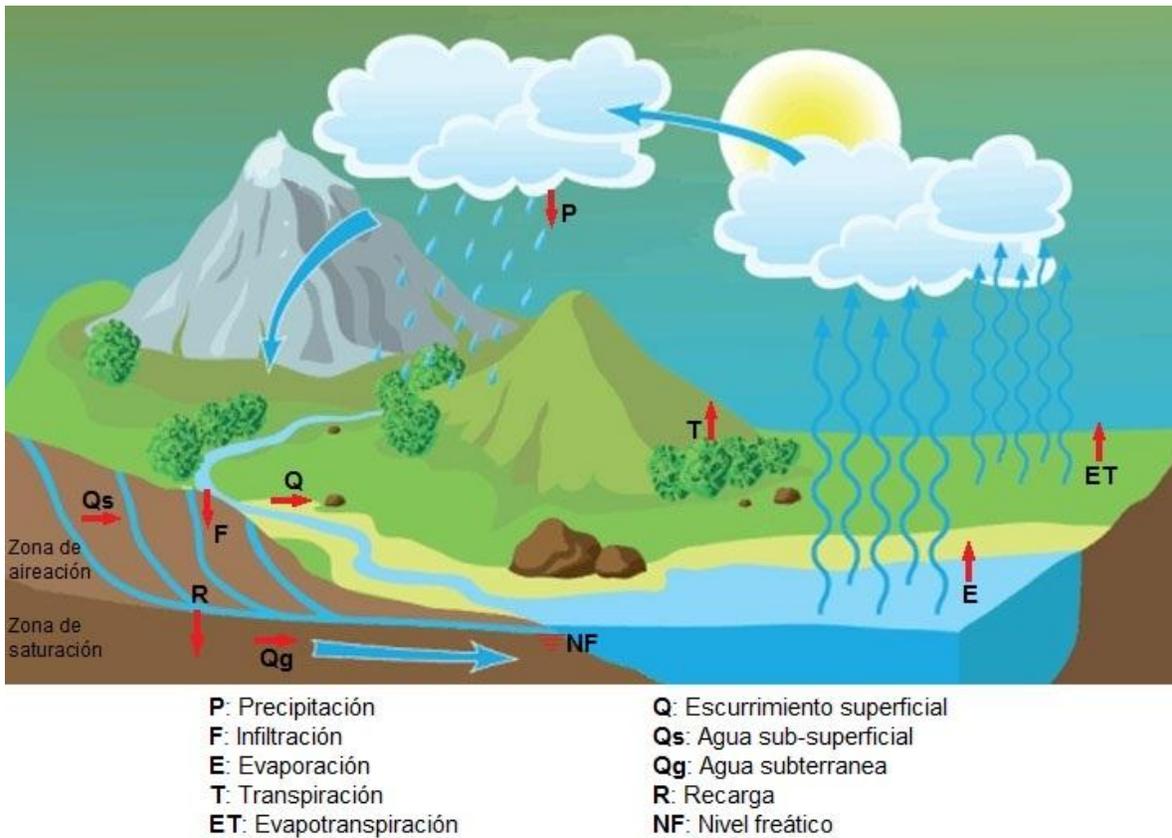
Figura I.1. Distribución del agua en el planeta

FUENTE: (Ramírez, 2007)

La población mundial solo cuenta con un pequeño porcentaje de agua, en comparación con la cantidad existente en el planeta. A pesar de lo anterior, hay suficiente agua dulce para abastecer a todo el mundo, sin embargo, hay millones de personas que no cuentan con el servicio o tienen una pésima calidad de éste, a causa de una mala economía o una infraestructura deficiente (ONU, 2017).

### Ciclo hidrológico

Antes de conocer la problemática del agua, es necesario entender el ciclo hidrológico. El agua se considera un recurso renovable porque se encuentra en un ciclo, no tiene ni principio ni final, pero siempre está en constante cambio, como se muestra en la figura I.II.



**Figura I.II. Ciclo Hidrológico**  
 FUENTE: (Romero, 2016)

En la imagen se observa que el agua se precipita en forma de lluvia, también puede ser en forma de granizo, niebla o nieve. Cuando el agua toca la superficie, lo primero que sucede es una infiltración a una zona de aireación, donde existe una deficiencia de humedad del suelo, generándose un flujo sub-superficial. El agua sub-superficial fluye hacia el nivel freático, recargando la zona de saturación, dentro de esta zona existe un flujo de agua subterránea. El agua que no se infiltra empieza a generar escurrimientos superficiales, formando ríos o desembocando en lagunas, mares u océanos, de igual manera el agua sub-superficial y subterránea fluyen hacia estos cuerpos. Existe una evaporación en los cuerpos antes mencionados y no solo en estos, también se presenta

en el agua sobre la superficie y una vaporización del agua líquida contenida en las plantas, la transpiración, que contribuyen a la formación de nubes. Muchas veces al conjunto de estos dos fenómenos se le da el nombre de evapotranspiración. El agua que se va concentrando en las nubes se vuelve a precipitar, repitiéndose el ciclo.

A pesar de que el agua se mantenga en su ciclo, siempre está relacionándose con varios ecosistemas, difícilmente mantendrá sus características y calidad. Sin lugar a duda la contaminación es el factor principal que afecta al recurso hídrico, por eso es importante conocer el concepto de Tasa de Renovación. Se refiere al tiempo que tarda un recurso en recomponerse a su estado y condiciones originales después de haber sido contaminado y sin que persista la causa de contaminación, se expresa en años. El agua de la atmósfera tarda 9 años en renovarse, los ríos y lagos alrededor de 12 años, las aguas subterráneas 300 años, los mares y océanos 3,100 años y por último los glaciares que tardan 15,000 años (Departamento General de Irrigación, 2016).

### **Usos del agua y su relación con el desarrollo**

Para entender más la situación y problemática del agua, es importante mencionar para que se necesita. El agua se usa para diferentes actividades, como la producción de alimentos, para la industria, generación eléctrica, acuicultura, pesca, recreación, turismo, navegación, por mencionar algunas. Actualmente en el mundo, se está utilizando cerca del 70% del total de agua abastecida, para la agricultura (Anaya Garduño, 2011).

De acuerdo con datos de agua.org.mx (2017), aproximadamente el 69% del agua extraída es para uso agrícola, seguido de un 19% para uso industrial y un 12% para uso municipal.

A nivel mundial, la agricultura es la actividad que más demanda agua. En muchas ocasiones se extrae más agua de la que necesita el cultivo, situación provocada por existir pérdidas al conducirla y al no tener una buena práctica o una tecnología deficiente para el riego y/o almacenamiento. Hay que tener en cuenta que la demanda por la agricultura aumentará, dado que la población lo hará de igual forma, y hay que proporcionar alimento para todos.

El Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas, WWAP por sus siglas en inglés (2016), indica que, si se entregaran tecnologías para un uso más eficiente del agua, a 100 millones de agricultores, se tendría un beneficio total neto de aproximadamente 150 mil millones de dólares.

El agua es indispensable para que se lleven a cabo los procesos necesarios en el sector industrial, como generación de energía eléctrica ya sea utilizada en hidroeléctricas o en termoeléctricas para sus sistemas de enfriamiento, siendo ésta una de las actividades que más utiliza agua, seguida de las plantas petroleras, las industrias metálicas, papelera, maderera, procesamiento de alimentos y manufacturera, (agua.org.mx, 2017). Es importante el papel que juega el agua en este sector ya que ayuda al crecimiento y desarrollo económico y social.

Un sector importante como es la energía necesita en gran medida el agua, y la Agencia Internacional de Energía (AIE) prevé un aumento del 70% en su generación para el año 2035. A pesar del escenario anterior, no se piensa que la demanda de agua aumente de igual manera, por lo menos un 20%, esto gracias a la utilización de energías renovables. Para cubrir la demanda de energía en los años siguientes, se tendrá que construir infraestructura constantemente, así como reemplazar la ineficiente, a pesar de ello se prevé una pérdida de un millón de empleos para el año 2030 (WWAP, 2016).

Otro escenario que se plantea es el de Advanced Energy [R]evolution de Greenpeace, en éste se señala que las energías renovables abarcaran el 42% en el 2030, subiendo a un 72% en el 2040 y llegando a cubrir el 100% en el 2050, además se tendrá un incremento en los empleos de 10 millones, para el 2030 (WWAP, 2016). Si se apuesta por las energías renovables no solo se tendría un aumento en los empleos, sino que la demanda de agua se mantendría para el sector energético a pesar de que la demanda de éste aumente. Estas nuevas tecnologías para la generación de energía consumen muy poca agua o no consumen.

Para elaborar un proyecto, se toman en cuenta varios aspectos, ya sean económicos, financieros, de materiales, mano de obra, etc., y uno de los más importantes, es la disposición de agua. Siempre se ve la forma de contar con el recurso para la realización de las actividades, no obstante, con los problemas actuales, se debe prestar atención tanto a la disponibilidad del agua y a su escasez, viendo de que manera puede afectar al proyecto.

No solo se debe planear como tener disponible el recurso hídrico, porque una vez utilizado hay que tener en cuenta la calidad, cantidad, y donde se está depositando. El agua siempre se encuentra en movimiento, interactuando con todo lo que se encuentre a su paso. Se debe tener cuidado con esto, por ejemplo, si una empresa que se encuentra aguas arriba, regresa el líquido al río con pésima calidad y en grandes cantidades, el ecosistema en los alrededores se verá afectado. Otra situación podría ser si se encuentra otra empresa aguas abajo que utiliza agua del mismo río, la calidad afectará a los procesos que se realicen con el recurso, perjudicando a la organización y al personal. Viendo otra posible situación, es la presencia de una población, aguas abajo, que se abastece del río, esto afectará en gran medida su economía, desarrollo, pero principalmente la salud de los habitantes.

Un dato que sorprende es el aumento de la población en el último siglo, porque tuvo un incremento de 4.4 veces mientras que la extracción de agua se elevó de una manera más rápida, 7.3 veces (agua.org.mx, 2017). Durante ese periodo, la extracción de agua siempre fue superior al crecimiento de la población, sin embargo, en la última década se ha observado que la extracción se ha ido frenando. Esto puede significar dos cosas, por un lado, se ha estado consumiendo menos agua o por el otro, la humanidad se está quedando sin fuentes de donde extraerla.

Se sabe que el agua tiene un papel importante en la realización de cualquier trabajo, ya sea directa o indirectamente, pero muchas veces no es posible saber a qué grado afecta

a la economía y desarrollo de un país. Solamente se usa el agua como un recurso de fácil acceso y en consecuencia se mal gasta, por si fuera poco, se afecta al entorno cuando se regresa agua de pésima calidad al ambiente, destruyendo y acabando con las fuentes y afectando los ecosistemas. A partir de esto se han presentado grandes problemas en el mundo como la escasez de agua. Tratando de atenuar los problemas, pero continuando con el desarrollo de los países, se ha optado por tener una economía sostenible, que además de proteger el medio ambiente, se ha visto que lleva a la creación de más empleos, aumentando trabajos dignos y teniendo una inclusión social (WWAP, 2016). De acuerdo con el Pacific Institute, un estudio realizado en Estados Unidos en el 2013, calculaba que se generaban entre 10 y 26 empleos con la inversión de 1 millón de dólares en infraestructura hidráulica tradicional, mientras que las inversiones para proyectos sostenibles de agua, generaban entre 10 y 72 empleos.

Para aumentar el desarrollo de la población se brindan servicios públicos, tales como abastecimiento de agua potable y saneamiento, que son principalmente financiados por el sector público. También se encarga de establecer los derechos del agua, tarifas, infraestructura, servicios e inversión. Puede haber una privatización de los servicios públicos, tratando de reducir costos, aumentando la investigación y desarrollo de la infraestructura, sin embargo, no se tiene una idea clara sobre el beneficio que conlleva, existen varios ejemplos que van desde perjudicar y comprometer los servicios públicos, hasta un desarrollo y mejoramiento de estos (WWAP, 2016).

El Banco Mundial realizó un estudio en el 2010, resaltando la idea de usar el sector privado para mejorar la eficiencia y calidad de los servicios, teniendo importantes tecnologías y conocimientos, que no solo se vea como una fuente de financiamiento.

Cada vez se realizan más estudios, productos y métodos para optimizar el uso del agua. Existe el término de eficiencia del agua y es la proporción de agua que se utiliza para obtener un resultado económico o un producto, midiéndose en m<sup>3</sup> de agua por unidad de producto. Se habla de una eficiencia mejorada cuando se usa menos cantidad de agua para producir los mismos bienes, productos o servicios, desarrollándose una eficiencia técnica, eficiencia productiva, eficiencia por elección de producto y eficiencia en la asignación de los recursos (WWAP, 2016). Es necesario tener una eficiencia mejorada en el agua, aparte de obtener más productos y mejorar los servicios, se dispone de más recurso para aumentar la oferta y reasignarlo a otras actividades que se vieran presionados por la falta de este, disminuyendo los conflictos que se den entre los usuarios al competir por el agua. También se haría frente, a la escasez de agua y causaría un mejor desarrollo en los países.

Otro concepto que se debe desarrollar es la productividad del agua, siendo la proporción entre los beneficios netos y la cantidad de agua utilizada en el proceso de producción, midiéndose en unidades de producción por m<sup>3</sup>. Se tiene una productividad mejorada cuando se obtienen más beneficios usando una unidad de agua (WWAP, 2016). Mejorando la productividad, inmediatamente se tendrá un crecimiento económico, así

como una gran variedad de productos, y una posibilidad de incrementar los empleos, a su vez mejorando los ingresos.

A parte de los conceptos anteriores, existe otro que indica el buen uso del agua cuando se tienen beneficios monetarios, se conoce como productividad económica del agua, y se calcula en dólares por m<sup>3</sup> de agua (WWAP, 2016).

Pese a utilizar el agua en diferentes actividades del país, no es recomendable asignar más recurso a un sector que a otro porque se puede afectar el rendimiento y la viabilidad de los demás, perjudicando a los ingresos y a los empleos, así lo indica la Organización Mundial de la Salud (OMS). Por su parte, la Organización Internacional del Trabajo (OIT) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), indican que se puede realizar una economía sostenible e importantes beneficios, en 8 sectores claves como lo son: la agricultura, silvicultura, pesca, energía, industria de alto consumo de recursos, reciclaje, construcción y transporte (como se citó en WWAP, 2016).

Una buena gestión en el agua es la clave para un buen desarrollo en el país, por el contrario, una mala administración, un uso insostenible y/o falta de inversión, causarían grandes pérdidas económicas, ambientales y sociales.

No solo se debe invertir en brindar el recurso a los diferentes sectores, sino también en investigación y desarrollo de nuevas tecnologías para eficientar el recurso disponible, aumentar la productividad y brindar más empleos, a la vez que se protege el recurso y al medio ambiente. Sin dejar de lado los programas para concientizar a la población a un uso óptimo del agua.

### **Escasez de agua**

Se dice que hay escasez de agua cuando la demanda supera a la cantidad disponible, ya sea por agentes físicos, en los que el recurso se encuentra limitado por su disponibilidad, o por agentes económicos, donde el abastecimiento es inadecuado por falta de infraestructura, financiamiento o limitaciones técnicas, provocando una mala gestión (Gutiérrez Vázquez, 2017), aunque también puede ser provocada por una falta de incumplimiento institucional, por una parte proporcionando un recurso poco confiable, no seguro ni equitativo, y por otra, no teniendo un marco jurídico y normativo adecuado.

Una manera para medir la escasez es mediante la propuesta de Falkenmark y Widstrand, en 1992, estableciendo parámetros en el agua renovable per cápita al año. Siendo el agua renovable, la cantidad máxima que es factible explotar anualmente sin alterar el ecosistema y que se renueva por medio de la lluvia (CONAGUA, 2016).

Falkenmark considera que una región o país tiene estrés hídrico regular cuando el suministro renovable se encuentra por debajo de los 1,700 m<sup>3</sup> per cápita al año, ahora bien, si el recurso se encuentra a menos de 1,000 m<sup>3</sup> per cápita al año se tiene una escasez de agua crónica, y la escasez absoluta se presenta a menos de 500 m<sup>3</sup> per cápita al año (WWAP, 2016).

ONU-Agua (2017) indica que no existe como tal una escasez de agua mundial, solo hay regiones donde se tienen problemas de agua. Se debe de tratar al agua como una fuente escasa y no como un recurso renovable, considerando que puede ser de difícil acceso en algunas ocasiones. En la gestión de la demanda deben de considerarse a todos los usuarios, por ejemplo, el medio ambiente. Se debe de administrar el recurso para incluir a la conservación de los ecosistemas. Estos entornos ayudan a reducir los efectos de las inundaciones y sequias, igualmente contribuyen al tratamiento de las aguas residuales, proporcionando agua de calidad para consumo humano y para nuestras demás actividades. Los ecosistemas están siendo reconocidos como una parte del desarrollo, obteniendo beneficios económicos y sociales (ONU-Agua, 2017).

Una de las maneras de realizar un desarrollo sostenible, es implementando los Pagos por Servicios Ambientales (PSA), funcionan particularmente bien para la población de bajos ingresos. A las personas se les ofrece la oportunidad de crear un nuevo tipo de modelo empresarial, teniendo mejores ingresos, mientras se está protegiendo, restaurando y conservando los ecosistemas (WWAP, 2016).

Una situación que hay que tener muy en cuenta, es el crecimiento poblacional. Se ha observado que desde a mediados del siglo XX hasta la fecha, el consumo de agua se ha triplicado. Es un hecho que la demanda de agua dulce seguirá incrementando debido al aumento en la población, y más en zonas urbanas, donde el desarrollo en la infraestructura de abastecimiento de agua y saneamiento no han podido seguir el ritmo de este fenómeno. De acuerdo con estudios de la ONU-Agua (2017), actualmente 156 millones de personas que viven en zonas urbanas, no cuentan con un servicio de agua mejorado y alrededor de 700 millones de personas viven sin un servicio de saneamiento mejorado, provocando malas condiciones de salud.

El alto consumo en las ciudades puede influir en la escasez del agua, sin embargo, expertos afirman que esta situación se puede remediar por una infraestructura de almacenamiento (WWAP, 2016), a pesar de ello, proporcionar una estructura para mantener los altos consumos, no es lo más viable. No se soluciona el problema de desperdiciar el agua ni de sobreexplotar las fuentes.

Para reducir el consumo de agua potable se están utilizando diversas fuentes de agua, incluyendo las aguas pluviales y reúso de aguas residuales, dando el tratamiento necesario, sin llegar a un nivel de potabilidad, utilizando el recurso en diferentes actividades. Claro que estas fuentes no convencionales, funcionan bastante bien tanto en zonas urbanas como en zonas rurales.

Estudios muestran que, dependiendo de la disponibilidad de agua de agua dulce se establece un límite en la cantidad de personas que puedan vivir en una zona, también influye en su nivel de vida (Anaya Garduño, 2011). El problema surge cuando la mancha urbana supera el límite de población. Se tiene que proporcionar agua a los nuevos ciudadanos, reduciendo la disponibilidad del recurso e influyendo en la calidad de vida tanto en los habitantes nuevos como en los que ya estaban establecidos.

En la actualidad la humanidad sufre de escasez de agua, es un problema que afecta a más de un 40% de la población mundial y se prevé que aumente. Se estima que 783 millones de personas no tienen acceso a agua limpia y que más de 1,700 millones viven actualmente en cuencas de ríos en las que el uso del agua supera su recarga. Al menos 1,800 millones de persona en todo el mundo beben agua contaminada con residuos fecales. La diarrea infantil, asociada a la escasez de agua, saneamientos inadecuados, aguas contaminadas con agente patógenos de enfermedades infecciosas y falta de higiene, causa la muerte a 1,5 millones de niños al año (ONU, 2017).

Tan solo en América Latina y el Caribe, 90 millones de personas no cuentan con un suministro de agua, de las cuales 15 millones corresponden a México, señaló el Dr. Anaya Garduño (Imagen Agropecuaria, 2016).

De los 32 acuíferos más grandes del mundo, 21 son gravemente sobreexplotados, y se extrae entre 1 y 2% más agua, al año (WWAP, 2016).

La sobreexplotación de las fuentes de agua se está presentando con mayor frecuencia, muchas veces no se entienden las consecuencias de estos actos, esto podría provocar una escasez absoluta de agua en un futuro. Se prevé que en el año 2025, aproximadamente 48 países se verán afectados por la escasez de agua (Anaya Garduño, 2011) y no solo se presentará esta situación sino también un aumento en la demanda de agua hasta en un 55% (WWAP, 2016).

Con la escasez se presentan varios problemas y una manera de contrarrestar esta situación es la inversión del sector privado para tener una innovación eficiente del agua. A nivel mundial para costear la brecha entre la oferta y la demanda, se necesitan aproximadamente 60 mil millones de dólares al año durante los 20 años siguientes, dice Boccaletti (como se citó en WWAP, 2016) que con el sector privado se puede financiar cerca de la mitad y tener buenos resultados en 3 años.

La escasez de agua se está haciendo presente en más lugares del mundo y de una forma más grave. Se debe de encontrar la forma de atenuar para luego contrarrestar este caso.

### **El cambio climático**

Además de la escasez de agua, otro problema que se aprecia es el cambio climático. El medio ambiente siempre está en constante cambio por tratar de encontrar un balance. Se ha enseñado que el agua es un recurso renovable, sin embargo, se ha visto que no funciona de esta manera, cada vez el agua disponible es menor a causa de que el ser humano ha estado contaminando y sobreexplotando las fuentes. Dado que el agua se encuentra en un ciclo, no utilizarla de manera racional significa tener problemas en otras partes del ciclo, ya sea en la actualidad o en el futuro (FAO, 2013). Unos ejemplos son, la contaminación de fuentes de agua, la mayoría de las veces se desechan las aguas residuales a los cuerpos de agua sin un tratamiento previo, y la sobreexplotación de mantos acuíferos, seguir con estas actividades causará un cambio en el entorno.

El cambio climático se debe principalmente a la actividad humana. Se provocan incendios, se contamina el aire por parte de las industrias y las ciudades, los bosques y selvas son talados, etcétera. Todas estas actividades influyen a que la temperatura del planeta aumente y con ello una cadena de efectos que son resentidos por todos los seres vivos.

Existe un problema que hay que tener en cuenta y que se presenta en varios países. Se ha observado que, en las zonas de tala, las lluvias son cada vez más irregulares además de que han ido disminuyendo las precipitaciones, pero más intensas (Anaya Garduño, 2011).

Cada vez se percata que las lluvias son más intensas, se presentan inundaciones mayores y con más frecuencia, las cuales afectan en gran medida a la población, destruyendo las instalaciones de agua y de saneamiento, además de contaminar las fuentes de agua. A parte de las inundaciones, se hacen presentes desastres como deslizamientos, tsunamis, olas de calor, olas de frío, sequías y brotes de enfermedades transmitidas por el agua, en cualquier caso, el agua se manifiesta de diferente manera. Se predice que las temperaturas en el planeta aumentarán y las lluvias sean más variables, reduciendo el rendimiento de los cultivos en muchas regiones tropicales en desarrollo (ONU-Agua, 2017).

Por lo anterior, se aprecia que la mayoría de los desastres naturales están relacionados con el agua. Se hacen más presentes las inundaciones y las sequias, tanto, que en un año se pueden morir millones de animales y perderse el 25% de la superficie sembrada. Se han perdido 446 millones de dólares en todo el mundo, entre 1993 y 2001, a causa de los desastres relacionados con el agua, esto representa un 65% del total de las afectaciones por desastres naturales. Entre los años 2000 a 2004, tuvieron lugar 1,942 desastres relacionados con el agua, matando a 247,045 personas y afectando a más de 1,500 millones de personas. De acuerdo con los estudios, las inundaciones son los desastres naturales con efectos más devastadores (Anaya Garduño, 2011).

Estos desastres siempre tendrán un impacto directo e indirecto en la población, la economía y el mismo medio ambiente. La ONU-Agua (2017) indica, el coste económico a causa de desastres y el aumento del número de estos, debe ser un incentivo suficiente para que los gobiernos y las organizaciones presten más atención e inviertan en prevención, preparación y se aborden las causas de vulnerabilidad.

Aproximadamente 2 mil millones de personas sufrieron las consecuencias de desastres naturales en la última década del siglo XX, las sequias y las inundaciones representaron el 86% (Anaya Garduño, 2008).

Existe una franja de bosque tropical seco, conocida como Corredor Seco Centroamericano, que va desde la costa pacífica de Chiapas, recorriendo el oeste de Costa Rica hasta algunas provincias de Panamá. Esta zona es afectada por el fenómeno conocido como el Niño, presentándose periodos largos de sequias y altas temperaturas. Por el contrario, cuando es la época de lluvias, estas son de gran intensidad, llegando a ser tormentas tropicales. En Centroamérica hay 1.9 millones de pequeños productores de

semillas básicas, más de la mitad se encuentran en el corredor seco, viéndose afectados por las inclemencias de la región sin poder hacer frente a la situación (FAO, 2017).

Debido al cambio climático, se pueden presentar inclemencias con mayor frecuencia, más intensas y causando mayores destrozos. Se van a alterar los flujos de corriente, la calidad del agua, cambiar patrones espaciales y temporales de las precipitaciones. Además, estudios demuestran que por cada un grado que aumente la temperatura mundial, el 7% de la población estará expuesta a una disminución del 20% en los recursos hídricos renovables, de acuerdo con Döll y Schewe (como se citó en WWAP, 2016).

La demanda de agua y la escasez no son los únicos factores que disminuyen la disponibilidad del recurso, sino también por un factor que incide en todo el mundo, el cambio climático. Por esa razón las naciones deben de trabajar en conjunto y empezar a realizar acciones, no nada más para hacer frente a esta problemática de gran escala, sino para contrarrestar sus efectos, por el bien de todo el planeta.

Se ha observado que los Sistemas de Captación de Agua de Lluvia, permiten mitigar los efectos de la desertificación y del cambio climático, además de ser una opción de autosuficiencia en agua, alimentación y mejoramiento del entorno ecológico (Anaya Garduño, 2011).

### **Algunas soluciones por organizaciones internacionales**

Por los problemas que se están viviendo en el mundo, la ONU en 2015, propuso 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible para transformar nuestro planeta, tomando en cuenta los derechos humanos y mejorando la calidad del planeta. El objetivo número 6 (ONU, 2017) indica, el acceso al agua y el saneamiento es una prioridad porque está vinculado con la salud, la seguridad alimentaria, el cambio climático y la resiliencia a los desastres. Este objetivo se subdivide en las siguientes metas: mejorar la calidad y el uso eficiente del agua; proteger los ecosistemas relacionados con este recurso; ampliar la cooperación internacional y el apoyo para fortalecer la capacidad de los países en desarrollo de llevar a cabo programas y actividades relacionadas con el agua y el saneamiento, como la captación del agua de lluvia, la desalinización, mejora de la eficiencia en el uso y las tecnologías de tratamiento, reciclaje y reutilización de aguas residuales.

La ONU publicó la "Nueva Agenda Urbana" (2017) a partir de una reunión de líderes mundiales en el 2016, siendo una guía para el desarrollo urbano sostenible y el cumplimiento de los 17 objetivos. Ayuda a planificar, diseñar, financiar, administrar y gestionar a las ciudades, ya sea en países desarrollados o en desarrollo, de manera sostenible y resiliente, gestionando el espacio urbano, con el apoyo de una estructura de gobernanza estableciendo un marco normativo de apoyo. Todo lo anterior para brindar una mejor calidad de vida e igualdad en derechos y oportunidades, teniendo una inclusión social, tanto en las generaciones presentes como en las futuras. La urbanización puede ser un instrumento poderoso para el desarrollo sostenible si es bien gestionada, por el contrario, las múltiples formas de pobreza, las desigualdades crecientes y la degradación ambiental, la obstaculizan.

En la actualidad, en zonas urbanas, siempre se ha presentado un mal uso y manejo del agua. Muchas veces, cuando existe abundancia en el recurso hídrico, se hace fácil desperdiciarla, es necesario que se genere una conciencia de buen uso del agua. La FAO (2013) propone una lista de acciones o estrategias para un "uso racional, optimizado y responsable":

- Utilización del volumen mínimo necesario para satisfacer las diferentes necesidades, sin desperdicio.
- Desarrollo de sistemas productivos con especies de plantas y animales que necesitan menos agua o que presentan mayor eficiencia en su utilización.
- Observar una escala de prioridad de uso y priorizar actividades de beneficio colectivo, más que de beneficio individual.
- Uso múltiple del agua: utilizar el mismo volumen de agua para obtener beneficios en dos o más actividades.
- Evitar la contaminación en su utilización y entregar el agua residual con igual o mejor calidad que el agua recibida.
- Prevención y control de excedentes hídricos que causan daños a los sistemas productivos y a la vida, como la erosión hídrica y las inundaciones.
- Captación y aprovechamiento del agua disponible en los volúmenes que satisfagan las necesidades, posibilitando que los excedentes estén disponibles para otros usuarios.
- Compartir el agua disponible.
- Respetar la legislación que regula el uso del agua en cada provincia, país o región.
- Mantener grifos, cañería y estructuras de almacenamiento sin fugas.
- Mantener cubiertas las estructuras de almacenamiento.
- Utilizar en la vivienda pisos impermeables de fácil limpieza.
- Economía en el baño.
- Economía en la descarga del inodoro.

Es necesario que el gobierno y las instituciones apoyen en estudios, investigación, tecnología e infraestructura de captación y aprovechamiento de agua de lluvia para mejorar la calidad de vida de las personas y el medio ambiente, no se debe de ver como un gasto sino como una inversión que aportará ganancias económicas, sociales y ambientales. El Dr. Anaya Garduño (2011) indicó, que la FAO está interesada en capacitar a más especialistas en el tema de captación de agua pluvial para obtener más conocimiento, tecnología y ser capaces de abastecer a toda la población que le falte agua potable.

De acuerdo con los estudios de la ONU (2017) muestran que cada dólar invertido para solucionar problemas de falta de agua y saneamiento se traduce en un beneficio de 9. Ese retorno de la inversión beneficia específicamente a niños pobres y comunidades desfavorecidas que más lo necesitan.

La ONU (2017), hace énfasis en garantizar que todos tengan acceso a fuentes sostenibles de agua y saneamiento, ya que es una estrategia de mitigación del cambio climático y frenar la escasez de agua.

La Alianza Mundial de la Juventud y las Naciones Unidas, YUNGA por sus siglas en inglés, ha elaborado una serie de documentos conocidos como la serie de insignias de las naciones unidas. Estas insignias pretenden educar, concientizar y motivar a los niños y jóvenes para que sean agentes de cambio, presentándoles tanto información como diferentes actividades sobre temas relevantes con el medio ambiente y la importancia de su participación. Las insignias son: agricultura, biodiversidad, seguridad alimentaria, cambio climático, acabar con el hambre, energía, bosques, género, gobernanza, nutrición, el océano, suelos y agua. Los documentos van enfocados a maestros y líderes juveniles para que transmitan los conocimientos a los menores, y pueden ser adaptados para ser usados con los adultos.

Varios países se reúnen para tratar diferentes temas de importancia en el mundo y el cambio climático ha sido un asunto que debatir. La mayoría de los países se han comprometido en realizar acciones para mejorar la situación que se vive en el mundo. Apoyados por instituciones internacionales, se ha comenzado a actuar, en algunas naciones más rápido que otras. Es importante tener en cuenta que la humanidad se encuentra en esta situación debido a sus acciones y que no solo por dañar una cierta zona del país donde vive no afectará al resto del mundo. Todo está relacionado y todo lo que se haga va a influir en lo demás, al seguir dañando el medio ambiente la misma población será afectada de igual manera, por el contrario, al comenzar a cuidar y conservar los recursos naturales, se tendrá un medio del cual subsistir y una mejor calidad de vida.

## II. Estado del arte de los sistemas de captación de agua de lluvia

A lo largo del tiempo y en cada lugar del mundo, el ser humano ha estado haciendo uso del agua de lluvia para satisfacer sus necesidades. Tal es el caso de Mesopotamia, donde se tienen registros que hacían uso de sistemas de captación de agua de lluvia hace más de 5000 años. A continuación, se presentan algunos lugares donde se han implementado estos sistemas.

### África

El segundo continente más grande, sin embargo, es donde se presenta la mayor escasez de agua y una economía baja. En este continente, tan solo el 64% de la población cuenta con un sistema de abastecimiento de agua potable (Anaya Garduño, 2011).

Por la pobreza en que se encuentra el país y la poca cantidad de agua disponible es en extremo difícil construir un sistema de abastecimiento de agua potable. Por tal motivo en varios países se han implementado los sistemas de captación de agua de lluvia, sin embargo, la mayoría de los casos son rústicos, por la difícil disponibilidad y el alto precio de los materiales como el cemento y el producto pétreo. Estos sistemas no llegan a ser tan eficientes y no tienen algún tipo de tratamiento (Ballén Suárez, Galarza García, & Ortiz Mosquera, 2006).

Ante la problemática, varias organizaciones africanas y la Development Technology Unit, de Inglaterra, desarrollaron un proyecto llamado "Sistemas de Aprovechamiento de Agua Lluvia de Muy Bajo Costo", tratando de implementar sistemas con un precio no mayor a los 120 dólares y aprovechando los materiales que se encuentran en la zona (Ballén Suárez, Galarza García, & Ortiz Mosquera, 2006).

### Kenia

Se construyeron diferentes sistemas de captación de agua de lluvia para uso doméstico, con una estructura sencilla, captando el agua en techos, conduciéndola por tuberías a una cisterna (Anaya Garduño, 2011).

Se ha visto que estos sistemas han sido una buena estrategia para enfrentar el problema de la escasez de agua en este tipo de regiones. Se han propuesto varios proyectos para diferentes comunidades, usando diseños indígenas, buscando apoyo de los constructores locales, los "fundis". La construcción la realizan los beneficiarios (Anaya Garduño, 2011).

Los materiales para la construcción de los sistemas son de fácil acceso y de bajo costo, el único material de precio elevado es el cemento. Ya se han construido millones de cisternas con capacidades entre 10 y 13 m<sup>3</sup>, todas estas para uso doméstico, el costo ronda los 1000 dólares por cada una. La desventaja de estos sistemas es el tratamiento del agua, solamente la cloran o la hierven antes de consumirla (Anaya Garduño, 2011).

### Zimbabue

Hace pocos años, se presentó una fuerte sequía en la ciudad de Bulawayo, racionalizando fuertemente el agua para la población. A partir de ese evento, se comenzó a recolectar el agua pluvial en los techos, principalmente en las escuelas y clínicas. Los

estudios realizados por los expertos indican que, en este país, un techo de 100 m<sup>2</sup> podría recolectar hasta 36,000 litros de agua, con una precipitación anual de 600 mm. Esta cantidad de agua supera a lo utilizado en una familia de 5 personas, con un consumo de 10 litros por habitante al día (Anaya Garduño, 2011).

Mientras tanto, los pobladores han utilizado una técnica keniana, elaborando canaletas en el suelo, de 50 a 60 cm de profundidad. El agua que es conducida por las canaletas es llevada a los cultivos para ser regados y la restante pasa a ser almacenada. Es importante mencionar que gran parte del agua captada se utiliza en la agricultura, porque es considerada como su principal fuente de ingresos (Soluciones Hidropluviales, s.f.).

### Uganda

La principal actividad de este país es la agricultura de granos y forrajes, además de la ganadería. Utilizan los sistemas de captación de agua de lluvia para consumo humano, producir su siembra y para mantener al ganado. Se ocupan sistemas rudimentarios de captación por techos (Anaya Garduño, 2011).

### Sudán

Se utilizan, de igual manera, la captación de agua de lluvia en techos, conduciendo el agua a una cisterna de ferrocemento. El agua la utilizan para uso doméstico y producción agrícola (Anaya Garduño, 2011).

### Asia

Por lo menos en 12 países de este continente, las fuentes subterráneas de agua se encuentran contaminadas por arsénico. Estudios realizados a la calidad de agua, muestran que la mayoría tienen concentraciones superiores a 0.05 mg/l. Cuando se consume agua con esta concentración 1 de cada 100 personas se enferman de cáncer asociado al arsénico. En los niños es un problema más grave porque no desarrollan de manera adecuada su sistema cognitivo y empiezan a padecer de efectos perjudiciales en su salud. Más preocupante aún, se han encontrado fuentes con concentraciones mayores a 0.5 mg/l, esto aumenta en un 10% los casos de cáncer en las personas (Anaya Garduño, 2011).

Por lo menos 50 millones de personas están expuestas a niveles que rebasan 50 µg/l. Se han encontrado 200,000 personas con arsenicismo, provocándoles discapacidad, reduciendo su productividad y llegando a la muerte, esta enfermedad no tiene cura (Anaya Garduño, 2011).

### Israel

En el desierto de Néguev se descubrieron sistemas de captación pluvial hace más de 4,000 años. Desmontaban lomeríos para mejorar el escurrimiento del agua, llevándola a los terrenos de cultivo por gravedad (Ballén Suárez, Galarza García, & Ortiz Mosquera, 2006).

## Yemen

Se encuentran varios templos y sitios de oración, construidos antes del año 1000 a.C., donde se utilizaba la captación de agua pluvial, ocupando los patios, terrazas y cisternas a cielo abierto para captar y almacenar el agua (Ballén Suárez, Galarza García, & Ortiz Mosquera, 2006).

## Bangladesh

En este país se han encontrado fuentes contaminadas por el arsénico, por tal motivo comenzaron a recolectar agua de lluvia, que presenta una mejor calidad (Anaya Garduño, 2011).

Se han instalado aproximadamente 1,000 sistemas de captación de agua de lluvia, principalmente en zonas rurales. Los almacenamientos de los sistemas tienen capacidades entre 500 a 3,200 litros. El agua se puede utilizar para consumo humano, es por ese motivo que los sistemas han sido ampliamente aceptados por las personas, al tener una fuente segura de agua. También se comienzan a utilizar los sistemas de captación en zonas urbanas, para uso doméstico (Soluciones Hidropluviales, s.f.).

## India

Este país es afectado por sequías. Cuando se presentan las lluvias, el 43% del agua de lluvia se evapora totalmente, sin llegar a ríos o acuíferos. Hay 19 ciudades que están enfrentando escasez de agua y se prevé que el país se encuentre en una situación más grave de tensión hídrica en el 2025 (Anaya Garduño, 2011). Hace algunos años, las ciudades no se encontraban en esta circunstancia, tenían varios cuerpos de agua de donde abastecerse, hoy en día gran parte de estas fuentes han desaparecido (Soluciones Hidropluviales, s.f.).

La cantidad y distribución de las lluvias en el país, es muy variable, van de los 100 mm hasta los 2,500 mm anuales. También se presenta, cada año, un diluvio breve con duración de 100 horas aproximadamente. Cuando ocurre este fenómeno se trata de aprovechar gran parte del agua para tenerla almacenada y utilizarla en lo que resta del año (Soluciones Hidropluviales, s.f.).

La recolección del agua de lluvia en India se ha dado desde la antigüedad. A la persona encargada de recolectar el agua y desarrollar las técnicas e ideas para la captación, se le daba el nombre de "Pallar". Estas personas adquirían el conocimiento a través de la experiencia y de forma hereditaria (Anaya Garduño, 2011).

Se han elaborado grandes programas de sistemas de captación de lluvia para enfrentar el problema y se busca fomentar el uso de estos. Se utiliza el 50% de los fondos para el desarrollo de estos sistemas en zonas rurales, sin embargo, no se le da un tratamiento adecuado al agua por lo que llega repercutir en la salud de las personas (Anaya Garduño, 2011).

Chennai es una ciudad importante de la India, que de igual manera tiene un problema hídrico, se encuentra en escasez crónica. Para mejorar la situación, se han dado

mantenimiento a los sistemas tradicionales de captación de agua de lluvia, principalmente a depósitos, estanques y lagos, también se han equipado 400 edificios para la captación y tratamiento del agua de lluvia, así como a 216 escuelas y 56 parques.

El agua que es captada en la azotea se conduce a una cámara de decantación y es dividida en diversos sedimentadores, terminando en una filtración. Estos sistemas cuestan alrededor de 14,700 dólares. Los usuarios se encargan del mantenimiento de estos sistemas. En esta ciudad y en Delhi, es obligatoria la implementación de sistemas de captación de agua de lluvia (Anaya Garduño, 2011).

Para impulsar el aprovechamiento de agua pluvial en Bangalore, se disminuyen los impuestos a las personas que implementen sistemas de captación pluvial en sus hogares. De acuerdo con estudios de las autoridades locales, se tendría un suministro de agua para 6 meses si se implementan estos sistemas (Soluciones Hidropluviales, s.f.).

En Delhi se han estado dando apoyos económicos y soporte técnico para las personas o empresas que quieran instalar sistemas de captación de agua de lluvia. Se exige que los edificios gubernamentales cuenten con estos sistemas (Soluciones Hidropluviales, s.f.).

En 2002, en Mumbai, se aprobaron leyes para que fuera obligatorio el uso de sistemas de captación pluvial en las construcciones nuevas con área mayor a 1,000 m<sup>2</sup>. No se han llegado a cumplir las normas de construcción por falta de monitoreo (Soluciones Hidropluviales, s.f.).

### **Singapur**

En 1986, se reconoció que el país se enfrentaba a problemas de escasez de agua, desde ese entonces se comenzaron a implementar los sistemas de captación de agua de lluvia. Es importante mencionar que gran parte de la población, el 86%, habita en edificios altos. Por tal motivo se utilizan los techos de los edificios para captar el agua, de igual manera se aprovecha del área del aeropuerto y sus pistas, los techos y estacionamientos de los complejos industriales e instituciones educativas. El agua captada y almacenada se utiliza para usos no potables. Hay que resaltar que la mayor parte del agua captada se realiza en zonas urbanas, por lo que el país tiene un enorme control sobre la contaminación en las ciudades (Soluciones Hidropluviales, s.f.).

Se instalaron sistemas de captación en el techo del aeropuerto de Changi, también en las pistas y en áreas verdes. El agua captada se almacena en depósitos para luego ser utilizada en caso de incendios y descargas sanitarias. Se ha reducido el uso de agua potable entre 28% y 33%, generando un ahorro de 390,000 dólares de Singapur (Soluciones Hidropluviales, s.f.).

El agua captada en edificios altos se almacena en 2 tanques de almacenamiento para luego ser usada en sanitarios. Estudios demuestran que la calidad del agua es aceptable en cuanto a color, turbidez y contenido bacteriológico, por el contrario, los sólidos totales y la cantidad de sulfuro eran altos. Utilizando estos sistemas se han obtenido ahorros del 13.7% en el agua (Soluciones Hidropluviales, s.f.).

En zonas residenciales urbanas, se han utilizado sistemas similares. Se han adaptado 742 hectáreas para la captación. El agua almacenada se utiliza para usos no potables, como en los casos anteriores. Cuentan con un sistema de cómputo que mide la cantidad de agua almacenada y cuando el contenedor se encuentra vacío, abre el suministro público, conectándolo al sistema para seguir proporcionando el recurso a las actividades a realizar (Anaya Garduño, 2011).

### China

Este país tiene un problema ambiental grave. Las industrias desechan agua residual a los ríos, disminuyendo su calidad para que pueda ser aprovechada para consumo humano o para pesca. Dos terceras partes del agua, que fluye en ciudades, se encuentran contaminadas y lo peor es que la población bebe de esas fuentes (Anaya Garduño, 2011).

La población de Loess de Gansu es una de las áreas más pobres de China. Presenta una escasez de agua al no haber suficientes fuentes superficiales o las familias se encontraban muy alejadas de estas. Desde hace más de 2,000 años, se recolectaba el agua de lluvia en pozos y jarrones, sin embargo, el suministro no era suficiente (Ballén Suárez, Galarza García, & Ortiz Mosquera, 2006). Ante estos problemas el gobierno implemento el proyecto “121”, el cual les otorgaba un apoyo económico a las familias para que pudieran construir un sistema de captación de agua de lluvia. Estos sistemas utilizaban un área de captación en un terreno cercano y el agua recolectada se mandaba a dos cisternas. Este proyecto también los apoya para construir un terreno de cultivo. La calidad del agua recolectada es buena e incluso sirve para consumo humano si es hervida. El Proyecto ha beneficiado a 1.2 millones de personas, suministrándoles 10 l/día/año y mantener a 1.18 millones de cabezas de ganado con una porción de 30 l/día/año (Anaya Garduño, 2011).

### Japón

La población del país tiene algunas problemáticas con la disponibilidad de agua. En Tokio se implementaron los sistemas de captación de agua de lluvia llamados “Ronjinson” en la ciudad de Sumida y en el distrito de Mukojim, estos fueron construidos por los residentes. Estos sistemas pueden ser a nivel de comunidad y captan el agua en techos para después ser mandada a un pozo subterráneo. Un punto particular de estos sistemas es que utilizan una bomba manual para disponer del recurso. El agua almacenada es utilizada para diferentes usos como riego de jardines, aseo de fachadas, combatir incendios, consumo en situaciones de emergencia, mitigar la escasez de agua y controlar inundaciones (Anaya Garduño, 2011).

También se promueve la utilización de estos sistemas en las demás partes de Tokio, principalmente en las ciudades. Actualmente existen alrededor de 750 edificios públicos y privados que aprovechan el agua de lluvia (Anaya Garduño, 2011).

Se construyó un sistema urbano a gran escala para la retención y almacenamiento de agua pluvial. Se acoplaron varias superficies para que se inundaran en épocas de lluvias y evitar inundaciones y desbordamientos (Soluciones Hidropluviales, s.f.).

## Tailandia

La mayoría de la población vive en zonas rurales, por lo que difícilmente cuentan con un sistema de abastecimiento de agua potable. Obtienen el agua de fuentes que muchas veces no tienen buena calidad y es un problema para su salud (Anaya Garduño, 2011).

Para solucionar su problema del agua, se han construido más de 10 millones de cisternas para la captación de agua de lluvia, con capacidades entre 1,000 y 3,000 litros. Ocupan arcilla para la construcción de las cisternas, por ser un material que se encuentra en la zona, es fácil de manejar y económico. Con estos sistemas han obtenido agua de mejor calidad suficiente para seis personas durante seis meses (Anaya Garduño, 2011).

## Oceanía

### Australia

Existen dos problemas importantes en este país. El primero, gran parte de Australia presenta sequías y el segundo, varias de las comunidades rurales se encuentran dispersas, dificultando la instalación de tuberías para el suministro del agua, por el costo elevado de las mismas al recorrer varios kilómetros (Anaya Garduño, 2011).

Como primera medida han limitado el uso del agua en ciudades para regar jardines y lavar coches. En la actualidad se ha visto a la captación y aprovechamiento de agua pluvial como una solución a la mano, tanto para suministrar agua a las zonas rurales como a las urbanas (Anaya Garduño, 2011).

En la comunidad de Orange, se implementó el primer sistema de captación de agua de lluvia, a nivel familiar, como medida de emergencia para hacer frente a las sequías. Se vio que estos sistemas son una solución adecuada ante los problemas presentes en el país, por lo que se empezaron a implementar estos sistemas en la mayoría de los hogares. Los sistemas captan agua en los techos y es conducida a una cisterna (Anaya Garduño, 2011).

Se ha incentivado a la población para utilizar estos sistemas, dando apoyos económicos gubernamentales para su elaboración. No solo eso, desde 2005 en varios estados, la captación de agua pluvial se ha hecho obligatoria para las nuevas construcciones, almacenando el agua en tanques para ser utilizada en sanitarios, también se emplean sistemas ahorradores de agua (Soluciones Hidropluviales, s.f.).

En Sídney y Nueva Gales del Sur, proponen utilizar sistemas de ahorro y captadores de agua de lluvia con base en las regulaciones del Índice de Construcciones y Sustentabilidad (BASIX por sus siglas en inglés), reduciendo en un 40% la demanda de agua, utilizándola en sanitarios y para lavado de ropa. Cabe mencionar que estos sistemas se instalaron en la Villa Olímpica de los juegos de Sídney 2000 (Soluciones Hidropluviales, s.f.).

En la ciudad de Gold Coast se exige el uso de tanques de por lo menos 3,000 litros para almacenar agua pluvial y ser conectada a lavadoras de ropa y llaves externas, tanto en

casa como en negocios. En el estado de Queensland, el gobierno ofrece un descuento en los impuestos de 1,500 dólares para las personas que instalen estos sistemas en sus casas (Soluciones Hidropluviales, s.f.).

## Europa

Es el continente donde la captación y aprovechamiento del agua pluvial se utiliza frecuentemente y se ha desarrollado la mayor parte de la tecnología para estos sistemas. Por el momento se interesan en proporcionar de sistemas de captación de agua de lluvia a los países del este, principalmente porque la Unión Europea les ha exigido alcanzar cierto nivel de tecnología y condiciones medio ambientales (Soluciones Hidropluviales, s.f.).

## Grecia

Se han encontrado vestigios de captación de agua pluvial en el palacio de Knossos, Creta, que datan del año 1700 a.C. Entre las grandes habitaciones se formaban claros, donde entraba la luz y se utilizaban para captar el agua de lluvia, que era conducida a pequeñas cisternas. Se encontraron algunas cisternas de hasta 8 m de profundidad. En la habitación del trono se encontraba un hueco en el techo que permitía la entrada de agua de lluvia a un pequeño estanque, se cree que el agua se utilizaba para rituales, pero principalmente para refrescar el ambiente de la sala. El agua también se almacenaba en piscinas, esto servía para suministrar el recurso para usos domésticos y como un sistema de aire acondicionado (United Nations Environment Programme, 1983).

## Italia

En los siglos III y IV a.C., las viviendas unifamiliares, llamadas "Domus", que se encontraban en la ciudad de Roma, contaban con un atrio en el cual se construía una pequeña cisterna, conocida como "impluvium", que almacenaba el agua de lluvia. Se utilizaban los techos para la captación pluvial y el agua entraba por un orificio en el techo del atrio, el "compluvium", llegando directamente al impluvium (Ballén Suárez, Galarza García, & Ortiz Mosquera, 2006). Los romanos se basaron en los sistemas de captación de Creta, utilizando de igual manera, piscinas para suministrar un consumo doméstico y proporcionar un sistema de aire acondicionado (United Nations Environment Programme, 1983).

## Hungría

En los años 305 a 311 d.C., se utilizaron sistemas de captación y aprovechamiento de agua de lluvia, utilizando los techos y los patios de las casas como áreas de captación. Se diseñaban las casas-habitación tomando en cuenta estos sistemas, incluyendo una cisterna de almacenamiento, el agua era para uso doméstico (United Nations Environment Programme, 1983).

## España

Aproximadamente en el año 1238 d.C., se terminó de construir el palacio de Alhambra, Granada, como residencia real. En esta construcción se colocó un sistema de captación de agua de lluvia principalmente para generar un sistema de aire acondicionado, a partir

de utilizar el agua en piscinas y fuentes dentro del palacio (United Nations Environment Programme, 1983).

### Alemania

Es el país que ha tenido un mayor desarrollo y tecnología en captación de agua de lluvia. Se han llevado a cabo grandes proyectos en los que se han visto beneficios al implementar los sistemas. Se tiene un gran interés en la aplicación de sistemas en las casas a nivel de gobierno local, en zonas urbanas. Debido a lo anterior, el agua captada solo se utiliza para actividades que no requieran de agua potable (Soluciones Hidropluviales, s.f.).

El gobierno proporciona apoyos y subsidios a las personas que quieran instalar un sistema de aprovechamiento de agua de lluvia en su casa. Cabe mencionar que el gobierno cobra un impuesto a las propiedades que descargan agua pluvial en el drenaje local. Sin embargo, este impuesto se elimina para las personas que aprovechen el agua de lluvia. Todo esto para incentivar a las personas a que utilicen los sistemas de cosecha pluvial (Soluciones Hidropluviales, s.f.).

En Berlín se han realizado varios proyectos importantes. Uno de estos, que se llevó a cabo a gran escala, fue la instalación de sistemas de captación en la plaza pública Potsdamer Platz, recibiendo el agua de lluvia en los techos de 19 edificios con área de 32,000 m<sup>2</sup>, conduciéndola a un tanque subterráneo de 3,500 m<sup>3</sup>. El agua se utiliza para regar aéreas verdes, descargas sanitarias y para el uso de un estanque artificial. Se obtuvieron otros beneficios como el control de inundaciones, reducción de las descargas de aguas contaminadas a los cauces y mejorar el microclima del lugar (Soluciones Hidropluviales, s.f.).

Se realizó otro proyecto en la calle Luedecke, se instalaron sistemas de captación en los techos de las casas (7,000 m<sup>2</sup> de superficie), de igual manera se captaba el agua en estacionamientos, calles y vías cercanas (4,200 m<sup>2</sup>). Toda el agua se conducía a una cisterna de 160 m<sup>3</sup>, se le da un tratamiento al agua para ser ocupada en sanitarios y riego de áreas verdes. Al utilizar este sistema, se ha ahorrado un 58% del agua potable de la localidad. En un futuro se estima una reducción del uso de agua potable de 2,430 m<sup>3</sup> en un año y no solo eso, al igual que el proyecto anterior, se ha tenido un mejor control de las inundaciones, reducción de descargas residuales y mejor microclima en la localidad (Soluciones Hidropluviales, s.f.).

El impacto de los SCALL ha sido muy grande, tanto que se ha instalado un sistema en el aeropuerto de Frankfurt, utilizando el área de los techos con una superficie de 26,800 m<sup>2</sup> para la captación. Su almacenamiento consta de 6 tanques de 100 m<sup>3</sup> cada uno, ubicados en los sótanos. El agua almacenada se utiliza para sanitarios, riego y limpieza de los sistemas de aire acondicionado (Soluciones Hidropluviales, s.f.).

Se ha visto el interés de implementar los SCALL en las instituciones educativas, tal es el caso de la Universidad Técnica de Darmstadt. Se instaló un gran sistema de recolección de agua de lluvia, ocupando el agua en sanitarios, limpieza y enfriamiento de diferentes

equipos. Con el sistema, solo se ha utilizado agua potable para consumo humano, que representa el 20% del total de agua utilizada (Soluciones Hidropluviales, s.f.).

### **Suiza**

El país no tiene problemas con la distribución o escasez de agua, sin embargo, se ha comprometido con el desarrollo sustentable y manejo responsable de los recursos. Por lo anterior, se ha interesado por el desarrollo e implementación de los sistemas de captación de agua de lluvia (Soluciones Hidropluviales, s.f.).

Actualmente se está realizando un proyecto en la zona residencial de Ringdansen, Norrköping. El agua captada se utilizará en actividades que no necesiten de agua potable, como descargas sanitarias, lavado de ropa y lavado de automóviles. Se realizó un estudio de cuánta agua requerían estas actividades y cuanto será el ahorro utilizando el sistema. Para descargas sanitarias, se utiliza el 20% del agua suministrada, con el sistema se ahorrarían 3,800 m<sup>3</sup> en un mes. En el caso del lavado de ropa, su uso de agua representa el 15%, ahorrándose 3,000 m<sup>3</sup> al mes. Con el lavado de automóviles, se ocupa el 10% de agua, con el sistema se tendría un ahorro de 25 m<sup>3</sup> al mes (Soluciones Hidropluviales, s.f.).

### **Reino Unido**

Se encuentra en estrés hídrico a causa del aumento de la población, la demanda de agua, migración a las ciudades y la repartición urbana desigual. Se está desarrollando un reglamento para reducir el consumo de 150 litros a 80 litros por persona (Soluciones Hidropluviales, s.f.).

Hay gran interés por ocupar los SCALL, esto porque reducirán el consumo de agua potable, disminuirán las inundaciones, controlarían la contaminación a las fuentes de agua y aumentaría las reservas de agua subterránea (Soluciones Hidropluviales, s.f.).

Se creó la Asociación para la cosecha de agua (UKRHA, por sus siglas en inglés). Promoviendo leyes y buscando apoyo del gobierno para implementar y desarrollar tecnología para la captación de agua de lluvia. De igual manera se encargan de supervisar la calidad del agua captada por estos sistemas para que no afecte la salud de las personas (Soluciones Hidropluviales, s.f.).

En 2006 se desarrolló el Código de Hogares Sustentables, buscando reducir el uso de diferentes recursos para satisfacer las necesidades de las familias. En cuanto al agua, se pretende disminuir el consumo de agua potable por persona, construyendo SCALL, y reducir las descargas pluviales al drenaje municipal. A causa de esto, se ha incrementado el mercado de sistemas de captación de agua de lluvia. Las nuevas construcciones de casa-habitación deberán contar con sistemas que reduzcan el uso de recursos y serán valorados con este código (Soluciones Hidropluviales, s.f.).

Se ha implementado el sistema de captación Casas Milenio Verde. Los sistemas se emplean en casas de 4 habitaciones, cuentan con 5 tanques, almacenando agua para 18

días. El área de captación de las casas es de 153 m<sup>2</sup>. El sistema ahorra 50 m<sup>3</sup>/año (Soluciones Hidropluviales, s.f.).

En las Islas Turcas y Caicos (dependientes del Reino Unido, ubicadas al norte de Haití y República Dominicana) han instalado una cantidad importante de sistemas públicos de captación pluvial. De igual forma se ha hecho obligatorio el uso de cisternas en construcciones habitacionales, y deben de tener una capacidad de 400 litros por cada m<sup>2</sup> de techo (Órgano de Difusión del Gobierno de la Ciudad de México, 2018).

## **Norte América**

### **Estados Unidos de América**

Gran parte de la población utiliza sistemas de captación de agua pluvial. Se implementan en 15 estados y son utilizados para uso doméstico, agrícola, comercial o industrial (Anaya Garduño, 2011).

Un punto que destacar es la existencia de más de 50 compañías especializadas en estos sistemas, elaborando su diseño, construcción y mantenimiento (Anaya Garduño, 2011).

En Texas, el promedio del área de los techos de las viviendas es de 200 m<sup>2</sup> y puede llegar almacenar alrededor de 150,000 litros al año con una precipitación media anual de 850 mm. El costo de estos sistemas variaba entre 5,000 y 8,000 dólares, en el 2000, incluyendo el costo de la conducción por canaletas y tuberías, la cisterna, la bomba y el tren de tratamiento (Anaya Garduño, 2011).

### **Islas Vírgenes**

La población tiene un problema con la contaminación de acuíferos a causa de la actividad de la ganadería. Las fuentes subterráneas abastecen el 18% de la demanda de agua (Anaya Garduño, 2011).

En esta región empezaron a utilizar los sistemas de captación de agua pluvial por medio de techos a partir desde que se empezaron a colonizar las islas. Hoy en día, los SCALL abastecen más del 80% de la demanda de agua. Son construidos en hogares, escuelas, restaurantes y hoteles (Anaya Garduño, 2011).

### **Canadá**

Se comenzó una prueba piloto para aprovechar el agua de lluvia y conservar el agua. Se venden barriles de 75 galones a 40 dólares cada uno, para que capten agua proveniente de los techos. El agua se utiliza para actividades domésticas que no requieran agua potable y cubre hasta el 40% del total de la demanda de las viviendas, durante el verano (Anaya Garduño, 2011).

En Riverdale, Toronto, se ubica una casa llamada "Healty House", la construcción reutiliza las aguas residuales y aprovecha el agua pluvial. El agua de lluvia se capta en el techo llevándola a una cisterna, pasando después por un tren de tratamiento y posteriormente distribuyéndola a toda la casa para su uso, ya sea para beber o para usos no potables. La

casa es autosuficiente, no depende del sistema de abastecimiento de agua potable (Ballén Suárez, Galarza García, & Ortiz Mosquera, 2006).

### **América Latina y el Caribe**

Se han estado utilizando sistemas de captación de agua de lluvia desde hace más de tres siglos, principalmente en zonas rurales, para usos domésticos (Anaya Garduño, 2011).

La mayoría de los sistemas ocupan el agua proveniente de techos o pisos y es almacenada en cisternas, también se utilizan presas de tierra, ollas, jagüeyes o aljibes (Anaya Garduño, 2011).

### **Belice**

En la ciudad antigua de Cerros, en el año 200 d.C., se construyeron canales, diques y depósitos para administrar el agua de lluvia, permitiendo tener el recurso en temporadas secas cuando escaseaba el agua potable (Ballén Suárez, Galarza García, & Ortiz Mosquera, 2006).

### **Brasil**

Es un país con regiones semiáridas y temporadas de sequía. Esto es un problema para los habitantes ya que se enfrentan a una escasez de agua. En las zonas rurales se incrementa el problema porque el agua se comparte con el ganado (Anaya Garduño, 2011).

Tradicionalmente se construían pozos en las rocas, excavados a mano, para captar y almacenar el agua de lluvia. Estas técnicas no se daban abasto con el agua que requería la población (Ballén Suárez, Galarza García, & Ortiz Mosquera, 2006).

El gobierno ha elaborado un proyecto, construyendo 12,000 cisternas rurales con capacidad total de 360,000 m<sup>3</sup>, se esperan construir un millón con un costo promedio de 1,000 dólares. Las cisternas reciben agua captada por pequeñas represas. Se han utilizado materiales que se encuentran cerca de las comunidades, que sean de fácil acceso y económicos (Anaya Garduño, 2011).

Dado el impacto que ha tenido el proyecto, se han implementado programas de educación para la captación de agua de lluvia como una forma sostenible de vida, en las regiones semiáridas. También se han creado diferentes organizaciones para combatir la escasez de agua. Se ha empezado a utilizar la idea de captar agua pluvial en zonas urbanas (Anaya Garduño, 2011).

### **Colombia**

En el país se encuentran varias fuentes de agua, principalmente superficiales, donde se obtiene el recurso más que suficiente para suministrar agua a gran parte de la población. No significa que no existan problemas de abastecimiento en algunas comunidades.

En los lugares donde tienen problemas con el abastecimiento de agua, se utilizan los SCALL, muchas veces son poco técnicos, reduciendo la eficiencia del sistema. Estos se encuentran en la comunidad de Bocana, en el distrito de Buenaventura; algunos

asentamientos de la isla de San Andrés; en la vereda Casuarito, Vichada; el barrio el Ponzón de Cartagena; el asentamiento de Altos de Menga, en la ciudad de Cali; entre muchos otros (Ballén Suárez, Galarza García, & Ortiz Mosquera, 2006).

Los sistemas más representativos del país son los siguientes. El almacén de Alkosto (tienda de autoservicio) en Venecia, Bogotá, recibe el agua de lluvia en su cubierta de 6,000 m<sup>2</sup>, aprovechando 4,820 m<sup>3</sup> de agua al año, satisfaciendo el 75% de la demanda del edificio. Otro almacén de Alkosto, pero de Villavicencio, capta el agua en su cubierta de 1,061 m<sup>2</sup> y es almacenada en un tanque de 150 m<sup>3</sup>, pasando posteriormente por un tren de tratamiento. El agua es de calidad potable, satisfaciendo el 100% de la demanda del almacén, durante todo el año. También se construyó un SCALL en el edificio de Postgrados de Ciencias Humanas de la Universidad Nacional, Bogotá. El techo, teniendo una capa protectora de grava, recibe el agua, conduciéndola a un tanque subterráneo. El agua almacenada es bombeada para uso de sanitarios, fuentes y espejos artificiales de agua (Ballén Suárez, Galarza García, & Ortiz Mosquera, 2006).

### **Bolivia**

El municipio de Puerto Mayor de Carabuco, invirtió más de 264,000 bolivianos para el desarrollo productivo de los habitantes, construyéndose 5 cisternas de 52 m<sup>3</sup>, 3 cisternas de 16 m<sup>3</sup> y 18 invernaderos familiares, que aprovechan el recurso pluvial. Estas obras se realizaron con el material proporcionado por el municipio, pero la comunidad se encargó de la construcción, con el apoyo técnico de la FAO (FAO, 2016).

En total se planea construir 63 cisternas, abasteciendo de agua para consumo humano y para la producción, a más de 1,200 habitantes. Se están construyendo a partir de placas prefabricadas de cemento, reduciendo el costo, y se abastecerán con agua de lluvia. Con estos almacenamientos se pretende proporcionar de agua a familias de 5 integrantes, durante seis meses. La capacidad de 16 m<sup>3</sup> se utiliza para consumo familiar, mientras que el de 52 m<sup>3</sup> para uso agrícola, sistemas comunales o escuelas. Se planean construir en total 93 invernaderos comunales y familiares, beneficiando a 700 personas, utilizando el agua pluvial para el riego. La FAO apoya técnicamente para la construcción e implementación. Para llevar a cabo todas las cisternas e invernaderos, se invertirá un aproximado de 836,073 bolivianos (FAO, 2016).

Otro proyecto que se realiza es la "Implementación de Huertos Escolares en Unidades Educativas", en el municipio de Escoma. Nuevamente, se construyen huertos y cisternas de almacenamiento de agua de lluvia, para el riego de las plantas. Con esta acción se mejora la nutrición de los estudiantes y se genera una cultura de aprovechamiento de agua de lluvia (FAO, 2016).

### **Honduras**

Uno de los mayores problemas del país es su situación socioeconómica, esto porque la mayoría de la población vive en pobreza. Lo anterior perjudica al acceso a los servicios de agua y saneamiento, disminuyendo la calidad de vida de las personas (Anaya Garduño, 2011).

En algunos barrios, se encuentran viviendas con sistemas de captación pluvial, sin embargo, la mayoría no cuentan con mantenimiento o limpieza y a pesar de su baja eficiencia, logran mejorar el nivel de vida de las personas. Varios de estos sistemas son elaborados por los mismos habitantes, utilizando materiales reciclados, presentando gran ingenio e iniciativa (Ballén Suárez, Galarza García, & Ortiz Mosquera, 2006).

Se implementó el programa “COSECHA”, en el cual se diseñan y construyen cisternas de almacenamiento de agua, proveniente de los techos. Además, se buscan tecnologías que faciliten la cosecha, el reciclado y rehusó del agua para proteger al cultivo de las temporadas de sequías. Las cisternas se han construido con materiales que se encuentran en la finca o cerca de ella, para elaborar una construcción económica (Anaya Garduño, 2011).

### **Nicaragua**

El problema de la disponibilidad de agua se concentra en zonas rurales, solo el 28% cuenta con servicios de agua. Para hacer frente a este problema, se han elaborado 30 proyectos en conjunto con 24 organizaciones locales. Se construyeron cisternas rectangulares con capacidad de 36 m<sup>3</sup> cada una, techadas con teja de barro (Anaya Garduño, 2011).

Dos importantes proyectos tuvieron lugar en este país, el primero “Captación del agua de lluvia, promoción de salud y reforestación” teniendo una duración de 10 meses, benefició a 2,382 personas. El costo del proyecto fue de 86,301 dólares (Anaya Garduño, 2011).

El segundo proyecto fue el curso-taller “Sistemas de captación del agua de lluvia para consumo humano y uso doméstico”, promueve opciones para resolver la problemática del agua y la contaminación por arsénico (Anaya Garduño, 2011).

### **Guatemala**

Se ha implementado un sistema de captación de agua de lluvia en la aldea El Ingeniero, en el municipio de Chiquimula. Se seleccionó esta aldea porque tiene escasez de agua, no hay suficiente para uso doméstico ni para el procesamiento de su alimento base (Anaya Garduño, 2011).

El sistema capta el agua del techo de tres viviendas, el agua es conducida por canaletas, juntándose en una tubería y llevada a una cisterna de 96 m<sup>3</sup>. Este proyecto proporciona agua suficiente, de calidad, para uso doméstico, consumo humano y para la producción de sus alimentos (Anaya Garduño, 2011).

### **República Dominicana**

Hay una gran variación de climas en el país, que van desde semiáridos a muy húmedos. De igual manera las lluvias varían de acuerdo con la región, en algunos lados la precipitación media anual es de 455 mm, mientras que en otras regiones es de 2,743 mm. Existen algunos proyectos de captación de agua de lluvia convencionales. El agua es captada en techos y conducida a una cisterna (Anaya Garduño, 2011).

## Haití

Tiene problemas con la gestión racional de los recursos hídricos. Por una parte no existe una buena repartición geográfica de los recursos y por otro lado la contaminación reduce la calidad del agua (Anaya Garduño, 2011).

Haití presenta un déficit anual de 14.8 millones de m<sup>3</sup> y el problema se agranda porque se ha visto que la demanda por habitante va en aumento. La necesidad del agua aumenta con el nivel de vida y con el crecimiento de la población (Anaya Garduño, 2011).

Se ha mencionado antes que el aumento de nivel de vida y del desarrollo de la población, dependen en gran medida del suministro de agua y de servicios de saneamiento. Pues en este país se han tenido problemas de desarrollo a causa de la poca disponibilidad del recurso hídrico. La disponibilidad por habitante es menor a los 1700 m<sup>3</sup>/año llegando a una carencia del recurso de 500 m<sup>3</sup>/año. Para brindar más recurso a los habitantes, se han desarrollado algunos proyectos comunitarios de captación de agua de lluvia convencional, captando el agua en techos y conduciéndola a una cisterna (Anaya Garduño, 2011).

## Argentina

Los ingenieros agrónomos Willy Giesbrecht y Wilbert Harder, han demostrado que los sistemas de captación de agua pluvial son una solución práctica, científica y económica para afrontar las situaciones de escasez (Anaya Garduño, 2011).

Estos ingenieros, de la cooperativa Chortitzer Komitee, han realizado varios experimentos para solucionar la escasez de agua del municipio el Chaco, llegando a proyectos de altos costos. Una solución para la sequía del 2002-2003, fue el transporte de agua para uso doméstico, industrial y ganadero, gastando 600,000 dólares (Anaya Garduño, 2011). A partir de esto, se vio que una de las mejores maneras de afrontar la escasez, es mediante los sistemas de captación de agua pluvial.

## México

Desde la época prehispánica, se construía infraestructura de captación de agua de lluvia. Los mayas elaboraban chultunes, que son depósitos subterráneos circulares con un diámetro aproximado de 5 m e impermeabilizados con yeso, también se llegaban a construir depósitos a cielo abierto (Gutiérrez Satrias, 2014). Se ocupaban áreas entre 100 y 200 m<sup>2</sup> para captar el agua, con estos sistemas se suministraba agua a la población y riego de cultivos (Ballén Suárez, Galarza García, & Ortiz Mosquera, 2006).

Otra obra de captación pluvial que construyeron los mayas fue, en la ciudad de Edzná, Campeche, un canal de 50 m de ancho y 1 m de profundidad, abasteciendo de agua a los habitantes y para riego (Ballén Suárez, Galarza García, & Ortiz Mosquera, 2006). Hoy en día es común encontrar SCALL en este estado, el agua captada se utiliza para consumo humano ya que el agua potable de las ciudades contiene altas cantidades de sales, perjudicando la salud de los habitantes (Anaya Garduño, 1998).

Podemos encontrar vestigios de SCALL en algunas construcciones aisladas de la época colonial, como haciendas, algunas casas y en los conventos de Santo Domingo, Oaxaca; Acolman, Estado de México; y el convento de Zacatecas, Zacatecas (Anaya Garduño, 1998).

En el año 2017, surgió el Programa Nacional para Captación de Agua de Lluvia y Ecotecnias en Zonas Rurales (PROCAPTAR), para dotar de agua potable a las comunidades que se encuentran en alta y muy alta marginalidad, instalando sistemas de captación de agua pluvial en cada vivienda familiar. Los sistemas se implementan en zonas donde la precipitación acumulada anual sea igual o mayor a los 1,500 mm y para cubrir el 100% del costo, los beneficiarios deben pertenecer a la Cruzada Nacional Contra el Hambre. Con el uso de estos sistemas se debe de abastecer por lo menos 50 litros por persona al día, durante todo el año (CONAGUA, 2017).

En el estado de Nuevo León, en la localidad de San Felipe, el ingeniero agrónomo Hugo Velasco Molina y con el apoyo de la División de Agricultura y Tecnología de Alimentos del Tecnológico de Monterrey, llevaron a cabo el proyecto "Agua y Vida" en el año 1996, figura II.I, apoyando a los ejidatarios que viven en zonas áridas y rurales, donde el agua escasea. Una parte del proyecto consta de la construcción de 5 cisternas denominadas como "trampas de agua" con capacidad total de 500,000 litros, el agua es captada en un área de 2,000 m<sup>2</sup> cubierta con lajas. Fuera de la comunidad, a 975 m, se encuentra un techo-cuenca, elaborado con dos cubiertas para captar el agua en una superficie total de 800 m<sup>2</sup>, el agua es conducida a una cisterna con capacidad de 281,580 litros, se invirtieron 850,000 pesos, obteniendo un costo de 6.9 centavos por litro de agua, el tiempo de construcción fue de 334 días. El agua suministrada se utiliza para consumo humano, uso doméstico, y para iniciar un programa para la plantación de maguey y nopal, obteniendo una fuente de ingreso. En épocas de sequía crítica, el sistema ha apoyado a más de 10 comunidades vecinas (Manzano Camarillo, 2011).



**Figura II.I. Proyecto Agua y Vida**  
*FUENTE:* (Manzano Camarillo, 2011)

Se elaboró un proyecto de captación en la comunidad de Cherán, Michoacán. El sistema tiene un área de captación de 16,000 m<sup>2</sup>, almacenando el agua en una olla de

80x50x7 metros, aproximadamente, con capacidad de 20,000 m<sup>3</sup>. El agua se manda a una purificadora de agua, embasando hasta 1,000 garrafones por día (IMTA, 2015).

La empresa Cargill México, junto con Isla Urbana y Educampo, realizaron el proyecto Tláloc, al sur del estado de Yucatán. Se donaron más de 3.5 millones de pesos para la instalación de 19 sistemas de captación de agua de lluvia en las comunidades mayas, donde han sufrido por varios años escasez de agua. Se terminó el proyecto a inicios del mes de abril del 2018, teniendo una duración de 5 años (El Economista, 2018).

En la localidad Fierro del Toro en Huitzilac, Morelos, se instaló un sistema de captación a nivel comunitario. Se excavó una olla, cubierta con una membrana de polietileno de alta densidad y encima, una membrana de PVC que sirve como tapa flotante. Al comenzar la lluvia, el agua que es captada en un área al lado de la olla, pasa por un sedimentador, conduciendo el agua entre las dos membranas. También la lluvia cae sobre la membrana de PVC, juntándose encima de la misma, donde hay varios electroniveles y contrapesos que forman canales para que el agua se concentre en el centro, después de terminar la lluvia. Con la ayuda de una bomba solar, el agua de la parte superior se conduce entre las dos membranas, donde se concentra toda el agua captada (IMTA, 2015).

Igualmente, en el estado de Morelos, en la comunidad de Felipe Neri, Tlalnepantla, se cuenta con un sistema formado por un aljibe receptor de agua rodada, sedimentador y olla con cubierta flotante (IMTA, 2015).

De igual manera, Cargill México, ha apoyado a la comunidad de Santa Rosa, Estado de México. En el último año se formaron 5 brigadas, participando 64 voluntarios para poder instalar 72 SCALL en viviendas, más otros 9 sistemas en escuelas de la localidad (El Economista, 2018).

La antigua Tenochtitlán se localizaba en el centro de un lago, formado por ríos y precipitaciones pluviales, al igual que manantiales. Era necesario tener sistemas hidráulicos que abastecieran de agua dulce a la población y a la agricultura, protegiendo a los habitantes de las inundaciones. Las obras más sobresalientes fueron las chinampas, calzadas, acueductos, diques, canales y jagüeyes, estos últimos, bordos de tierra compactada que recogía agua del escurrimiento de cerros cercanos. Todas estas obras se realizaban con madera, lodo, piedra, plantas y tules, impermeabilizándolos con estuco y calicanto. En las viviendas, se captaba el agua de lluvia en los techos y se almacenaba en recipientes de barro (Gutiérrez Vázquez, 2017). Después de la conquista, se ignoró todo el conocimiento y tecnología prehispánica, dejando de utilizar sus técnicas y sin dar mantenimiento a las obras hidráulicas y de captación que existían en ese entonces. Hasta hace poco se volvió a retomar la idea de aprovechar el agua pluvial.

Se instaló un sistema de captación de agua pluvial en el Centro Educativo Ecológico, ubicado en el municipio de San Juan Tolnahuac, Milpa Alta, CDMX (Medina Espinoza, 2011).

En la delegación Tlalpan, CDMX, en el año 2016, se destinaron 45 millones de pesos para proyectos de instalación y mantenimiento de la red de distribución de agua potable y 10 millones para la colocación de sistemas de captación de agua de lluvia en viviendas de alta y muy alta marginalidad, en las zonas altas de la delegación. Con estas medidas, aproximadamente a 30 mil familias, de las zonas media y alta, se les garantizó el acceso al agua potable (Delegación Tlalpan, 2016).

De igual manera se aprovecha el agua pluvial para la recarga de los acuíferos de la ciudad, siendo Tlalpan la que cuenta con mayor área de suelo de conservación, captando la mayor parte de la lluvia (Delegación Tlalpan, 2016).

En la delegación Xochimilco, surgió el programa "Cosecha de Agua en Xochimilco 2017", similar al elaborado en Tlalpan, repartiendo sistemas de captación de agua pluvial.

Otro proyecto surgió en el 2016, se creó el programa "Agua a tu Casa", en la Ciudad de México para garantizar el derecho al agua y saneamiento, disminuyendo el rezago social, la discriminación y generar más oportunidades para los grupos vulnerables. Se piensa beneficiar a 10,000 personas, destinando 15 millones de pesos para la captación pluvial, tratamiento de aguas residuales o entregando tecnologías de purificación y mejoramiento de calidad de agua. Terminando el año 2016 ya se habían instalado SCALL en 470 hogares unifamiliares, 5 unidades habitacionales, 15 comedores comunitarios y 3 centros deportivos, captándose un total de 117 millones de litros de agua, utilizando 75 millones para consumo humano (Comunicación social CDMX, 2017), el programa sigue vigente en el año 2018.

El jurado de los premios de la Unión Iberoamericana de Municipalistas (UIM) y la Federación Latinoamericana de Ciudades, Municipios y Asociaciones Municipalistas (FLACMA) 2017, mencionaron que el programa "Agua a tu Casa" es el mejor servicio público sostenible de Latinoamérica (PacoZea.com, 2017).

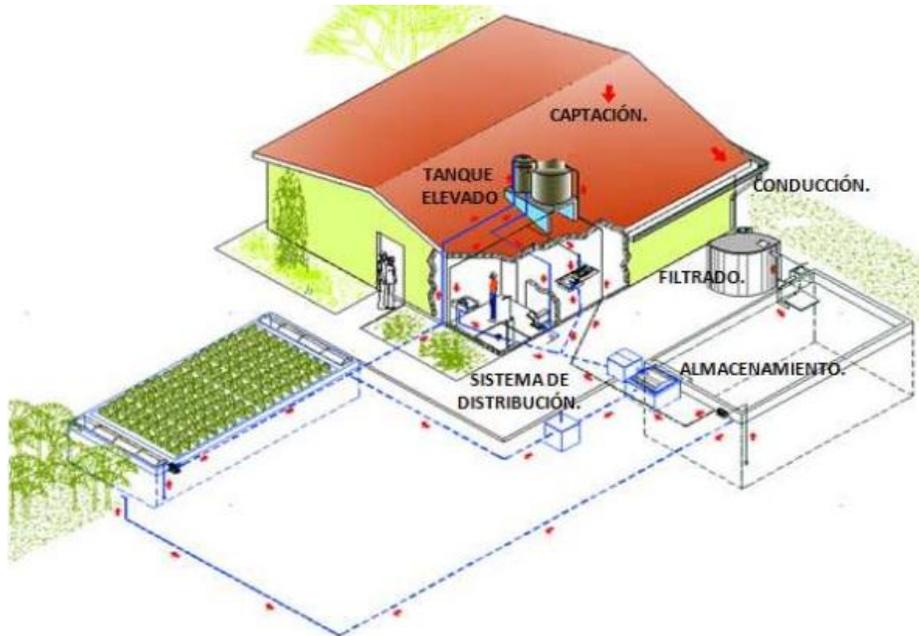
Se estima que con algunas tecnologías de captación de lluvia se puede recolectar hasta 666 litros de agua por cada metro cuadrado de área de captación, en la CDMX (Órgano de Difusión del Gobierno de la Ciudad de México, 2018).

El Dr. Anaya Garduño señaló, la importancia de rescatar el conocimiento de aprovechamiento pluvial de las antiguas culturas Mexica, Maya e Inca y combinarlo con el conocimiento científico para dar atención a las comunidades rurales que no cuentan con el recurso (Imagen Agropecuaria, 2016).

Se creó el Centro Internacional de Demostración y Capacitación en Aprovechamiento del Agua de Lluvia (CIDECALLI), en el Colegio de Postgraduados, tiene como objetivo general el abastecimiento con agua de lluvia en cantidad y calidad para consumo humano a nivel familiar y comunitario, dando mayor atención a las poblaciones marginadas (Anaya Garduño, 2008). El coordinador es el Dr. Manuel Anaya Garduño. Sus proyectos van más enfocados a zonas rurales.

El centro ha desarrollado varios prototipos para diferentes usos del agua pluvial, utilizando cisternas excavadas revestidas con geomembrana de PVC. Los prototipos son denominados del COLPOS 1 hasta el COLPOS 8, siendo el último, un digester anaeróbico, donde no se aprovecha el agua pluvial. Todos los prototipos están construyéndose cerca del CIDECALLI.

El COLPOS 1, figura II.II, está diseñado para captar agua pluvial en el techo de una vivienda, con una superficie de 120 m<sup>2</sup>, conducirla a un proceso de filtración y purificación, llegando al almacenamiento. El agua se utiliza para consumo humano y usos no potables, ocupando el excedente para riego. El sistema está diseñado para una familia de 4 personas con un consumo de 100 l/día y una precipitación de 610 mm. La capacidad de la cisterna es de 73 m<sup>3</sup>. Se tratan y rehúsan las aguas negras y grises de la misma vivienda, para usos no potables, satisfaciendo el 100% de la demanda. El costo aproximado de este sistema está entre los \$30,000 y \$40,000 MXN (Anaya Garduño, 2016).



**Figura II.II. COLPOS 1**

*FUENTE:* (Duran Escamilla, Herrera Monroy, & Guido Aldana, 2010)

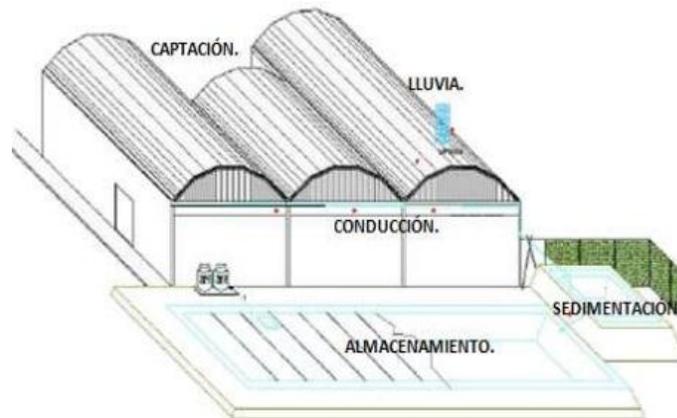
El siguiente prototipo, COLPOS 2, figura II.III, es un estanque para la producción de peces de ornato y comestibles. Es sistema capta el agua en el techo de la vivienda, conduciéndola al tanque de almacenamiento con capacidad de 70 m<sup>3</sup>. El sistema cuesta alrededor de 1,800 dólares (Anaya Garduño, 2008).



**Figura II.III. COLPOS 2**

FUENTE: (Duran Escamilla, Herrera Monroy, & Guido Aldana, 2010)

Se aprovechó la calidad del agua de lluvia en el COLPOS 3, figura II.IV, utilizando un tren de tratamiento de bajo costo para purificarla y sea utilizada como consumo humano. Este sistema es a nivel comunitario, beneficiando alrededor de 3,000 habitantes, con una inversión de \$500 MXN por persona. La cisterna tiene una capacidad de 2,000 m<sup>3</sup>. El agua es embotellada para ser distribuida a la población, el precio de un garrafón de 20 L es de \$5 MXN. Este sistema es único en su tipo, con marca registrada del Colegio de Postgraduados, con el nombre de "Lluvia!" (Anaya Garduño, 2016).

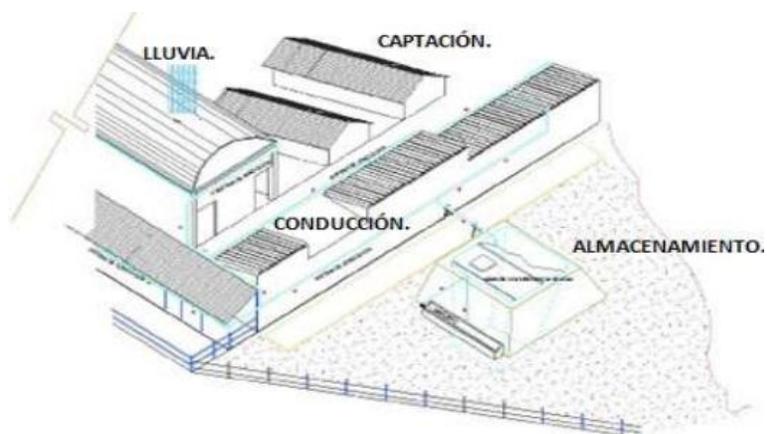


**Figura II.IV. COLPOS 3**

FUENTE: (Duran Escamilla, Herrera Monroy, & Guido Aldana, 2010)

Las cabezas de ganado demandan agua alrededor del 10% de su peso corporal, muchas veces no hay suficiente recurso o es de mala calidad, provocando la muerte de los animales. Por eso se desarrolló el COLPOS 4, captando agua en el techo de las estructuras, conduciéndola al almacenamiento de aproximadamente 500 m<sup>3</sup>, pasando por un filtrado y de ahí a los bebederos. El prototipo se diseñó para satisfacer la demanda de

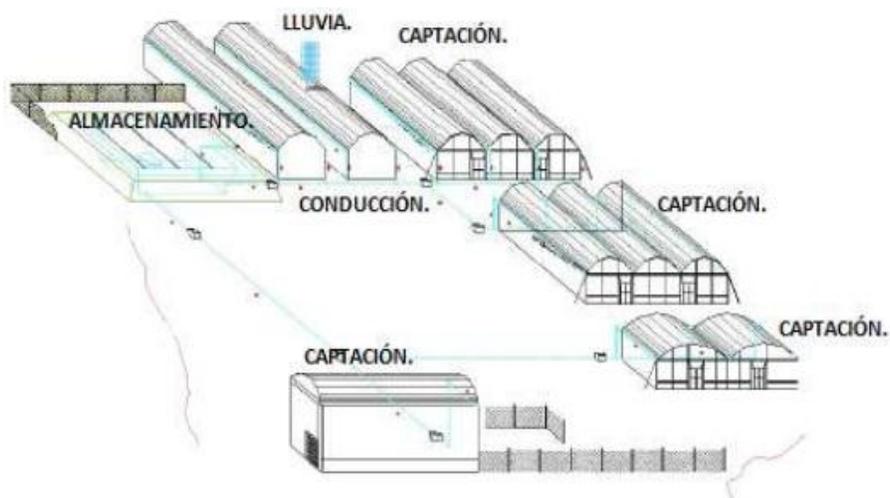
35 cabezas de ganado con una dotación diaria de 50 l por animal. Este sistema tiene un costo aproximado de 4,000 dólares (Anaya Garduño, 2008). El prototipo se muestra en la figura II.V.



**Figura II.V. COLPOS 4**

*FUENTE:* (Duran Escamilla, Herrera Monroy, & Guido Aldana, 2010)

Se estima que México necesita 50,000 hectáreas de invernaderos para cubrir la demanda total de alimentos, contando solo con 12,000 hectáreas. Para apoyar a la construcción de más invernaderos, se propuso el COLPOS 5, figura II.VI. Es un conjunto de invernaderos que captan agua en sus mismos techos, llevándola a una cisterna de 2,000 m<sup>3</sup> para conservar la calidad del agua y ser utilizada posteriormente para el riego. El costo es aproximadamente de 18,300 dólares (Duran Escamilla, Herrera Monroy, & Guido Aldana, 2010).



**Figura II.VI. COLPOS 5**

*FUENTE:* (Duran Escamilla, Herrera Monroy, & Guido Aldana, 2010)

El COLPOS 6 es un sistema para producción intensiva de conejos, similar al COLPOS 4. Proveerá de agua a los animales en épocas de estiaje, incluyendo la que se necesite para

limpieza y procesos de rastro. Se utiliza una cisterna de 500 m<sup>3</sup>, que manda agua a un tanque elevado y sea distribuida a las instalaciones (Anaya Garduño, 2004).

Se está desarrollando un reservorio para riego de auxilio, COLPOS 7, utilizando agua pluvial y tratada proveniente de una PTAR. El agua de lluvia se almacena en un cárcamo de 5,000 m<sup>3</sup>, se planea aumentar su capacidad a 10,000 m<sup>3</sup>. El cárcamo enviará agua a un canal, conduciéndola al área de riego (Anaya Garduño, 2004).

A parte de sus investigaciones y prototipos, el CIDECALLI ha realizado varios proyectos en algunos estados de la República, que a continuación se mencionan.

En el Estado de México se llevó a cabo el proyecto denominado como “Purificación de agua de lluvia Almacenada en una cisterna revestida con geomembrana de PVC para consumo humano del grupo étnico mazahua”, dando solución al problema de acceso de agua potable para la región mazahua. Se instaló un sistema de captación de agua de lluvia, almacenándola y purificándola, para después ser envasada. De esta forma se abasteció a la comunidad, beneficiando a 2,600 habitantes con un consumo per cápita de 2.4 litros diarios.

Las comunidades de San Antonio, San Isidro y Santa Rosa, del municipio de los Reyes, en el estado de Michoacán, tienen problemas con escasez de agua. No existe un suministro de agua entubada, haciendo que los habitantes consuman agua de fuentes con mala calidad y sin tratamiento, repercutiendo en la calidad de vida de la población. En el proyecto “Captación y purificación de agua de lluvia para consumo humano en tres comunidades de la meseta tarasca del Estado de Michoacán”, se han construido tres cisternas para almacenamiento y purificación del agua de lluvia, revestidas con geomembrana de PVC. Se utilizaron los techos de escuelas para captar el agua y para incentivar la cultura de captación de agua de lluvia. Se beneficiaron entre 4,000 y 6,000 habitantes, proporcionándoles agua potable, disminuyendo los casos de enfermedades gastrointestinales.

En la región semiárida de Puebla, ubicada en el oriente, se encuentran tres municipios con problemas de abastecimiento de agua, Tecamachalco, Yehualtepec y Tlacotepec. Otra situación que se presenta es la baja precipitación, que no es suficiente para cubrir todas sus necesidades. Con el proyecto “Antecedentes y perspectivas del aprovechamiento del agua de lluvia con fines agrícolas y domésticos en la región de Tecamachalco, Puebla, México” se investigó la manera más eficiente de captación y almacenamiento de agua de lluvia, así como un mejor uso. Se utilizaron los techos de las viviendas para captar agua, conduciéndola a un filtro rústico y llevándola a una cisterna de ferrocemento. Se benefició a la población de los municipios, suministrándoles agua para cubrir el 70% de lo demandado en un año.

En Guanajuato se realizó el proyecto “Captación y aprovechamiento del agua de lluvia para la producción de hortalizas en el traspatio en la comunidad de Tiradas de Abajo, Municipio de Tarimoro, Guanajuato”, éste se ocupó para analizar el funcionamiento de las cisternas de ferrocemento y para formar un Centro de Formación de Campo (CFC). Lo

anterior para enseñar a las personas como tener una mejor alimentación y producir sus propios cultivos. En tres viviendas se utilizaron los techos como captación de lluvia. El agua se conduce a una cisterna de ferrocemento, una para cada vivienda. El recurso almacenado se utiliza para regar las hortalizas, árboles frutales, consumo de animales y para uso doméstico.

También se realizó el proyecto “Captación pluvial y su reutilización mediante humedales artificiales en la microcuenca Santa Ana, Guanajuato”. Se analizó que los SCALL y el reciclaje de agua gris son una buena opción para mejorar la calidad de vida y disminuir la escasez de agua, en comunidades marginadas. Se observó que estos sistemas tienen un gran impacto social, económico y ambiental en las comunidades que habitan en microcuencas.

Se llevó a cabo el proyecto “Captación y tratamiento del agua de lluvia en Morelos”, en los municipios de Ocuilapan y Totolapan. Una parte del proyecto se realizó a nivel domiciliario, captando agua del techo de una iglesia y llevándola a una cisterna recubierta con geomembrana de PVC, con capacidad de 140 m<sup>3</sup>. Antes de llegar a la cisterna, el agua pasa por un filtro de grava y arena, posteriormente, siendo desinfectada con cloro. La otra parte del proyecto se realizó de forma colectiva, captando el agua que escurre por una barranca situada al norte de la localidad Villa Nicolás Zapata, después se conduce a una olla de almacenamiento de 4,000 m<sup>3</sup>.

En México han surgido varias instituciones, organismos, asociaciones y compañías con relación a la captación de agua de lluvia. Cada vez el tema toma más fuerza e importancia en el país. Una organización que ha tenido más presencia es Isla Urbana, conformada por diferentes especialistas y profesionales como diseñadores, urbanistas, ingenieros, antropólogos, educadores y artistas. Desde el 2009 ha participado y apoyado a diferentes proyectos tanto en zonas rurales como urbanas, instalando 7,684 sistemas, cosechando 333 millones de litros de agua, beneficiando a 53,788 personas.

Isla Urbana en Tlalpan, Ciudad de México, ha instalado 3,276 sistemas, beneficiando a 20,639 habitantes mientras que en Xochimilco se han implementado 562 sistemas, ayudando a 3,147 personas. Además, se instalaron 50 sistemas en la colonia Bugambillas en Oaxaca, Oax., beneficiando a 200 personas (Isla Urbana, 2018).

La organización no solo realiza proyectos para viviendas, sino también para diferentes edificios y negocios. Se instaló un sistema en un hangar de MasAir en el aeropuerto internacional de la Ciudad de México, teniendo un ahorro del 40% en el agua consumida por pipas. La implementación de un sistema en las instalaciones de la empresa Imágenes y Muebles Urbanos, en Naucalpan, permitió que se captaran 1.7 millones de litros de agua, entre mayo y noviembre, cubriendo el 90% de lo consumido para lavado de parabuses. En la lavandería La Francesa, ubicada en Villa Coapa, CDMX, se instaló un sistema de captación pluvial, proporcionando el recurso suficiente para cubrir 25 días de cada mes, los días restantes se abastecen de la red o por medio de pipas, ahorrando más de \$100,000 MXN al año. Para satisfacer la demanda de agua de un elefante rescatado se colocó un sistema para cosechar agua pluvial, en el Parque Ecológico Ehécatl en

Ecatepec, Estado de México, se utilizan los 320 m<sup>2</sup> de techo para captar 158,000 litros, suministrando agua por lo menos 4 meses (Isla Urbana, 2018).

También ha tenido presencia en varias instituciones educativas, como en el edificio de Programas Universitarios de la UNAM, implementando un sistema de captación de agua de lluvia para consumo humano, brindando 4,400 garrafones de 20 litros al año, con un precio comercial de \$90,000 MXN. En el CEDART Diego Rivera, se proporcionan 140,000 litros de agua potable al año, gracias a su sistema de captación pluvial. La lluvia es captada en 300 m<sup>2</sup> del techo de la Academia de la Danza Mexicana, contando con dos sistemas de tratamiento independientes, se potabilizan 170,000 litros de agua al año, para cubrir la demanda total del edificio. Al año se cosechan 700,000 litros de agua de lluvia en el Colegio Sagrado Corazón, en La Magdalena Contreras, dando el tratamiento necesario para que pueda ser consumida, además de tener una reducción en la tarifa del agua se aprecia la recuperación de la inversión (Isla Urbana, 2018).

En zonas rurales, Isla Urbana instaló 30 sistemas de captación de agua de lluvia en viviendas y en 2 primarias, para proporcionar agua potable. Los habitantes de La Mazateca, Oaxaca, tienen que acarrear agua para abastecerse, por tal motivo Isla Urbana, en conjunto con The Hunger Project México, han estado instalando sistemas de captación pluvial en las viviendas. En Malinalco, Estado de México, se realizó un proyecto, colocando 150 instalaciones en viviendas y 3 sistemas comunitarios, beneficiando aproximadamente a 1,000 personas y recolectando 5'000,000 de litros de agua al año. Para suministrar agua a las comunidades de Hidalgo se trabajó con la SEMARNAT, implementaron 106 sistemas en viviendas y 2 en escuelas, mientras otras organizaciones y personajes juntaron esfuerzos para colocar biodigestores y realizar talleres de educación ambiental. Actualmente se está llevando a cabo el proyecto "Ha Ta Tukari" (Agua Nuestra Vida), en colaboración con ConcentrArte, Luum AC y Colectivo Wixari, se busca proporcionar agua potable a las familias de la Sierra Huichol, además de realizar trabajos de educación, capacitación, producción y vinculación empática con las comunidades, todo esto para mejorar la calidad de vida de las personas y conservar sus costumbres (Isla Urbana, 2018).

Emprendiendo la Brigada Agua de Lluvia, Isla Urbana proporcionó 101 sistemas a las viviendas más afectadas tras el sismo del 19 de septiembre, en la Ciudad de México, se beneficiaron a 566 personas. Inclusive las personas que contaban con estos sistemas pudieron facilitar agua a algunas personas afectadas.

Se han presentado varios ejemplos de la implementación de sistemas de captación de agua de lluvia, en varios países de todo el mundo. Cabe recalcar dos cosas, la primera, en la antigüedad se utilizaban los SCALL como un recurso de fácil acceso y como un estilo de vida. En varias ocasiones nos encontramos que se construían y diseñaban los edificios tomando en cuenta la colocación de estos sistemas. En otro punto, encontramos ejemplos más recientes que utilizan el agua pluvial para suministrar el recurso cuando este escasea, como una forma alternativa de conseguir agua.

Podemos observar que los SCALL tienen un origen muy antiguo y que varios de estos se dejaron de utilizar, principalmente con la introducción de nueva tecnología para explotar otro tipo de fuentes. De igual manera gran parte del conocimiento y técnicas se fueron perdiendo, pero se volvieron a retomar cuando nuestras fuentes principales se fueron agotando. Se está retomando, por nueva cuenta, todo lo referido a los sistemas de captación de agua de lluvia para hacer frente a la escasez de agua ya sea en zonas urbanas o rurales.

Nos damos cuenta de los grandes programas y proyectos que se realizan en zonas rurales de México, utilizando sistemas de captación de agua de lluvia para suministrar agua potable a las comunidades que no cuentan con el recurso. Primeramente, se elevó su calidad de vida, al tener una fuente segura de la cual puedan beber y en algunos casos aprovechaban el recurso para realizar actividades que generarían ingresos.

En algunas ciudades han surgido programas importantes, beneficiando en primera instancia a las personas que no cuentan con un servicio de agua potable o se encuentran en una situación de alta marginalidad, los SCALL instalados proporcionan agua para consumo humano.

Algunos países desarrollados, utilizan los sistemas de captación pluvial para disminuir la demanda de agua potable y para mejorar la calidad de los ecosistemas, además de controlar inundaciones y mejorar el microclima de la región.

Como hemos visto, no solo se pueden implementar los sistemas en viviendas, sino también en edificios, negocios, escuelas, zoológicos, parques, etc., y en todos los casos se ha visto un ahorro tanto en el agua como en los gastos. Varios usuarios aprecian una mejora en su calidad de vida, su economía y en su educación ambiental.

## Objetivo

Es importante conocer los beneficios que se obtienen al aprovechar el recurso pluvial. Se tiene que hacer frente a las problemáticas que se están presentando actualmente, en todo el mundo. Se puede evitar que se complique la problemática entorno al agua.

Una manera de conocer las aportaciones de los SCALL es presentar sus usos a lo largo de la historia y alrededor del mundo.

Se mencionarán las ventajas de aprovechar el recurso pluvial y los beneficios ambientales, sociales y económicos que se obtienen con sus diferentes usos.

No es complicado realizar un diseño de estos sistemas y se demostrará en el caso de estudio. Además, se podrán observar los requerimientos mínimos que se necesitan para instalar uno.

Comúnmente se relacionan a estos sistemas con beneficios meramente ambientales, se demostrará que es una forma de inversión, al recuperar lo invertido y seguir obteniendo beneficios económicos.

Lo que más interesa es la manera en que se puede contribuir a un desarrollo sostenible en México al usar y aprovechar el agua de lluvia. Al final se tendrá un mejor panorama para observar el potencial de los sistemas de captación.

### **III. Fundamentos de los sistemas de captación de agua de lluvia, su diseño y aplicación en zonas urbanas**

Ya se han mencionado varios ejemplos de SCALL en el mundo. En este capítulo se desarrollará detalladamente cada componente de los sistemas de captación pluvial y cada factor que influye en su diseño e implementación. Recordando que el diseño va enfocado a zonas urbanas.

Antes de enfocarnos en los componentes, es necesario conocer algunos conceptos que manejaremos a lo largo del capítulo y que ya se han mencionado anteriormente.

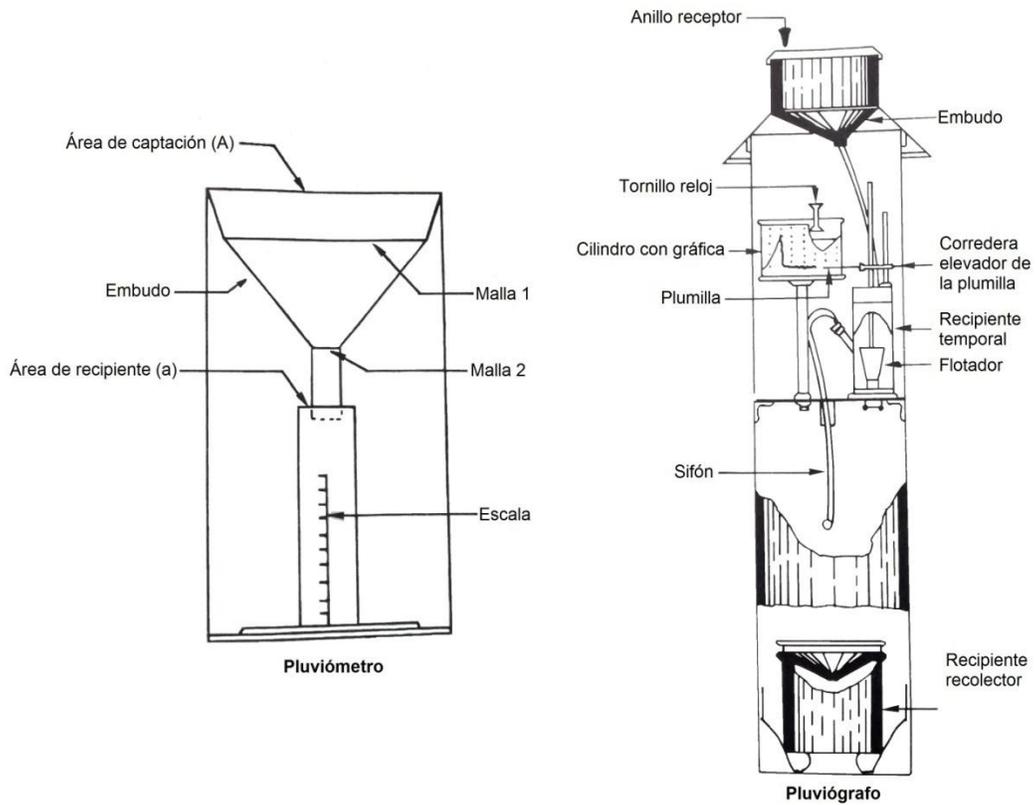
#### **Precipitación**

La meteorología es el estudio de todos los fenómenos atmosféricos. Para medirlos, se instalan estaciones climatológicas para medir los fenómenos de temperatura, precipitación, presión atmosférica, humedad, evaporación y viento. Una rama de esta ciencia es el estudio de los fenómenos relacionados con el agua atmosférica, la hidrometeorología. En México las mediciones se hacen a las 8 hrs (Ruiz Urbano, 2018).

Dado que se está enfocando a la captación de lluvia, nos interesa saber que es la precipitación y como se mide. La precipitación es el agua proveniente de la atmosfera, en cualquier estado físico, ya sea en forma de lluvia, granizo, niebla o nieve (Morales García, 2018).

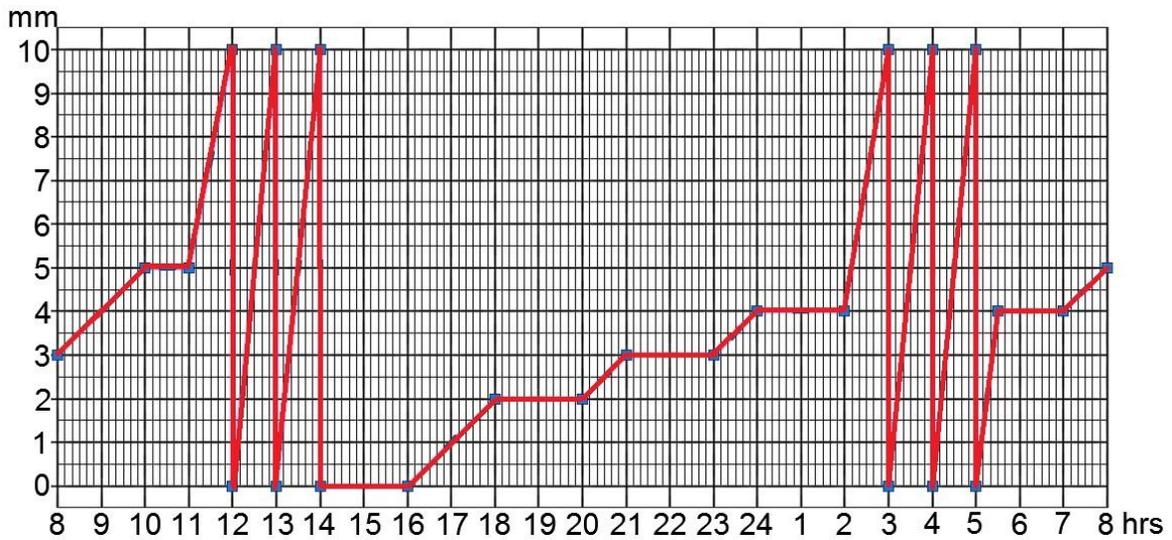
La precipitación se mide con la altura de precipitación (hp), en unidades de milímetros, se pueden utilizar dos instrumentos, el pluviómetro o el pluviógrafo. El primero, mide la precipitación acumulada en 24 horas, consta de un embudo con área receptora "A" y un vaso recolector, con área de recipiente "a", parecido a una probeta graduada, en el que se mide directamente la altura de precipitación. El área receptora de un pluviómetro debe de ser igual a 10 veces el área de captación, es decir  $A=10a$ . Esto se hace con el objeto de que, por cada milímetro de lluvia, se deposite un centímetro en el recipiente. De este modo, es posible hacer lecturas a simple vista hasta una décima de milímetro de lluvia. Por lo general se colocan dos mallas en el embudo para evitar que entre basura al recipiente y afecte la lectura (Aparicio Mijares, 1989).

El pluviógrafo mide la altura de precipitación considerando la duración de las diferentes tormentas que se dieron en un periodo de 24 horas. Es similar al pluviómetro, pero cuenta con un cilindro que va girando a velocidad constante, con la ayuda de un sistema de relojería, para que se tenga un registro continuo. En el cilindro se va dibujando un pluviograma, esta es una hoja graduada verticalmente de 0 a 10 mm, enrollada en el cilindro, donde se va registrando la altura de precipitación, al mismo tiempo que va girando conforme va transcurriendo el tiempo, teniendo una graduación horizontal de 0 a 24 h. Para que se trace el pluviograma, en el recipiente se coloca un flotador unido a una plumilla que marca las alturas de precipitación. Cuando el recipiente se llena, automáticamente se vacía por medio de un sifón y el registro continua a los 0 mm. A continuación, se presenta la figura III.I, mostrando los dos aparatos de medición.



**Figura III.I. Pluviómetro y pluviógrafo**  
 FUENTE: (Aparicio Mijares, 1989)

De los dos instrumentos, el pluviógrafo es el más utilizado en México. A continuación, en la figura III.II, se muestra un pluviograma y se elaborará un ejemplo a partir de este.



**Figura III.II. Pluviograma**  
 FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA A PARTIR DE DATOS DE RUIZ URBANO (2018)

Para recabar la información que viene en el pluviograma, es más sencillo pasarla a una tabla. En la primera columna se anota el número de tormenta, una tormenta se considera cuando empieza a llover hasta que termina, en el ejemplo tenemos 7 tormentas. En la segunda columna se anota el tiempo de comienzo y fin de la tormenta, en la siguiente se escribe la duración de la tormenta (*d*). Posteriormente se escribe la altura de precipitación (*hp*), que se observa del pluviograma. En la última se calcula la intensidad de lluvia.

La intensidad de lluvia es la relación entre la altura de precipitación y su duración, teniendo unidades de mm/h (Morales García, 2018). No es lo mismo que llueva 25 mm en 24 horas que los mismos 25 mm, pero en 1 hora.

**Ecuación III.I. Intensidad de lluvia**

$$i = \frac{hp}{d}$$

donde *i* es la intensidad de lluvia, en mm/h; *hp* la altura de precipitación, en mm, y *d* la duración, en h.

En la tabla 1, se muestra el ejemplo con los datos recabados del pluviograma.

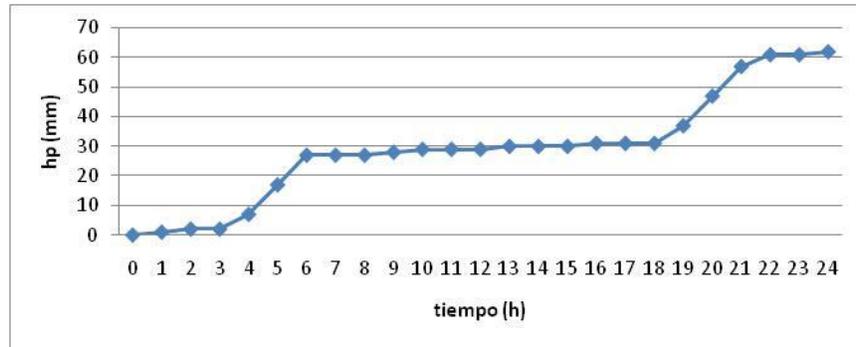
**Tabla 1. Datos del pluviograma**

No. de tormenta	Tiempo	d (h)	hp (mm)	i (mm/h)
1	8-10 hrs	2	2	1
2	11-14 hrs	3	25	8.333
3	16-18 hrs	2	2	1
4	20-21 hrs	1	1	1
5	23-24 hrs	1	1	1
6	2-5:30 hrs	3.5	30	8.571
7	7-8 hrs	1	1	1

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

En la información de la tabla podemos apreciar que la lluvia más intensa ocurrió de las 2 hasta las 5:30 hrs, lloviendo 30 mm en 3 horas y media. En todo el día la precipitación fue de 62 mm. Como se mencionó, la información del pluviómetro y del pluviógrafo se recoge a las 8:00 hrs, por eso el ejemplo del pluviograma empieza a esa hora. A partir de las mediciones, que se recogen día con día, se realizan diferentes cálculos y análisis hidrológicos, para conocer más sobre la distribución de las lluvias en una determinada región.

Si al registro de un pluviograma se le quitan los descensos, se obtiene una gráfica de precipitación acumulada en relación con el tiempo, llamada curva masa de precipitación o curva masa acumulada. Esta gráfica no es decreciente y su pendiente representa la intensidad de lluvia. Para el ejemplo del pluviograma se tendría la representación mostrada en la figura III.III.



**Figura III.III. Curva masa acumulada**  
 FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

A partir de la curva masa de precipitación, se pueden elaborar gráficas de barras de las variaciones de la altura de precipitación o intensidad, en intervalos de tiempo, que sean submúltiplos de 24 h. Estos diagramas se les conocen como hietogramas.

De esta forma es como se recaba la información de los pluviógrafos. Se describe como se efectuó la lluvia durante el día. Con el pluviómetro no se podrían realizar estos análisis porque solo mide la precipitación acumulada en 24 horas, al final solo se leerían 62 mm, tomando como referencia el ejemplo anterior. Cualquiera de los aparatos, sirve para calcular un dato importante que a continuación veremos.

### Precipitación media

Tanto el pluviógrafo como el pluviómetro miden las alturas de precipitación del día, pero esa medida solo representa un dato puntual, es decir la lluvia que se produjo en el lugar donde están instalados. Cabe mencionar que la lluvia no es uniforme y es diferente en cantidad, a la que cae en los alrededores. Sin embargo, para realizar cálculos ingenieriles, es necesario conocer la precipitación media de una región.

La precipitación media ( $h_{pm}$  o  $h\bar{p}$ ) es una precipitación representativa de un lugar y se puede calcular por medio de tres métodos posibles: el promedio aritmético, polígonos de Thiessen y por isoyetas.

#### a) Método aritmético

La precipitación media se obtiene con el promedio de las alturas de precipitación, registradas en cada estación. Solo se toman en cuenta las que estén dentro del área de estudio. Se hace uso de la siguiente función,

**Ecuación III.II. Precipitación media (aritmético)**

$$h\bar{p} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n h_{pi}$$

donde  $h\bar{p}$  es la altura de precipitación media;  $h_{pi}$  es la altura de precipitación registrada en la estación  $i$ ;  $n$  el número de estaciones bajo análisis.

Como se puede ver, el método es muy simple, pero no toma en cuenta la distribución de las estaciones ni de la lluvia. Se recomienda su uso para zonas con topografía suave y condiciones atmosféricas muy uniformes, o simplemente para tener un dato aproximado de la altura de precipitación media (Aparicio Mijares, 1989).

b) Polígonos de Thiessen

En el plano del área de estudio, se tienen que triangular las estaciones climatológicas más cercanas, ya sea que se encuentren dentro o fuera. Una vez formados los triángulos, se tiene que marcar el punto medio de cada lado. Se traza una perpendicular por el punto medio de cada tramo. De esta manera se van determinando los polígonos de influencia de cada estación. Se miden las áreas de influencia y aplicamos la siguiente fórmula,

**Ecuación III.III. Precipitación media (Polígonos de Thiessen)**

$$h\bar{p} = \frac{1}{A_T} \sum_{i=1}^n A_i h_{pi}$$

donde  $A_i$  es el área de influencia de la estación  $i$ ;  $h_{pi}$  es la altura de precipitación registrada en la estación  $i$ ;  $n$  el número de estaciones bajo análisis; y  $A_T$  es el área de estudio.

Este método toma en cuenta la distribución de las estaciones, pero no los factores que puedan influir en la distribución de la lluvia. A pesar de ello, es el más conveniente cuando se tienen que realizar cálculos repetitivos o cuando se analizan gran cantidad de tormentas. Los polígonos de Thiessen no cambian, a menos que se agreguen o eliminen estaciones.

c) Método de las isoyetas

La isoyeta es una línea que une puntos de igual precipitación, es semejante a las curvas de nivel topográfico. Se deben de trazar en el plano de la zona de estudio. También se tienen que medir las diferentes áreas que se forman entre las isoyetas y el área de estudio. Aplicamos la siguiente expresión,

**Ecuación III.IV. Precipitación media (isoyetas)**

$$h\bar{p} = \frac{1}{A_T} \sum_{i=1}^n (h_{\bar{p}i} A_i)$$

donde  $A_i$  es el área  $i$  delimitada por dos isoyetas y el perímetro de la zona de estudio;  $n$  es el número de áreas  $A_i$  consideradas;  $h_{\bar{p}i}$  la precipitación media entre las isoyetas; y  $A_T$  el área de la zona de estudio.

Es necesario tener experiencia para dibujar las isoyetas porque se toma en cuenta los factores que influyen en la distribución de la lluvia, como por ejemplo los efectos

topográficos. Este método es el más preciso pero el más laborioso, porque se tienen que volver a trazar las isoyetas para cada tormenta.

No se deben trazar las isoyetas indiscriminadamente porque su precisión se verá afectada y no se obtendrá un resultado confiable.

De esta manera es como se calcula la precipitación media de una región y puede ser mensual o anual, dependiendo de lo que se quiera analizar.

### **Precipitación neta o lluvia efectiva en captación de agua de lluvia**

Algunos autores manejan el término de lluvia efectiva, precipitación neta o potencial de cosecha, y se refieren a la cantidad de lluvia que es efectivamente aprovechada por el sistema. Se utiliza un porcentaje de la precipitación media, dado que no toda el agua que llueve entra al sistema, siendo 90% el valor máximo.

De acuerdo con Anaya (2011), se calcula con la siguiente fórmula,

#### **Ecuación III.V. Precipitación neta**

$$PN = P * \eta$$

donde  $PN$  es la precipitación neta en mm;  $P$  la precipitación media en mm; y  $\eta$  la eficiencia de captación del agua de lluvia, que se obtiene de multiplicar el coeficiente de escurrimiento y un coeficiente de captación de 0.85. El coeficiente de captación es un valor que considera las pérdidas de agua por salpicamiento, viento, fricción, tamaño de gota y evaporación, se ha planteado de 0.85 de acuerdo con la experiencia desarrollada en CIDECALLI.

Se recomienda, que no se consideren las precipitaciones medias mensuales, que sean menores de 40 – 50 mm. Esto porque el agua no es suficiente para que entre al sistema o tiene mala calidad y es mejor que no ingrese al almacenamiento.

La altura de precipitación puede tener otro significado, pero en términos de volumen. Por cada 1 mm de precipitación se obtiene 1 litro de agua en 1 metro cuadrado, es decir:

$$1 \text{ mm} = 1 \frac{\text{l}}{\text{m}^2}$$

Esta relación se utilizará en ecuaciones posteriores para calcular volúmenes de agua obtenidos.

### **Coeficiente de escurrimiento**

Este coeficiente ( $C_e$ ) es un índice de la cantidad de agua que escurre por una superficie y siempre tiene un valor menor a 1 (Morales García, 2018). Existen diferentes tablas con estos valores dependiendo de tipo de material. Se muestran algunos valores en la tabla 2.

Tabla 2. Coeficientes de escurrimiento por tipo de material

Material o tipo de construcción	Ce
Cubiertas superficiales:	
Concreto	0.60 - 0.80
Asfalto	0.50 - 0.60
Geomembrana de PVC	0.85 - 0.90
Azotea:	
Azulejos o tejas	0.80 - 0.90
Impermeabilizada o cubiertos con materiales duros	0.9
Láminas de metal acanaladas	0.70 - 0.90
Hojas con barro	< 0.20
Captación en tierra:	
Suelos con pendientes menores a 10%	0.00 - 0.30
Superficies naturales rocosas	0.20 - 0.50

FUENTE: CIDECALLI (COMO LO CITÓ ANAYA, 2011) Y CONAGUA (2016)

### Curvas i-d-T

Para diseñar algunos elementos del sistema de captación pluvial, se tendrá que calcular un gasto máximo de diseño. Se requiere construir las curvas i-d-T de la región, a partir de datos obtenidos de pluviógrafos representativos que registran la lluvia acumulada conforme transcurre el tiempo. Estas curvas se ajustan a la siguiente expresión,

Ecuación III.VI. Curva i-d-T

$$i = \frac{KT^m}{d^n}$$

donde  $i$  es la intensidad asociada a un periodo de retorno, en mm/h;  $T$  el periodo de retorno en años;  $d$  la duración en minutos u horas; y  $k$ ,  $m$  y  $n$  constantes que van a depender de la información.

Un periodo de retorno ( $T$ ), es el número de años en que en promedio se presenta un evento, también se le asocia al número promedio de años en que un evento de magnitud dada es igualado o excedido. Se le puede conocer con otros nombres, intervalo de recurrencia o frecuencia (Ruiz Urbano, 2018). Para un registro de variable aleatoria, una forma de asignar el periodo de retorno es con la expresión,

Ecuación III.VII. Periodo de retorno

$$T = \frac{n + 1}{m}$$

donde  $T$  es el periodo de retorno;  $n$  el número de datos del registro; y  $m$  el número de orden.

Tenemos que determinar las constantes de las curvas i-d-T, con la información obtenida de las estaciones climatológicas. Una forma sencilla de hacerlo es aplicando logaritmos, por lo que tendríamos la siguiente igualdad:

$$\log i = \log k + m * \log T - n * \log d$$

la cual se parece a una correlación lineal múltiple de la siguiente manera:

$$y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2$$

donde:

$$\log i = y; \log k = a_0; m = a_1; \log T = x_1; -n = a_2; \log d = x_2$$

Esta correlación se puede resolver con un sistema de ecuaciones normales, de la siguiente forma:

$$\begin{aligned} \sum y &= Na_0 + a_1 \sum x_1 + a_2 \sum x_2 \\ \sum x_1y &= a_0 \sum x_1 + a_1 \sum x_1^2 + a_2 \sum x_1x_2 \\ \sum x_2y &= a_0 \sum x_2 + a_1 \sum x_1x_2 + a_2 \sum x_2^2 \end{aligned}$$

Resolviendo este sistema de ecuaciones, a partir de los datos registrados de precipitación, se pueden construir las curvas i-d-T, para obtener una intensidad de lluvia asociada a un periodo de retorno y una duración.

Surge un problema cuando no se tiene la instrumentación adecuada, para medir la precipitación y la forma en que se comporta a lo largo del tiempo. En México se tienen muchos datos puntuales y registros de precipitación máxima diaria anual, impidiendo aplicar el proceso antes descrito.

Campos - Aranda, desarrollaron un procedimiento que pueda usarse de acuerdo a las condiciones en las que obtenemos los datos, combinando la información de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes con los registros de la precipitación máxima diaria anual (como se citó en CONAGUA, 2016). Se propuso la siguiente ecuación,

**Ecuación III.VIII. Curva i-d-T Campos - Aranda**

$$i_d^T = \frac{aT_a}{(d + b)^c}$$

donde  $i_d^T$  es la intensidad de la lluvia para cualquier periodo de retorno  $T$  y cualquier duración  $d$ , en mm/h;  $T_a$  el periodo de retorno analizado en el año  $a$ , en años;  $d$  la duración de la lluvia, en minutos; y  $a$ ,  $b$  y  $c$  parámetros que se calculan a partir de datos de precipitación. También se hace uso de la expresión siguiente,

### Ecuación III.IX. Relación lluvia - Periodo de retorno

$$R_{ch} = \frac{P_1^T}{P_{24}^T}$$

donde  $R_{ch}$  es la relación entre una lluvia con precipitación para un periodo de retorno dado y una duración de 24 horas, adimensional;  $P_1^T$  la precipitación para un periodo de retorno dado y una duración de una hora, en mm; y  $P_{24}^T$  la precipitación para un periodo dado y una duración de 24 horas, se obtiene de multiplicar un factor de 1.13 por la precipitación máxima diaria para un periodo de retorno dado, en mm. Cuando se obtenga un valor de lo anterior, se procede a utilizar lo siguiente, cuando se tenga que  $0.10 \leq R_{ch} \leq 0.60$ :

$$\begin{aligned} a &= -2.297536 + 100.0389R_{ch} - 432.5438R_{ch}^2 + 1256.228R_{ch}^3 - 1028.902R_{ch}^4 \\ b &= -9.845761 + 96.94864R_{ch} - 341.4349R_{ch}^2 + 757.9172R_{ch}^3 - 598.7461R_{ch}^4 \\ c &= -0.0649834 + 5.069294R_{ch} - 16.08111R_{ch}^2 + 29.09596R_{ch}^3 - 20.06288R_{ch}^4 \end{aligned}$$

Las relaciones cambian cuando se tiene  $0.20 \leq R_{ch} \leq 0.70$ :

$$\begin{aligned} a &= 21.03453 - 186.4683R_{ch} + 825.4915R_{ch}^2 - 1084.846R_{ch}^3 + 524.06R_{ch}^4 \\ b &= 3.487775 - 68.13976R_{ch} + 389.4625R_{ch}^2 - 612.4041R_{ch}^3 + 315.8721R_{ch}^4 \\ c &= 0.2677553 + 0.9481759R_{ch} + 2.10911R_{ch}^2 - 4.827012R_{ch}^3 - 2.459584R_{ch}^4 \end{aligned}$$

Con los resultados se pueden construir las curvas i-d-T. Cabe mencionar que este método se utiliza para duraciones mayores a 5 minutos y menores a 24 horas, y un periodo de retorno mayor a un año. La SCT (2015), proporciona las isoyetas de cada Estado de la República, ya sean de intensidad o precipitación para algunas duraciones y periodos de retorno.

### Tiempo de concentración

Es el tiempo que tarda una partícula de agua en llegar, desde el punto más alejado, hasta la salida del área de estudio (Morales García, 2018). Lo anterior implica que toda la superficie aporta un escurrimiento, generando un gasto constante, si la intensidad de la lluvia no cambia.

Usaremos este concepto para poder asignar una duración a nuestra lluvia de diseño. Una de las formas más usuales de calcularlo, es con la propuesta por Kirpich,

### Ecuación III.X. Tiempo de concentración

$$tc = 0.000305 \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}}$$

donde  $tc$  es el tiempo de concentración, en horas;  $L$  la longitud del cauce principal, en m; y  $S$  la pendiente media del cauce, en decimal.

Todo lo anterior para poder obtener un gasto máximo de diseño y poder diseñar algunos elementos del sistema de captación pluvial.

## **Localización**

Es necesario conocer el lugar donde se encontrará ubicado nuestro sistema de captación porque de ahí obtendremos más información para su diseño.

Anaya Garduño, maneja dos términos, la macrolocalización y la microlocalización. El primer concepto se refiere al país, el estado, región y localidad o comunidad donde se encuentra el sistema. El segundo, es para identificar específicamente el sitio del sistema, haciendo uso de planos y croquis.

Conociendo la localización del sistema, podemos tener información general del lugar. Por ejemplo, el uso de suelo, las vías de comunicación, el crecimiento demográfico y la descripción del escenario ambiental.

Por otro lado, necesitaremos información sobre la precipitación del lugar, calidad de agua pluvial, relieve, la situación del agua de la población, disponibilidad y demanda del recurso hídrico. Más específicamente las colindancias del predio, cantidad de personas, usos del agua y vegetación alrededor. Estos datos nos ayudarán en gran medida para el diseño de un sistema de captación de agua de lluvia.

## **Calidad del agua**

Conociendo el término de precipitación y como se mide, es importante saber la calidad con la que cae del cielo. Se debe analizar el conjunto de características físicas, organolépticas, químicas, microbiológicas y radioactivas que tiene el agua.

Las características físicas y organolépticas se detectan sensorialmente. El olor y sabor, por ejemplo, se evalúan con los sentidos mientras que la turbiedad y color con pruebas de laboratorio. Por otro lado, las características químicas, son las concentraciones de elementos o compuestos químicos presentes en el agua y que pueden causar efectos nocivos en la salud. Mientras que las características microbiológicas, se refiere a la presencia de microorganismos peligrosos para la salud. Se determinan indicadores generales de contaminación microbiológica, específicamente de los coliformes totales y *Escherichia coli* o coliformes fecales. Por último, las características radioactivas, son resultantes de la presencia de elementos radiactivos (González Reyes, 2018).

La calidad del agua de lluvia depende de la zona en donde ocurra ya que, en zonas rurales, donde la contaminación es menor, la calidad es buena. No obstante, la calidad es deficiente mientras más cerca se esté de las ciudades, llegando a presentarse el fenómeno de lluvia acida, ya antes explicada.

A pesar de que el agua pluvial se puede acidificar, se ha visto que este fenómeno se presenta en los primeros días de lluvia y conforme van transcurriendo los días, el agua va adquiriendo una mejor calidad. La Universidad de Guadalajara monitoreó uno de los

lugares más contaminados de su ciudad, observando que el agua tenía poca acidez en las primeras lluvias y se iba estabilizando después de dos días (Revista CAMBIO, 2018).

La calidad del agua también se verá afectada por la superficie y el material con la que entre en contacto, será de mejor calidad si los materiales son impermeables.

Otro factor que influye en la calidad es la cantidad de precipitación, la duración de la tormenta y la frecuencia entre una y otra porque entre menos sea el tiempo entre las lluvias, la superficie de captación se encontrará más limpia y, mientras más intensas sean, llevarán menos basura y contaminantes (Red del Agua UNAM, 2010).

Al agua de lluvia se le considera relativamente pura, pero no hay que confiarse, ya que puede traer contaminantes de excrementos de algunos animales, como aves o roedores, que va arrastrando por su paso. Por tal motivo, es necesario tener los componentes del sistema limpios, antes de las primeras lluvias.

No solo debemos enfocarnos en la calidad del agua que entre a nuestro sistema, sino también con la que se entregará al usuario. Dependiendo del uso que se le dé al agua y conociendo la calidad con la que entre al sistema, se va a tener que implementar un tratamiento para mejorar sus características. Para ello existen varias normas que establecen criterios y procedimientos para mejorar la calidad, con el fin de que se pueda utilizar para diferentes actividades sin afectar la salud de las personas.

En México existen diferentes normas, pero una de las que más nos interesa es la Norma Oficial Mexicana "NOM-127-SSA1-1994, Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización" (Modificada en el año 2000). Debemos apegarnos a esta norma si queremos proporcionar agua para beber. En la tabla 3 se muestran los límites permisibles de esta norma.

Tabla 3. Límites permisibles de calidad de agua para uso y consumo humano

CARACTERÍSTICA	LÍMITE PERMISIBLE
Organismos coliformes totales	Ausencia o no detectables
<i>E. coli</i> o coliformes fecales u organismos termotolerantes	Ausencia o no detectables
Color	20 unidades de color verdadero en la escala de platino-cobalto.
Olor y sabor	Agradable (se aceptarán aquellos que sean tolerables para la mayoría de los consumidores, siempre que no sean resultado de condiciones objetables desde el punto de vista biológico o químico).
Turbiedad	5 unidades de turbiedad nefelométricas (UTN) o su equivalente en otro método.
Límites de características químicas expresados en mg/l:	
Aluminio	0.2

CARACTERÍSTICA	LÍMITE PERMISIBLE
Arsénico (Nota 2)	0.05
Bario	0.7
Cadmio	0.005
Cianuros (como CN <sup>-</sup> )	0.07
Cloro residual libre	0.2-1.50
Cloruros (como Cl <sup>-</sup> )	250
Cobre	2
Cromo total	0.05
Dureza total (como CaCO <sub>3</sub> )	500
Fenoles o compuestos fenólicos	0.3
Fierro	0.3
Fluoruros (como F <sup>-</sup> )	1.5
Hidrocarburos aromáticos en microgramos/l:	
Benceno	10
Etilbenceno	300
Tolueno	700
Xileno (tres isómeros)	500
Manganeso	0.15
Mercurio	0.001
Nitratos (como N)	10
Nitritos (como N)	1
Nitrógeno amoniacal (como N)	0.5
pH (potencial de hidrógeno) en unidades de pH	6.5-8.5
Plaguicidas en microgramos/l:	
Aldrín y dieldrín (separados o combinados)	0.03
Clordano (total de isómeros)	0.2
DDT (total de isómeros)	1
Gamma-HCH (lindano)	2
Hexaclorobenceno	1
Heptacloro y epóxido de heptacloro	0.03
Metoxicloro	20
2,4 D	30

CARACTERÍSTICA	LÍMITE PERMISIBLE
Plomo	0.01
Sodio	200
Sólidos disueltos totales	1000
Sulfatos (como SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> )	400
Sustancias activas al azul de metileno (SAAM)	0.5
Trihalometanos totales	0.2
Yodo residual libre	0.2-0.5
Zinc	5
Características radioactivas en Bq/l (Becquerel por litro):	
Radiactividad alfa global	0.56
Radiactividad beta global	1.85

FUENTE: (Comité Consultivo Nacional de Normalización de Regulación y Fomento Sanitario, 2000)

El sistema de captación debe proporcionar agua con estas características o mejores para que pueda ser consumida sin ningún problema. Para lograrlo se tienen que implementar los elementos necesarios para el tren de tratamiento. En la norma también se mencionan procedimientos para potabilizar el agua y para medir el contenido de cualquier sustancia u organismo presentes en el agua.

Ahora bien, si el agua del SCALL no será para consumo humano, se puede utilizar otra norma que sea menos estricta. Desgraciadamente en México, no existe alguna que proporcione criterios para uso de agua de lluvia en servicios al público o para uso doméstico, pero existen otras normas que se pueden utilizar para tener una idea de las características que debe tener el agua para estos usos.

Es posible basarse en los límites permisibles de la "NOM-003-SEMARNAT-1997, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público", presentados en la tabla 4. Esta norma hace referencia sobre aguas residuales tratadas que se utilizan en servicios al público, ya sea que los usuarios estén en contacto directo o indirecto con el agua. La norma considera las actividades en contacto directo como: llenados de lagos y canales artificiales recreativos con paseos en lancha, remo, canotaje y esquí; fuentes de ornato, lavado de vehículos, riego de parques y jardines. Mientras que las de contacto indirecto son: riego de jardines y camellones en autopistas, camellones en avenidas, fuentes de ornato, campos de golf, abastecimiento de hidrantes de sistemas contra incendio, lagos artificiales no recreativos, barreras hidráulicas de seguridad y panteones.

Tabla 4. Límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público

Contaminante	Servicios al público con contacto directo	Servicios al público con contacto indirecto
	Promedio mensual	
Coliformes fecales NMP/100 ml (Número más probable en 100 mililitros)	240	1,000
Huevos de helminto h/l (huevos en cada litro)	≤1	≤5
Grasas y aceites mg/l	15	15
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) mg/l	20	30
Sólidos suspendidos totales mg/l	20	30
Materia flotante	Ausente	Ausente
Concentración de metales pesados en agua reusada en servicios al público, en mg/l:		
	Promedio mensual	Promedio diario
Arsénico	0.2	0.4
Cadmio	0.2	0.4
Cianuro	2	3
Cobre	4	6
Cromo	1	1.5
Mercurio	0.01	0.02
Niquel	2	4
Plomo	0.5	1
Zinc	10	20

FUENTE: (SEMARNAT, 2017)

Esta norma puede servir de apoyo, al presentar los límites de contaminantes que debe tener el agua si se ocupa para servicios al público. La norma menciona algunas actividades en las que se podría usar, pero no las demás acciones domésticas, como por ejemplo el lavado de ropa.

No hay alguna norma que se enfoque a la cosecha y reúso de agua de lluvia, en México, ni de las características que debe tener para ser utilizada en ciertas actividades.

## Demanda de agua

Conocer la cantidad de agua que se va a suministrar a los usuarios es importante, pero para ello es necesario conocer el volumen del recurso que es utilizado para realizar sus actividades.

Primeramente, se tiene que conocer el término de consumo, y se refiere al suministro de agua potable que utilizan los diferentes tipos de usuarios, sin tomar en cuenta las pérdidas físicas. Se divide según su uso en: consumo doméstico, comercial, industrial y de servicios públicos (Comisión Nacional del Agua, 2007).

El consumo es muy diferente para cada tipo de uso. Para actividades domésticas varía conforme a la zona, clase social y clima. En uso comercial depende de la actividad realizada. Mientras que, en las industrias influye el tipo de esta. Finalmente, en uso público, la cantidad de agua utilizada corresponderá de acuerdo con las diferentes instalaciones.

Difícilmente existe una instrumentación que mida el consumo en cada caso. Es muy complicado monitorear, en cada momento, la cantidad de agua utilizada para todas y cada una de las actividades realizadas.

Cabe recalcar que en el consumo no se reflejan las pérdidas físicas. Es muy importante tomarlas en cuenta, de no ser así se estaría suministrando agua insuficiente a los beneficiarios. Aún en sistemas de abastecimiento de agua, en condiciones controladas y monitoreadas, llegan a tener pérdidas. Hasta en países desarrollados, se llega a presentar un porcentaje mayor al 30%.

Todo lo anterior sirve para calcular la demanda actual, siendo la suma de todos los consumos más las pérdidas físicas del recurso. Las pérdidas se pueden medir, sin embargo, cuando no se tenga suficiente información se pueden calcular con el 40 - 60% del volumen suministrado, en algunos casos especiales se llega a reducir en un 20% cuando se tiene un sistema de monitoreo.

Muchos autores calculan la demanda a partir de la dotación. Este concepto se refiere a la cantidad de agua asignada a cada habitante, considerando todos los consumos y las pérdidas del sistema, en un día medio anual. La dotación tiene unidades de l/hab/día (litro por cada habitante en un día). Anaya hace uso de este dato, utilizando la siguiente ecuación,

**Ecuación III.XI. Demanda de agua mensual**

$$D_j = \frac{Nu * Dot * Nd_j}{1000}$$

donde,  $D_j$  es la demanda de agua en el mes  $j$ , en  $m^3$ ;  $Nu$  el número de beneficiarios del sistema;  $Dot$  la dotación en l/hab/día; y  $Nd_j$  el número de días del mes  $j$ . Se puede obtener la demanda anual sumando la demanda de cada mes,

### Ecuación III.XII. Demanda de agua anual

$$D_{anual} = \sum_{j=1}^{12} D_j$$

Para sistemas de captación pluvial enfocados a negocios, escuelas, oficinas, etc., se puede hacer uso de la dotación proporcionada en el Reglamento de Construcciones del Distrito Federal.

La demanda ayudará para calcular el volumen de la cisterna, además de conocer el porcentaje que el sistema de captación cubrirá o si recibirá más agua de la necesaria.

### Captación

A la superficie sobre la cual cae el agua de lluvia, se conoce como área de captación, y solo se debe considerar la proyección horizontal del área, expresándola en m<sup>2</sup>. Se pueden utilizar varios lugares para captar el agua, siendo los techos los más comunes, de igual manera se pueden utilizar los patios, estacionamientos, calles o hasta la ladera de una colina.

Aquí se presenta otra diferencia entre el aprovechamiento pluvial en zonas rurales y en urbanas. Fuera de la ciudad, hay suficiente espacio como para construir una estructura de gran tamaño para captar agua de lluvia. En zonas rurales se calcula la demanda de los usuarios y en base a eso dimensionan una estructura con el área suficiente para captar el agua necesaria. En las ciudades no se puede diseñar así, simplemente porque no hay espacio, el terreno está ocupado por casas, edificios, negocios, escuelas, hospitales, etc. Lo que se hace es adaptar las cubiertas de las estructuras existentes para que sirvan de áreas de captación.

Es recomendable que las áreas de captación cuenten con pendiente que facilite el escurrimiento del agua. Así mismo, es necesario que el material de captación no contamine o altere de forma negativa la calidad del agua.

Si el agua pluvial es aprovechada para usos no potables, puede ser captada por una superficie de cualquier material. Sin embargo, si se quiere diseñar un sistema para consumo humano, lo recomendado es que se utilice una superficie de concreto, barro o un recubrimiento de acrílico y se eviten las áreas con recubrimientos que contengan zinc, cobre, asbesto o plomo (Red del Agua UNAM, 2010).

En caso de existir superficies sin construcción, se puede utilizar una cubierta extensa, llama "rainbarn", que se coloca al aire libre para recolectar el agua pluvial y poder cubrir al mismo tiempo grandes espacios como cocheras, patios, guardar paja o maquinaria (Red del Agua UNAM, 2010).

El área de captación es el primer elemento con el que el agua entra en contacto, por eso es importante mantener limpia la superficie para que entre agua de mejor calidad al

sistema. Esta parte del sistema es donde se concentra la mayor parte de los residuos y donde el agua comienza a arrastrarlos.

Se recomienda podar los árboles que se encuentren cerca de las cubiertas que sirvan de captación, de tal manera que se reduzca la cantidad de hojas caídas. Además de no tener mascotas en las azoteas. Para tener agua de mejor calidad es necesario limpiar las superficies de captación antes de cada lluvia.

Las azoteas de los edificios son las más utilizadas porque son las que tienen menos contaminantes, a comparación de otros lugares, como patios, estacionamientos, canchas y calles. Las vías de transporte suelen ser las más contaminadas, al tener grandes cantidades de basura, residuos y aceites de los automóviles, por eso mismo no se recurre a utilizarlas como captación de agua pluvial.

En las zonas periurbanas se pueden utilizar las laderas de una colina como áreas de captación. Estas superficies se tienen que adaptar para mejorar la eficiencia de captación. Si se llegan a utilizar es necesario impermeabilizarlas con plástico, geomembrana o concreto, para mejorar el escurrimiento y mantener la calidad del agua.

Anaya (2011), propone utilizar la siguiente expresión para calcular la capacidad de captación de las superficies,

**Ecuación III.XIII. Capacidad de captación anual**

$$C_{anual} = \frac{Aec * (\sum_{j=1}^n PN_j)}{1000}$$

donde,  $C_{anual}$  es la cantidad de agua captada en  $m^3$ ;  $Aec$  el área de captación en  $m^2$ ;  $PN_j$  la precipitación neta del mes  $j$ ; y  $j \dots n$  los meses cuya precipitación media es mayor o igual a 40 mm.

Algunos investigadores calculan este valor sin considerar el coeficiente de captación, de 0.85, solamente toman en cuenta el coeficiente de escurrimiento. Es necesario hacer uso de las expresiones propuestas por Anaya.

De igual manera se puede calcular el volumen de agua captada por mes, esto ayudará para el diseño de un componente del sistema. La expresión por utilizar es la siguiente,

**Ecuación III.XIV. Capacidad de captación mensual**

$$C_j = \frac{Aec * PN_j}{1000}$$

donde,  $C_j$  es la cantidad de agua captada del mes  $j$ , en  $m^3$ ;  $Aec$  el área de captación en  $m^2$ ; y  $PN_j$  la precipitación neta del mes  $j$ .

## Conducción

También conocido como transportación; es un conjunto de elementos que llevan el agua de la captación hasta el almacenamiento, de igual manera llevarla a un tren de tratamiento o a su destino.

Existen diversos elementos de conducción, de diferentes materiales y formas, inclusive algunos diseñados para conservar la estética de la construcción. Los materiales que más se utilizan son el PVC, aluminio, lámina galvanizada y polietileno de alta densidad. Estos materiales funcionan adecuadamente para los SCALL, al ser livianos, resistentes, de rápida instalación, fácil manejo y ensamblaje. Es importante que los materiales usados no contaminen el agua.

Para usos no potables se puede utilizar cualquier material, pero si se quiere usar el agua para uso potable es necesario utilizar PVC, al ser un material que conserva la calidad del recurso captado (Red del Agua UNAM, 2010).

El agua va arrastrando residuos, principalmente hojas, que se van juntando en las canaletas, por eso deben de mantenerse limpias para alargar su vida útil e incrementar la eficiencia del sistema. Las canaletas limpias secan más rápido, teniendo una durabilidad de hasta 3 veces más que una que se encuentre sucia y húmeda (Red del Agua UNAM, 2010).

Las canaletas y las tuberías son los elementos más comunes para la implementación de un SCALL. Cuando el agua es captada por medio de techos, las canaletas son utilizadas para comenzar la etapa de conducción, se colocan en los bordes donde escurre el agua para recogerla. Las canaletas son instaladas con soportes a cada 1.5 m a lo largo, con una pendiente entre 1% y 4%, se recomienda usar 2% como valor medio, de acuerdo con experiencias de CIDECALLI.

Cuando se tienen techos de láminas acanaladas es recomendable el uso de canaletas, si se tienen cubiertas de concreto, lo mejor es formar una hilera de ladrillos alrededor, que conduzcan el agua hacia tuberías.

Para diseñar las secciones y el tamaño de las canaletas y tuberías se hace uso de algunas ecuaciones. La expresión del flujo volumétrico:

**Ecuación III.XV. Flujo volumétrico**

$$Q = A * v$$

donde  $Q$  es el gasto en  $m^3/s$ ;  $A$  el área de la sección del canal o tubería (comercial) en  $m^2$ ; y  $v$  la velocidad del caudal de agua en  $m/s$ . Se hace uso de la fórmula de Manning para calcular la velocidad:

**Ecuación III.XVI. Fórmula de Manning**

$$v = \frac{r^{\frac{2}{3}} * \sqrt{s}}{n}$$

donde  $n$  es el coeficiente de rugosidad que depende del material, adimensional;  $r$  el radio hidráulico en m; y  $s$  la pendiente, adimensional. Se presenta la tabla 5 con los valores del coeficiente de rugosidad.

**Tabla 5. Coeficientes de rugosidad para diferentes materiales**

Tipo	Material	n
Tubería	Acero galvanizado (nuevo y usado)	0.014
	Acero soldado o con remache avellanado y embutido (nuevo)	0.012 - 0.013
	Fierro fundido limpio (nuevo)	0.013
	Plástico (PVC o PE)	0.007 - 0.009
	Asbesto-cemento (nuevo)	0.01
	Concreto monolítico bien cimbrado y pulido (D>1.25 m)	0.011 - 0.0123
	Concreto con juntas de macho y campana (D>0.8 m)	0.012 - 0.015
Canales	Tepetate (liso uniforme)	0.025 - 0.040
	Tierra (alineado y uniforme)	0.017 - 0.025
	Maspostería con cemento	0.017 - 0.025
	Concreto	0.013 - 0.020
	Polietileno o PVC	0.007 - 0.009

FUENTE: ELABORACIÓN DE ORTEGA (COMO LO CITÓ ANAYA, 2011)

Con esto se calcula el gasto que tiene una sección con medidas comerciales para después compararlo con un caudal de conducción, calculado a partir de los datos hidrológicos. Anaya (2011), hace uso del caudal de agua de lluvia:

**Ecuación III.XVII. Caudal de conducción**

$$Q_c = \frac{5}{18} (A_{ec} * I_{lluvia})$$

donde  $Q_c$  es el caudal de conducción en l/s, un gasto de diseño asociado a un periodo de retorno dado;  $\frac{5}{18}$  es un factor para convertir m³/h a l/s;  $A_{ec}$  el área efectiva de captación en m²;  $I_{lluvia}$  la intensidad máxima de lluvia, que se obtiene de datos de estaciones meteorológicas y estudios hidrológicos, CIDECALLI recomienda usar valores entre 0.05 – 0.1 mm/h pero es mejor calcularlo con los datos obtenidos de estaciones.

Se calcula el caudal de conducción de acuerdo con el diseño. Haciendo uso de la fórmula de Manning y de la ecuación de la continuidad se calcula un gasto Q, recordando que el área de las canaletas y tuberías se propone y se obtiene de las medidas comerciales. Una

vez obtenidos los datos de  $Q_c$  y  $Q$ , se comparan. Cuando  $Q \geq Q_c$ , el tamaño de la sección se acepta, pero si  $Q < Q_c$ , se tiene que proponer otra sección de mayor tamaño.

Existen otros métodos para calcular  $Q_c$ , siendo el método racional americano el más utilizado. Se hace uso de la siguiente expresión:

Ecuación III.XVIII. Gasto de diseño

$$Q_c = \frac{CIA}{360}$$

donde  $Q_c$  es el gasto de diseño en  $m^3/s$ ;  $C$  el coeficiente de escurrimiento, adimensional;  $I$  la intensidad de lluvia asociada a un periodo de retorno, en  $mm/h$ ;  $A$  el área de captación en hectáreas. Este método se utiliza en áreas de estudio pequeñas y que se encuentren en zonas urbanas.

### Primer filtrado

Las superficies de captación se encuentran en diferentes entornos, ya sea que se estén en zonas rurales, en ciudades, rodeadas de árboles, edificios, etc. Las áreas de captación siempre se verán afectadas por todo lo que les rodea y van a tener basura, hojas, sedimentos u otros objetos y cosas que contaminen el agua que es captada, además de ser arrastrados por la misma lluvia, a través del sistema hasta el almacenaje.

Cabe mencionar que las primeras lluvias son las que arrastran más basura, sedimentos y contaminantes. Esto porque los residuos se fueron concentrando en la superficie de captación mientras no se presentaban las lluvias, y como ya se mencionó, al principio de la época de lluvias, el agua tiene una mala calidad a causa de la contaminación en la atmósfera.

Hay diferentes lugares que se pueden ocupar para captar agua, sin embargo, no van a estar en las mismas condiciones. No existe la misma basura y residuos en un techo que en un estacionamiento.

Preferentemente se utilizan los techos para ocupar el agua captada en uso potable, esto porque existen menos agentes y factores que contaminen el agua y sea más fácil tratarla. Por otro lado, están las áreas de captación en donde se presentan más contaminantes para el agua, por ejemplo, un estacionamiento, en donde la presencia del aceite contamina en gran medida y es más complicado, al igual que costoso, el tratamiento.

En el primer filtrado, lo que se pretende hacer es reducir la mayor parte de basura y contaminantes solubles que afecten a la calidad del agua y el funcionamiento del sistema. La complejidad de los sistemas de filtrado dependerá del tamaño y lugar de la superficie de captación y del uso que se le dé al agua (Red del Agua UNAM, 2010).

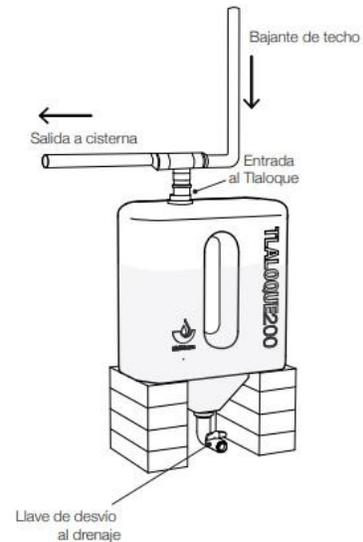
Una manera sencilla de realizar el primer filtrado se hace por lo general en las canaletas o en la entrada de las tuberías, colocando mallas, rejillas o algún elemento que retenga la basura y los sedimentos de mayor tamaño.

Aparte de retener algunos residuos, otros sistemas de primer filtrado desalojan el agua de las primeras lluvias, que es la que contiene mayor cantidad de basura y sedimentos, así mismo se puede retirar el agua que en algún momento tenga muy mala calidad. A estos dispositivos se les conoce como separador de primeras aguas.

Se han hecho varias pruebas y análisis a muchos modelos de separadores de primeras aguas para ver la eficiencia de estos. Isla Urbana tiene un modelo muy eficiente de este dispositivo, se le conoce como Tlaloque, figura III.IV.

El Tlaloque es un contenedor que recibe las primeras aguas. Se recomienda dejar pasar las tres primeras lluvias, para eso tiene una llave en la parte inferior del dispositivo, que se deja abierta. Una vez se quiera almacenar el agua, la llave se cierra para que cuando el dispositivo se llene, el agua pase al almacenamiento. Con este dispositivo, se quita entre el 60 y 80% de los contaminantes.

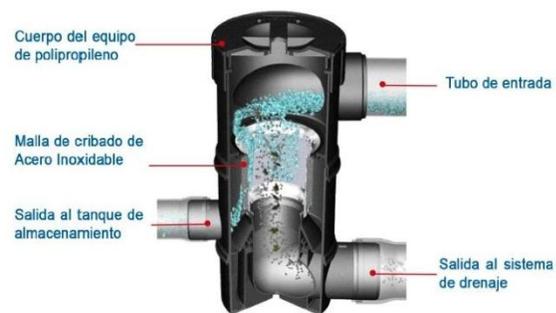
El agua retenida en el Tlaloque puede ser utilizada para riego y es necesario que se encuentre vacío antes de cada lluvia. En caso de que se encuentre lleno el almacenamiento, se puede dejar la llave abierta del dispositivo para que el agua tenga una salida. Un Tlaloque tiene capacidad para recibir agua de un techo de hasta 120 m<sup>2</sup>. Se pueden utilizar varios dispositivos conectados entre sí, cuando se tenga un área mayor.



**Figura III.IV. Tlaloque**  
FUENTE: (Isla Urbana, 2017)

El modelo presentado en la figura III.IV, es el más común, pero existen otros de menor y mayor tamaño para las diferentes necesidades. Aunque también se pueden construir con tambos y tuberías, pero cambiaría la eficiencia del elemento.

Una compañía alemana desarrolló el filtro WISY, figura III.V, este genera un vórtice alrededor de una malla de acero inoxidable, cuando ingresa el agua. El agua atraviesa la malla y es conducida a la cisterna. Los contaminantes que no atraviesan la criba son removidos al drenaje. El filtro se utiliza para techos entre los 500 y 1,000 m<sup>2</sup>. Debido a su diseño, no requiere de gran mantenimiento, solo se revisa la malla cada 6 meses.



**Figura III.V. Filtro WISY**  
FUENTE: (Soluciones Hidropluviales, s.f.)

Para sistemas comunitarios se utilizan los sedimentadores, reteniendo y recolectando los sólidos de mayor tamaño (IMTA, 2015).

Los elementos de primer filtrado son importantes porque reducen la frecuencia del mantenimiento, la materia orgánica que produce malos olores, el afluente de bacterias y los espacios que pueden ser aptos para la formación de mosquitos (Red del Agua UNAM, 2010).

## Almacenamiento

El almacenamiento es una estructura para guardar agua y esté disponible para los usuarios. En general está compuesta por tres partes, la base, las paredes y la cubierta. Existen diferentes formas, tamaños, materiales y métodos de construcción para elaborar almacenamientos.

Se pueden encontrar sobre el suelo, enterrados, subterráneos o elevados (Red del Agua UNAM, 2010). Tienen que cumplir con ciertas características. Deben ser resistentes, duraderos, de fácil manejo y mantenimiento, de tamaño adecuado para recibir y abastecer agua suficiente, además de conservar la calidad de agua almacenada.

Es necesario que el almacenamiento cuente con una tapa para evitar las pérdidas por evaporación, impidiendo la entrada de basura, sedimentos u organismos. Se deben de construir para no tener pérdidas por infiltraciones o fugas y no dejar entrar la luz solar, para prevenir el crecimiento de algas. Los almacenamientos pueden ser cisternas o tanques, siendo los más comunes, y a nivel comunitario, las ollas (IMTA, 2015).

De todos los componentes que se han mencionado, el almacenamiento es el más caro generalmente, y el que va a regir el precio de un sistema de captación de agua de lluvia. Por lo anterior, lo mejor es encontrar un material que sea de bajo costo y fácil de construir, que cumpla con lo requerido.

Se tiene que diseñar para aprovechar la mayor cantidad de agua captada. No gastando recursos en construir un almacenamiento que no se llenará o, por el contrario, para almacenar agua que no será utilizada.

Debe de existir una salida de excedente, en caso de que el almacenamiento llegue a su capacidad máxima, para evitar que sufra daños y perjudique al mismo sistema. Es preferible que esta salida sea conectada a una red de drenaje, sin embargo, la tubería de conexión debe de contar con una válvula check para evitar que aguas contaminadas entren al almacén. Esta salida se puede omitir si se tiene un separador de primeras aguas que desaloje el excedente, antes de que entre al almacenamiento, teniendo un buen control en la operación de este.

Se debe tener muy en cuenta la cimentación, para que esta y el suelo puedan soportar el peso del almacenamiento y no tenga daños estructurales o se hunda (Red del Agua UNAM, 2010).

Es recomendable que el agua entre por la parte inferior del almacenamiento y con un flujo no turbulento, para evitar que se levanten los sedimentos que se encuentran en el fondo y se vuelvan a mezclar con toda el agua. Existen dispositivos que reducen la turbulencia de entrada.

Otro método que es necesario aplicar, es el uso de una pichancha flotante. Con este elemento se puede extraer agua de la parte superior, donde se encuentra la de mejor calidad, porque en el fondo se encuentra la gran parte de los sedimentos.

Se recomienda el uso del cloro en el almacenamiento. El cloro ayudará a mejorar la calidad del agua, eliminando bacterias, algas y microbios que puedan ir formando colonias. Un litro de cloro es suficiente para eliminar los microorganismos que se encuentren en 8,000 litros de agua (Isla Urbana, 2017).

A continuación, se presenta la tabla 6 sobre algunas características, ventajas y desventajas de algunos tipos de cisternas.

**Tabla 6. Tipos de cisternas**

Tipo	Características	Ventajas	Desventajas	Capacidades (L)
Concreto	Se construyen con concreto, agregados finos y gruesos. Pueden ser prefabricadas o construidas en sitio.	Tienen gran resistencia	Son de las más costosas	A partir de 5,000
		Son durables	Necesitan de espacios amplios para su construcción	
		Condiciones controladas de construcción		
		Pueden ser impermeabilizadas	Puede cambiar el olor y sabor del agua	
Polietileno	Son los más usados. Varían en forma, tamaño y color. Generalmente se colocan superficialmente, pero en algunos casos pueden ser enterrados.	Ya están elaboradas	No es recomendable enterrarlas	450 - 20,000
		Fácil transportación e instalación	No se utilizan para grandes volúmenes de agua	
		Durables		
		Flexibles	Recomendados para almacenar agua potable	
Polipropileno	Similares a las de polietileno, pero más resistentes a las altas temperaturas.	Son ligeras	El agua se calienta con el sol	1,200 - 40,000
		Resistentes		
		Fácil transportación e instalación		
Cisternas revestidas con cubierta flotante de geomembrana	Se hace uso de geomembranas de alta elasticidad y resistencia al punzonamiento. Son termofusionables. Tienen una vida de 25 años. Se deben anclar el perímetro superior y ser cubierto con	De 3 a 4 veces más económica que las de concreto	Se deben realizar acciones preliminares en el terreno	Hasta 4'000,000
		Llegan hacer más económicas que las de ferrocemento	El terreno debe ser apto para hacer terraplenes	
		Los materiales tienen una garantía de 10 años		

Tipo	Características	Ventajas	Desventajas	Capacidades (L)
	tierra.			
		Se evita la contaminación del agua	No se recomiendan en terrenos arenosos	
		Reparaciones rápidas y fáciles de realizar		
		Reacciona bien a los movimientos sísmicos	Se requiere equipo y personal especializado, calificado y certificado	
Placas prefabricadas de cemento	Se fabrican las piezas en moldes con una mezcla de cemento, arena y agua. Se encuentran enterradas a 2/3 de la altura. Tiene un refuerzo de alambre.	No necesita mano de obra especializada	Si no están enterradas, el agua se calienta	16,000 - 52,000
		Son de bajo costo		
		Su construcción es rápida		
		Materiales y herramientas fáciles de conseguir	No se deben usar en zonas sísmicas	
		Se pueden impermeabilizar con arcilla		
Ferrocemento	Se utiliza una malla de metal para ser construida, a la que se le aplica concreto lanzado.	Son de bajo costo	El agua se calienta con facilidad	Hasta 30,000
		Uso reducido de materiales	No se puede interrumpir su construcción	
		No se necesita cimbrar		
		Construcción sencilla y rápida	Tiene pérdidas por filtración	
		No requiere mano de obra especializada	No se deben usar en zonas sísmicas	
Cemento-tabique	Se construyen en zonas rurales, con arcilla horneada y arena cementada.	Materiales de bajo costo	No se deben usar en zonas sísmicas	2,000 - 30,000
		Materiales fáciles de conseguir	Son costosas para grandes volúmenes	
		Pueden ser impermeabilizadas con cemento	Necesitan de estructuras de soporte	
Metal	Se utilizan mucho para construir cisternas y tanques de almacenamiento, a partir de placas de metal.	Son ligeras	No son resistentes a la corrosión	600 - 10,000
		Rápidas de elaborar	En tanques nuevos puede existir un exceso de zinc, cambiando el sabor	
		Fáciles de transportar	Se requiere personal especializado para unir piezas	

Tipo	Características	Ventajas	Desventajas	Capacidades (L)
Acero soldado con autógena	Se unen placas de acero para formar la cisterna.	Muy durables	Son las más costosas	120,000 - 4'000,000
		Son muy resistentes	Son pesadas	
		No tiene pérdidas	Se requiere personal especializado para unir piezas	
			El agua se calienta con el sol	
Quicktank de geomembrana	Se construye con geomembrana soportada con una estructura de malla electrosoldada.	Se pueden instalar en 4 horas	Se requiere personal especializado para reparaciones	8,500 - 30,000
		Resistentes a la intemperie	La estructura de soporte se puede dañar con movimientos sísmicos	
		Fáciles transportar, instalar y re-ubicar		
		Ligeros	Se requiere una base plana para su colocación	
		Impermeables		
		Recomendados para agua potable		

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA A PARTIR DE DATOS DE ANAYA GARDUÑO (2011) E ISLA URBANA (2017)

Una de las partes más importantes del diseño de un sistema de captación de agua de lluvia, es el almacenamiento. Existen varias formas de calcular el volumen, pero la mayoría van enfocadas al diseño en zonas rurales. Se calcula la demanda para determinar la capacidad del almacén y en función de eso se calcula el área de captación a construir.

En zonas urbanas no se puede realizar de la forma anterior. Al tener un área de captación existente, se calcula el volumen de agua recolectada en los diferentes meses, de igual manera se calcula la demanda mensual. Los datos se vacían en una tabla, comenzando por el mes en donde se tiene la mayor precipitación. Se van acumulando los valores del volumen de captación y demanda. Finalmente se hace una diferencia entre los dos datos, obteniendo la mayor diferencia positiva. Con ese valor se dimensiona una cisterna o tanque, también se puede elegir de los productos comerciales.

Con este análisis se va a observar el tiempo con el que se dispone del recurso hídrico y que porcentaje cubre de la demanda total, o si habrá almacenada agua de más.

## Tratamiento

El tratamiento va a depender de la calidad del agua de lluvia que va entrando al sistema y del uso que se le va a dar. No se va a gastar en potabilizar el agua para que sea utilizada en riego, por ejemplo.

Si el agua va a ser para consumo humano, se requerida de un tratamiento y pruebas más rigurosas para alcanzar la calidad necesaria, cumpliendo con las normas.

Existen diferentes métodos de tratamiento, que van desde muy simples a más complejos, a continuación, se presentan algunos de los más comunes.

Una forma de tratamiento que se ha utilizado desde hace varios años, de las más fáciles y económicas, es hervir el agua. Solo se debe dejar en ebullición entre 15 y 30 minutos. Con este método no se alcanza una desinfección al 100% hay algunas bacterias que son termoresistentes y siguen presentes en el agua, además de aumentarse la concentración de los minerales disueltos. Solo se recomienda cuando el agua es prácticamente pura.

La utilización del cloro es una de las formas más sencillas, económicas y eficaces para la eliminación de las bacterias, hongos, virus, esporas y algas presentes en el agua. La cantidad de cloro va a depender de la concentración de este, si se usa en menor cantidad puede ser que no las elimine por completo, pero si se llega a utilizar de más, va a cambiar la calidad del agua, y en exceso puede ser perjudicial para la salud. Las formas más usuales de emplear el método es clorar con hipoclorito de sodio al 13% o dióxido de cloro estabilizado al 8%. Una concentración de 3-5 ppm (partes por millón) es suficiente para destruir bacterias e inactivar virus después de un tiempo de reacción de 30 minutos (Anaya Garduño, 2011).

Otra sustancia que se emplea de manera simple para la desinfección es la plata iónica, la cual está disponible en el mercado. Después de agregarla al agua se necesita esperar alrededor de 20 minutos (Soluciones Hidropluviales, s.f.). Este método elimina todos los microorganismos, bacterias, virus, hongos y algas. También existen dispositivos electrónicos que liberan iones de plata, tienen una vida útil de 1 a 3 años.

Una forma para separar los sólidos del líquido es el uso de filtros de cerámica, debido a sus poros finos retienen las pequeñas partículas. Tienen una desventaja porque en ellos se van formando colonias de microorganismos. Es importante que, si se utilizan estos filtros, estén recubiertos o tratados con plata iónica para eliminar la materia orgánica (Soluciones Hidropluviales, s.f.).

El carbón activado es uno de los materiales más usados y sirve para eliminar el mal olor y sabor del agua, así como disminuir la concentración de cloro, eliminar las partículas contaminantes y quitarle dureza al agua. En el mercado existen filtros de carbón activado que son de fácil instalación. Se debe de dar mantenimiento a los filtros o cambiarlos cada 3 o hasta 6 meses porque se pueden saturar, taparse los poros, y/o irse formando colonias de bacterias.

Para purificar el agua se puede utilizar el ozono, este material ayuda a reducir la turbiedad, el mal olor, mal sabor y sólidos suspendidos, adicionalmente oxida los metales presentes. Destruye los organismos vivos e inactiva los virus en poco tiempo. El problema de este método es el elevado costo, una instalación especial, mantenimiento constante y uso de energía eléctrica.

Los rayos ultravioletas se ocupan para eliminar microorganismos en el agua. Funciona como un germicida, anulando las bacterias, gérmenes, virus, algas y esporas. La luz destruye su ADN. Es un método rápido y eficiente, sin dañar el medio ambiente y de fácil instalación, solo se requiere dar mantenimiento.

Uno de los procesos que elimina el 95% de los sólidos disueltos totales y el 99% de las bacterias, es la ósmosis inversa. Con este método, se pasa el agua a través de una membrana semipermeable, teniendo un flujo de agua pura, libre de minerales, coloides, partículas de materia orgánica, bacterias, virus, esporas, levaduras, microbios, proteínas y aromáticos. Este método es de los más caros y no se recomienda cuando el agua es dura (Soluciones Hidropluviales, s.f.).

El tren de tratamiento se suele colocar después del almacenamiento y en caso de que se requiera un proceso de purificación, se recomienda colocarlo en la entrada de un tanque elevado, para que el recurso esté disponible y se distribuya a la red de agua.

Como se mencionó, debemos conocer la calidad de agua que ingresa a nuestro sistema porque a partir de esa información se van a elegir los métodos para mejorarla. Dependiendo de los contaminantes, su concentración y del uso que tendrá el agua, se utilizarán los métodos que mejor se adapten a las necesidades del usuario.

## Distribución

Es el conjunto de elementos que llevan el agua del almacenamiento hasta la disposición final, facilitando el acceso al recurso y poder aprovecharlo.

La distribución se hace mediante sistemas de bombeo, permitiendo que el agua sea transportada con facilidad. Por lo general se utilizan motobombas, pero pueden existir mecanismos manuales, dependiendo de la potencia que se requiera para hacer circular el agua.

Cuando se va a ocupar el agua del almacén, es necesario dejar que pase un tiempo después de cada tormenta, por si llegaron a pasar sedimentos, estos se asientan en el fondo del tanque.

Las motobombas son las más utilizadas, pero se debe tener cuidado al comprar una. Es necesario calcular la potencia necesaria para que el sistema funcione correctamente. Anaya hace uso de la siguiente expresión para calcular la potencia:

**Ecuación III.XIX. Potencia hidráulica**

$$PH = Q * CDT * \gamma$$

donde  $PH$  es la potencia hidráulica, en watts;  $Q$  el gasto en  $m^3/s$ ;  $CDT$  la carga dinámica total en m.c.a. (metros columna de agua); y  $\gamma$  el peso específico del líquido, en  $N/m^3$ , para el agua a  $4^\circ C$  tiene un valor de 9,800. En la mayoría de los casos, las motobombas las venden con potencia en unidades de HP (horsepower), se necesita utilizar la siguiente equivalencia para pasar de watts a HP:

$$1 HP = 745.7 \text{ watts}$$

Para obtener la carga dinámica total en una conducción por bombeo en descarga libre se utiliza la siguiente ecuación:

**Ecuación III.XX. Carga dinámica total**

$$CDT = H_{estática} + hf + h_s + \frac{v^2}{2g}$$

donde  $H_{estática}$  es la carga estática, siendo la diferencia del nivel mínimo de bombeo y el nivel de descarga, en m.c.a.;  $hf$  las pérdidas de cargas por fricción que se presentan a lo largo de la tubería para un gasto dado, en m.c.a.;  $h_s$  las pérdidas locales provocadas por los accesorios presentes, en m.c.a.;  $v$  la velocidad en m/s;  $g$  la aceleración gravitacional en m/s<sup>2</sup>; teniendo  $\frac{v^2}{2g}$  como la carga de velocidad, en m.c.a. Existen varios métodos para calcular las pérdidas, sin embargo uno de los más usados y empleado por la CONAGUA, es el propuesto por Darcy-Weisbach:

**Ecuación III.XXI. Pérdida de carga por fricción**

$$hf = f * \frac{L}{D} * \frac{v^2}{2g}$$

donde  $f$  es el coeficiente de pérdidas, adimensional;  $L$  la longitud de la tubería, en m; y  $D$  el diámetro de la tubería, en m. De igual manera existen varias formas de obtener el coeficiente de pérdidas. El método que tiene menos errores con respecto a las otras es la ecuación modificada de Colebrook-White, propuesta por José Óscar Guerrero (1995), del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua:

**Ecuación III.XXII. Coeficiente de pérdidas (Colebrook-White modificada)**

$$f = \frac{0.25}{\left[ \log \left( \frac{\varepsilon}{3.71D} + \frac{G}{Re^T} \right) \right]^2}$$

donde  $\varepsilon$  es la rugosidad absoluta que depende del material, en mm;  $D$  el diámetro en mm;  $Re$  el número de Reynolds, adimensional:

**Ecuación III.XXIII. Número de Reynolds**

$$Re = \frac{v * D}{\nu}$$

siendo  $v$  la velocidad en m/s;  $D$  el diámetro en metros; y  $\nu$  la viscosidad cinemática del fluido, para el caso del agua tiene un valor de  $1 \times 10^{-6}$  m<sup>2</sup>/s. Los valores de  $G$  y  $T$  dependen del número de Reynolds:

$$G = 4.555, T = 0.8764 \text{ para } 4000 \leq Re \leq 10^5$$

$$G = 6.732, T = 0.9104 \text{ para } 10^5 \leq Re \leq 3 \times 10^6$$

$$G = 8.982, T = 0.93 \text{ para } 3 \times 10^6 \leq Re \leq 10^8$$

Para determinar las pérdidas por los accesorios, lo que comúnmente se hace es igualar las pérdidas, de cada accesorio, a un tramo de tubería recta, a esto se le conoce como

longitud equivalente. Se aplica la ecuación de Darcy-Weisbach donde  $L$  será la longitud real más la longitud equivalente.

Se puede obtener la longitud equivalente a partir de tablas o gráficas. La CONAGUA (2016) publica en el libro 10 del MAPAS un nomograma para obtener la longitud equivalente. Se debe tener cuidado con el proceso de cálculo si se tienen diferentes diámetros de tubería o existen diferentes materiales. Con esto se calcula la potencia hidráulica para un gasto dado y se elige una bomba.

No necesariamente se deben utilizar motobombas, también se pueden implementar sistemas manuales. Además, es una forma de disminuir el costo de un SCALL a partir de utilizar la fuerza física en lugar de la energía eléctrica o cualquier otra fuente de energía más costosa.

Un modelo que destaca mucho es la bomba WaterBuck, figura III.VI (Domínguez Viteri & Jaramillo Pacheco, 2014). Tiene una gran potencia y eficiencia, mayor en comparación con otras bombas manuales. Está diseñada para durar a largo plazo y satisfacer de agua ya sea a comunidades rurales o para grandes familias en países en desarrollo. Gracias a su potencia, se puede utilizar en pozos poco profundos o profundos, solo utilizando la fuerza en los brazos. Su uso es muy sencillo y puede ser utilizado por una o dos personas, ya sean jóvenes o hasta de la tercera edad. Se pueden obtener 1.4 l/s si es operada por una persona joven, disminuyendo a 0.4 l/s si lo utiliza una mujer de 64 años. Tiene capacidad de bombear agua con un nivel estático alrededor de 24 metros (waterbuck, 2013).



**Figura III.VI. Bomba WaterBuck**  
FUENTE: (waterbuck, 2013)

Otra bomba que funciona bien es la step action pump, figura III.VII, teniendo buen rendimiento y versatilidad, además de ser portátil. Esta bomba se activa con la fuerza física de piernas, siendo usada como una escaladora. Tiene una dimensión de 60X35X27 cm, con un peso de 11 kg. Puede bombear agua hasta 20 m de carga estática o mandarla a 1,100 m de distancia, con un gasto de 3 l/s (Ecologics Engineering Solutions , 2018). Es muy utilizada para irrigación.



**Figura III.VII. Bomba step action**  
FUENTE: (Ecologics Engineering Solutions ,

Estas dos opciones son las que se encuentran en el mercado, listas para instalarse y ser usadas. También existen otras que pueden ser construidas.

Una de las opciones más sencillas es el uso de la bomba de mecate manual, figura III.VIII, como lo menciona el Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria (INTA , 2011). Se da vueltas a una rueda, actuando como un sistema de polea, conformado por un mecate y pistones de plástico. El agua es elevada, a través de una tubería, hasta la superficie. No se recomienda para profundidades mayores a los 35 metros. El mantenimiento se hace a la rueda y la estructura de soporte, pintándolas y engrasándolas para evitar que se oxiden y se desgasten. El mecate se debe tensar cada vez que lo requiera, es el elemento que sufre más desgaste. Se debe tener cuidado de la orientación de los pistones. El precio de este modelo depende de la profundidad del pozo y la complejidad de los elementos.



**Figura III.VIII. Bomba de mecate manual**  
FUENTE: (INTA , 2011)

Como se ha visto, no necesariamente se requiere la fuerza de las manos, se puede aprovechar otro tipo actividad. Tal es el caso de la bici-bomba de mecate, figura III.IX, muy similar al modelo anterior, con una diferencia notable, se aprovecha el esfuerzo físico de las piernas. Con esta estructura se hace menor esfuerzo al bombear agua, pero se incrementa un poco el precio en comparación con la anterior. Además, es necesario darle mantenimiento a la bicicleta, engrasar y revisar la cadena. De igual manera solo se recomienda para profundidades menores a los 35 m.



**Figura III.IX. Bici-bomba de mecate**  
FUENTE: (INTA , 2011)

Existen más modelos de bombas, pero algunos no son eficientes en las ciudades o su instalación supone un problema, por ejemplo el uso de molinos de viento o tracción animal. Por otro lado, existen otras bombas simples que se pueden construir de manera casera, sin utilizar materiales caros, el único problema que se presenta es la eficiencia y darles mantenimiento constantemente.

Los sistemas manuales funcionan bastante bien cuando se utilizan para riego, lavado de autos o limpieza. Sin embargo, las motobombas son muy utilizadas cuando se proporciona agua para consumo humano y actividades domésticas.

Todo lo que se ha presentado en este capítulo, influye para el diseño de un sistema de captación de agua de lluvia. Una de las ventajas más importantes en cuestión del diseño, es la gran flexibilidad que tienen. Como se ha visto existen varios elementos de cada componente, para poder conformar e implementar un sistema. Se puede diseñar o rediseñar un SCALL, fácilmente se pueden cambiar sus elementos para hacerlo cada vez más complejo.

## Sistemas de captación de agua de lluvia en zonas urbanas

Como ya se mencionó, varios lugares en el planeta presentan escasez de agua. Esta falta de recurso en zonas urbanas se puede dar por la falta de fuentes de agua, contaminación de estas, una mala gestión o un aumento en la demanda.

Cuando se presenta una sobrepoblación en las ciudades, existe un aumento en la demanda del agua para consumo humano y para producir más alimentos. Se necesitan 1,000 veces más agua para alimentar a la población que para saciar su sed (YUNGA, 2013). Lo que se ha visto, la primera medida que se toma es sobreexplotar las fuentes y después buscar otras formas de proporcionar el recurso.

Se presentaron varios ejemplos en los que se utilizaban los sistemas de captación de agua de lluvia para suministrar el recurso hídrico, tanto en zonas rurales como urbanas, adaptándose a las necesidades de las personas. Varios países han adoptado esta tecnología para, en primera instancia, suministrar agua potable a las personas que no cuentan con el recurso y en segundo plano, para disminuir la demanda del agua potable en la red, en ambos casos teniendo beneficios secundarios.

Un sistema de captación de agua de lluvia es un conjunto de componentes, que reciben y aprovechan la precipitación pluvial, almacenando el agua y tenerla disponible para otras actividades. Como se mencionó, los componentes son captación, conducción o transportación, primer filtrado, almacenamiento, tratamiento y distribución (Red del Agua UNAM, 2010), teniendo en cuenta que hay varios tipos de sistemas y van desde rudimentarios hasta muy complejos. Puede que algunos sistemas no cuenten con todos los componentes mencionados, eso va a depender del lugar donde se capte, la calidad con la que se reciba, el uso que se le dé al agua y los materiales disponibles para su construcción.

De acuerdo con la investigadora Heather Kinkade-Levario, los SCALL se pueden clasificar como activos o pasivos. Los primeros son los sistemas que captan, filtran y conducen el agua a un almacenamiento, ocupando bombas y filtros que requieran electricidad y mantenimiento, mientras que los pasivos no cuentan con algún elemento mecánico, solo se recolecta el agua en una zona específica para que se infiltre en el subsuelo (Red del Agua UNAM, 2010).

Se está recurriendo al agua pluvial porque es un recurso al que tenemos fácil acceso, además de no tener muchos contaminantes, por lo que es fácil de tratar, sin embargo, hay que tener cuidado con la calidad de la lluvia en las ciudades.

El agua pluvial se considera un recurso casi puro, al tener una baja concentración de contaminantes, sin embargo, esto no aplica en zonas urbanas. Existe gran contaminación en las ciudades, causada principalmente por las emisiones de las fábricas, los automóviles e incendios, entre muchos otros. Debido a la quema de combustibles, se produce humo y gases, que al entrar en contacto con la humedad de la atmosfera se transforman en ácidos sulfúrico, nítrico y clorhídrico. Estas sustancias, son arrastradas por las precipitaciones, causando el fenómeno de la lluvia ácida.

La lluvia ácida, además de afectar la calidad del agua pluvial, contamina y daña el suelo, provocando la desertificación. También contamina las fuentes de agua que tienen contacto directo con la lluvia, aumentando la acidez y la concentración de algunos metales, perjudiciales para la salud. De igual manera afectan a diferentes organismos presentes en los ecosistemas, incluyendo a los humanos (Cumbre Pueblos, 2017).

Por el motivo anterior, no se recomienda que el agua de lluvia se utilice para consumo humano en zonas urbanas. Si se quiere implementar un sistema para tal uso, se debe tener conocimiento de la calidad de lluvia en el sitio, tener limpios los elementos del sistema y diseñar adecuadamente el tratamiento para que el agua se pueda beber. Todo esto incrementa la complejidad y el costo del sistema. Es recomendable que se aproveche el agua captada para actividades de uso no potable, en ciudades.

A pesar de que exista gran contaminación en las ciudades, no quiere decir que las precipitaciones siempre van a tener una pésima calidad. La lluvia ácida se presenta en los primeros días de la época de lluvias y conforme van pasando los días, el agua pluvial va adquiriendo una mejor calidad, claro que no lo suficiente para poder tratarla con un sistema sencillo y poder consumirla. Es altamente recomendable que el agua no se capte en los primeros días de la época de lluvias.

El agua entubada que se proporciona a los habitantes de una ciudad debe de ser potable. Se utiliza el recurso para realizar todas las actividades cotidianas, ya sea desde cocinar hasta lavar pisos, simplemente se le abre a la llave y el recurso se encuentra disponible. Muchas veces es fácil disponer del agua, sin pensar en toda la infraestructura y esfuerzo que se necesita para tener agua en los hogares, difícilmente se reflexiona sobre la cantidad de agua que se gasta o si se puede utilizar agua con otra calidad para realizar algunas actividades.

No es necesario utilizar agua potable para la descarga de sanitarios, ciertamente no es una actividad que requiera de una calidad de agua tan buena. Tampoco se debería de utilizar el recurso potable para regar las plantas, y hasta cierto punto les beneficia más el agua de lluvia o aguas residuales tratadas que contienen más nutrientes. Se desperdicia mucha agua de buena calidad para actividades que no requieren el recurso con estas características. La figura III.X muestra los usos del agua potable, no potable y sus porcentajes.

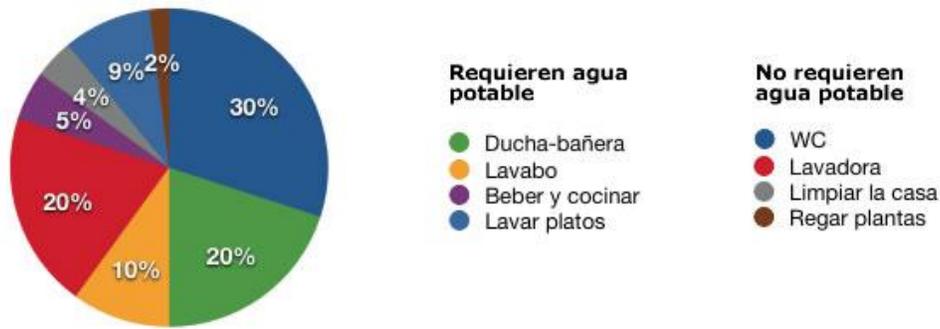


Figura III.X. Consumos por usos de agua  
FUENTE: (iagua, 2018)

La gráfica anterior fue elaborada a partir de las actividades realizadas por las familias que viven en las zonas urbanas de España. Ciertamente, el consumo de agua varía en cada región, pero podemos darnos una idea de las actividades que no requieren agua potable en una vivienda familiar.

Se observa que en la actividad que se gasta más agua, es en el uso de inodoros. Utilizar el agua de lluvia para las descargas sanitarias ahorraría un 30% tan solo en eso. Si en las demás actividades domésticas, que no requieran agua de alta calidad, se cambiara el agua potable por agua pluvial, se estaría ahorrando un 58% del recurso.

En varias ciudades no se está acostumbrado a captar el agua pluvial y rehusarla, siendo que es un recurso del que disponemos fácilmente. Toda el agua de las lluvias se va al drenaje, terminando fuera de la ciudad o los mares, sin aprovecharse gota alguna.

Cosechar agua pluvial en las zonas urbanas, puede servir para proporcionar agua para consumo humano, pero a un elevado costo, o para brindar el recurso y sea utilizado en actividades domésticas, bajando la demanda y teniendo ahorros en la operación de la red de agua potable. Los sistemas de aprovechamiento de agua pluvial, como ya se ha visto, no solo se adaptan a las viviendas, sino también en gran variedad de edificios y negocios.

Al tener gran flexibilidad en el diseño, los SCALL son fáciles de instalar en cualquier edificio, no hay mayor problema en ese aspecto. El verdadero reto está en que los ciudadanos adopten esta tecnología. Para lograrlo, varios gobiernos apoyan a las personas que quieran implementar estos sistemas, brindando apoyos económicos, materiales y asesorías o se hace una reducción en la tarifa del servicio de agua potable.

Un punto importante es tener en cuenta que el agua pluvial no solo se puede utilizar para beber o para actividades domésticas, también es un recurso para generar ingresos. Existen varios negocios que se benefician en gran medida, aprovechando el recurso caído del cielo. Y no solo eso, también se puede beneficiar a los ecosistemas, al ser un recurso que se pueda utilizar para la recarga de acuíferos.

Si se capta el agua de lluvia, esta debe de ser almacenada, y al hacer se impide que vaya directamente al drenaje, evitando que se sature. Claro que, para tener un efecto a gran escala, se necesita captar la lluvia en gran parte de la superficie. En otras palabras, si la gran mayoría de los edificios captan el agua pluvial, la probabilidad de que se presenten inundaciones será menor.

Cosechar agua pluvial se puede hacer de varias formas, no solo en los techos. Tan solo se requiere adaptar las superficies para que puedan captar el agua. El recurso captado, puede ser de utilidad para diferentes usos, como actividades domésticas, industriales, recreativas, productivas, para riego o simplemente para dar una mejor imagen del lugar, al emplearse en fuentes, estanques o humedales artificiales.

Los SCALL en las ciudades tienen otra ventaja, un efecto indirecto, pero de gran importancia. Se ha visto que se reducen la temperatura, mejorando el microclima donde están presentes.

Gran parte de la población que vive en zonas periurbanas tiene escasez de recursos y el mayor problema es la falta de agua, muchas veces no cuentan con el servicio, no es suficiente o es de mala calidad. Por esa razón, en varios países se han instalado sistemas de captación pluvial, proporcionando agua para consumo humano a esa parte de la población. Además, se ha observado que las familias incrementan su calidad de vida, tienen una inclusión social, una educación ambiental, desarrollan una mejor resiliencia ante los desastres, son conscientes del uso del agua y tienen un sentido de responsabilidad, al ser el mismo usuario quien se encarga del sistema.

Como los mismos usuarios se encargan del mantenimiento del sistema en sus viviendas, generan un sentido de pertenencia, al ser responsables del funcionamiento y de la calidad con la que obtendrán agua. Por esa razón llegan a confiar más en el agua de estos sistemas que la proporcionada por los municipios.

Una vez visto como influye el aprovechamiento pluvial, a continuación, se presentarán características generales de algunos tipos de sistemas de captación de agua de lluvia usados en zonas urbanas.

### **Sistemas de captación de agua de lluvia a nivel familiar**

Al pensar vagamente en aprovechamiento pluvial, es fácil imaginar unas cubetas al aire libre que reciban agua de lluvia o siendo llenadas con el agua que escurre del techo de los hogares. Esta podría ser una técnica bastante sencilla para aprovechar el agua de lluvia en las viviendas, y a partir de esa idea se fueron desarrollando técnicas y tecnologías cada vez más complejas para formar un sistema de captación pluvial.

Estos sistemas son de los más sencillos y pueden implementarse tanto en viviendas unifamiliares como plurifamiliares. En la figura III.XI, se muestra un sistema de los más eficaces y completos, propuesto por Isla Urbana.

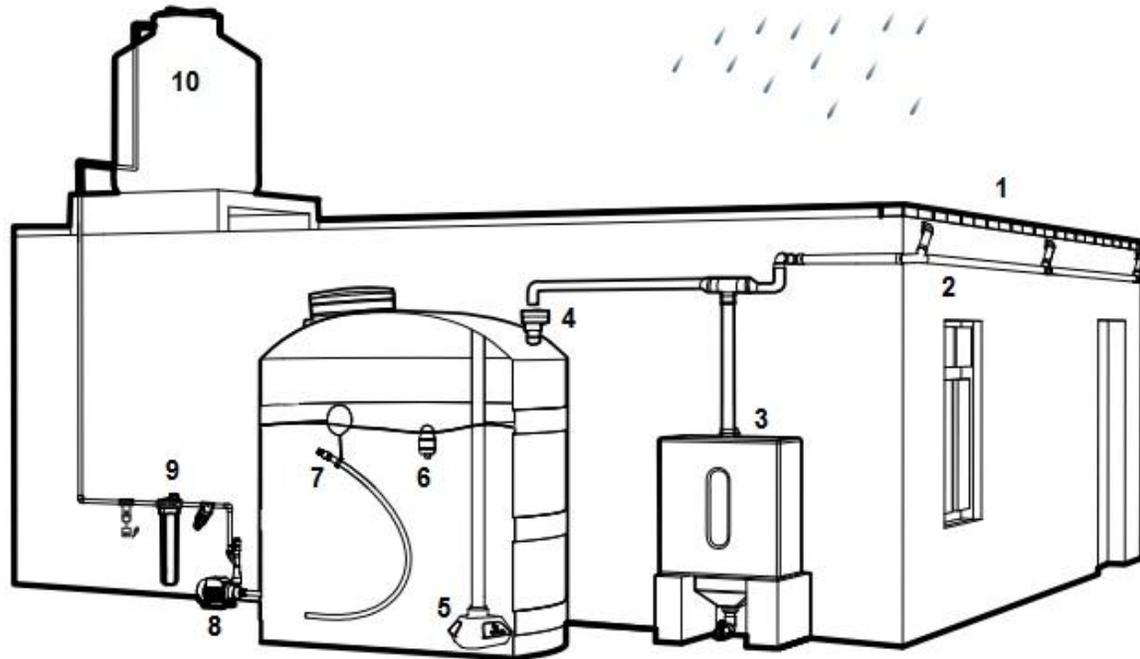


Figura III.XI. Sistema de captación de agua de lluvia en vivienda familiar  
FUENTE: (Isla Urbana, 2017)

Siempre se hace uso del techo de la vivienda como área de captación, se colocan canaletas (1) alrededor para que junte el agua y se conduce mediante tuberías (2). El agua pasa por un separador de primeras lluvias (3), posteriormente se lleva a un almacenamiento pasando, previamente, por un filtro de hojas (4). El agua llega al almacén a través de un reductor de turbulencias (5), colocado en el fondo. También se cuenta con un dosificador de cloro (6). El agua es recolectada por una pichancha flotante (7) y con la ayuda de una bomba (8), se conduce a un tren de tratamiento (9) para ser depositada en un tanque elevado (10) y ser distribuida a la vivienda. Dentro del tanque (10) se puede colocar un filtro purificador para mejorar la calidad del agua y se pueda beber.

Se puede tener un tanque elevado que distribuya el agua por gravedad, o se puede omitir. Si se opta por utilizarlo, es necesario que haya una red separada del agua potable, en caso de utilizar el agua pluvial para uso doméstico. A esto se le conoce como un sistema dual.

El modelo presentado en la figura anterior es de los sistemas más completos, pero existe una cantidad enorme de modelos, dependiendo del uso que se le va a dar al agua, la localización, la cantidad de lluvia y la necesidad de los usuarios. Se puede ocupar tanto en viviendas unifamiliares como plurifamiliares, y dependiendo de cada caso, puede cambiar la escala del sistema, adicionar elementos, quitar o cambiarlos por otros.

Cabe mencionar que el volumen de agua recolectada depende de la cantidad de lluvia y del tamaño de superficie de captación. Otro factor importante en el aprovechamiento pluvial es la capacidad del almacenamiento, mientras más grande sea, más cantidad de

agua se puede guardar. Sin embargo, no por querer captar toda el agua se utilice una cisterna de gran tamaño, elevando el costo y no utilizando todo el recurso almacenado. Tampoco se debe gastar en una cisterna grande si no se va a llenar con el agua captada.

Lo anterior es importante porque en una vivienda unifamiliar, la demanda de agua será menor que en un edificio de apartamentos. Para una familia se puede utilizar una cisterna de poca capacidad, para cubrir sus necesidades, sin embargo, en una vivienda plurifamiliar es necesario tener un almacenamiento de gran tamaño para cubrir parte de la gran demanda en el conjunto. El tamaño del almacén es la principal diferencia entre los sistemas de viviendas unifamiliares y plurifamiliares.

### **Sistemas de captación de agua de lluvia colectiva**

Estos sistemas son a gran escala, en lugar de solo recibir agua de una vivienda, se recibe agua de varias. Como dice el título, estos sistemas aprovechan el agua que se capta en un conjunto de viviendas, aprovechando sus techos, conduciendo el agua a un almacenamiento de gran capacidad para luego ser distribuida a los usuarios.

Claro que no solo pueden ser viviendas, sino cualquier conjunto de edificios. Estos sistemas se han empleado, principalmente en comunidades pequeñas, entre casas que se encuentran en la misma calle y en instituciones, aprovechando los techos de los diferentes edificios.

Al utilizar un conjunto de superficies de captación, el agua recolectada será mayor y por tanto el almacenamiento tendrá que ser de gran capacidad. El recurso hídrico será conducido a las edificaciones que requieran de su uso.

La mayoría de las instituciones ocupan grandes extensiones de área, pudiéndose aprovechar las superficies de los techos para captar gran cantidad de agua. Los sistemas pueden proporcionar agua para sanitarios, limpieza, riego de áreas verdes y para fuentes o cuerpos de agua artificiales. De igual manera se necesita de un almacenamiento grande o de un conjunto de almacenamientos para hacer frente a la demanda de agua.

Como estos sistemas son más grandes, normalmente hay una persona encargada del sistema, que le de mantenimiento y supervise su funcionamiento. El agua almacenada puede ser utilizada para actividades que demanden los usuarios o para usos recreativos y estéticos, en general.

### **Sistemas de captación de agua de lluvia en edificios para oficinas, escuelas y pequeños negocios**

De la misma forma que se aprovecha el agua pluvial en una vivienda, se puede aprovechar para las demás edificaciones. Se utiliza el mismo principio que el primer ejemplo, captando la lluvia en el techo, conduciéndola a un almacenamiento y distribuyéndola a todo el conjunto. Recordando que se puede implementar un sistema tan sencillo como sofisticado.

En un edificio no hay actividades domésticas por lo que gran parte del agua pluvial se puede utilizar en sanitarios y limpieza. Se debe tener una cisterna con gran capacidad

para satisfacer la demanda de esas actividades cuando existe gran número en el personal y el edificio es de gran tamaño. Puede que, en algunas instalaciones, se utilice el agua para alimentar fuentes artificiales o espejos de agua.

Se recurre mucho a la utilización de SCALL en las escuelas. Permiten ahorrar agua, al utilizar el recurso captado en sanitarios, limpieza, y riego de áreas verdes. En algunas instituciones adaptan los sistemas para proporcionar agua para beber y, en caso de tener comedor, para preparar los alimentos. Las escuelas tienen ahorros monetarios y con el paso del tiempo, recuperan la inversión. Además, a los estudiantes se les brinda una educación ambiental y de cuidado del agua.

En los pequeños negocios, se puede captar el agua en el techo y almacenarla en una cisterna. La demanda no es tanta como en los casos anteriores por lo que se puede tener una cisterna de poca capacidad. El agua captada se aprovecharía para sanitarios y limpieza. A parte de tener una reducción en la tarifa del servicio de agua.

Puede haber negocios donde el agua sea un recurso indispensable para realizar el trabajo. Por ejemplo, los auto-lavados y lavanderías. El agua pluvial se puede aprovechar en estos negocios y se puede sustituir por completo o gran parte del agua potable, utilizada para las actividades. Además, se asegura la disponibilidad del recurso, porque no en todas partes se tiene un abastecimiento continuo. Los dueños de estos negocios han percatado ahorro en el recurso y en sus bolsillos, permitiendo recuperar el capital invertido en estos sistemas.

### **Captación de agua de lluvia para recarga de acuíferos**

El pavimento existente en las vías, facilita el flujo del agua, reteniéndola por menos tiempo e impidiendo la infiltración al subsuelo. Lo anterior provoca dos afectaciones, una en el drenaje, saturándolo porque recibe más agua en menos tiempo y la segunda, no hay una recarga adecuada de los acuíferos.

Al haber un crecimiento en la población también el sistema de drenaje se empieza a saturar y reduciendo su capacidad para recibir agua pluvial, siendo otro factor para que se presenten las inundaciones.

Una de las estructuras más comunes para disminuir las inundaciones, son los pozos de absorción. Básicamente son hoyos excavados para mandar el agua a un suelo donde se pueda infiltrar fácilmente. Para construirlos se entierra un cilindro de concreto perforado, aproximadamente de 1 m de diámetro. Se excava hasta encontrar suelo permeable y se rellena con piedra para que sirva de filtro.

No se puede llegar y simplemente hacer un pozo de absorción, se debe tener cuidado con su construcción para la recarga de acuíferos. Se tienen que colocar por lo menos a 30 m de distancia de cualquier fuente de agua y a una distancia mayor a su profundidad, de cualquier edificio. Tampoco debe recibir aguas fuertemente contaminadas para no dañar el acuífero. Para ampliar el tiempo de vida de la estructura y mejorar la calidad de agua que entra, previamente se colocan desarenadores, trampas de hojas, trampas de grasa y

trampas de sólidos. No se deben de construir en lugares donde el nivel freático se encuentre a poca profundidad.

Para mandar agua a un pozo, se puede hacer uso de la superficie de calles, estacionamientos o techos de edificios aledaños. Sin embargo, se debe tener especial cuidado con la contaminación presente en estas áreas. Normalmente las calles son las más utilizadas pero las más contaminadas, generalmente tienen gran cantidad y variedad de residuos. No es recomendable instalar un pozo en un lugar que tenga mucha contaminación por residuos y por ningún motivo mandar agua residual a ellos.

Existen diferentes adaptaciones del terreno para infiltrar el agua, pero los pozos de absorción tienen una alta tasa de infiltración, si son bien construidos. Esto permite evitar inundaciones y recargar los acuíferos.

### Sistemas urbanos de drenaje sostenible

Aparte de la estructura antes mencionada, se utilizan los sistemas urbanos de drenaje sostenibles, los cuales pueden ser: áreas de biorretención, cunetas verdes, depósitos enterrados de detención, depósitos y estanques de infiltración, estanques de retención, filtros de arena, humedales artificiales, superficies permeables, cubiertas verdes, depósitos de lluvia, depósitos superficiales de detención, drenes filtrantes o franceses, estructuras de detención multifacéticas, franjas filtrantes y pequeños pozos o zanjas de infiltración. Todas estas estructuras tienen el mismo principio y solo se presentarán algunas para conocer su funcionamiento, las más utilizadas.



Figura III.XII. Cuneta verde  
FUENTE: (Abellán, 2016)

Las cunetas verdes, figura III.XII, son estructuras semejantes a un canal, pero con vegetación. Los taludes deben de tener una pendiente suave, y en sentido longitudinal, la pendiente no debe ser mayor al 4% para evitar una erosión debido a la corriente. La cuneta puede tener solamente pasto para que el agua fluya por esta. Algunas veces, se coloca una vegetación más abundante en un suelo permeable para que el agua se infiltre, mientras las plantas ayudan a mejorar la calidad del agua, o ser construidas en suelo impermeable para que el agua solo sea retenida.

Estas estructuras pueden usarse en zonas residenciales, comerciales, industriales o en carreteras. Ayudan a la calidad del agua, dándole un tratamiento natural y disminuyen los volúmenes de escurrimiento. Son de bajo costo, sin embargo, se necesita dar mantenimiento a la vegetación, tener las áreas limpias y reparar las zonas erosionadas.



Figura III.XIII. Franja filtrante  
FUENTE: (Abellán, 2016)

Otra forma de filtrar agua pluvial, es la implementación de franjas filtrantes, figura III.XIII. Son espacios anchos en el suelo, con poca pendiente y con vegetación. Se encuentran entre dos superficies impermeables, pueden estar entre dos estacionamientos o dos vialidades, por ejemplo. El agua pluvial escurre por las superficies aledañas y se va concentrando en la franja, donde comienza a filtrarse el agua.

La vegetación en las franjas filtrantes sirve para ayudar a la absorción de agua y para retener sedimentos o partículas contaminantes. Entre más vegetación exista, más será la capacidad de filtración y ayudara de mejor manera a depurar el agua.

Son fáciles de construir y de bajo costo. Ayudan a la infiltración del agua y funcionan como un tratamiento natural, sin embargo, no disminuyen de manera importante el escurrimiento del agua. Necesitan de un mantenimiento constante al mantenerlas limpias y cuidar de la vegetación.

Una estructura que reduce de manera eficaz el escurrimiento cuando se presentan lluvias intensas, son los humedales artificiales, figura III.XIV. Son espacios en la tierra de poca profundidad, donde existe una vegetación abundante y el terreno se encuentra húmedo permanentemente.



**Figura III.XIV. Humedal artificial**  
*FUENTE: (Abellán, 2016)*

Los humedales al tener gran cantidad de vegetación, eliminan la mayor parte de los contaminantes, son ecológicos, estéticos y recreativos. Sin embargo, debe de haber agua presente para mantener con vida la flora y fauna del lugar. Se deben de diseñar con diferentes áreas y diferentes profundidades para que la vegetación se desarrolle de la mejor manera, además debe de contar con un área inundable para recibir agua proveniente de lluvias intensas.

Los humedales se pueden emplear en zonas urbanas donde no exista una densidad de población alta y se puede variar su escala para su construcción, pero por lo general se necesitan de grandes extensiones.

Gracias a las propiedades de estos terrenos, se pueden ocupar para infiltrar agua hacia acuíferos vulnerables, no obstante, se debe tener cuidado por el crecimiento de residuos orgánicos (algas), que afecten la calidad del agua. Por eso, es necesario que se tengan limpias las áreas, las entradas y salidas de agua, cuidar de la vegetación y controlar el nivel de sedimentos.

Los pavimentos permeables, figura III.XV, son estructuras que facilitan la infiltración del agua hacia el subsuelo o sirven para conducirla a otro lugar con un sistema de drenaje. Estos sistemas pueden ser continuos o modulares y se ocupaban desde hace años. Existe una gran variedad de materiales y formas, aunque la mayoría son de baja resistencia, de fácil degradación y por lo tanto poco durables. Se pueden utilizar en estacionamientos, patios plazas o calles, pero no se recomienda usarlos cuando hay mucho tránsito o cuando el agua trae muchos contaminantes.



**Figura III.XV. Pavimento permeable**  
*FUENTE: (Abellán, 2016)*

En los últimos años se han elaborado concretos permeables para el tránsito de vehículos, más resistentes y durables, creados a partir de cemento, agregado grueso, agua y aditivos. Tienen una estructura vacía entre el 15 y 25%, teniendo una tasa de flujo promedio de 200 litros por cada metro cuadrado, en un minuto (Hiriart R., s.f.). Esto ayuda a mitigar las inundaciones en gran medida.

Este concreto es rígido y su resistencia se encuentra entre 100 y 200 kg/cm<sup>2</sup>, a pesar de ello se debe de utilizar para el paso de vehículos medianos porque no tiene mucha resistencia a la flexión debido a su alta porosidad.

No se requiere de mucha excavación para su colocación y necesita de poco mantenimiento, por lo que reduce costos frente a otros sistemas. Se pueden utilizar en espacios de hasta 4 hectáreas y con pendiente entre 2 y 5%. El nivel freático se debe encontrar a más de 1.2 m de profundidad, de no ser así, se puede desalojar el agua de lluvia con un sistema de drenaje debajo del pavimento.

Un sistema que se ha ocupado mucho en los edificios y viviendas es el techo verde, figura III.XVI, en los cuales se coloca vegetación en los techos o cubiertas de las estructuras. Se requiere hacer una adecuación a la superficie del techo con varias capas, tales como una barrera corta vapor, un aislante y una membrana impermeable que protejan al techo y que eviten la humedad, encima se coloca una barrera contra raíces para evitar que dañen a las capas inferiores, arriba se ubica la capa de drenaje y puede estar constituida por diferentes tipos de materiales granulares o sistemas modulares, finalmente se coloca el sustrato y la vegetación.



**Figura III.XVI. Techo verde**  
*FUENTE: (Abellán, 2016)*

Estos sistemas ayudan a retener agua de lluvia, disminuyendo la cantidad que va hacia las vialidades, atenuando las inundaciones. La capa vegetal tiene varios beneficios, proporcionando un tratamiento al agua que se infiltra en las capas, mejora la calidad del

aire, reduce la contaminación acústica, sirve como un aislante térmico, puede ser usado como un espacio de uso recreativo y dan buena imagen al edificio. No obstante, suelen tener un costo elevado, además necesitan un mantenimiento continuo debido a la vegetación y no se pueden utilizar en techos con pendiente muy pronunciada.

Otro tipo de sistema con interesante funcionamiento es el dren filtrante, figura III.XVII, también conocido como dren francés. Es una zanja rellena con material filtrante y recubierta alrededor de un geotextil, dentro se coloca un conducto para desalojar el agua. Estas estructuras ayudan a la filtración del agua de una manera más rápida, normalmente se colocan en suelos poco permeables. Ayudan a disminuir los volúmenes de escurrimiento.

Principalmente son utilizados en casas o estructuras que no tienen mucha área, para desalojar el agua pluvial y evitar inundaciones alrededor del edificio.



Figura III.XVII. Dren filtrante  
FUENTE: (Abellán, 2016)

### Captación de agua de lluvia para horticultura

El cultivo de hortalizas en las ciudades, figura III.XVIII, se está volviendo una práctica cada vez más común en algunas ciudades. Recordando que, en zonas periurbanas, gran parte de la población se dedica a la agricultura y horticultura. Estas actividades aportan alimentos que pueden ser consumidos por los mismos productores o para ser vendidos en mercados cercanos, teniendo así una fuente de ingresos.

Las hortalizas necesitan de agua para su constante crecimiento y desarrollo. Una manera fácil de conseguir dicha agua y no incrementar la demanda de agua potable, es el aprovechamiento pluvial. Utilizando agua de lluvia para el riego de hortalizas, es una opción de bajo costo, además de tener buena calidad para las plantas (FAO , s.f.).



Figura III.XVIII. Huerto urbano  
FUENTE: (EcoInventos, 2018)

Se puede captar el agua en el techo de las viviendas, de los huertos techados o de invernaderos, dependiendo del caso. El agua se conduce a través de tuberías y se almacena para, posteriormente, ser utilizada en riego. Si el agua captada solo se utiliza en esta actividad, el SCALL no necesitará de un tratamiento complejo ni costoso.

Con diferentes estudios y tecnología, se apostó por modificar genéticamente a las semillas, haciéndolas más resistentes y de fácil crecimiento. Se proponía que con estos

procedimientos se haría frente a la hambruna, sin embargo, varios expertos aseguran que con los transgénicos no se erradicará el problema en el mundo. A partir de esto se ha buscado un cambio de paradigma y se han visto otras formas de acabar con el problema. De acuerdo con la ONU, FAO y 60 expertos independientes, la agricultura ecológica a pequeña escala es la única forma para acabar con el hambre en el mundo (EcoInventos, 2018).

Hay diferentes maneras de empezar a cultivar alimentos en zonas urbanas, los más comunes, los huertos urbanos. Sin embargo, existen varias técnicas y tecnologías, cada vez más sustentables, tal es el caso de la hidroponía, en el que las plantas no necesitan de tierra para su crecimiento, solo soluciones acuosas con los nutrientes necesarios.

Esta es la importancia de los sistemas de captación pluvial, en la horticultura en las ciudades. No solo se empezará a proporcionar alimento suficiente y seguro a la población, sino que se contará con el necesario para alimentar generaciones futuras. Tampoco esperemos que esta actividad cubra toda la demanda en las ciudades, sino que sea como un apoyo a la agricultura y que se vaya generando un pensamiento de desarrollo sostenible.

Es fácil apreciar que, en una gran variedad de edificios, se pueden implementar los sistemas de captación de agua de lluvia. Se obtienen varios beneficios al aprovechar el recurso caído del cielo, utilizándolo en muchas actividades.

Varios de estos ejemplos se pueden utilizar en conjunto con otros para formar un sistema de captación de agua de lluvia más complejo, ya sea como superficies de captación, métodos de tratamiento, o disposición final para la infiltración y uso en otras actividades.

#### IV. Situación del agua en México

México tiene una superficie total de 1'964,375 km, colindando al norte con Estados Unidos de América y al sur con Belice y Guatemala. La división política está conformada por 32 estados, en los cuales hay un total de 2,457 municipios. Cada estado tiene diferentes climas, ecosistemas y recursos, variando mucho dentro del país.

Tabla 7. Datos geográficos y socioeconómicos por entidad federativa

Clave	Entidad federativa	Superficie continental (km <sup>2</sup> )	Agua renovable 2015 (hm <sup>3</sup> /año)	Población a mediados de 2015 (millones de hab)	Agua renovable per cápita 2015 (m <sup>3</sup> /hab/año)	Aportación al PIB nacional 2014 (%)	Municipios
01	Aguascalientes	5 618	514	1.29	399	1.21	11
02	Baja California	71 446	2 989	3.48	858	2.79	5
03	Baja California Sur	73 922	1 264	0.76	1 654	0.74	5
04	Campeche	57 924	14 274	0.91	15 723	4.24	11
05	Coahuila de Zaragoza	151 563	3 151	2.96	1 064	3.40	38
06	Colima	5 625	2 136	0.72	2 952	0.60	10
07	Chiapas	73 289	112 929	5.25	21 499	1.79	118
08	Chihuahua	247 455	11 888	3.71	3 204	2.84	67
09	Distrito Federal	1 489	478	8.85	54	16.52	16
10	Durango	123 451	13 370	1.76	7 576	1.23	39
11	Guanajuato	30 608	3 856	5.82	663	4.18	46
12	Guerrero	63 621	21 097	3.57	5 913	1.51	81
13	Hidalgo	20 846	7 256	2.88	2 521	1.70	84
14	Jalisco	78 599	15 654	7.93	1 974	6.54	125
15	México	22 357	5 190	16.87	308	9.30	125
16	Michoacán de Ocampo	58 643	12 547	4.60	2 730	2.43	113
17	Morelos	4 893	1 797	1.92	936	1.16	33
18	Nayarit	27 815	6 392	1.22	5 223	0.67	20
19	Nuevo León	64 220	4 285	5.09	843	7.29	51
20	Oaxaca	93 793	55 362	4.01	13 798	1.61	570
21	Puebla	34 290	11 478	6.19	1 853	3.16	217
22	Querétaro	11 684	2 032	2.00	1 014	2.17	18
23	Quintana Roo	42 361	7 993	1.57	5 076	1.62	10
24	San Luis Potosí	60 983	10 597	2.75	3 848	1.92	58
25	Sinaloa	57 377	8 682	2.98	2 909	2.09	18
26	Sonora	179 503	7 018	2.93	2 393	2.91	72
27	Tabasco	24 738	31 040	2.38	13 021	3.14	17
28	Tamaulipas	80 175	8 928	3.54	2 520	3.04	43
29	Tlaxcala	3 991	908	1.28	711	0.56	60
30	Veracruz de Ignacio	71 820	50 880	8.05	6 323	5.09	212
31	Yucatán	39 612	6 924	2.12	3 268	1.52	106

Clave	Entidad federativa	Superficie continental (km <sup>2</sup> )	Agua renovable 2015 (hm <sup>3</sup> /año)	Población a mediados de 2015 (millones de hab)	Agua renovable per cápita 2015 (m <sup>3</sup> /hab/año)	Aportación al PIB nacional 2014 (%)	Municipios
32	Zacatecas	75 539	3 868	1.58	2 454	1.02	58
	<b>Total</b>	<b>1 959 248</b>	<b>446 777</b>	<b>121.01</b>	<b>3 692</b>	<b>100</b>	<b>2 457</b>

FUENTE: (CONAGUA, 2016)

En la tabla 7 se presentan algunos datos de los estados del país, pero el que nos interesa es la cantidad de agua renovable. Analizando un poco la información, si tomamos en cuenta los parámetros de Falkenmark, existen 3 estados que se encuentran con estrés hídrico regular, siendo Baja California Sur, Coahuila y Querétaro. Mientras que Baja California, Guanajuato, Morelos, Nuevo León y Tlaxcala, tienen escasez crónica. En tanto, 3 estados se encuentran con escasez absoluta, Aguascalientes, Ciudad de México y el Estado de México.

Podemos observar que la Ciudad de México, tiene menor territorio y menor cantidad de agua renovable, a pesar de eso, es donde se genera el mayor porcentaje del PIB. ¿Cómo es posible que la mayor parte de la economía del país se concentre en el lugar más pequeño, con gran población y donde hay menos agua? Tan solo se puede pensar, vagamente, que hay una gran infraestructura detrás para que la economía y la sociedad se mantengan en esa situación. Más adelante nos enfocaremos en este estado.

Para conocer más la situación del país, es necesario indagar sobre las lluvias, pero antes se presentará la forma en que se gestionan los recursos hídricos en México. Dado que resulta difícil hacer estudios hidrológicos como se encuentra la división política, se ha distribuido al país en conjuntos de cuencas hidrológicas, formando 13 regiones hidrológico-administrativas (RHA), que se presentan en la tabla 8.

Considerando que, una cuenca es una zona de la superficie terrestre en donde las gotas de lluvia que caen en ella son drenadas por un sistema de corrientes hacia un mismo punto de interés o salida y son limitadas por un parteaguas (Ruiz Urbano, 2018). El parteaguas es una línea imaginaria, formada por los puntos de mayor nivel topográfico y que separa a las cuencas unas de otras. En México se realizan los estudios hidrológicos con base a la distribución de las cuencas. La siguiente tabla presenta información similar a la tabla 7 pero se toman en cuenta las RHA, en lugar de los estados.

Tabla 8. Datos geográficos y socioeconómicos por región hidrológico-administrativa

Clave	RHA	Superficie continental (km <sup>2</sup> )	Agua renovable 2015 (hm <sup>3</sup> /año)	Población a mediados de 2015 (millones de hab.)	Densidad de población (hab/km <sup>2</sup> )	Agua renovable per cápita 2015 (m <sup>3</sup> /hab/año)	Aportación al PIB nacional 2014 (%)	Municipios
I	Península de Baja California	154 279	4 958	4.45	28.8	1 115	3.61	11
II	Noroeste	196 326	8 273	2.84	14.5	2 912	2.86	78
III	Pacífico Norte	152 007	25 596	4.51	29.7	5 676	2.88	51
IV	Balsas	116 439	21 678	11.81	101.4	1 836	6.14	420

Clave	RHA	Superficie continental (km <sup>2</sup> )	Agua renovable 2015 (hm <sup>3</sup> /año)	Población a mediados de 2015 (millones de hab.)	Densidad de población (hab/km <sup>2</sup> )	Agua renovable per cápita 2015 (m <sup>3</sup> /hab/año)	Aportación al PIB nacional 2014 (%)	Municipios
V	Pacífico Sur	82 775	30 565	5.06	61.1	6 041	2.29	378
VI	Río Bravo	390 440	12 352	12.30	31.5	1 004	14.29	144
VII	Cuencas centrales del Norte	187 621	7 905	4.56	24.3	1 733	4.19	78
VIII	Lerma-Santiago-Pacífico	192 722	35 080	24.17	125.4	1 451	19.08	332
IX	Golfo Norte	127 064	28 124	5.28	41.6	5 326	2.24	148
X	Golfo Centro	102 354	95 022	10.57	103.2	8 993	5.62	432
XI	Frontera Sur	99 094	144 459	7.66	77.3	18 852	4.93	137
XII	Península de Yucatán	139 897	29 324	4.60	32.9	6 373	7.38	127
XIII	Aguas del Valle de México	18 229	3 442	23.19	1 272.2	148	24.49	121
	<b>Total</b>	<b>1 959 248</b>	<b>446 777</b>	<b>121.01</b>	<b>61.8</b>	<b>3 692</b>	<b>100</b>	<b>2 457</b>

FUENTE: (CONAGUA, 2016)

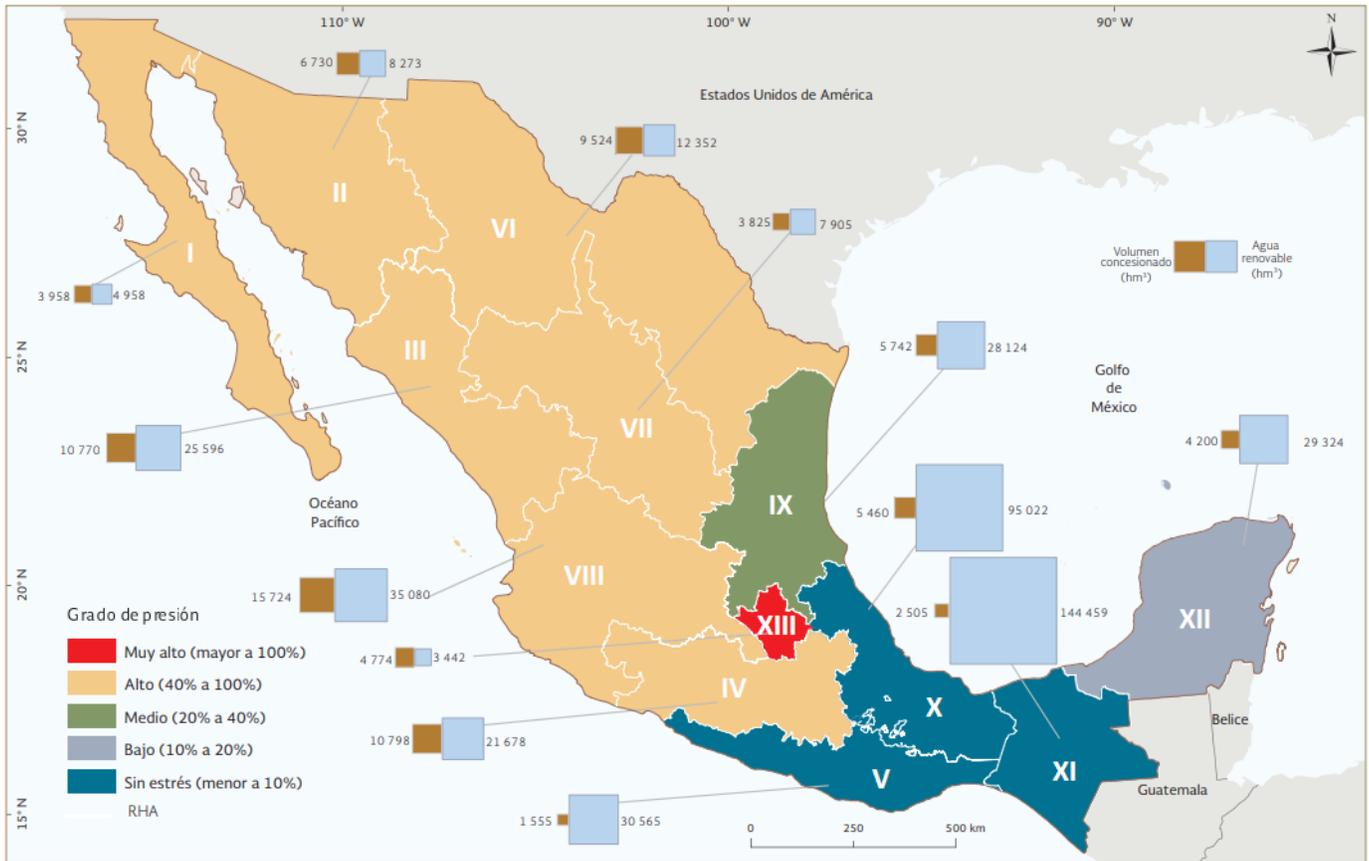
Se puede observar que el mayor porcentaje de aportación al PIB se concentra en la región XIII, Aguas del Valle de México, la RHA más pequeña y la que cuenta con menos agua renovable.

La mayor parte de la población se concentra en las zonas centro, norte y noreste del país, en cambio es donde se encuentra tan solo una tercera parte del agua renovable (regiones I, II, III, IV, VI, VII, VIII, IX y XIII). A pesar de eso es donde se aportan cuatro quintas partes del PIB.

Es fácil imaginar que la mayor aportación económica se lleve en las regiones donde hay más fuentes de agua, para realizar las diferentes actividades, sin embargo, en México existe ese contraste.

Al utilizar el indicador de Falkenmark, 3 regiones se encuentran con estrés hídrico regular, las RHA I, VI y VIII (Península de Baja California, Río Bravo y Lerma-Santiago-Pacífico, respectivamente), localizadas al centro y norte del país. Mientras que la región XIII (Aguas del Valle de México), en el centro, tiene escasez absoluta de agua. Estas cifras son alarmantes porque en tres de estas RHA, se aporta el mayor porcentaje del PIB y es necesario suministrar agua suficiente para mantener o aumentar ese indicador. Se deben dar soluciones ante este problema que se presenta, buscar otras fuentes de agua u otras formas de administrarla, y no solo sobreexplotar las fuentes. De no ser así, la situación se agravará y afectará a la economía del país, comprometiendo la calidad de vida de las personas, a los acuíferos y a los ecosistemas.

Para observar de una mejor manera la distribución de las RHA y dar una mejor idea del contraste en el uso del agua, se presenta la figura IV.I.



**Figura IV.I. Grado de presión por región hidrológico-administrativa, 2015**  
 FUENTE: (CONAGUA, 2016)

En la figura anterior se muestra el grado de presión por RHA, siendo el porcentaje que representa el agua empleada en usos consuntivos respecto al agua renovable. Si el porcentaje es mayor al 40%, se considera que se ejerce una fuerte presión sobre el recurso (CONAGUA, 2016).

Al sur del país no existe un estrés sobre el recurso hídrico, sin embargo en el centro y norte existe una presión alta, siendo 7 regiones de las 13. Algo alarmante sucede con la región XIII (Aguas del Valle de México) donde la presión es de 138.7%, esto quiere decir que se utiliza más agua de la que se renueva. El dato anterior puede sugerir dos cosas, la primera, que las fuentes se están sobre explotando y la segunda, que se necesita traer agua de otros lugares para abastecer el recurso.

Cabe mencionar que el porcentaje anterior solo se calcula con el uso consuntivo (principal actividad, la agricultura), no toma en cuenta lo consumido por diferentes actividades industriales o usos domésticos.

Otro punto a destacar es que existe un mayor consumo de agua para usos consuntivos en el norte, cuando se deberían de aprovechar las reservas de la zona sur del país.

Existe una situación contradictoria en México. En varios lugares del país, las inundaciones son muy frecuentes y un problema grave en época de lluvias. A pesar de la gran cantidad de agua pluvial para provocar estos desastres, hay gran parte de la población que no cuenta con agua potable o tiene un servicio insuficiente, y peor aún si la región se encuentra con escasez de agua. Muchas personas que sufren estos desastres naturales se preguntan el porqué de la falta de agua y de fuentes hídricas, si se inunda cada vez que llueve.

Se ha utilizado la cantidad de agua renovable per cápita para dar una idea de la situación en la que se encuentra el país, de manera general. Como se mencionó en el primer capítulo, el agua renovable de una región depende en gran medida de la cantidad de agua de lluvia que se infiltre, para recargar las fuentes. Se puede dar una mejor idea de la situación del país, al conocer más sobre la cantidad de agua que se precipita en todo el territorio.

La lluvia se presenta de diferente manera año con año, mes con mes y día con día. No se puede predecir la cantidad de agua que caerá del cielo, pero si se puede medir una vez que se haya precipitado. A lo largo del tiempo se han hecho mediciones de la cantidad de agua que llueve y entre más datos se obtengan, se tendrá una mejor idea de la cantidad promedio que llueve en México. Para calcular la precipitación normal, se necesitan de por lo menos 30 años de registros. En el periodo 1981 - 2010, la precipitación promedio fue de 740 mm anuales (CONAGUA, 2016).

Sin embargo, en el territorio mexicano, la distribución de las precipitaciones no es uniforme. La mayor parte de la zona norte, son regiones áridas o semiáridas, reciben un 25% del agua de lluvia, con una precipitación menor a los 500 mm anuales, mientras que el 49.6% se precipita en el sureste del país, superando los 2,000 mm al año. A pesar de que en el sur llueve en abundancia, la mayoría de las personas no cuentan con un servicio de agua entubada (Órgano de Difusión del Gobierno de la Ciudad de México, 2018).

La CONAGUA (2016) utilizó 1,788 estaciones climatológicas para determinar la precipitación normal mensual y anual, en el país y las diferentes RHA, en el periodo entre 1981 y 2010. Fue hasta el 31 de diciembre del 2015, que México contaba con un total de 3,160 estaciones climatológicas operadas por la CONAGUA, existiendo una mayor densidad en el centro del territorio. Para dar una mejor idea de la distribución de la lluvia en México, se presenta la tabla 9, que contiene la precipitación media mensual en cada RHA.

**Tabla 9. Precipitación promedio mensual, 1981 - 2010 (mm)**

Clave	RHA	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
I	Península de Baja California	20	19	14	4	1	1	10	26	32	11	10	20	168
II	Noroeste	24	21	12	6	4	19	108	103	58	25	17	31	428
III	Pacífico Norte	31	16	8	6	9	66	194	188	142	52	26	29	765
IV	Balsas	12	8	6	11	48	179	199	197	194	84	15	6	962

Clave	RHA	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
V	Pacífico Sur	8	8	6	15	71	230	200	219	242	113	20	7	1139
VI	Río Bravo	19	11	11	17	28	40	63	61	64	32	12	15	372
VII	Cuencas Centrales del Norte	18	9	6	12	27	56	79	71	67	29	11	13	398
VIII	Lerma-Santiago-Pacífico	22	11	4	6	23	131	197	180	153	60	13	10	808
IX	Golfo Norte	26	20	19	38	67	120	137	119	166	89	30	23	855
X	Golfo Centro	51	40	30	43	84	222	261	264	293	179	97	64	1626
XI	Frontera Sur	65	54	36	49	135	276	223	265	331	224	109	76	1842
XII	Península de Yucatán	45	35	31	39	90	167	153	173	208	147	72	49	1207
XIII	Aguas del Valle de México	11	11	12	28	51	109	126	115	110	57	13	6	649
<b>Total</b>		<b>25</b>	<b>17</b>	<b>13</b>	<b>18</b>	<b>42</b>	<b>102</b>	<b>134</b>	<b>134</b>	<b>135</b>	<b>69</b>	<b>27</b>	<b>23</b>	<b>740</b>

FUENTE: (CONAGUA, 2016)

El agua precipitada toma diferentes caminos, ya sea formando cuerpos superficiales, infiltrándose o simplemente regresando a la atmosfera. De manera general, de acuerdo con la CONAGUA (2017), al año llueven 1,499 millones 471 mil metros cúbicos de los cuales el 72.5% se evapotranspira, 21.2% fluye a través de ríos y lagos y el 6.3% se infiltra, recargando los acuíferos. Es muy poca la cantidad de agua que recarga las reservas y es menor cuando existe una infraestructura que lo impide.

La disponibilidad de agua ha disminuido con el paso de los años y con el crecimiento poblacional. En el año 1910 había 31,000 m<sup>3</sup> por habitante al año, en 1950 disminuyó a 18,000 m<sup>3</sup>/hab/año, siguió bajando en el año 1970 con 10,000 m<sup>3</sup>/hab/año, llegando a 4,573 m<sup>3</sup>/hab/año en el 2005 y terminando en 4,230 m<sup>3</sup>/hab/año en el 2010 (Órgano de Difusión del Gobierno de la Ciudad de México, 2018). La cantidad de agua renovable per cápita, está disminuyendo año con año.

Como se observó en la tabla 6, existen estados que se encuentran con escasez, pero se considera que, en el futuro todo el país se encontrará en esa situación a pesar de contar con un suministro anual de 3,776 m<sup>3</sup> por persona (Gutiérrez Vázquez, 2017). El dato anterior es un promedio de lo que dispone una persona, pero hay que tener en cuenta que en el norte del país, los habitantes disponen de muy poca agua, comparados con los habitantes del sur, además tampoco considera la mala calidad que llegan a recibir algunas personas.

El recurso hídrico no se distribuye de igual manera para toda la población. Dentro del territorio nacional, el abastecimiento de agua se ve muy rezagado en las zonas rurales, pues solo el 63% de la población cuenta con este servicio, mientras que el 94% de la población urbana si lo tiene (Anaya Garduño, 2011). Inclusive hasta en una misma ciudad no se proporciona de igual manera el agua, algunos reciben más cantidad que otros o de mejor calidad.

Muchas veces se desconfía del agua que se recibe del sistema domiciliario, se piensa que no es apta para beber y sin saber si en realidad sea segura. El sistema de abastecimiento

del país, en muchas partes, es insuficiente, no es regular y/o en ocasiones de mala calidad. Se acostumbra a comprar agua de garrafón para poder beber agua segura y preparar los alimentos.

A causa de lo anterior se presenta un gran consumo de agua embotellada. México ha sido uno de los primeros países que más la consumen, en 2014 fue el primer lugar en el mundo. Este hecho es perjudicial para el medio ambiente y para la economía de las personas. Las familias llegan a utilizar un 10% de sus ingresos para consumo de agua embotellada y se ha visto que este gasto aumenta hasta un 20% en las familias en situación de pobreza (Paullier, 2015). En otros casos, se prefiere consumir fresco, afectando en mayor medida la economía de las familias y su salud.

Si se aprovechara tan sólo el 3% de la cantidad que llueve, se podría abastecer a 13 millones de personas que no cuentan con el servicio de agua potable, 50 millones de animales, regar 100 mil hectáreas y tener una reserva para regar 18 millones de hectáreas en caso de riesgo (Anaya Garduño, 2008).

Con el problema de la escasez de agua, se han buscado nuevas fuentes o reutilizar el agua. Tal es el caso del tratamiento del agua residual, gran parte se usa para regar 90,000 hectáreas, beneficiando alrededor de 70,000 explotaciones y generando empleos en un lugar donde no hay muchas opciones (WWAP, 2016).

La disponibilidad de agua se va reduciendo y la población aumentando, cada año. Poco a poco la población se queda sin agua. Es un hecho que se tiene que realizar un plan de acción en el país. No solo basta con extraer más agua. Es necesario un conjunto de proyectos y programas para buscar otras fuentes de agua, gestionando el recurso de manera óptima, para mejorar la situación y no avanzar más hacia la escasez.

## **Ciudad de México**

El agua ha estado relacionada con la historia de la ciudad desde sus orígenes. Recordar que, la ciudad mexicana más importante se fundó en el centro de un lago y a lo largo del tiempo se fue desarrollando sobre este. Desde ese entonces los habitantes han estado planeando y desarrollando la ingeniería necesaria para cubrir sus necesidades con el agua, ya sea para desalojarla fuera de la ciudad, para protegerse o abastecerse, con la ayuda de diferentes obras hidráulicas. En la antigüedad se captaba y aprovechaba el agua pluvial.

Es importante mencionar que la obra más ambiciosa e importante del periodo prehispánico fue el Albarradón, un acueducto que transportaba agua de los manantiales de Chapultepec a la ciudad, diseñado y dirigido por Netzahualcóyotl. Tan importante era la ingeniería civil e hidráulica en Tenochtitlán que Hernán Cortés tuvo que destruir el Albarradón para dejar sin agua potable a la población y poder someterla (Gutiérrez Vázquez, 2017). Después de la conquista, se dejó de dar mantenimiento a las obras hidráulicas, tampoco se siguió construyendo infraestructura de captación de agua de lluvia. Se comenzó a reconstruir la ciudad con un diseño europeo, que no era propicio para edificar sobre el agua, deteriorando el Valle de México y desecando el sistema

lacustre (Gutiérrez Vázquez, 2017), dejando en el olvido toda la ideología e ingeniería prehispánica.

Hoy en día, la CDMX se ubica a 2,240 metros sobre el nivel del mar, con una superficie de 1,495 km<sup>2</sup> y es la única megaurbe que se encuentra a una altura mayor a los 2,000 m.s.n.m., además de estar cimentada sobre una laguna. Está rodeada por 4 valles y varias montañas de origen volcánico. En la ciudad se hace más presente la zona urbana, ocupando el 40% de la superficie, seguida de bosques y áreas protegidas, utilizando el 33% y por último la zona agrícola, que abarca tan solo el 27% (Gutiérrez Vázquez, 2017).

Abastecer de agua a un aproximado de 9 millones de residentes y una población flotante de alrededor de 4 millones 200 mil, es un gran reto y se requiere de una gran infraestructura. Para cubrir el 98% de la distribución de toma domiciliaria, el Gobierno de la Ciudad de México junto con el Sistema de Aguas dan mantenimiento y operan a diario 1,290 km de red primaria, 11,971 km de red secundaria, 765 km de acueductos y líneas de conducción, 357 tanques de almacenamiento, 268 plantas de bombeo, 49 plantas potabilizadoras, 15 plantas cloradoras, 976 pozos, 69 manantiales, 33 garzas, 458 dispositivos de cloración y 10 trifurcadores, el porcentaje restante se cubre con pipas (Órgano de Difusión del Gobierno de la Ciudad de México, 2018).

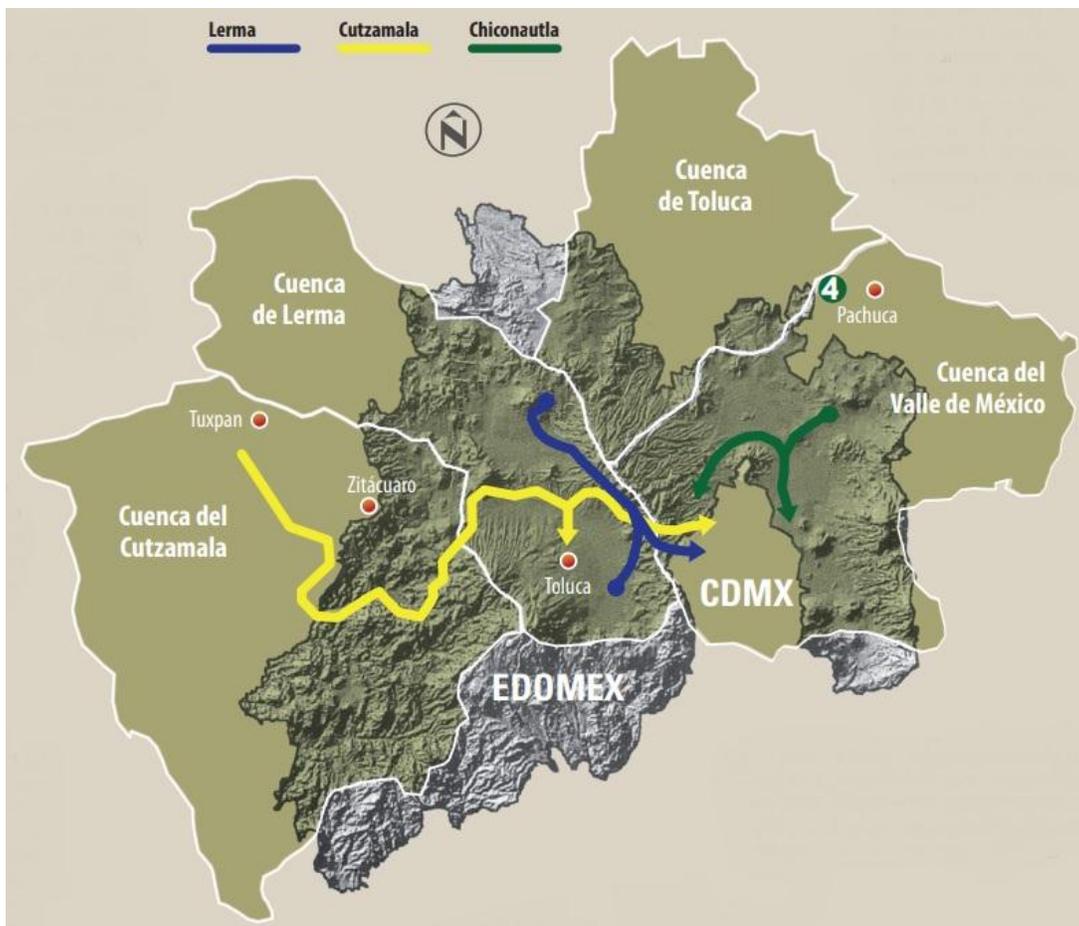
La CDMX se encuentra dentro de la Cuenca del Valle de México y se abastece de agua a partir de diferentes fuentes, ya sean superficiales y subterráneas, dentro y fuera de la cuenca. Las principales obras son el Acueducto Lerma, el Sistema Cutzamala y el Sistema Chiconautla. Se comenzó a utilizar el agua de otras cuencas porque el terreno se empezó a hundir con las extracciones de agua subterránea realizadas en la ciudad, además del aumento de la demanda del recurso.

La Cuenca de Lerma recibe aguas superficiales de Almoloya del Río, Texcaltenango y Alta Empresa, en el Estado de México. En un principio, también se sacaba agua de 5 pozos. La CDMX recibió agua de este sistema a partir del año 1951, a través de un tubo de 62 km de largo y 2.5 m de diámetro, atravesando la Sierra de Las Cruces por un túnel, Atarasquillo - Dos Ríos, de 14 km. El agua llega a un sistema de distribución y almacenamiento en la segunda sección del Bosque de Chapultepec, utilizando 4 depósitos de 100 m de diámetro y 10 m de profundidad. Se tuvo que ampliar el sistema por la demanda creciente en la ciudad, entre 1965 y 1975 se construyeron 230 pozos, llegando a suministrar 14 m<sup>3</sup>/s. Actualmente solo suministra 6 m<sup>3</sup>/s, debido a la sobreexplotación de los mantos acuíferos (Gutiérrez Vázquez, 2017).

El Sistema Cutzamala es uno de los que más aporta agua a la urbe, suministrando 14.4 m<sup>3</sup>/s, trabajando las 24 horas, los 365 días del año. Recoge el agua de ríos y las presas Colorines, Tuxpan, El Bosque, Ixtapan del Oro, Tilostoc, Chilesdo y Valle de Bravo, en el Estado de México. El agua es tratada en la planta potabilizadora Los Berros, con capacidad de 24 m<sup>3</sup>/s. El sistema cuenta con otras obras complementarias como los vasos reguladores Donato Guerra y Pericos, una planta autónoma de generación de energía, una torre de sumersión y una de oscilación. El agua tratada es bombeada a una altura de 2,702 m.s.n.m. para posteriormente ser distribuida a la CDMX. Se emplean 6

bombas de 4 m<sup>3</sup>/s y 3 de menor tamaño con un gasto de 1.7 m<sup>3</sup>/s, utilizando 2,280 millones de kilowatts cada hora, similar a la cantidad total que consume la ciudad de Puebla. El costo de suministrar agua a la ciudad es muy elevado llegando a más de 130 millones de dólares al año (Gutiérrez Vázquez, 2017).

El Sistema Chiconautla es un conjunto de pozos ubicados en el acuífero Cuautitlán - Pachuca. El acuífero es uno de los más importantes del país, teniendo una extensión de 4,349 km<sup>2</sup>, recargándose únicamente del agua pluvial. Existe un problema importante con la recarga, debido al crecimiento de la población. Se ha estado deforestando, erosionando el suelo y perdiendo zonas de recarga, dificultando la retención e infiltración del agua al acuífero, presentando una escasez en el recurso. Con este sistema se suministra a los habitantes, áreas de agricultura e industrias cercanas, así como al norte de la CDMX (Gutiérrez Vázquez, 2017). En la figura IV.II, se presentan los tres sistemas mencionados.



**Figura IV.II. Sistemas Lerma, Cutzamala y Chiconautla**  
FUENTE: (Gutiérrez Vázquez, 2017)

Gran parte del agua se extrae de acuíferos, dentro de la ciudad. Con el paso del tiempo la demanda ha aumentado y se han buscado más fuentes subterráneas para bombearlas y no solo eso, las han ido sobreexplotando. Actualmente se extraen 45 m<sup>3</sup> mientras sólo se reponen 25 (Gutiérrez Vázquez, 2017). No se ha tomado alguna medida para corregir

estas acciones, se sabe que se retira más agua de los acuíferos que lo que tardan en recargarse, y aun así se sigue haciendo. Como se ha mencionado, seguir sobreexplotando las fuentes, causará grandes consecuencias, empezando por no tener agua, secando las fuentes subterráneas, alterando el entorno donde se encontraba el recurso, presentándose asentamientos en algunas zonas, afectando a las construcciones. Se terminará perjudicando en gran medida a las personas, la flora y fauna.

Debido a la sobreexplotación de los acuíferos, la ciudad sufre hundimientos constantemente, 10 cm por año, sin embargo, en algunas zonas se presentan asentamientos de hasta 40 cm al año, tal es el caso de Xochimilco, Tláhuac, Ecatepec, Nezahualcóyotl y Chalco. La CDMX tiene el record mundial de hundimientos, desde 1862 hasta la actualidad se ha asentado 14 m, el bombeo de agua es la principal causa (Gutiérrez Vázquez, 2017). El ingeniero civil Enrique Santoyo Villa señala que el hundimiento es uno de los principales problemas en la ciudad y que el descenso del nivel estático del acuífero lleva a dos problemas en el abasto de agua, porque es necesario bombear cada vez a mayor profundidad y la calidad de agua se va afectando, incrementándose los costos de operación y potabilización.

La infiltración del agua pluvial ayuda a la recarga de los acuíferos. En la ciudad, la precipitación media anual es de 600 mm en las regiones más secas y hasta 1,200 mm en las más lluviosas (Gutiérrez Vázquez, 2017). Es fácil pensar que, gracias a la lluvia, los pozos se abastecen más que suficiente, desgraciadamente no sucede eso.

Al ser mayor la superficie que ocupa la urbe, las vías de tránsito se encuentran pavimentadas, facilitando el escurrimiento del agua, saturando rápidamente el drenaje e impidiendo su infiltración. A causa de las acciones de las personas, al tirar basura y la falta de educación, ayudan a la generación de inundaciones. De acuerdo con la Secretaría de Protección Civil, el 50% de las inundaciones son originadas por la obstrucción de las coladeras, debido a la basura desechada por las personas.

Se tienen registros de 26 inundaciones graves, entre los años 1446 y 1951, la más grave en 1629 donde la ciudad quedó bajo el agua, flotando varios cadáveres de personas y animales, acompañados de restos de árboles, carruajes y hasta casas (Gutiérrez Vázquez, 2017). Hoy en día se aprecian inundaciones con más frecuencia y cada vez con mayor magnitud, afectando las vialidades, la calidad de vida de las personas y la economía de la ciudad.

Hay una incoherencia, por un lado, la ciudad se inunda en época de lluvias y por el otro se encuentra en una situación de escasez de agua cada vez mayor. Principalmente esta situación se da por la mala administración y repartición de los recursos, así como de un mal uso y manejo por parte de los ciudadanos.

Existe otra incongruencia, una parte de la población cuenta con abastecimiento de agua constante mientras que, en la otra, el recurso es insuficiente y de mala calidad. Cerca de millón y medio de personas compran pipas de agua o garrafones y 180,000 no cuentan

con el servicio por estar en suelo no permitido (Órgano de Difusión del Gobierno de la Ciudad de México, 2018).

Existe un gran problema con la forma de utilizar el agua, porque la mayoría de las personas que tienen de forma abundante el recurso llegan a desperdiciarla. Hasta hace algunos años el recurso era constante en algunas zonas de la ciudad, sin embargo, hoy en día se han ido presentando algunos eventos en los que la realidad es otra. Por ejemplo, en algunas colonias de la delegación Tlalpan tenían de forma continua el recurso y con la presión suficiente, pero en los últimos años, el recurso se ha ido tandeando tanto para colonias de nivel socioeconómico alto como para las de nivel bajo.

La ciudad tiene varios problemas con el abastecimiento del agua, ya sea desde la distribución, la demanda o la calidad del suministro. La CDMX, es una de las ciudades que más agua consume por habitante, con un promedio de 366 litros, llegando hasta los 567 litros por persona en zonas residenciales. Siendo el lugar donde más agua se desperdicia en el país, principalmente por fugas. De acuerdo con las autoridades de la Comisión Nacional del Agua, se pierde hasta un 40% del recurso (Gutiérrez Vázquez, 2017).

Aproximadamente 1,088,928 de personas, no tienen acceso al agua, ni un sistema de drenaje o adecuación sanitaria. Más de dos terceras partes se localizan en las delegaciones Iztapalapa, La Magdalena Contreras, Milpa Alta, Tláhuac, Tlalpan y Xochimilco (Órgano de Difusión del Gobierno de la Ciudad de México, 2018).

Con el crecimiento de la ciudad, pavimentando las calles, deforestando y sobreexplotando los acuíferos, se ha ido produciendo un cambio climático en la urbe, incrementando en 4°C la temperatura e intensificando las lluvias, en el último siglo (Gutiérrez Vázquez, 2017).

El investigador Luke Howard se enfocó en el fenómeno conocido como "isla de calor", que se presenta en zonas urbanas. A causa del pavimento y las construcciones de concreto, además de otros elementos que desprenden calor, transfieren lentamente la energía calorífica, incrementando la temperatura del aire. La energía se concentra en el centro de la ciudad donde se encuentran más elementos, modificando el viento y la precipitación. Al incrementar la temperatura del aire, las nubes se elevan a la parte más alta de la tropósfera, produciendo lluvias de mayor intensidad.

A parte del fenómeno mencionado, la falta de lagos y de vegetación, propician un aumento en la temperatura y la intensidad de las lluvias. De acuerdo con el estudio "La Biodiversidad en la Ciudad de México", elaborado en el 2017 por la Secretaría del Medio Ambiente y la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, indica que debido a la construcción de asentamientos irregulares se perdieron 1,807 hectáreas de suelo de conservación.

De acuerdo con el investigador del Centro de Ciencias de la Atmosfera de la UNAM, David K. Adams, sembrando más árboles, reduciendo las zonas con asfalto y con una

limpieza efectiva del drenaje, se podrían evitar inundaciones o hacerlas más fáciles de manejar.

Otro problema que tiene la ciudad es el sistema de drenaje y se presenta en varios puntos. Primero que nada, el drenaje de la ciudad es insuficiente para desalojar todos los residuos, porque se sigue utilizando el mismo sistema que hace varios años. Por otro lado, no se cuenta con un drenaje que separe agua pluvial del agua residual, en la mayor parte de la ciudad.

Existen muchos problemas en la ciudad, con respecto al agua. Varias de las complicaciones se irán empeorando con el paso del tiempo, si no se hace algo al respecto. Es necesario realizar un buen desarrollo en la ciudad porque no es posible que el agua pluvial esté afectando en lugar de beneficiar.

### **Importancia del uso de sistemas de captación de agua de lluvia en la Ciudad de México**

Se han abordado varios puntos y ejemplos del uso de sistemas de captación de agua de lluvia, siendo la mayor parte para zonas rurales. Es un hecho que el uso de estos sistemas es de gran ayuda, proporcionando agua potable a las comunidades y generando otros beneficios. Existen varias investigaciones que respaldan estas ideas. En México han jugado un papel importante para aumentar la calidad de vida de las personas que no cuentan con el recurso.

Pero ¿por qué la importancia en zonas urbanas?. Para empezar, ya se mencionó que en las ciudades la población aumenta al igual que la demanda de agua, a su vez, la cantidad de agua disponible es menor, llegando a una escasez del recurso. En la urbe ya existe ese problema y cada vez se aprecia más, cuando aumenta el número de afectados.

Hay varias formas de solucionar el problema anterior, una de ellas podría ser buscar otras fuentes de agua superficiales y subterráneas, pero muchas veces se necesita de una gran infraestructura y por tanto muy costosa, si se trae de otros lugares. Otra solución sería disminuir la demanda de agua, esto se logra a través de programas, concientizando a la población, pero muchas veces resulta difícil y pocas veces se logra. Se podría bajar la demanda de una manera obligada, al dar el servicio mediante tandeos, no obstante, se ha visto que la sociedad resulta afectada.

No hace mucho, se comenzó a utilizar los sistemas de captación de agua pluvial en la ciudad, para personas que no cuentan con el recurso y se encuentran en un estado de marginalidad. Los sistemas implementados han desempeñado un excelente papel, proporcionando agua de calidad que puede ser consumida por los usuarios.

La idea que se propone es implementar estos sistemas en gran parte de la ciudad, ya sea en casas, edificios, negocios, instituciones, escuelas, parques, vialidades, etc. Aunque existan leyes, apoyos y beneficios para aquellos que lo realicen, se necesita de una divulgación más amplia para llevar a cabo estos trabajos. Una tarea difícil pero que se puede ir presentando poco a poco. No se trata de esperar a que los ciudadanos instalen

un sistema de captación, ni tampoco que las autoridades brinden estos sistemas por completo. Se requiere de programas que realmente inciten al aprovechamiento pluvial con el apoyo de los ciudadanos y los entes gubernamentales.

Tampoco se trata de suministrar toda el agua requerida por la población con sistemas de captación, sino que forme parte de un plan de abastecimiento y desarrollo en la ciudad. Se busca reducir la presión de los demás sistemas de abastecimiento para disminuir costos y dejar de sobreexplotar las fuentes. En el caso de sistema Cutzamala, aparte de reducir la demanda, se estaría reduciendo el consumo eléctrico provocado por las bombas. Se daría tiempo a los acuíferos para recargarse, y en la ciudad se estarían disminuyendo los asentamientos. En cuanto a la red de agua en la urbe, al disminuir la presión, se podrá dar mantenimiento por etapas, reparando las fugas. Cuando se tenga un número considerable de sistemas instalados, las inundaciones se estarán atenuando. Aclarando que estos beneficios se tendrán en un periodo largo cuando una parte de la ciudad cuente con los sistemas de captación.

Al ser los mismos usuarios que se encargan del mantenimiento y limpieza del sistema, se crea una educación en el cuidado del agua. Este punto ayudaría a los ciudadanos a optimizar el recurso, cosa que difícilmente se hace actualmente. El almacenamiento de agua crea un ambiente más fresco, mejorando el microclima. Se tendrá un mayor impacto en la ciudad cuando el uso de los SCALL se extienda.

Los sistemas al ser flexibles se pueden adaptar a las necesidades de cada usuario y por tanto a las necesidades de la ciudad. Fácilmente se pueden utilizar en conjunto con los sistemas urbanos de drenaje sostenible, teniendo varias ventajas en el entorno. De igual manera se pueden aprovechar para realizar diferentes actividades y tener ingresos económicos.

Se puede captar la lluvia y facilitar su infiltración con diferentes estructuras, recargando los acuíferos. Además de evitar la sobreexplotación se estarían aumentando las reservas de agua.

Al principio puede ser un gasto considerable, sin embargo, se ha observado que la inversión se recupera en pocos años y se obtienen más beneficios que pérdidas. De cualquier forma, este punto se analizará con más detalle en el caso de estudio.

No solamente los usuarios se beneficiarán. Al comenzar a implementar estos sistemas, se estarán generando más empleos, mejorando la economía y la situación de la ciudad y de sus habitantes.

La ciudad es una de las zonas más vulnerables ante los sismos. Como se vivió en el pasado 19 de septiembre del año 2017. Además de los tantos destrozos que hubo, una de las infraestructuras que se vieron afectadas, fue la red de agua. Se tuvo que dejar de suministrar el recurso a la población para hacer las reparaciones necesarias. Fueron varios días críticos a partir del evento. Ante estas situaciones, los sistemas de captación

desempeñarían un papel de vital importancia, los usuarios contarían con un suministro para caso de emergencias. Estos sistemas hacen más resiliente a la población.

El agua que se precipita puede ser captada y aprovechada por cualquier persona. Esta idea es tan simple como importante. Utilizando los sistemas de captación, se mejoran las posibilidades y condiciones de los habitantes de la ciudad, sin hacer distinción de su nivel económico, edad, género o religión. Se disminuye la marginalidad, ofreciendo diferentes oportunidades.

Aprovechar el agua pluvial no se debe de ver como un acto meramente ecologista, sino como inversión y una oportunidad de realizar un desarrollo sostenible en la ciudad. Es una forma de hacer frente a la problemática del agua que se vive día con día y con el tiempo mejorar la situación, antes de que se presente un daño irreversible.

## **V. Marco jurídico del agua y de la captación de agua de lluvia**

Ya se ha mencionado que se necesita agua para las personas, los demás seres vivos y para el entorno, además la humanidad depende de este recurso para mejorar su calidad de vida. Por lo que, la Asamblea General de las Naciones Unidas reconoció, el 28 de julio del 2010, el derecho humano al agua y saneamiento, siendo esenciales para la realización de los derechos humanos. El derecho al agua debe ser suficiente, saludable, aceptable, accesible y asequible para uso personal y doméstico (UN WATER, 2014).

Para llevar a cabo lo anterior, la Organización Mundial de la Salud ha establecido algunos parámetros para cumplir con el derecho al agua. Se propone que el recurso para una persona al día sea entre 50 y 100 litros, esto para cubrir las necesidades más básicas y se eviten problemas de salud. También cuenta con algunas guías que aportan las bases para el desarrollo de estándares sobre la calidad de agua potable. Plantea que el recurso es accesible cuando la fuente se encuentra a menos de 1,000 m y el tiempo en llegar a la fuente sea menor a 30 minutos. En cuanto a la asequibilidad, el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo sugiere que el coste del agua no supere el 3% del ingreso familiar.

### **Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos**

En cuanto a las leyes sobre el agua en México, en la Constitución Política se mencionan algunos artículos en los que se hace referencia. En el artículo 4° se menciona que toda persona tiene derecho al acceso, disposición y saneamiento de agua para consumo personal y doméstico en forma suficiente, salubre, aceptable y asequible, también se hace énfasis que el Estado garantizará este derecho y establecerá las bases para brindar el acceso, uso equitativo y sustentable de los recursos hídricos.

Se observa que no se ha cumplido con este derecho porque hay personas que reciben agua de mala calidad, de manera no continua o simplemente no cuentan con el recurso. Tampoco se cumple con el uso equitativo y menos con el punto de sustentabilidad, cada vez se sobreexplotan más los mantos acuíferos, perjudicando al entorno natural y social.

Otro artículo de la Constitución es el 27, en el que se menciona que las aguas son propiedad de la Nación y que tiene derecho de transmitir el dominio de ellas a los particulares, constituyendo la propiedad privada. La Nación tiene el derecho de imponer, a la propiedad privada, las modalidades para el aprovechamiento del recurso, haciendo una distribución equitativa de la riqueza y cuidar de su conservación, logrando el desarrollo equitativo del país y mejorando la calidad de vida de la población.

Una vez más no se cumple con la ley, no se están conservando nuestras fuentes de agua, se sobreexplotan y peor aún se han entregado fuentes de agua a empresas que terminan dañando, en gran medida, los ecosistemas y dejando sin el recurso a la población, atentando contra su calidad de vida. En algunos estados se han presentado luchas entre la población y las empresas por la obtención del recurso.

En el artículo 115 se destaca la función de los municipios, que tendrán a cargo los servicios de agua potable, drenaje, alcantarillado, tratamiento y disposición de aguas residuales.

### **Ley de Aguas Nacionales**

Existe la Ley de Aguas Nacionales, y es reglamentaria del artículo 27, antes presentado. Esta legislación tiene como objetivo la regulación y control del agua en el territorio nacional, así como la preservación en su calidad y cantidad, logrando un desarrollo integral sustentable. Se nombra a la Comisión Nacional del Agua como el organismo que se encarga de ejercer la autoridad y administración del recurso.

### **Ley General de Aguas**

Se reformó el artículo 4° de la Constitución Política, el 8 de febrero de 2012, incluyendo el derecho al agua, mencionándolo de manera general. No existe una ley complementaria a este artículo o normas, que dicten la manera en que se realizarán las actividades necesarias para garantizar ese derecho.

Actualmente se está elaborando la Ley General de Aguas, reglamentaria del artículo 4° de la Constitución. El Congreso de la Unión se encarga de construir dicha ley, con la ayuda de la participación ciudadana, contando con las aportaciones de la sociedad civil organizada, la academia, las empresas y organismos del sector social. El 26 de noviembre de 2017, la Comisión de Agua Potable y Saneamiento, presidida por el diputado del PRI, José Ignacio Pichardo Lechuga, presentó un borrador de lo que sería la nueva Ley. Se realizaron varios comentarios, correcciones y aportaciones de diferentes personas.

Surgen varias ideas entre las propuestas del diputado Pichardo y la iniciativa ciudadana, en la que existen varias discrepancias. Para empezar, el diputado considera como aspectos claves el fomento a la gestión privada de servicios de agua, saneamiento y grandes obras hidráulicas mientras que la iniciativa ciudadana, considera democratizar la toma de decisiones sobre el agua a nivel federal, estatal y municipal para lograr el acceso equitativo y sustentable, respetando la autodeterminación de los pueblos (Agua para todos Agua para la vida, 2017). Otro de los puntos a recalcar es la propuesta del diputado, al permitir la compra y venta de concesiones a aguas nacionales, siendo renovables ilimitadamente y hederables, se propone la formación de Bancos de Agua para poder vender, por el contrario, la ciudadanía no permite estos actos. Pichardo considera que no se necesita concesión de agua para uso minero si es extraída por la misma, ya sea para minería tóxica o para fracturación hidráulica, en este punto se opone la iniciativa ciudadana al prohibir el uso de agua para estas actividades. El diputado no considera en su propuesta los derechos de los pueblos indígenas, caso contrario a los ciudadanos, que enfatizan restaurar sus derechos y su autodeterminación sobre las aguas en sus territorios.

Todavía existen muchos puntos que discutir para formar la nueva Ley General de Aguas, además de existir varias discrepancias. Desde mi punto de vista, considero que las

propuestas elaboradas por el diputado, no son correspondientes al cumplimiento de lo establecido en el artículo 4° de la Constitución y en algunos casos llega a contradecir a la misma. Tal es el caso de la compra y venta de concesiones que se contraponen a lo que establece la ley, los recursos hídricos son del Estado. Se debe garantizar el derecho al agua a todas las personas, sin embargo, Pichardo ni siquiera toma en cuenta a los pueblos indígenas.

El 5 de junio del 2018, el presidente Enrique Peña Nieto, firmó 10 decretos de reserva de agua como parte de la Ley General de Aguas. Estos eliminan las vedas de 295 cuencas hidrológicas del país. El régimen de veda restringe de manera absoluta el uso del agua. Al establecer los decretos, se pasó a un régimen de reserva, esto con el objetivo de utilizar el agua para doméstico, protección y conservación ambiental, y producción de energía, con ciertas restricciones (De la Torre, Larraz, & Reveles, 2018). Con lo impuesto por el Ejecutivo, se tuvo una preocupación, por parte de diferentes organismos, al poder privatizarse el recurso y generar ganancias lucrativas en lugar de abastecer a los mexicanos. Ante la creciente preocupación la SEMARNAT mencionó que no se privatizará el agua, que es una medida para aprovechar los recursos y abastecer a una población proyectada a 50 años, de 18 millones de habitantes. Por su parte, la CONAGUA aclaró que no habrá concesiones para empresas privadas. Se gestionará el recurso para abastecer a la población y conservar el medio ambiente. Para lograrlo se reservará un volumen del 47% del escurrimiento medio anual (Redacción Aristegui Noticias, 2018).

Algunos académicos al estudiar los decretos afirman que el agua será administrada para conservar el equilibrio ecológico. Sin embargo, se ha observado que la mayoría de las cuencas se encuentran contaminadas (Lira, 2018).

Es necesario que los organismos operadores se encarguen de manera formal y seria de gestionar el recurso hídrico conforme a lo estipulado en la ley. Existen otros puntos que se deben seguir analizando y otros más que se deben de incluir, como una sanción a las personas y empresas que desperdicien agua o se extraiga de manera ilegal, también el uso de normas para determinar la calidad y cantidad de las descargas de agua negras o industriales, y tratamiento de estas, para conservar los ecosistemas. Se debe de incentivar el uso de aguas tratadas y pluviales, así como un desarrollo sustentable en el país.

### **Ley de Aguas del Distrito Federal**

Para la Ciudad de México existe la Ley de Aguas del Distrito Federal, con la que se regula la gestión de los recursos hídricos y la prestación de servicios públicos de agua potable, drenaje y alcantarillado, así como el reúso de aguas residuales y su tratamiento.

Se reconoce al Sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACMEX) como el organismo que se encargue de la operación de la infraestructura hidráulica y la prestación del servicio público, así como concientizar a la población en una cultura de uso racional de agua y se encargará de la verificación, inspección y vigilancia del cumplimiento de la Ley.

Un punto importante para destacar es que el SACMEX junto con la Secretaría del Medio Ambiente y la Secretaría de Desarrollo Económico y Finanzas, promoverán instrumentos económicos para aquellas personas que desarrollen o inviertan en tecnologías, prácticas y métodos que ayuden a mejorar el manejo integral de los recursos hídricos.

De acuerdo con los estudios técnicos que se elaboren y publiquen, el Jefe de Gobierno de la Ciudad de México podrá reglamentar el uso de las aguas para prevenir o remediar la sobreexplotación de estas y establecer limitaciones a los derechos existentes, declarar zonas de veda para restaurar o proteger los ecosistemas y preservar las fuentes de agua.

Respecto a la captación pluvial, el título noveno pretende regular, promover, organizar e incentivar la cosecha de agua de lluvia, potabilizarla para consumo humano o ser utilizada en actividades rurales, urbanas, comerciales o industriales. Lo anterior para consolidar y fortalecer las políticas, estrategias, programas y acciones gubernamentales y de participación de la población para la gestión sustentable de los recursos hídricos y prestación de los servicios públicos. También se pretende concientizar a la población para construir una Cultura del Agua.

Esta ley otorga el derecho de cosechar agua de lluvia a todas las personas, organismos, instituciones, comunidades y ejidos, ya sea de forma individual o colectiva. Aquellos que realicen esta actividad, deberán ser reconocidos como Cosechadores de Agua de Lluvia y podrán obtener los incentivos del Programa General y sus respectivos subprogramas.

Será obligatorio construir las obras e instalar los equipos necesarios para la cosecha de lluvia en todas las nuevas edificaciones. Se enuncia que los usuarios deberán contar con redes separadas de agua potable, agua residual tratada y cosecha de agua de lluvia, debiéndose utilizar esta última en usos no potables y deberán contar con sistemas alternativos de uso de agua pluvial. A las edificaciones que modifiquen sus instalaciones para la reducción en el consumo de agua potable e incrementen su reutilización y tratamiento, obtendrán la certificación de edificio sustentable y tendrán derecho a reducciones fiscales que establezca el Código Financiero del Distrito Federal.

Menciona que todos los edificios gubernamentales deberán establecer sistemas de recuperación y almacenamiento de aguas pluviales, así como sistemas para el ahorro y usos sustentables del agua.

Se propone definir, garantizar, diseñar y ejecutar un subprograma enfocado a la cosecha de agua de lluvia, que sea central, desconcentrada y paraestatal. Además de apoyar, estimular, promover e incentivar al aprovechamiento pluvial, compense las irregularidades de la distribución de la precipitación en la ciudad. Se plantea una subdivisión en 4 subprogramas, uno enfocado para los ejidos, comunidades, barrios y pueblos rurales, otro para los hogares de los habitantes de la ciudad, un tercero para todas las nuevas edificaciones, y el último para adquisición de tecnología, materiales, infraestructura equipos e instrumentos para garantizar la cosecha pluvial y su potabilización.

Hay otros puntos presentes en esta ley, se menciona la construcción de presas y colectores marginales a lo largo de las barrancas y causes para la captación de agua de lluvia. En reservas ecológicas se plantea la construcción de áreas verdes, represas, ollas de agua, lagunas de infiltración, pozos de absorción y otras obras necesarias para la captación de agua pluvial para incrementar el nivel de agua de los mantos acuíferos. El SACMEX también debe ejecutar programas urbanos de drenaje y evacuación de las aguas pluviales, así como establecer mecanismos para la recuperación del agua de lluvia.

El Sistema de Aguas, fomentará el desarrollo de sistemas de drenaje separados, para la conducción de aguas pluviales y otra para aguas negras y grises.

El SACMEX será responsable de promover la captación, almacenamiento y uso eficiente del agua de lluvia en zonas urbanas y rurales, como recurso alterno, desarrollando programas regionales de orientación y uso de este recurso. Las aguas pluviales que se recolecten por los particulares, y tengan un tratamiento, cumpliendo con las normas oficiales mexicanas, con una previa certificación de calidad de una autoridad competente, podrán comercializarse.

Un dato importante que se tiene que conocer, fue el 24 de noviembre de 2017, cuando se anunció la aprobación de la Ley de Sustentabilidad Hídrica de la Ciudad de México, la cual sustituiría a la Ley de Aguas del Distrito Federal, esta nueva ley haría del SACMEX un órgano descentralizado y con autorización de establecer las tarifas a los usuarios (Suárez, 2017). La decisión de la asamblea causó mucha polémica, al temer que el derecho al agua para todos los ciudadanos fuera violado, en consecuencia, surgió una desaprobación por parte de la ciudadanía. El 26 de enero de 2018, la administración capitalina regresó la nueva ley, con algunas observaciones, teniendo puntos que no se abordaban y algunas inconsistencias, para ser modificada y nuevamente analizada (Romero Sánchez, 2018).

Hay varios puntos a resaltar en esta ley, comenzando por el incumplimiento en el que todos los edificios gubernamentales deberán contar con sistemas de captación pluvial. Existe un gran número de edificaciones que no cuentan con algún sistema y no se ve interés en cumplir con lo establecido.

Por otro lado, no existe una supervisión en el cumplimiento de lo mencionado con las nuevas edificaciones. En algunas ocasiones el edificio no cuenta con un sistema de aprovechamiento de agua de lluvia y cuando llegan a contar con uno, no tiene propósito alguno, solamente se realizan para cumplir con la ley. En algunos edificios solo se tiene una cisterna para recibir agua pluvial pero no se le da uso, ni siquiera para regar áreas verdes, se dejan abandonadas las instalaciones sin dar mantenimiento.

A mi parecer, se debería de incentivar, de mejor manera, el uso de los SCALL, brindando apoyos económicos, reducciones en las tarifas y dando asesorías. En la ley se propone crear un Fondo General de Apoyo a la Cosecha de Agua para financiar todos los proyectos, investigaciones y desarrollo tecnológico, sin embargo, solo se ha quedado en

una idea que no se ha llevado a la realidad. Hasta ahora solo se ha impulsado a la población a captar el agua de lluvia en botes.

Es buena la idea de crear un subprograma de Cosecha de Agua de Lluvia, sin embargo, se tendría una mejor respuesta si se desarrollara un proyecto como parte del desarrollo urbano de la ciudad. Aún queda mucho por hacer de lo establecido en la ley y mucho más por analizar y discutir el tema de la captación de agua de lluvia en la ciudad, siendo necesario generar el Programa General de Cosecha de Agua de Lluvia.

## **VI. Caso de estudio: Mercado turístico La Magdalena**

Se propone implementar un sistema de captación de agua de lluvia en el mercado turístico la Magdalena. Esto para reducir los pagos realizados por el gobierno, al mismo tiempo de crear una cultura en el cuidado del agua y dar un ejemplo del potencial que tienen estos sistemas en zonas urbanas, aprovechando su uso en la delegación Magdalena Contreras.

### **Información general**

La Magdalena Contreras es una de las 16 delegaciones que conforman la Ciudad de México, localizándose al sur. Al norte colinda con la delegación Álvaro Obregón, al sur con Tlalpan y al oeste con el Estado de México. La delegación ocupa el 4.2% de la superficie total del estado (INEGI, 2009).

Predominan 3 tipos de climas en la delegación, templado semifrío húmedo, templado semifrío subhúmedo y templado subhúmedo (INEGI, 2018). En la región se presenta una temperatura en el rango de 6 a 16°C y una precipitación que va de los 900 a los 1600 mm anuales. La urbe ocupa el 30% de la superficie, la agricultura el 4%, bosques el 62% y los pastizales abarcan el 4% (INEGI, 2009).

Es importante mencionar que en la delegación existe el último río vivo de la ciudad. El río Magdalena nace del cerro La Palma, en Cuajimalpa, siendo alimentado por manantiales y diferentes ríos. Gracias a los manantiales, el río tiene un escurrimiento perenne, una parte es captada por una planta de tratamiento de agua para consumo humano, ubicada en el primer Dinamo, para abastecer a un porcentaje de la población (Instituto para el Federalismo y el Desarrollo Municipal, 2010).

De acuerdo con el SACMEX (2018), la factibilidad hídrica en el 2017 muestra que la mayoría de las colonias se ubican en una zona con potencial bajo, requiriendo un estudio de viabilidad técnica para poder suministrar agua. Otra gran parte de la delegación, principalmente en zonas altas, se encuentra en una situación donde no es factible asegurar un mínimo de calidad en los servicios, dado que la zona no es apta para la construcción de nuevos desarrollos. Existen 30 colonias que reciben agua por tandeo.

La mayoría de las construcciones son domésticas de tipo unifamiliar y unas pocas plurifamiliares, existiendo 66,676 viviendas particulares, en el 2015, con un promedio de 3.7 personas por cada una (INEGI, 2018).

En el 2015, el 87.5% de las viviendas contaban con agua entubada (INEGI, 2018). Lo que quiere decir que el resto de las viviendas recurren a otros medios para abastecerse de agua o simplemente no cuentan con el recurso.

## **Estrategia viable**

### **Análisis del entorno**

En la zona urbana existen pocas avenidas de gran tránsito. La mayoría de las calles son angostas. En las colonias alrededor del edificio delegacional, las vías principales son de un sentido. Frecuentemente se presenta tráfico en diferentes puntos de la delegación.

Varios edificios están contruidos con mampostería, concreto y metal, ya sean pequeñas viviendas, construcciones gubernamentales o unidades deportivas. Debido al uso de suelo, es difícil encontrar infraestructura de gran altura.

Una parte de la población se dedica a la agricultura y su cultivo depende en gran medida de las lluvias. Los productos los venden en mercados cercanos.

### **Detección de necesidades**

Los edificios gubernamentales no cuentan con un sistema de aprovechamiento pluvial, como lo marca la ley. Es necesario que se empiece a tomar en cuenta esa parte y cumplir con lo establecido.

Es común encontrar el uso de gárgolas para evacuar el agua de lluvia hacia la calle. Estas salidas de agua, al encontrarse elevadas, desgastan las vías o banquetas, perjudicando de diferente manera a la población. Es difícil que exista alguna descarga pluvial, que no vaya directo a la calle.

La mayor parte del agua pluvial termina en la calle, o cuando las viviendas se encuentran cerca de ríos, descargan ahí. Es común encontrar inundaciones en diferentes puntos de la delegación, presentándose graves problemas cuando hay lluvias intensas.

En ocasiones, el río Magdalena se ha llegado a desbordar a causa de las fuertes lluvias, específicamente en donde se cruza la Av. México con Camino de Santa Teresa. El flujo de automóviles se bloquea, las vías se ven afectadas y se tienen daños en la infraestructura cercana.

Una parte de los habitantes que cosechan cultivos, utilizan tomas clandestinas para abastecer el riego. La cantidad de agua captada por la planta potabilizadora de los Dinamos disminuye año con año a causa de la extracción ilegal del agua del río. Esto disminuye la capacidad de la planta, suministrando cada vez menos agua a la población.

Algunos habitantes, ubicados en zonas altas de la delegación, se encuentran en zonas marginadas. No cuentan con abastecimiento ni saneamiento, teniendo una calidad de vida deficiente.

Existen varios edificios para actividades sociales, recreativas, educativas y culturales. En algunas ocasiones el abastecimiento de agua es complicado, por su ubicación, o a veces la demanda de agua es mucha.

## Identificación de fortalezas y debilidades

### Fortalezas

La precipitación en la delegación no es para nada despreciable y se puede hacer uso de ese recurso. Una manera sencilla de hacerlo es implementando sistemas de captación.

La mayoría de los materiales con los que están hechas las edificaciones, pueden ser utilizados para captar agua sin problema alguno. Tan sólo el 2.3% de las viviendas, en el 2015, contaban con un techo precario (INEGI, 2018), lo que significa que en las demás se puede implementar un sistema de captación.

Se pueden usar los sistemas de aprovechamiento pluvial para tener un mejor control en el riego de los cultivos, apoyando la economía de los productores y eliminando las tomas clandestinas.

Hay algunas personas que se encuentran en zonas marginadas, los SCALL son una herramienta efectiva para proporcionar agua de calidad, aumentando su nivel de vida y dándoles más oportunidades.

En la delegación existe una gran cantidad de edificios públicos que se pueden utilizar para captar el agua pluvial. En algunos se puede dar información y capacitación sobre el uso y la instalación de estos sistemas. Con esto se ayuda a difundir las ventajas de aprovechar la lluvia e influir en una cultura del cuidado del agua.

El mercado La Magdalena, tiene una gran extensión de cubierta que puede ser utilizada fácilmente para captar la lluvia y hay suficiente espacio para construir una cisterna. Se puede aprovechar el agua para utilizarla en las diferentes actividades de los distintos locatarios. Además, se tendrá un ahorro significativo en la cantidad de agua utilizada, obteniendo una reducción en los costos. Al ser un lugar concurrido, sirve como ejemplo para demostrar el uso y los beneficios de estos sistemas. La estructura ya cuenta con bajadas de agua pluvial y se pueden aprovechar esos elementos.

Los materiales para construir los sistemas de captación de agua de lluvias se pueden obtener fácilmente, no hay complicaciones al transportarlos y son de bajo costo. Su diseño es sencillo y flexible, se pueden adaptar a las necesidades de los usuarios. No requieren de mano de obra especializada para su instalación.

Aprovechar el agua pluvial, no solo abastecerá el recurso, sino que se obtendrán más beneficios, el agua sirve para desarrollar diferentes actividades. Se puede o no potabilizar el agua captada dependiendo del uso que se le vaya a dar.

### Debilidades

Por el flujo lento de autos, se puede tener un retraso en el transporte de algunos materiales para la instalación de los sistemas.

En algunos lugares, principalmente en zonas altas, el acceso se dificulta al solo existir andadores o calles reducidas y con pendientes pronunciadas.

La inversión inicial, en proyectos de captación pluvial, es alta y puede llegar a ser un problema cuando no se pueda financiar para realizarlo.

Existen varios tipos de usuarios y necesidades, por lo que proponer un modelo universal no es posible. Al existir varios factores a tomar en cuenta para el diseño, es necesario realizar un proyecto en específico para cada estructura.

Se necesita de espacio suficiente para colocar un tanque o construir una cisterna. En algunas viviendas o lugares, es difícil ubicar un almacenamiento de gran tamaño.

### **Posibles obstáculos**

Puede existir un retraso en la entrega y transporte de materiales, debido al caos vial que existe a lo largo del día.

Es necesario conocer si las azoteas pueden funcionar para captar el agua, no solo en cuestión del material, sino de la pendiente, las condiciones y la forma de conducirla. En algunos casos se requerirá de una adaptación para que funcione de la mejor manera.

Al existir varios usuarios, se presentan diferentes demandas y usos. En una misma estructura pueden existir diferentes necesidades y requerimientos. Se debe tomar en cuenta ese factor para que el sistema pueda satisfacer las diferentes necesidades.

Aunque el mercado turístico cuente con bajadas de agua, podrían no estar conectadas entre sí. Se tiene que conducir el agua captada al almacenamiento, aprovechando los elementos existentes, sin embargo, se tendría que romper parte del piso para realizar las conexiones. Es necesario verificar que la dimensión de las tuberías es suficiente para transportar la cantidad de agua.

El mercado cuenta con suficiente espacio para colocar un almacenamiento. Habrá que elegir el lugar adecuado para su colocación o construcción y la forma que tendrá. A partir del almacenamiento se tiene que proponer la forma en que el agua sea conducida y tratada para abastecer a los beneficiarios.

Hay que tener cuidado con el almacenamiento de los materiales para evitar que puedan ser robados o se perjudique su calidad. Asignar un área específica para resguardar los materiales es importante, para no tener pérdidas.

Conseguir los recursos monetarios puede resultar difícil debido a la alta inversión al principio del proyecto. Una alternativa es buscar diferentes formas de financiar el proyecto.

Ya se ha mencionado que no existe alguna norma en México, sobre la captación de agua de lluvia, a la que nos debemos ajustar. Sin embargo, debemos apegarnos a la NOM-127-SSA1-1994 si se va a proporcionar agua para consumo humano.

Lo más complicado es influir en la forma de pensar de las personas para que comiencen a emplear estos sistemas o simplemente inculcar una cultura de cuidado del agua.

## Definición conceptual del proyecto

Implementación de un sistema de captación de agua de lluvia en el mercado turístico La Magdalena para tener una reserva de agua, reduciendo la cantidad y costos en el consumo del recurso proveniente de la red.

Al mismo tiempo concientizar a la población, en el buen uso del agua. De igual manera demostrar las diferentes alternativas en las que se puede aprovechar el agua de lluvia.

Demostrar el potencial de estos sistemas y todos los beneficios que se pueden obtener, ya sean económicos, sociales y ambientales.

Se realizará una adaptación simple, en el techo del mercado, utilizando toda la cubierta. Aprovechar las tuberías de PVC que se encuentran instaladas, disminuirán los costos, facilitando la instalación de estos. Se deben realizar conexiones entre las bajadas para conducir el agua a la cisterna.

El almacenamiento se recomienda construirse con concreto porque se estima que sea de un gran tamaño.

Pasando por un tren de tratamiento, se mandará el agua a la cisterna existente para que el recurso sea distribuido por todo el mercado.

## Origen

Como se ha mencionado, existen varias actividades en las que se puede hacer uso del agua de lluvia. Las construcciones que hay en la delegación se pueden adaptar para captar agua, que además de tener una reserva del recurso, se obtendrán ahorros monetarios y beneficios ambientales.

El mercado turístico, es un edificio público, todos los gastos los absorbe el gobierno. Tiene una buena estructura para implementar un SCALL y difundir su uso a los pobladores. Se ubica en la calle Magdalena #528, colonia La Magdalena. Al frente se ubica la parroquia Santa María Magdalena Atlitic. A 5 minutos, se encuentran los Dinamos. Se muestran las figuras VI.I y VI.II del mercado.



**Figura VI.I. Mercado La Magdalena parte sur**  
FUENTE: TOMADA POR EL AUTOR EL DÍA 12/11/18



**Figura VI.II. Mercado La Magdalena parte norte**  
FUENTE: TOMADA POR EL AUTOR EL DÍA 12/11/18

Varias personas visitan el mercado día con día, principalmente para consumir alimentos. Los fines de semana la cantidad de personas aumenta en gran medida, también cuando se presenta un evento en la parroquia o en los Dinamos.

El mercado cuenta con 34 locales, entre puestos de comida, tortillería, tienda de abarrotes y demás negocios. Existe una estructura aparte, donde se localizan los baños públicos. Se cuentan con dos tanques, uno elevado de 10,000 l para abastecer a los locales y otro de 5,000 l a nivel de piso para los sanitarios, además cuenta con una cisterna de 10,000 l, teniendo un total de 25,000 l. En la figura VI.III se muestra la forma del mercado y la distribución de los locatarios.

El mercado La Magdalena es un edificio que tiene una gran extensión en la cubierta y es fácilmente adaptable para recibir la lluvia. Varios locales comerciales se encuentran en este lugar, teniendo un consumo de agua considerable, siendo los sanitarios públicos quienes más agua utilizan, seguido de los puestos de comida. Al consumir grandes cantidades de agua, los costos de operación aumentan. Aprovechar el agua pluvial en el edificio ayudaría a disminuir costos, teniendo una reserva de agua cuando esta escasea.

Repercutir en la forma de ocupar el agua en la población es realmente difícil. Por ello se propone instalar un sistema en el mercado, al ser un lugar turístico de gran concurrencia es una forma de demostrar a las personas, las maneras de aprovechar la lluvia.

Al obtener agua de una manera sencilla sin saber por todos los procesos que pasa, se tiende a mal gastarla. Con el sistema, los locatarios empezarán a concientizar el uso del recurso, formándose una educación en el cuidado del agua. Si se difunde información a las personas que visitan el mercado, es más fácil transmitir esa educación y la idea de implementar un sistema.

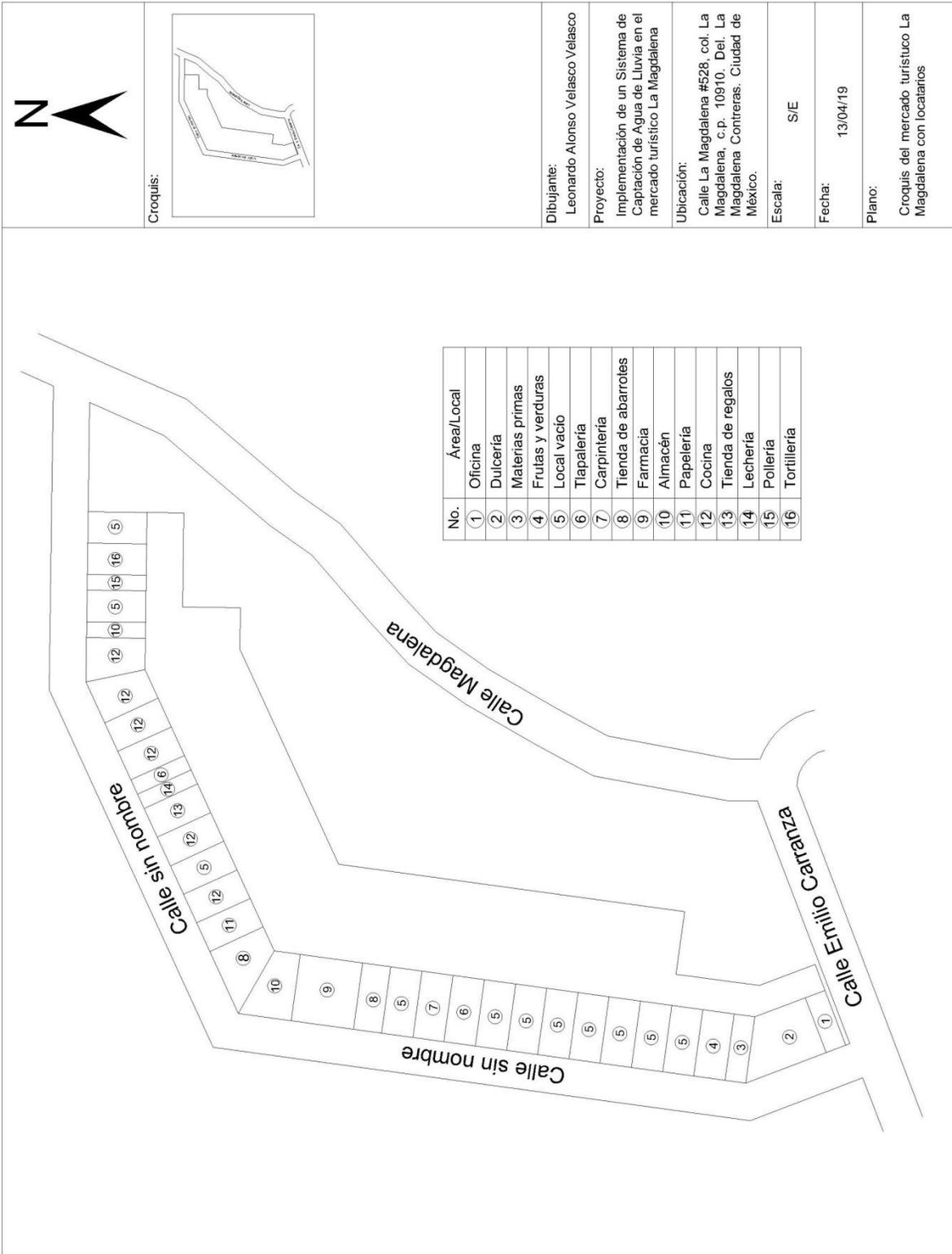


Figura VI.III. Croquis del mercado La Magdalena con locatarios  
 FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

## Análisis de diferentes aspectos

### Aspectos técnicos

Primero analizaremos la captación. La cubierta del mercado tiene un área aproximada de 1,300 m<sup>2</sup>, se encuentra impermeabilizado y las pendientes van hacia las tuberías correspondientes. No es necesaria alguna adecuación compleja a la azotea, funciona bien para desalojar las aguas pluviales. Solamente seguir con el mantenimiento correspondiente.

Es necesario conocer la cantidad de agua que se puede captar, para ello es necesario conocer la precipitación media mensual del lugar donde se ubica el mercado. Ya se ha mencionado como se calcula la precipitación normal, sin embargo, el INEGI cuenta con el Simulador de Flujos de Agua de Cuencas Hidrográficas (SIATL), el cual proporciona información sobre la precipitación en cada región. En la colonia La Magdalena se tiene la precipitación media mensual de la manera que se muestra en la tabla 10.

Tabla 10. Precipitación media mensual en la colonia La Magdalena

Mes	Precipitación media (mm)
Enero	10
Febrero	6
Marzo	10
Abril	27
Mayo	67
Junio	151
Julio	180
Agosto	174
Septiembre	152
Octubre	59
Noviembre	16
Diciembre	7

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA A PARTIR DE DATOS DEL SIATL

Conociendo la precipitación se puede calcular el volumen de agua captada. Hay que recordar que no se toman en cuenta las precipitaciones con valores menores a los 40 mm. Se hará el cálculo con el mes de mayo, usando las ecuaciones III.V y III.XIV.

$$PN_{mayo} = 67 * 0.85 = 56.95 \text{ mm} \quad C_{mayo} = \frac{1300 * 56.95}{1000} = 74.035 \text{ m}^3$$

Para el mes de mayo se obtienen 74.035 m<sup>3</sup>. En la tabla 11 se presentan las cantidades de los volúmenes obtenidos en cada mes.

Tabla 11. Volumen captado por mes

Mes	Precipitación media (mm)	Precipitación neta (mm)	Volumen (m <sup>3</sup> )
Enero	10	0	0
Febrero	6	0	0
Marzo	10	0	0
Abril	27	0	0
Mayo	67	56.95	74.035
Junio	151	128.35	166.855
Julio	180	153	198.9
Agosto	174	147.9	192.27
Septiembre	152	129.2	167.96
Octubre	59	50.15	65.195
Noviembre	16	0	0
Diciembre	7	0	0
<b>Total</b>	<b>859</b>	<b>665.55</b>	<b>865.215</b>

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Las lluvias que ocurren de mayo a octubre son las que se aprovechan, obteniendo el mayor volumen en el mes de julio. Al año se obtienen 865.215 m<sup>3</sup> de agua.

Con respecto a la conducción, se necesita calcular una intensidad para verificar si la dimensión de los tubos utilizados funciona correctamente. Las bajadas de agua pluvial existentes son de PVC, de calidad sanitaria con un diámetro de 3" y las mayores de 6".

Para obtener la intensidad se tiene que utilizar la ecuación III.VIII, propuesta por Campos - Aranda. Los datos necesarios se obtienen de las isoyetas proporcionadas por la SCT, con ayuda de las coordenadas del mercado. Se obtuvieron las tablas 12 y 13:

Tabla 12. Precipitación máxima diaria

Periodo de retorno, T (años)	Precipitación (mm)
10	65
25	77
50	80
100	95

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA A PARTIR DE DATOS DE LA SCT (2015)

**Tabla 13. Intensidad registrada en 1 h**

Periodo de retorno, T (años)	Intensidad (mm/h)
10	46
25	54
50	59
100	64

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA A PARTIR DE DATOS DE LA SCT (2015)

Se multiplican los valores de la precipitación, de la tabla 12, por el factor de 1.13, teniendo los valores presentes en la tabla 14:

**Tabla 14. Precipitación máxima diaria multiplicada por el factor de 1.13**

Periodo de retorno, T (años)	Precipitación (mm)
10	73.45
25	87.01
50	90.4
100	107.35

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Se procede a calcular los valores de  $R_{ch}$ , con la ecuación III.IX, para los diferentes periodos de retorno y se obtiene un promedio.

$$R_{ch}(10) = \frac{46}{73.45} = 0.6263$$

$$R_{ch}(25) = \frac{54}{87.01} = 0.6206$$

$$R_{ch}(50) = \frac{59}{90.4} = 0.6527$$

$$R_{ch}(100) = \frac{64}{107.35} = 0.5962$$

$$R_{ch} = \frac{0.6263 + 0.6206 + 0.6527 + 0.5962}{4} = 0.6239$$

Una vez calculado el valor anterior se determinan los valores de a, b y c:

$$a = 21.03453 - 186.4683(0.6239) + 825.4915(0.6239)^2 - 1084.846(0.6239)^3 + 524.06(0.6239)^4 = 41.9681$$

$$b = 3.487775 - 68.13976(0.6239) + 389.4625(0.6239)^2 - 612.4041(0.6239)^3 + 315.8721(0.6239)^4 = 11.7096$$

$$c = 0.2677553 + 0.9481759(0.6239) + 2.10911(0.6239)^2 - 4.827012(0.6239)^3 - 2.459584(0.6239)^4 = 0.1352$$

Con todo lo anterior, se obtiene la ecuación VI.I, la curva i-d-T:

Ecuación VI.I. Curva i-d-T del mercado La Magdalena

$$i_d^T = \frac{41.9681T_a}{(d + 11.7096)^{0.1352}}$$

Ahora se puede calcular una intensidad para un periodo de retorno mayor a 1 año y una duración entre 5 minutos y 24 horas. Es necesario conocer el tiempo de concentración para aplicarlo a la expresión anterior.

El recorrido más largo hasta la cisterna es de 200 m aproximadamente, con una pendiente media de 0.02, con la ecuación III.X se obtiene el siguiente tiempo:

$$tc = 0.000305 \frac{(200)^{0.77}}{(0.02)^{0.385}} = 0.0813 \text{ h} = 4.88 \text{ minutos}$$

Valor muy cercano a los 5 minutos, para poder aplicarlo a nuestra ecuación VI.I. Dado que nuestro sistema no es de gran tamaño y si falla no producirá una afectación grave a la estructura o personas, se asignará un periodo de retorno de 2 años.

$$i_5^2 = \frac{41.9681(2)}{(5 + 11.7096)^{0.1352}} = 57.3552 \text{ mm/h}$$

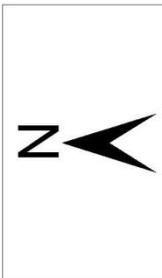
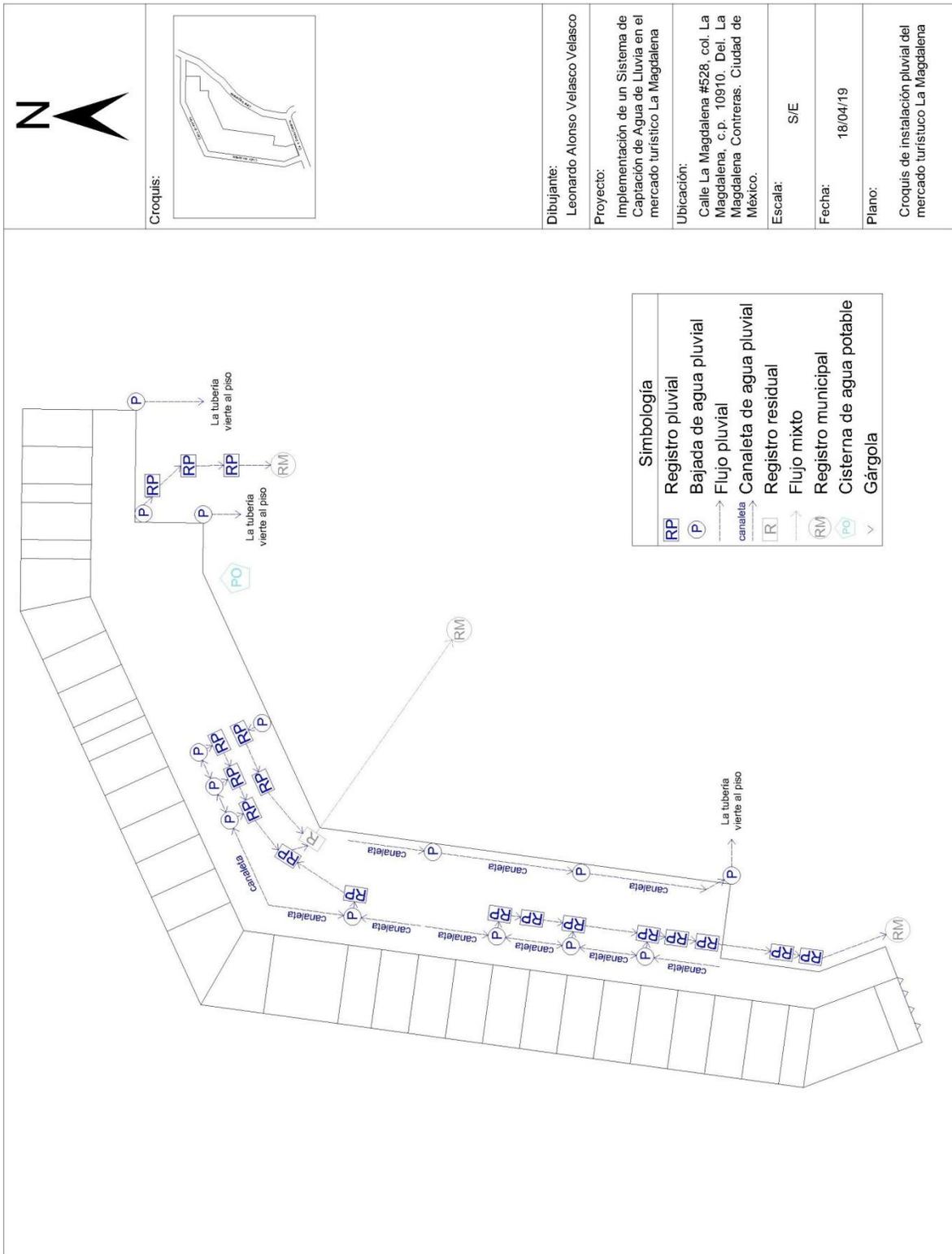
Se utiliza el método racional americano, aplicando la ecuación III.XVIII, que es el más usado para estos análisis. Utilizando un coeficiente de escurrimiento de 0.9 correspondiente a un techo impermeabilizado.

$$Q_c = \frac{0.9 * 57.3552 * 0.13}{360} = 0.0186 \frac{m^3}{s}$$

Obtenido el gasto de diseño, se compara con el gasto que puede circular por la tubería de PVC de 6". Todo el gasto que se genera por la lluvia se distribuye por las diferentes bajadas, sin embargo al final se conectarán a una sola que llegue al almacenamiento. El diámetro interior promedio de la tubería de característica sanitaria es de 160.04 mm. Se usa una pendiente del 2%, siendo la recomendada, y un coeficiente de Manning de 0.008 correspondiente a tubería de PVC. Se recomienda hacer el análisis para que la tubería trabaje a superficie libre, conduciendo el gasto entre el 80 y 90% de su sección transversal. Con un tirante de 135 mm, se cubre el 90% de la sección, se usará este dato. Para calcular el radio hidráulico se hace una división entre el área hidráulica y el perímetro mojado de la sección. En este caso se tiene un radio hidráulico de 0.0486 m y un área de 0.0181 m<sup>2</sup>. Se aplican las ecuaciones III.XVI y III.XV.

$$v = \frac{0.0486^{\frac{2}{3}} * \sqrt{0.02}}{0.008} = 2.3539 \frac{m}{s}; \quad Q = 0.0181 * 2.3539 = 0.0426 \frac{m^3}{s}$$

Dado que  $Q > Q_c$ , el tamaño de la tubería se acepta. No es necesario cambiar la tubería por secciones más grandes. Haciendo el análisis con una tubería de 4", se tiene  $Q < Q_c$ , impidiendo conducir el agua captada, lo mejor es conservar el tamaño de la sección de 6" para conducir toda el agua hacia el almacenamiento. En la figura VI.IV se muestra un croquis de la instalación pluvial existente en el mercado.



Croquis:



Dibujante:  
Leonardo Alonso Velasco

Proyecto:  
Implementación de un Sistema de Captación de Agua de Lluvia en el mercado turístico La Magdalena

Ubicación:  
Calle La Magdalena #528, col. La Magdalena, c.p. 10910. Del. La Magdalena Contreras, Ciudad de México.

Escala:  
S/E

Fecha:  
18/04/19

Plano:  
Croquis de instalación pluvial del mercado turístico La Magdalena

Figura VI.IV. Instalación de drenaje pluvial del mercado La Magdalena  
FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Para el primer filtrado se colocarán mallas en la entrada de las bajadas de agua y para eliminar gran parte de los residuos, se usará un filtro WISY para la mayor área y tlaloques para cubrir las superficies restantes.

Es necesario conocer como fluye el agua en la cubierta y el tamaño de las áreas que influyen en los escurrimientos. Para ello se presenta la figura VI.V en la que podemos observar 5 áreas que conforman la cubierta total. El área 1 tiene una superficie de 165 m<sup>2</sup>, aproximadamente, descargando parte del agua pluvial al piso y la otra parte a la red de drenaje municipal. Se encuentra el área 2 con una superficie cercana a los 557 m<sup>2</sup>, esta descarga el agua a un registro municipal. La lluvia que cae en el área 3, termina en el piso, cuenta con una superficie aproximada de 210 m<sup>2</sup>. El área 4 con casi 318 m<sup>2</sup> de superficie, vierte el agua en la red municipal. Finalmente, el área 5 con 50 m<sup>2</sup>, cuenta con gárgolas que descargan hacia la calle.

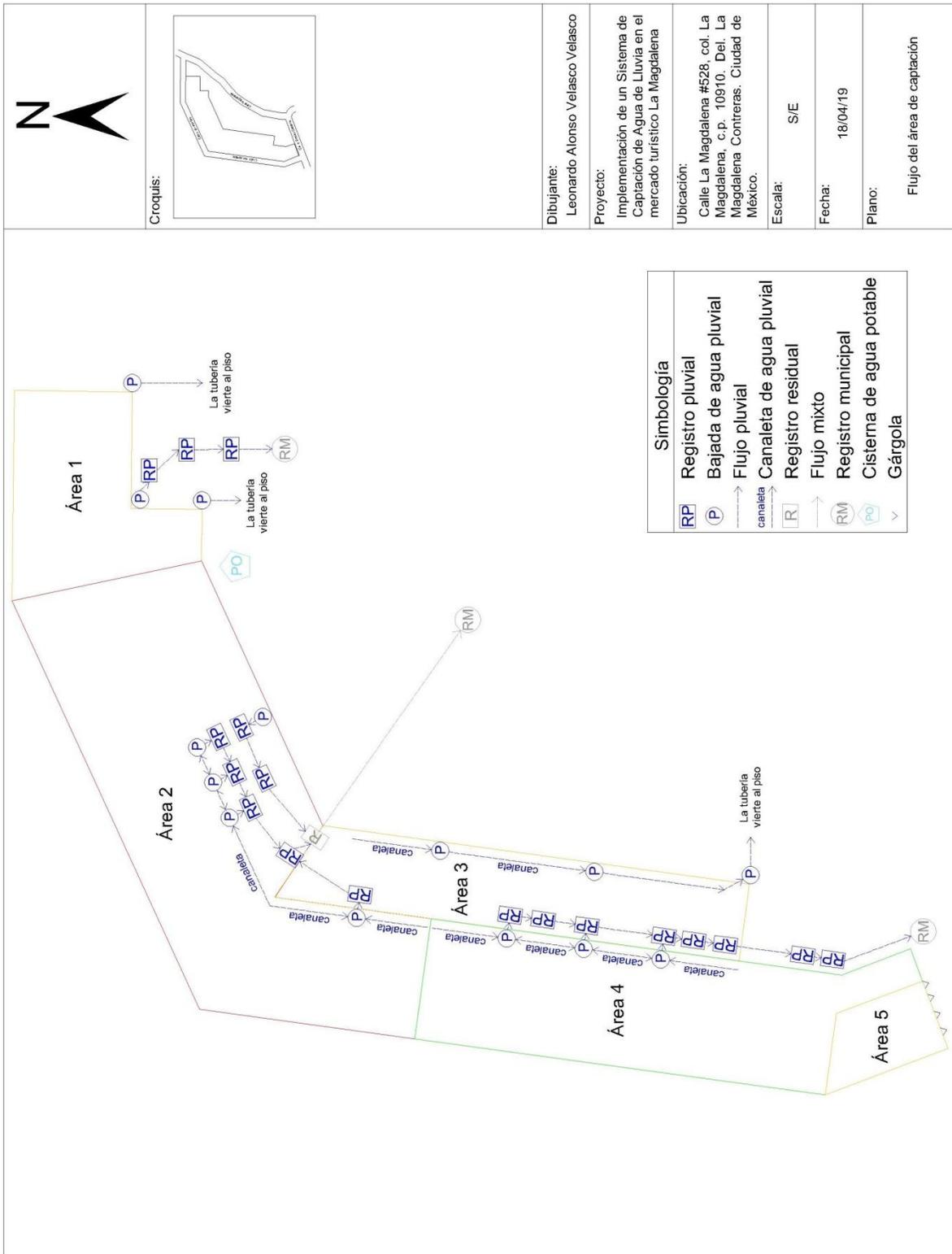


Figura VI.V. Área de influencia de captación del mercado La Magdalena  
 FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Cada filtro WISY tiene capacidad de drenar hasta 1,000 m<sup>2</sup> de superficie de techo, mientras que el tloaque solamente 120 m<sup>2</sup>. Estos últimos se unen a la conducción por medio de una pieza "T" de 4", por lo que se ajusta adecuadamente al tamaño de las tuberías existentes. El filtro WISY se unirá a una tubería de 6" con una salida hacia la cisterna y la otra a un registro que conduzca al drenaje municipal para desechar la mayor parte de los residuos.

Se usarán 2 tloaques que reciban el agua del área 1 y otros 2 para el área 3. Con 3 tloaques se puede drenar el agua del área 4 y 5, por lo que es necesario unir los flujos de esas áreas. Por último, el filtro WISY recibirá el flujo del área 2.

Aunque se obtienen 865.215 m<sup>3</sup> de agua al año, no toda se va almacenar al mismo tiempo. Para dimensionar la cisterna se tiene que conocer la demanda de los usuarios, esta parte se analizará más adelante.

En cuanto al tratamiento, existen varios productos en el mercado y hasta paquetes con elementos que dependen del tamaño del sistema y uso que se le va a dar al agua. Existen sistemas de alto flujo, pensado en estructuras grandes que requieran de agua constantemente, la mayoría de las veces la calidad final es potable pero no para consumo humano. Generalmente están constituidos por un filtro multilechos, filtro de anillas, desinfección con cloro en la cisterna, así como iones de plata.

Existen otros paquetes suministrados por diferentes empresas, el paquete más sencillo que se puede encontrar, no tiene un tren de tratamiento, solo elementos de primer filtrado, pensado para la limpieza, descargas sanitarias y riego. Los paquetes más usados, cuentan con un filtro de carbón activado, un filtro Amiad de 50 micras y un dosificador de cloro en la cisterna, este tren se usa para actividades domésticas y usos potables, menos consumo humano. Por último, uno de los trenes más complejos consta de un filtro de carbón activado, filtro de 50 micras, dosificador de cloro, iones de plata y un purificador, para que el agua se pueda beber. Todos los productos deben cumplir con la norma NOM-244-SSA1-2008, "Equipos y sustancias germicidas para tratamiento doméstico de agua. Requisitos sanitarios", a su vez, los purificadores se rigen con la NOM-127-SSA1-1994. Estos paquetes están pensados para viviendas familiares.

Los elementos del tren de tratamiento tienen entradas y salidas de 1 a 1.5 pulgadas, por lo que se calculará que sean adecuadas para el comportamiento de la distribución. Además, la tubería debe ser la adecuada para soportar las presiones que ejerza la bomba.

Las longitudes equivalentes de cada elemento se tienen que conocer para poder calcular una potencia requerida y elegir la bomba adecuada.

**Tabla 15. Longitud equivalente de algunos accesorios, en m**

Accesorio/elemento	Diámetro (pulgadas)	
	1	1.5
Entrada	0.7	1
Salida	0.7	1
Codo estandar 90°	0.8	1.3
Codo 45°	0.4	0.6
Válvula Check	2.1	3.2
Conectores	0.37	0.58
Te y Ye paso directo	0.5	0.9

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA A PARTIR DE DATOS DE AZEVEDO N. COMO LO CITÓ FLORES ACUÑA (2016)

Con los datos de la tabla 15 se puede aplicar la ecuación de Colebrook-White modificada para calcular las pérdidas en la distribución. Es importante mencionar que los filtros generan una pérdida de carga, que es necesario tomar en cuenta. Esta pérdida se suma a la expresión que calcula la carga dinámica total. El OpenCourseWare de la Universidad de Sevilla tiene información sobre la pérdida ocasionada para diferentes filtros, aunque no es muy detallada, sirve para el cálculo que se requiere. Algunos datos se presentan en la tabla 16.

**Tabla 16. Pérdida de carga de elementos filtrantes**

Elemento	Pérdida de carga (m)
Filtro de arena	3 a 5
Filtro de malla	1 a 3
Filtro de anillas	1 a 3

FUENTE: (Franco Salas & Pérez Urrestarazu, 2007)

Con todo lo anterior se puede determinar el tamaño óptimo del sistema de captación de agua, que se realizará más adelante.

### Aspectos sociales

Se beneficiará a los 32 locales, administrándoles agua y teniendo una reserva. El gobierno tendrá una disminución en el gasto ocasionado por el suministro del recurso. Los locatarios están de acuerdo con instalar este tipo de sistemas en el mercado.

La instalación es rápida y sencilla, si se requiere romper el suelo para meter tubería no afectará en las actividades de los locatarios.

Con el uso del agua de lluvia, los locatarios generarán una cultura en el cuidado del agua y optimizarán su uso.

El mercado turístico servirá de ejemplo a la población, al aprovechar el agua de lluvia. Las personas que visiten el mercado podrán observar día a día, los beneficios que se obtienen de la lluvia.

Una cantidad, para nada despreciable de agua, entra al sistema y se almacena, dejando de saturar el drenaje del municipio y disminuyendo la probabilidad de inundaciones.

### **Aspectos políticos**

Aunque no se ha visto un apoyo completo a los edificios que implementen tecnologías sustentables, el gobierno de la delegación tiene más interés en participar de forma más activa, en estos proyectos.

La delegación no cuenta con personal que se especialice en este tipo de sistemas, sin embargo, no es complicado y se puede capacitar a personas para que en un futuro pueda asesorar en diferentes proyectos de esta índole y darles el mantenimiento necesario.

El año 2016, en el Foro Cultural de Contreras, se presentaron ideas y tecnologías sobre el aprovechamiento pluvial. Este proyecto sería un buen punto de partida para mostrar el potencial de estos sistemas en edificios públicos.

### **Aspectos económicos**

Los materiales para llevar a cabo la implementación del sistema son económicos y fáciles de conseguir. Por ejemplo, las conexiones de 1 - 1.5" para la parte de la distribución, cuestan entre \$85 y \$185, la tubería hidráulica de 4 m del mismo diámetro entre \$110 y \$210, las tee entre \$9 y \$18, un conector macho alrededor de \$120, un conector hembra cerca de los \$50, mientras los codos alrededor de \$10, una bomba centrífuga se encuentra alrededor de los \$3,000.

En el caso de la distribución, la tubería sanitaria de 6 m de 4" de diámetro, cuesta \$230 aproximadamente, los codos alrededor de \$10, un tlaloque vale \$3,250. Los precios de los diferentes paquetes que se mencionaron anteriormente, están entre \$4,750 y \$14,500 dependiendo de lo complejo que sea el tren de tratamiento.

Como se mencionó en un capítulo, el precio de la cisterna es el más elevado y el que regirá el costo total del sistema. También se habló de varios tipos de cisterna y cada tipo tiene un diferente costo. Solo como referencia, el precio de un tanque rotomoldeado de 5,000 l está alrededor de \$8,500, el de 10,000 l cerca de \$20,000, si es una cisterna de concreto el precio se encuentra aproximadamente en \$3,500/m<sup>3</sup>.

La inversión inicial es grande, sin embargo, los ahorros en el servicio del agua serán significativos. Se irá recuperando el dinero con el paso del tiempo en no más de 5 años.

### **Aspectos financieros**

El mercado turístico obtiene un recurso económico por parte del gobierno para mantenimiento y/o remodelación. Una parte importante del gasto puede ser financiada por la delegación.

Aunque sean pocas las empresas que se dediquen a la instalación en estos sistemas, se ha visto que cuentan con métodos de financiamiento para los diferentes usuarios.

Dado que los locatarios son los beneficiarios, estos pueden aportar otra parte del costo. Podrían hacer una inversión que no los afecte pero que sea significativa para la elaboración del proyecto.

### Aspectos ambientales

Ya se mencionó que se van a captar 865.215 m<sup>3</sup> de agua, pues esa cantidad de agua se va a poder ahorrar año con año. Ese líquido se puede destinar a la población que la necesite o para disminuir la presión sobre las fuentes de abastecimiento.

A parte del ahorro del recurso, se tendrá una disminución en la emisión de gases provocado por las bombas que se utilizan en el sistema Cutzamala para suministrar agua. Si en el sistema de captación propuesto para el mercado, el 25% representa el volumen de agua que se ahorra del Cutzamala entonces se estarían dejando de utilizar 206.304 m<sup>3</sup> de agua en un año. Para suministrar esta cantidad de agua, se usan 2.25 MWh de energía eléctrica. De acuerdo con la Comisión Reguladora de Energía (2017), el factor de emisión del Sistema Eléctrico Nacional es de 0.582 toneladas de CO<sub>2</sub>/MWh. Se estaría evitando la emisión de 1.3 toneladas de CO<sub>2</sub> al año.

### Análisis de la demanda

Ya se había mencionado la dificultad de estar midiendo la cantidad de agua usada por un usuario y por lo mismo no es posible dar un dato exacto sobre el consumo del recurso potable. A pesar del obstáculo anterior, se puede hacer uso de la dotación mínima de agua potable para cada tipo de estructura, publicado en el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal. A continuación, en la tabla 17, se presentan algunas dotaciones que servirán para realizar el análisis.

Tabla 17. Dotación mínima para algunas estructuras o usos

Tipo de estructura o uso	Dotación mínima
Oficinas	20 l/m <sup>2</sup> /día
Local comercial	6 l/m <sup>2</sup> /día
Puesto de mercado (alimentos)	100 l/puesto/día
Riego	5 l/m <sup>2</sup> /día

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA A PARTIR DEL REGLAMENTO DE CONSTRUCCIONES PARA EL DISTRITO FEDERAL (1993)

En el caso de las oficinas, locales comerciales y puestos de mercado, ya se considera todo lo que se utiliza para realizar las diferentes actividades y las necesidades de los trabajadores.

Con los datos anteriores se puede calcular la demanda de agua por día, como se muestra en la tabla 18. Cabe mencionar que no se toman en cuenta los locales vacíos, dado que no están generando consumo alguno.

Tabla 18. Demanda de agua al día

Elemento	Unidad	Cantidad	Demanda de agua (l/día)
Oficina	m <sup>2</sup>	11.2	224
Local comercial	m <sup>2</sup>	232.7564	1396.5384
Puesto de mercado	puesto	10	1000
Riego	m <sup>2</sup>	16.13	80.65
<b>Total</b>			<b>2701.1884</b>

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Una vez obtenido el total de litros de agua consumidos al día, se puede calcular la demanda de agua al mes, los resultados se muestran en la tabla 19.

Tabla 19. Demanda mensual de agua

Mes	Días	Demanda (m <sup>3</sup> )
Enero	31	83.737
Febrero	28	75.633
Marzo	31	83.737
Abril	30	81.036
Mayo	31	83.737
Junio	30	81.036
Julio	31	83.737
Agosto	31	83.737
Septiembre	30	81.036
Octubre	31	83.737
Noviembre	30	81.036
Diciembre	31	83.737

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Se observa la demanda que existe mes con mes, esta distribución ayudará para determinar el volumen de la cisterna. También se puede observar que al año se tiene una demanda de 985.934 m<sup>3</sup>.

### Análisis de la oferta

En la tabla 11, se mostró el volumen captado de agua por mes. Comenzando a entrar agua al sistema, en el mes de mayo con 74.035 m<sup>3</sup>, en junio 166.855 m<sup>3</sup>, julio 198.9 m<sup>3</sup>, agosto 192.27 m<sup>3</sup>, septiembre 167.96 m<sup>3</sup> y en octubre 65.195 m<sup>3</sup>, en los demás meses no se aprovecha el agua pluvial. Al año se reciben 865.215 m<sup>3</sup>, valor cercano a la demanda anual.

Haciendo una relación, se puede conocer el porcentaje que satisface el sistema de captación con respecto a la demanda.

$$\% \text{ satisfacción} = \frac{865.215}{985.934} * 100 = 87.76\%$$

El sistema de captación de agua de lluvia cubre gran parte de la demanda existente en el mercado, ahorrando una importante cantidad del recurso hídrico.

## **Estudio técnico y tecnológico**

### **Análisis y determinación de la localización óptima del proyecto**

Se utilizará toda la cubierta del mercado para captar el agua. Se excluye la estructura de los baños, siendo una construcción aparte con diferente altura además de no tener gran superficie.

Aprovechar las bajadas de agua existentes, evitará que se realice un gasto mayor para volver adaptar toda la estructura. Será necesario colocar las tuberías con la pendiente necesaria para la conducción.

Habrá que elegir la ubicación del almacenamiento que más satisfaga al sistema. A los costados (parte norte y sur) se encuentran postes de alumbrado público y la calle se encuentra a una menor distancia. En la parte norte se localiza un módulo de vigilancia y un árbol, reduciendo el espacio libre. De ser posible utilizar un tanque rotomoldeado, se puede colocar en cualquier parte a lo largo de la parte frontal del mercado. Si es necesario construir una cisterna, lo mejor es ocupar el espacio del estacionamiento, en la parte central frente al mercado.

El agua se mandará a los tanques existentes, por medio de una bomba, para evitar comprar e instalar unos nuevos. De esta manera se aprovechará para que el recurso se distribuya a los locatarios.

### **Análisis y determinación del tamaño óptimo del proyecto**

A la superficie de captación solo se le dará mantenimiento y se colocarán mallas en las entradas de las bajadas pluviales. Todas las tuberías se conectarán a una principal de 6" y de ahí al almacenamiento. Los elementos de primer filtrado se colocarán antes de conectarse a la tubería principal.

De acuerdo con las bajadas pluviales y las diferentes áreas de captación, se hará uso de un filtro WYSI para el área mayor y 7 tlaloques para drenar las demás superficies.

Para determinar el tamaño de la cisterna se usarán los datos obtenidos de la demanda y el volumen captado en cada mes, presentados en la tabla 20.

Tabla 20. Demanda y volumen captado por mes

Mes	Días	Demanda (m <sup>3</sup> )	Captado (m <sup>3</sup> )
Enero	31	83.737	0
Febrero	28	75.633	0
Marzo	31	83.737	0
Abril	30	81.036	0
Mayo	31	83.737	74.035
Junio	30	81.036	166.855
Julio	31	83.737	198.9
Agosto	31	83.737	192.27
Septiembre	30	81.036	167.96
Octubre	31	83.737	65.195
Noviembre	30	81.036	0
Diciembre	31	83.737	0

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Con los datos anteriores se determina el volumen del almacenamiento, para ello el análisis se empezará en el mes cuando el agua comienza a entrar al sistema. Se calcula un volumen acumulado tanto para la demanda como lo abastecido por el sistema y se procede a realizar una diferencia entre los valores acumulados. Se presentan los resultados en la tabla 21.

Tabla 21. Cálculo del volumen de almacenamiento

Mes	Demanda (m <sup>3</sup> )		Abastecimiento (m <sup>3</sup> )		Diferencia (m <sup>3</sup> )
	Parcial	Acumulado	Parcial	Acumulado	
Mayo	83.737	83.737	74.035	74.035	-9.702
Junio	81.036	164.772	166.855	240.89	76.118
Julio	83.737	248.509	198.9	439.79	191.281
Agosto	83.737	332.246	192.27	632.06	299.814
Septiembre	81.036	413.282	167.96	800.02	<b>386.738</b>
Octubre	83.737	497.019	65.195	865.215	368.196
Noviembre	81.036	578.054	0	865.215	287.161
Diciembre	83.737	661.791	0	865.215	203.424
Enero	83.737	745.528	0	865.215	119.687
Febrero	75.633	821.161	0	865.215	44.054
Marzo	83.737	904.898	0	865.215	-39.683
Abril	81.036	985.934	0	865.215	-120.719

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

De lo anterior se puede observar que, en el mes de mayo, existe un déficit de agua de casi 10 m<sup>3</sup>. En los meses posteriores el sistema abastece por completo la demanda hasta el mes de febrero. El mayor déficit de agua se presenta en el mes de abril, con 120.719 m<sup>3</sup>. El agua se va almacenando entre los meses de junio y febrero, teniendo el mayor volumen en el mes de septiembre. Se debe tener un almacenamiento de aproximadamente 386.738 m<sup>3</sup>.

Dado que el volumen de agua es grande, se recomienda construir una cisterna de concreto. Haciendo un análisis entre las posibles dimensiones y formas del almacenamiento, se opta por una cisterna en forma de trapecio con 8.5 m y 12.5 m de base menor y mayor, respectivamente, 12.5 m de altura y 3 m de profundidad. Estará ubicada en la parte central y frontal del mercado, en el estacionamiento, desplazada hacia el norte para evitar contacto con una tubería de agua residual.

En cuanto al tren de tratamiento, además del primer filtrado, se dará una desinfección en la cisterna con hipoclorito de calcio al 65%. Se recomienda usar 40.5 gramos por cada 10 m<sup>3</sup> de agua, por lo que al año se usarán 3.5 kg por toda el agua que entre al sistema.

Se seguirá dando tratamiento con un tren de alto flujo, haciendo uso de dos reductores de turbulencia en la entrada de la cisterna. Un reductor se encontrará en la parte oeste del almacenamiento, conduciendo el agua captada por las áreas 2, 3, 4 y 5, el otro reductor solamente conducirá lo captado por el área 1, entrando por la parte norte de la cisterna. Posteriormente se colocará un filtro multilechos, un filtro de anillas, para finalizar con iones de plata.

Aprovechando la infraestructura existente, se mandará el agua del SCALL a la cisterna existente, ubicándose hacia el norte de donde se planea construir el nuevo almacenamiento. La cisterna de 10,000 l, ya cuenta con bombas que mandan el agua a un tanque elevado. Es mejor mandar el recurso hacia la cisterna que ya existe, en lugar de mandar el recurso directamente al tanque elevado.

Es necesario calcular la potencia requerida por nuestro sistema y poder elegir una bomba adecuada. Se realizará un cálculo demostrando el procedimiento para obtener la carga dinámica total.

Para el cálculo, se tiene que separar el análisis en tres partes; la formada por la pichancha flotante, en la cisterna; la conexión mediante tubería entre la pichancha y la bomba; y por último la línea de conducción, es decir, de la bomba a la cisterna aladaña. Se demuestra el procedimiento realizado en la línea de conducción por tener más elementos.

La longitud en la línea de conducción es de 5 m, teniendo 9 conectores, 1 tubería Ye, 6 codos de 90°, 1 válvula Check, 4 codos de 45°, 1 tubería Te y la salida. Se presenta la tabla 22 en donde se observan las longitudes equivalentes de cada elemento, las longitudes equivalentes netas, la longitud virtual total y la longitud total, siendo esta última, la suma de las longitudes virtual y real.

Tabla 22. Cálculo de longitud total en línea de conducción

Línea de conducción	Accesorio	Cantidad	LE	LE neta	
	Conector	9	0.37	3.33	
	Ye	1	0.5	0.5	
	Codo estándar 90°	3	0.8	2.4	
	Válvula Check	1	2.1	2.1	
	Codo 45°	1	0.4	0.4	
	Te	1	0.5	0.5	
	Salida	1	0.7	0.7	
	Longitud total virtual conducción			9.93	m
	<b>Longitud total</b>			<b>14.93</b>	<b>m</b>

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Se procede al cálculo de las pérdidas en la línea de conducción. Se usará una tubería tuboplus de 1", siendo un material de plástico. La rugosidad absoluta de tubos de vidrio, cobre, serpentines industriales, plástico y hule es de 0.0015 mm, de acuerdo con Sotelo (como lo citó CONAGUA, 2016). El análisis se realizará con un gasto de 1.0505 l/s, este dato se obtuvo de dividir la demanda diaria obtenida de 2701.1884 l/día entre 1 hora al día que esté trabajando la bomba, entre 3600 segundos que hay en una hora por un coeficiente de variación diaria de 1.4. Primero se calcula la velocidad con la ecuación III.XVI.

$$v = \frac{1.0505 * 4}{1000 * \pi * 0.025^2} = 2.14 \frac{m}{s}$$

Con el dato anterior se obtiene la carga de velocidad.

$$\frac{v^2}{2g} = \frac{2.14^2}{2 * 9.81} = 0.2334 m$$

Para obtener el número de Reynolds se usa la ecuación III.XXIII.

$$Re = \frac{2.14 * 0.025}{1 * 10^{-6}} = 53499.6$$

Una vez obtenido el  $Re$ , se tienen los datos de  $G=4.555$  y  $T=0.8764$ , con lo anterior y usando la ecuación III.XXII se determina el coeficiente de pérdidas.

$$f = \frac{0.25}{\left[ \log \left( \frac{0.0015}{3.71} + \frac{4.555}{53499.6^{0.8764}} \right) \right]^2} = 0.0787$$

Se pueden obtener las pérdidas totales en la línea de conducción con la ecuación III.XXI. Cabe mencionar que es necesario sumar las pérdidas provocadas por los elementos

filtrantes, haciendo uso de la tabla 16. Para el filtro multilechos se asignarán 5 m y para el filtro de anillas 3 m.

$$ht_{línea\ de\ conducción} = 0.0787 * \frac{14.93}{0.025} * 0.2334 + 5 + 3 = 18.97\ m$$

Se procede a calcular la carga dinámica total a partir de la ecuación III.XX. La carga estática es de 4 m, las pérdidas en la columna tanto en la pichancha como en la tubería son de 2.718 y 1.3737 m, respectivamente. Recordando que el gasto de diseño es de 1.0505 l/s.

$$CDT = 4 + 2.718 + 1.3737 + 18.97 + 0.2334 = 27.29\ m.\ c.\ a$$

Teniendo el dato anterior, con la ecuación III.XIX se determina la potencia hidráulica.

$$PH = \frac{1.0505}{1000} * 27.29 * 9800 = 280.96\ watts = 0.3723\ HP$$

Es necesario utilizar una bomba comercial de 0.5 HP de potencia y salida de 1". Con esto se finaliza el diseño y dimensionamiento del sistema.

### Descripción del proyecto

El Sistema de Captación de Agua de Lluvia en el mercado turístico La Magdalena, servirá para satisfacer más del 85% de la demanda total. En la cubierta solo se le dará limpieza y mantenimiento, colocando tela de criba, de 4X4 mm, en las bajadas pluviales. Se hará uso de las tuberías existentes, pasando por filtros de primeras aguas, compuesto por 7 tlaques y 1 filtro WISY. Las bajadas se conectarán a una tubería principal de PVC, calidad sanitaria, de 6".

La entrada a la cisterna se hará con dos reductores de turbulencia. El almacenamiento se construirá de concreto con 3 m de profundidad, en forma de trapecio con 8.5 m y 12.5 m de base menor y mayor, respectivamente, y 12.5 m de altura. Esta se ubicará en la parte frontal del mercado, en el estacionamiento, desplazada hacia el norte.

Se dará una desinfección en la cisterna con hipoclorito de calcio al 65%. El tratamiento continuará con un filtro multilechos, un filtro de anillas, para terminar con iones de plata.

Es necesario el uso de una pichancha flotante en la cisterna, uniéndola a una tubería tuboplus de 1", conectándose a la bomba centrifuga de 0.5 HP. La línea de conducción seguirá siendo de tuboplus de 1". Se conectará a la cisterna de agua potable existente.

En la figura VI.VI se presenta un croquis con la instalación existente y la conexión propuesta, así como la ubicación de los diferentes elementos a colocar.

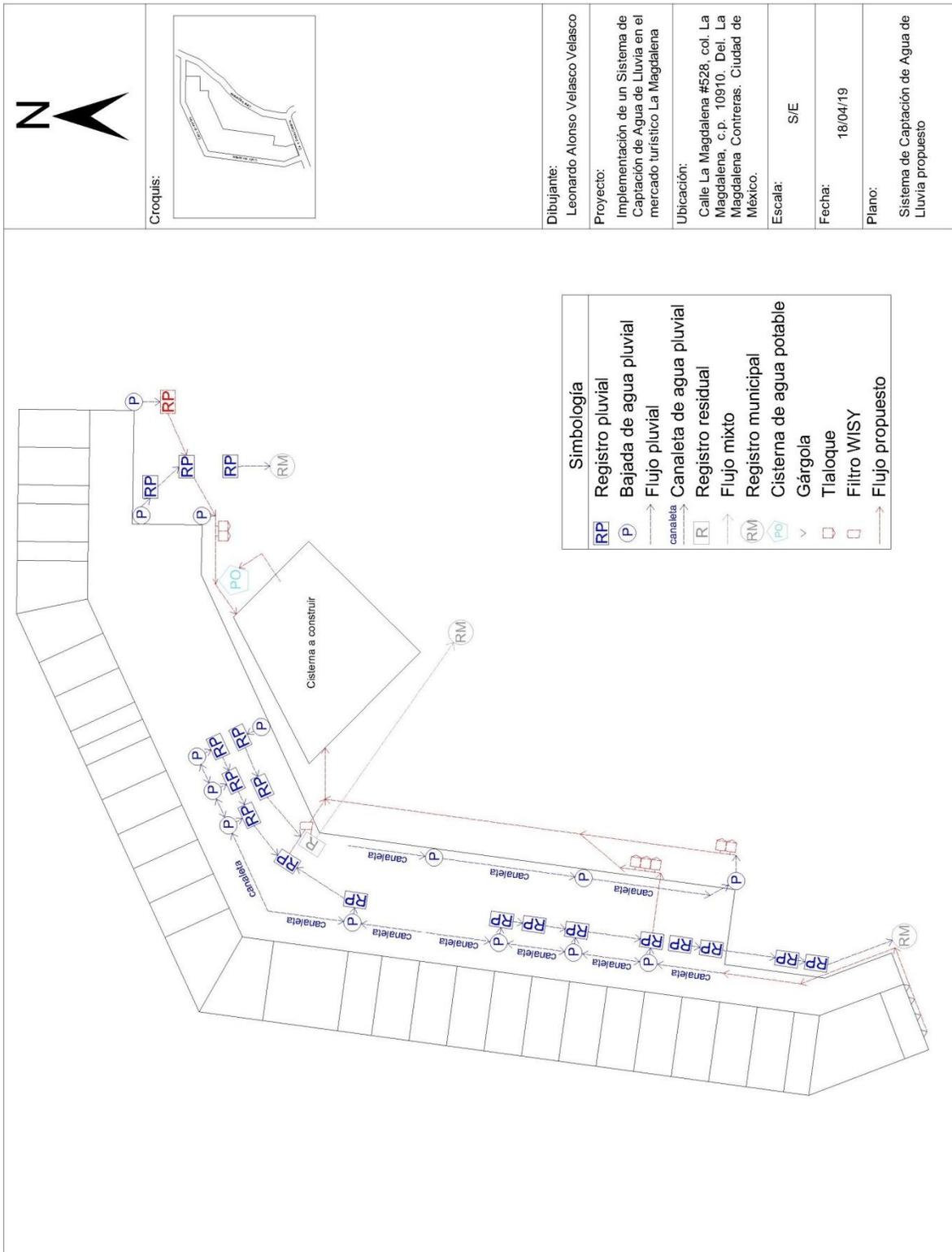


Figura VI.VI. Sistema de Captación de Agua de Lluvia propuesto en el mercado La Magdalena  
 FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

## Estimación económica

Los materiales para la instalación del sistema son sencillos de conseguir, cerca del lugar del proyecto y de gran disponibilidad. Al contrario de lo anterior, el almacenamiento suele ser el costo más elevado. A continuación, se muestra la tabla 23 conteniendo los diferentes conceptos en cada parte del sistema y el presupuesto final.

**Tabla 23. Presupuesto del Sistema de Captación de Agua de Lluvia en el mercado La Magdalena**

Concepto	Unidad	Precio unitario	Cantidad	Importe
<b>Primer filtrado</b>				
Suministro y colocación de tela de criba 4X4 mm en bajadas pluviales de 4", incluye: materiales, mano de obra y herramienta.	pza	\$13.67	10	\$136.70
Suministro y colocación de tela de criba 4X4 mm en bajadas pluviales de 6", incluye: materiales, mano de obra y herramienta.	pza	\$37.79	4	\$151.16
Suministro e instalación de tloaque en tubería de PVC sanitaria, incluye: materiales, mano de obra y herramienta.	pza	\$4,485.39	7	\$31,397.73
Suministro e instalación de filtro WISY en tubería de PVC sanitaria de 6", incluye: materiales, mano de obra y herramienta.	pza	\$18,432.54	1	\$18,432.54
Registro de 0.40 x 0.40 y 0.50 m de profundidad, medidas interiores, incluye: suministro de tabique rojo recocido, cemento, grava, arena, agua, tubo para la media caña, acero de refuerzo, marco y contramarco, preparación de la superficie de desplante, elaboración de las mezclas de mortero y concreto, formación de la media caña, construcción de los muros, aplanado de paredes interiores con mortero cemento arena 1:5, emboquillado de las conexiones del tubo de albañal con el registro, limpieza, herramienta y equipo necesario.	pza	\$1,002.43	1	\$1,002.43
<b>Total primer filtrado</b>				<b>\$51,120.56</b>
<b>Conducción</b>				
Suministro y colocación de canalón cuadrado de 10x10x10 cm, 3.05 m de longitud, de lámina galvanizada de calibre 24, incluye: materiales, mano de obra, herramienta y equipos necesarios.	pza	\$423.52	7	\$2,964.64
Suministro, instalación y pruebas de tubo de PVC tipo sanitario unión cementar, extremos lisos de 4" de diámetro, incluye: materiales, mano de obra, equipo, acarreo libre, limpieza y todo lo necesario para la correcta ejecución de los trabajos.	m	\$75.90	63.5	\$4,819.65
Suministro, instalación y pruebas de tubo de PVC tipo sanitario unión cementar, extremos lisos de 6" mm de diámetro, incluye: materiales, mano de obra, equipo, acarreo libre, limpieza y todo lo necesario para la correcta ejecución de los trabajos.	m	\$144.62	8.5	\$1,229.27
Suministro, instalación y pruebas de tubo de PVC tipo sanitario unión cementar de 90°x4" de diámetro, incluye: materiales, mano de obra, equipo, acarreo libre, limpieza y todo lo necesario para la correcta ejecución de los trabajos.	pza	\$71.49	4	\$285.96
Suministro, instalación y pruebas de tubo de PVC tipo sanitario unión cementar de 90°x6" de diámetro, incluye: materiales, mano de obra, equipo, acarreo libre, limpieza y todo lo necesario para la correcta ejecución de los	pza	\$121.96	1	\$121.96

Concepto	Unidad	Precio unitario	Cantidad	Importe
trabajos.				
Suministro, instalación y pruebas de ye de PVC tipo sanitario unión cementar de 4" de diámetro, incluye: materiales, mano de obra, equipo, acarreo libre, limpieza y todo lo necesario para la correcta ejecución de los trabajos.	pza	\$114.26	1	\$114.26
Suministro, instalación y pruebas de ye de PVC tipo sanitario unión cementar de 6x4" de diámetro, incluye: materiales, mano de obra, equipo, acarreo libre, limpieza y todo lo necesario para la correcta ejecución de los trabajos.	pza	\$166.22	1	\$166.22
Suministro, instalación y pruebas de tubo de PVC tipo sanitario unión cementar de 45°x4" de diámetro, incluye: materiales, mano de obra, equipo, acarreo libre, limpieza y todo lo necesario para la correcta ejecución de los trabajos.	pza	\$71.04	3	\$213.12
Registro de 0.40 x 0.40 y 0.50 m de profundidad, medidas interiores, incluye: suministro de tabique rojo recocido, cemento, grava, arena, agua, tubo para la media caña, acero de refuerzo, marco y contramarco, preparación de la superficie de desplante, elaboración de las mezclas de mortero y concreto, formación de la media caña, construcción de los muros, aplanado de paredes interiores con mortero cemento arena 1:5, emboquillado de las conexiones del tubo de albañal con el registro, limpieza, herramienta y equipo necesario.	pza	\$1,002.43	1	\$1,002.43
Suministro e instalación de reductor de turbulencia de PVC sanitaria de 4" en cisterna, incluye: materiales, mano de obra y herramienta.	pza	\$509.77	1	\$509.77
Suministro e instalación de reductor de turbulencia de PVC sanitaria de 6" en cisterna, incluye: materiales, mano de obra y herramienta.	pza	\$1,336.36	1	\$1,336.36
<b>Total conducción</b>				<b>\$12,763.64</b>
<b>Almacenamiento</b>				
Trazo y nivelación para desplante de estructura para obra hidráulica, con equipo de topografía, incluye: material para señalamiento, mano de obra, herramienta y equipos necesarios.	m <sup>2</sup>	\$5.92	140.74	\$833.18
Excavación por medios mecánicos, en caja, material II en terreno seco, incluye: corte y acamellonado del material, medido en banco.	m <sup>3</sup>	\$52.55	520.73	\$27,364.36
Carga manual, acarreo en camión al primer kilómetro y descarga, de material producto de extracción, incluye: mano de obra, herramienta, maquinaria y equipos necesarios.	m <sup>3</sup>	\$115.94	614.46	\$71,240.49
Plantilla de concreto hidráulico resistencia normal f'c=100 kg/cm <sup>2</sup> , de 8 cm de espesor, incluye: preparación del fondo de excavación, nivelación y compactación.	m <sup>2</sup>	\$185.52	140.74	\$26,110.08
Cimbra acabado común y descimbra en cadenas, castillos, cerramientos, cejas y repisones, de sección con superficie mayor a 0.02 m <sup>2</sup> , hasta una altura máxima de 4 m, incluye: madera en la parte proporcional que le corresponda para los moldes, obra falsa y contraventeos, clavos, alambre, desmoldante, chaflanes, goteros, atiesadores, mano de obra, remoción de rebabas, desaparición de juntas, limpieza, herramienta y equipos necesarios.	m <sup>2</sup>	\$180.03	21.6	\$3,888.65
Cimbra acabado común y descimbra en muros, hasta una	m <sup>2</sup>	\$270.76	284.67	\$77,077.25

Concepto	Unidad	Precio unitario	Cantidad	Importe
altura máxima de 4 m, incluye: madera en la parte proporcional que le corresponda para los moldes, obra falsa y contraventeos, clavos, alambre, desmoldante, chaflanes, goteros, atiesadores, mano de obra, remoción de rebabas, desaparición de juntas, limpieza, herramienta y equipos necesarios.				
Cimbra acabado común y descimbra en losas y trabes, hasta una altura máxima de 4 m, incluye: madera en la parte proporcional que le corresponda para los moldes, obra falsa y contraventeos, clavos, alambre, desmoldante, chaflanes, goteros, atiesadores, mano de obra, remoción de rebabas, desaparición de juntas, limpieza, herramienta y equipos necesarios.	m <sup>2</sup>	\$300.91	173.83	\$52,307.19
Habilitado y colocación de acero de refuerzo grado 42, de 12.7 mm (1/2") de diámetro, incluye: suministro de alambre para amarres, acarreo libre, retiro de material sobrante, limpieza, mano de obra, herramienta y equipos necesarios.	ton	\$6,895.62	2.5	\$17,239.05
Suministro y colocación de concreto hidráulico fraguado normal, resistencia f'c=200 kg/cm <sup>2</sup> , fabricado en planta por proveedor, para elementos de cimentación, incluye: materiales, mano de obra, colocación, muestreo y pruebas, vibrado, curado, desperdicios, limpieza, herramienta y equipos necesarios.	m <sup>3</sup>	\$2,421.77	42.22	\$102,247.13
Suministro y colocación de concreto hidráulico fraguado normal, resistencia f'c=200 kg/cm <sup>2</sup> , fabricado en planta por proveedor, para elementos de superestructura, incluye: materiales, mano de obra, colocación, muestreo y pruebas, vibrado, curado, desperdicios, limpieza, herramienta y equipos necesarios.	m <sup>3</sup>	\$2,415.79	71.77	\$173,381.25
Impermeabilización en cisterna, tanques y muros, a base de uncreto, una capa de recubrimiento cementicio Tankote Plus y una segunda capa de recubrimiento impermeable Sellokote, incluye: materiales, mano de obra y herramienta.	m <sup>2</sup>	\$123.53	423.97	\$52,373.01
<b>Total almacenamiento</b>				<b>\$604,061.64</b>
<b>Tratamiento</b>				
Suministro e instalación de filtro de anillas de 1", incluye: materiales, mano de obra y herramienta.	pza	\$2,615.31	1	\$2,615.31
Suministro e instalación de filtro multilechos con capacidad de 20.9 LPM y salida de 1", incluye: materiales, mano de obra y herramienta.	pza	\$8,629.04	1	\$8,629.04
Suministro e instalación de iones de plata en tubería de 1", incluye: materiales, mano de obra y herramienta.	pza	\$2,763.41	1	\$2,763.41
<b>Total tratamiento</b>				<b>\$14,007.76</b>
<b>Distribución</b>				
Suministro e instalación de bomba centrífuga de 0.5 HP en tubería de 1", incluye: materiales, mano de obra y herramienta.	pza	\$1,775.36	1	\$1,775.36
Suministro e instalación de pichanca flotante elaborada con manguera de 1" de diámetro, 3 m de largo y flotador, incluye: materiales, mano de obra y herramienta.	pza	\$367.39	1	\$367.39
Instalación de tuboplus de 1", incluye: suministro, acarreos, mano de obra, equipo y herramienta.	m	\$101.64	7.39	\$751.12
Instalación de codo tuboplus de 1"X90°, incluye: suministro, acarreos, mano de obra, equipo y herramienta.	pza	\$56.27	3	\$168.81

Concepto	Unidad	Precio unitario	Cantidad	Importe
Instalación de conector hembra tuboplus de 1", incluye: suministro, acarreo, mano de obra, equipo y herramienta.	pza	\$105.14	5	\$525.70
Instalación de conector macho tuboplus de 1", incluye: suministro, acarreo, mano de obra, equipo y herramienta.	pza	\$113.74	1	\$113.74
Instalación de Tee tuboplus de 1", incluye: suministro, acarreo, mano de obra, equipo y herramienta.	pza	\$88.92	1	\$88.92
Instalación de tapón tuboplus de 1", incluye: suministro, acarreo, mano de obra, equipo y herramienta.	pza	\$37.58	1	\$37.58
Total distribución				\$3,828.62
<b>Total del sistema</b>				<b>\$685,782.22</b>

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA A PARTIR DE DATOS DE LA SECRETARÍA DE OBRAS Y SERVICIOS (2019) Y CON NEODATA PRECIOS UNITARIOS (2019)

Para implementar el Sistema de Captación en el mercado La Magdalena, se requieren de 685,782.22 pesos mexicanos.

Se puede observar que gran parte del costo lo rige el almacenamiento. Al ser una cisterna de gran tamaño, el costo se eleva en gran medida. Tan solo el importe del almacenamiento representa el 88% del total.

Una vez que exista el sistema, será necesario hacer mantenimiento cada 6 meses a sus elementos. El filtro de anillas se tiene que lavar para eliminar los sedimentos atrapados. Al filtro multilechos se le tiene que hacer un retrolavado y a los iones de plata se le tiene que cambiar la polaridad.

Año con año se tiene que lavar la cisterna, de igual manera los reductores de turbulencia y la pichancha flotante. El costo de mantenimiento se muestra en la tabla 24.

Tabla 24. Costo de mantenimiento

Concepto	Unidad	Precio unitario	Cantidad	Importe
Limpieza en filtro de anillas de 1" con agua, retrolavado de filtro multilechos con salidas de 1" y cambio de polaridad en iones de plata, incluye: materiales, mano de obra y equipo.	pza	\$299.01	1	\$299.01
Limpieza en cisterna de capacidad de 390 m <sup>3</sup> a base de jabón, cloro y agua, incluye: mano de obra, materiales y equipo.	pza	\$6,984.75	1	\$6,984.75

Al no ser un sistema complejo, los locatarios pueden participar en las tareas de mantenimiento para así reducir los costos de estas. Si participan en estas actividades, los locatarios empezarán a tomar conciencia sobre el cuidado del agua. Tendrán conocimientos del funcionamiento del sistema y las diferentes actividades en las que se puede usar el agua captada.

## Estimación financiera

Teniendo el presupuesto se puede analizar si el proyecto es viable o no. En otras palabras, si habrá más beneficios que costos monetarios y si vale la pena realizar el proyecto.

En el Código Fiscal de la Ciudad de México se presentan las diferentes tarifas del agua de acuerdo con su uso. En el mercado La Magdalena, se paga una cuota fija bimestral de \$97,647.88 MNX, de acuerdo con el uso no doméstico y un diámetro de la Toma entre 32 y 39 mm (Gobierno de la Ciudad de México, 2018).

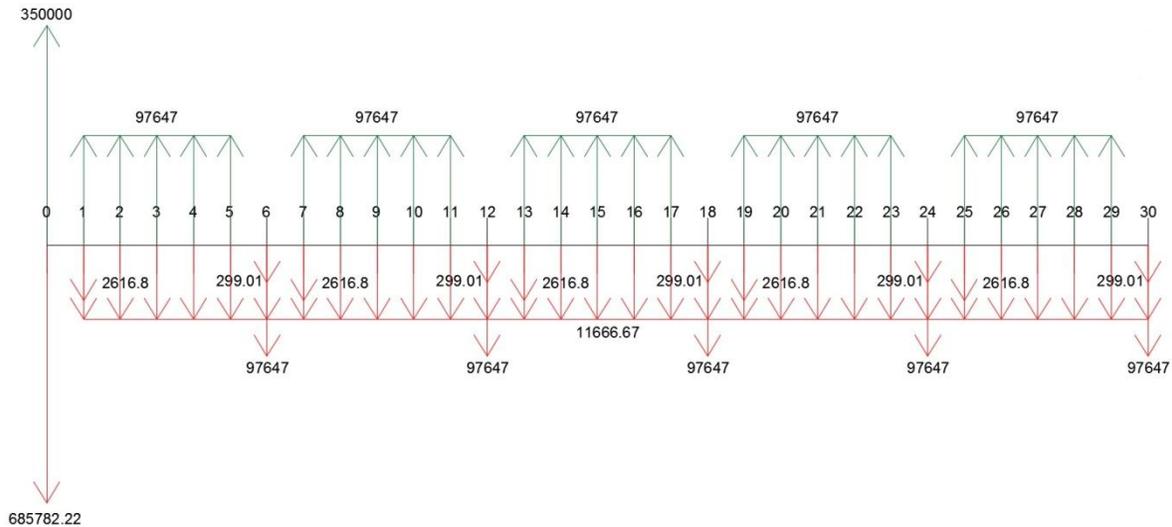
Observando la tabla 21, se aprecia que en el bimestre de mayo-junio se estaría utilizando menos de 10 m<sup>3</sup> de la red para terminar de abastecer la demanda del mercado. De los meses de julio a febrero el sistema brindaría por completo el recurso, siendo 4 bimestres que no se utilizaría agua de la red. Para el bimestre de marzo-abril se requieren cerca de 120 m<sup>3</sup>, el sistema abastecerá muy poco en ese periodo.

Dado que en el bimestre de mayo-junio, el agua tomada de la red es muy poca, se estima pagar \$2,616.80 MNX, siendo la tarifa más baja (Gobierno de la Ciudad de México, 2018). En ese bimestre se tendría un ahorro de \$95,031.08 MNX. Para los 4 bimestres entre julio y febrero, el ahorro será lo pagado bimestralmente, teniendo un ingreso de \$97,647.88 MNX. En el último bimestre de marzo-abril, no se considera un ahorro, pagando lo ya mencionado, en ese periodo.

Cada seis meses se tendrá un egreso de \$299.01 MNX debido a la limpieza de los filtros y el arreglo en los iones de plata. Al año se requiere de una inversión de \$7,283.76 MNX para dar el mantenimiento correspondiente.

Para realizar el proyecto se propone solicitar un préstamo de \$350,000 MNX, que se irán pagando bimestralmente en 5 años. Al bimestre se pagarán \$11666.67 MNX.

El análisis se llevará a cabo en periodos bimestrales en 5 años. Se requiere de una tasa de actualización para observar el valor del dinero en el tiempo. Se hará uso de la tasa de interés interbancaria de equilibrio (TIIE) a 28 días, siendo la más usada en apoyos financieros. Se tiene una TIIE mensual del 8.5% a la fecha de 29/04/19 (Banco de México, 2019). En la figura VI.VII se observa el flujo de efectivo, las flechas hacia arriba son ingresos y hacia abajo son egresos.



**Figura VI.VII. Flujo de efectivo del proyecto**  
 FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Para determinar si el proyecto es factible, se usan 2 indicadores económicos, el valor presente neto (VPN) y la tasa interna de retorno (TIR).

El VPN compara los flujos de efectivo del proyecto a precios constantes y actualizados, contra el valor original de la inversión. Los datos presentados en el flujo de efectivo se llevarán al presente con la ecuación VI.II.

**Ecuación VI.II. Factor de actualización**

$$Vp = \frac{Vf}{(1 + i)^n}$$

donde  $Vp$  es el valor presente, en \$;  $Vf$  el valor futuro, en \$;  $i$  la tasa de actualización o costo de oportunidad del capital; y  $n$  el periodo de análisis.

Se cuenta con la tasa de interés mensual de 8.5%, siendo el TIIE, es necesario obtener la tasa de interés efectivo bimestral. Se realiza el siguiente procedimiento:

$$i = (1 + 0.085)^2 - 1 = 0.1772$$

Se tiene una tasa efectiva bimestral de 17.72%. Este dato es el que se utilizará como la tasa de actualización.

Los ingresos y egresos que se encuentran en el mismo periodo se pueden sumar para después utilizar el factor de actualización y llevarlos a un valor presente usando la ecuación VI.II. Se muestran los primeros cálculos y el último para obtener valor presente neto.

$$VPN = \frac{350000 - 685782.22}{(1 + 0.1772)^0} + \frac{97647 - 26166.8}{(1 + 0.1772)^1} + \frac{97647}{(1 + 0.1772)^2} + \dots + \frac{-299.01 - 97647}{(1 + 0.1772)^{30}}$$

$$VPN = \$24,252.54$$

Se observa que el valor es positivo, siendo un indicador de que el proyecto recupera su inversión en 5 años.

Ahora se procede a calcular la TIR. Este indicador se obtiene cuando el VPN es igual a cero, es la tasa para que los beneficios actualizados sean igual a los costos actualizados. De igual manera se presentan los primeros cálculos y el último.

$$0 = \frac{350000 - 685782.22}{(1+i)^0} + \frac{97647 - 2616.8}{(1+i)^1} + \frac{97647}{(1+i)^2} + \dots + \frac{-299.01 - 97647}{(1+i)^{30}}$$

$$i = 19.29\%$$

La expresión anterior se hace cero cuando la tasa de actualización tiene un valor de 19.29%. Este valor es la TIR. Al comparar la tasa obtenida con la tasa efectiva bimestral, se observa que la TIR es mayor. Al tener una tasa interna de retorno mayor, se tendrá una ganancia después de pagar por el capital del proyecto.

Se presenta la tabla 25 en la que se observan los resultados de los dos procedimientos. En la primera columna se coloca el periodo, seguido de los ingresos. Los egresos se dividen en tres columnas, la primera donde se colocan los pagos bimestrales por el servicio, después los pagos semestrales por el mantenimiento y en la última, el pago para cubrir el anticipo. Para la cuarta columna, se suman los ingresos y egresos, recordando que estos últimos son negativos. En la penúltima columna se obtiene el valor presente, haciendo una suma de todos los valores obtenemos el VPN. Se hace un procedimiento similar para la última columna, pero esta vez variando el interés de actualización para que al sumar los datos el VPN sea 0.

Tabla 25. Cálculo de VPN y TIR

Periodo	Ingresos	Egresos			I+E	VP	TIR
0	\$350,000.00	\$685,782.22	\$0.00	\$0.00	-\$335,782.22	-\$335,782.22	-\$335,782.22
1	\$97,647.88	\$2,616.80	\$0.00	\$11,666.67	\$83,364.41	\$70,814.34	\$69,884.35
2	\$97,647.88	\$0.00	\$0.00	\$11,666.67	\$85,981.21	\$62,041.83	\$60,422.97
3	\$97,647.88	\$0.00	\$0.00	\$11,666.67	\$85,981.21	\$52,701.76	\$50,652.55
4	\$97,647.88	\$0.00	\$0.00	\$11,666.67	\$85,981.21	\$44,767.79	\$42,462.02
5	\$97,647.88	\$0.00	\$0.00	\$11,666.67	\$85,981.21	\$38,028.24	\$35,595.89
6	\$0.00	\$97,647.88	\$299.01	\$11,666.67	-\$109,613.56	-\$41,182.00	-\$38,041.70
7	\$97,647.88	\$2,616.80	\$0.00	\$11,666.67	\$83,364.41	\$26,605.07	\$24,253.56
8	\$97,647.88	\$0.00	\$0.00	\$11,666.67	\$85,981.21	\$23,309.22	\$20,969.96
9	\$97,647.88	\$0.00	\$0.00	\$11,666.67	\$85,981.21	\$19,800.14	\$17,579.11
10	\$97,647.88	\$0.00	\$0.00	\$11,666.67	\$85,981.21	\$16,819.33	\$14,736.56
11	\$97,647.88	\$0.00	\$0.00	\$11,666.67	\$85,981.21	\$14,287.27	\$12,353.65
12	\$0.00	\$97,647.88	\$7,283.76	\$11,666.67	-\$116,598.31	-\$16,458.06	-\$14,043.76

Periodo	Ingresos	Egresos			I+E	VP	TIR
13	\$97,647.88	\$2,616.80	\$0.00	\$11,666.67	\$83,364.41	\$9,995.57	\$8,417.27
14	\$97,647.88	\$0.00	\$0.00	\$11,666.67	\$85,981.21	\$8,757.31	\$7,277.68
15	\$97,647.88	\$0.00	\$0.00	\$11,666.67	\$85,981.21	\$7,438.95	\$6,100.88
16	\$97,647.88	\$0.00	\$0.00	\$11,666.67	\$85,981.21	\$6,319.05	\$5,114.37
17	\$97,647.88	\$0.00	\$0.00	\$11,666.67	\$85,981.21	\$5,367.75	\$4,287.37
18	\$0.00	\$97,647.88	\$299.01	\$11,666.67	-\$109,613.56	-\$5,812.91	-\$4,581.96
19	\$97,647.88	\$2,616.80	\$0.00	\$11,666.67	\$83,364.41	\$3,755.35	\$2,921.24
20	\$97,647.88	\$0.00	\$0.00	\$11,666.67	\$85,981.21	\$3,290.14	\$2,525.74
21	\$97,647.88	\$0.00	\$0.00	\$11,666.67	\$85,981.21	\$2,794.82	\$2,117.33
22	\$97,647.88	\$0.00	\$0.00	\$11,666.67	\$85,981.21	\$2,374.08	\$1,774.96
23	\$97,647.88	\$0.00	\$0.00	\$11,666.67	\$85,981.21	\$2,016.67	\$1,487.94
24	\$0.00	\$97,647.88	\$7,283.76	\$11,666.67	-\$116,598.31	-\$2,323.08	-\$1,691.51
25	\$97,647.88	\$2,616.80	\$0.00	\$11,666.67	\$83,364.41	\$1,410.89	\$1,013.82
26	\$97,647.88	\$0.00	\$0.00	\$11,666.67	\$85,981.21	\$1,236.11	\$876.57
27	\$97,647.88	\$0.00	\$0.00	\$11,666.67	\$85,981.21	\$1,050.02	\$734.82
28	\$97,647.88	\$0.00	\$0.00	\$11,666.67	\$85,981.21	\$891.95	\$616.00
29	\$97,647.88	\$0.00	\$0.00	\$11,666.67	\$85,981.21	\$757.67	\$516.40
30	\$0.00	\$97,647.88	\$299.01	\$11,666.67	-\$109,613.56	-\$820.50	-\$551.88
VPN						\$24,252.54	\$0.00
						TIR %	19.29

Dado que el VPN tiene un valor positivo y la TIR > 17.72, se puede afirmar que el proyecto es factible y se recupera la inversión. El proyecto genera ingresos después de los 5 años.

Ya se demostró que el proyecto es una buena inversión sin embargo cabe resaltar algunas cosas. Con el flujo de efectivo presentado, teniendo un anticipo de \$350,000 MNX y pagándolo a 5 años el proyecto es factible. Si se tiene un anticipo menor puede que el proyecto no sea viable. Entre mayor sea el anticipo, el proyecto es más factible de llevar a cabo.

La TIIE va cambiando con el paso del tiempo. Este dato afecta en gran medida a nuestro proyecto. Si la TIIE aumenta, el proyecto puede resultar más costoso y no se recuperará la inversión. Por el contrario, si la tasa baja, se generarían más ganancias.

Pueden existir varios flujos de efectivo y por ende varios escenarios, de igual manera se pueden considerar diferentes tasas de actualización que afecten el comportamiento de los ingresos y egresos. A pesar de lo anterior, con el escenario propuesto se observa que el proyecto es una buena inversión que no solo traerá beneficios monetarios.

## VII. Conclusiones

En el caso de estudio se observa que el proyecto tiene la capacidad de cubrir casi el 88% de la demanda total de agua. Se estarían ahorrando 865,215 litros al año, más de 85 pipas de agua.

Los materiales para hacer la instalación de la conducción y distribución no son caros, siendo fáciles de conseguir. La instalación es sencilla y rápida. Además de que se ocupan varios elementos que ya se encuentran en el mismo edificio. Se haría uso de las bajadas pluviales y de las bombas que se encuentran instaladas para mandar el agua al tanque elevado.

Existen varias compañías que venden productos para sistemas de captación, principalmente para tratar agua de lluvia. No es difícil conseguir un tren de tratamiento, sin embargo, entre más se requiera de una mejor calidad, mayor será el precio del equipo.

Como se había mencionado, la cisterna rige el costo del sistema y el caso de estudio no es la excepción. El importe por el almacenamiento representa el 88% del total. Al ser una cisterna de gran capacidad y de concreto, es de esperar que su precio sea tan elevado.

Dado que el almacenamiento es grande, el precio del sistema también lo es. No es posible recibir agua si no tenemos donde guardarla. Tenemos que construir la cisterna desde un principio, esto hace que la inversión inicial sea elevada. A pesar de ser una desventaja se observa que la inversión se puede recuperar en 5 años y de ahí, ir obteniendo ingresos.

Además, los SCALL se adaptan a cualquier necesidad y estructura. En el mercado se realizan diferentes actividades y es posible brindar el agua potable a todas ellas. Ya sea para la limpieza en los diferentes negocios o hasta para lavar trastes en los puestos de comida.

Cabe mencionar que el proyecto se puede hacer más complejo. Es posible colocar purificadores a los negocios de comida y así cuenten con agua para consumo humano. También se pueden colocar bebederos para que estén a disposición de las personas. Inclusive colocar hortalizas en el techo es una opción, para que se produzcan cultivos y sean vendidos a la población.

Antes de pasar por el tren de tratamiento, es posible disponer del agua de la cisterna para realizar actividades de limpieza y riego. Actividades que no requieran de un uso potable. Pudiendo usar una bomba eléctrica o una manual, no se requiere de una instalación compleja para tal fin.

Otra de las ventajas es la flexibilidad que tienen estos sistemas. Ya se mencionó que pueden abastecer de agua a diferentes actividades, pero también se pueden llevar a cabo por etapas. En un principio puede no haber tratamiento y que solo se ocupe el agua de la cisterna para usos no potables. Después se puede instalar un tratamiento y obtener agua potable. Al paso del tiempo se puede mejorar el tratamiento para tener agua para

consumo humano. Este es un punto importante porque los sistemas de captación se pueden adaptar a las diferentes necesidades presentes y futuras.

El sistema beneficia directamente a los locatarios proporcionándoles el recurso hídrico de forma constante. Además, existe una reserva en caso de emergencia. Si llegan a suspender el servicio de la red, pueden disponer del agua del sistema de captación. En caso de que llegue a presentarse un incendio, se puede hacer uso del agua en la cisterna.

No solamente está pensado para el beneficio de los locatarios. En caso de haber un desastre natural en el que la población se quede sin el recurso por un tiempo, la cisterna tiene la capacidad para dar apoyo a la población afectada. Es una reserva, no solo para el mercado sino también para quien lo necesite.

Cuando se presenta una lluvia con un periodo de retorno de 2 años, el edificio aporta un gasto de 0.0186 m<sup>3</sup>/s, agua que va al drenaje. Con el sistema de captación, ese gasto se hace nulo porque toda el agua entra al almacenamiento. Puede que no sea un gasto importante como para no saturar el sistema de drenaje, a pesar de ello es una cantidad representativa que ya no se desperdiciará.

Ya se mencionó que al no utilizar parte del agua que viene del Cutzamala, se estarían dejando de emitir gases, más de 1 tonelada de CO<sub>2</sub> año con año. Una cantidad importante solo por este sistema de captación.

Al no tomar cierta cantidad de agua de la red, el recurso estará disponible para otros usuarios que lo requieran. Se ahorra una cantidad importante de agua que puede beneficiar a otra pequeña parte de la población.

Por existir un almacenamiento con agua, el microclima mejora. Se ha observado que la temperatura puede bajar hasta 3 °C. En el mercado no existen muchos árboles, ese mejoramiento en el microclima sería agradable para las personas, en especial de las que consumen alimentos, ya que la cisterna se encontraría cerca de esos negocios.

Se requiere de un equipo de trabajo para realizar el proyecto. Esto conlleva a una generación de empleos. Los empleos no se acaban cuando se termine la instalación del sistema. Es necesario el mantenimiento de este sistema, en un principio lo puede hacer un personal de mantenimiento de la delegación y después capacitar a los locatarios para que ellos mismos lo realicen o se puede contratar a un jefe de mantenimiento para el mercado. Al final, habrá un empleo permanente para esa actividad.

Existen varios beneficios con tan solo un sistema de captación. El escenario sería diferente con un gran conjunto de edificios que cuenten con estas instalaciones en toda la ciudad. Para empezar, habría una disminución importante en la demanda de agua de la red, produciendo ahorros en el recurso.

Los usuarios de estos sistemas tendrán beneficios monetarios. A pesar de tener una inversión inicial fuerte, este se recupera, por lo menos en 5 años. Después de un tiempo empezarán a generar ingresos.

En el caso de las emisiones de gases, estos se reducirán en gran medida al no tomar agua del sistema Cutzamala. Además, se estaría bajando la presión al mismo sistema, quedando disponible el recurso para otros usuarios o para mantener las fuentes de abastecimiento.

No solo se bajaría la presión en el Cutzamala, sino en las otras fuentes de agua con las que cuenta la Ciudad de México. Los pozos se podrían regular y dejarían de sobreexplotarse, dándoles tiempo para recuperarse. Con esto se evitan indirectamente otras cosas, por ejemplo, no se estaría desertificando el suelo, se tendría el recurso hídrico a la disposición y no se estarían presentando asentamientos en la ciudad.

Al captarse la lluvia, el agua se estaría reteniendo en los almacenamientos. Una cantidad importante del recurso no iría al drenaje, en otras palabras, no se saturaría el sistema de drenaje y no se presentarían inundaciones.

El microclima estaría mejorando en cada uno de los sistemas, que en conjunto repercuten de manera significativa en toda la región.

La población tendría una reserva de agua para casos de emergencia. Se han presentado temblores en la ciudad de tal magnitud que han inhabilitado la red de agua. Al tener reservas de este recurso, se estaría cubriendo una de las necesidades más importantes para el ser humano. En pocas palabras, hace más resiliente a la población.

Cuando se cuenta con un sistema propio, se forma un sentido de pertenencia al darle mantenimiento el mismo usuario. Dicho de otra manera, generan su propia agua. Esta idea hace tener cuidado en el recurso que ha sido producido por el usuario. Se crea conciencia en el cuidado del agua.

Mencionando los beneficios de estos sistemas, se observa que los efectos positivos se intensifican cuando existe un conjunto de sistemas de captación de agua de lluvia, en una región.

A pesar de que en México se ha ido apoyando a las familias con sistemas de captación, solamente se utilizan para las personas que cuentan con pocos recursos o se encuentran en zonas marginadas. Los SCALL tienen gran potencial para ser usados en la ciudad. No deben de ser vistos tan solo como un apoyo a las personas que necesitan el recurso. La lluvia se puede aprovechar de diferentes maneras para realizar diferentes actividades.

Con el paso del tiempo, las personas han transformado el Valle de México, cada vez hay más edificios y pavimentos, reforestando la región, la población aumenta y cada vez se notan más las consecuencias sin hacer algo al respecto. Es momento de aprovechar el entorno que se ha cambiado para poder hacer frente a las consecuencias de las acciones humanas. Es momento de aprovechar las cubiertas que se han construido. Es momento de aprovechar la lluvia.

## Referencias

- Abellán, A. (2016). *Medidas estructurales*. Recuperado el 09 de Mayo de 2018, de SuD Sostenible: <http://sudsostenible.com/tipologia-de-las-tecnicas/medidas-estructurales/>
- Agua para todos Agua para la vida. (04 de Diciembre de 2017). *Cuadro comparativo entre la Ley General de Aguas presentada para consulta pública por el Diputado Pichardo y la Iniciativa Ciudadana*. Recuperado el 27 de Mayo de 2018, de agua.org.mx: <https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2017/12/Comparativo-Iniciativa-Pichardo-vs-Iniciativa-Ciudadana-Diciembre-2017.pdf>
- agua.org.mx. (2017). *Agua en el planeta* . Recuperado el 12 de Febrero de 2018, de agua.org.mx: <https://agua.org.mx/en-el-planeta/#cuanta-hay>
- Anaya Garduño, M. (1998). *Sistemas de captación de agua de lluvia para uso doméstico en América Latina y el Caribe. Manual Técnico*. Ciudad de México, México: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura.
- Anaya Garduño, M. (Octubre de 2004). *Centro Internacional de Demostración y Capacitación en Aprovechamiento del Agua de Lluvia (CIDECALL)*. Recuperado el 24 de Abril de 2018, de colpos.mx: <http://www.colpos.mx/ircsa/cidecall/odcs/carpeta.pdf>
- Anaya Garduño, M. (2008). Objetivos y logros del Centro Internacional de Demostración y Capacitación en Aprovechamiento del Agua de Lluvia (CIDECALLI). *Boletín del Archivo Histórico del Agua, volumen 13*, páginas 92 - 98.
- Anaya Garduño, M. (2011). *Captación del Agua de Lluvia. Solución caída del cielo*. Montecillo, México: Editorial original publicada por: Colegio de Postgraduados.
- Anaya Garduño, M. (16 de Marzo de 2016). *Ciclo de conferencias el saber del agua. Objetivos y logros del CIDECALLI*. Recuperado el 16 de Octubre de 17, de Red del Agua UNAM: <http://www.agua.unam.mx/saberdelagua/assets/pdf/AnayaGardunoCIDECALLI.pdf>
- Aparicio Mijares, F. J. (1989). *Fundamentos de hidrología de superficie* (Primera ed.). Ciudad de México, México: LIMUSA.
- Ballén Suárez, J. A., Galarza García, M. Á., & Ortiz Mosquera, R. O. (2006). Historia de los Sistemas de Aprovechamiento de Agua de Lluvia. *VI SEREA - Seminario Iberoamericano sobre Sistemas de Abastecimiento Urbano de Agua*, (pág. 12). Joao Pessoa, Brasil.
- Banco de México. (29 de Abril de 2019). *Indicadores*. Recuperado el 29 de Abril de 2019, de Banco de México: <http://www.banxico.org.mx/>
- Centro Virtual de Información del Agua. (2017). *Agua en el planeta*. Recuperado el 12 de Febrero de 2018, de AGUA.org.mx: <https://agua.org.mx/en-el-planeta/#cuanta-hay>

- Comisión Nacional del Agua. (Diciembre de 2007). *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento*. Recuperado el 18 de Agosto de 2018, de CONAGUA:  
<ftp://ftp.conagua.gob.mx/Mapas/libros%20pdf%202007/Datos%20B%E1sicos.pdf>
- Comisión Reguladora de Energía. (2017). *Factor de Emisión del Sector Eléctrico Nacional*. Recuperado el 31 de Octubre de 2018, de Gobierno de México:  
[https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/304573/Factor\\_de\\_Emisi\\_n\\_del\\_Sector\\_El\\_ctrico\\_Nacional\\_1.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/304573/Factor_de_Emisi_n_del_Sector_El_ctrico_Nacional_1.pdf)
- Comité Consultivo Nacional de Normalización de Regulación y Fomento Sanitario. (22 de Noviembre de 2000). *Modificación a la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización*. Recuperado el 04 de Agosto de 2018, de Diario Oficial de la Federación:  
[http://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=2063863&fecha=31/12/1969](http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=2063863&fecha=31/12/1969)
- Comunicación social CDMX. (11 de Enero de 2017). *Programa Agua a Tu Casa*. Recuperado el 03 de Mayo de 2018, de comunicacion.cdmx.gob.mx:  
<http://www.comunicacion.cdmx.gob.mx/noticias/nota/programa-agua-tu-casa>
- CONAGUA. (2016). *Atlas del Agua en México 2016* (2016 ed.). México: SEMARNAT.
- CONAGUA. (Abril de 2016). *Lineamientos técnicos: Sistema de captación de agua de lluvia con fines de abasto de agua potable a nivel vivienda*. (CONAGUA, Ed.) Recuperado el 14 de Agosto de 2018, de Gobierno de México:  
[https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/152776/LINEAMIENTOS\\_CAPTACION\\_PLUVIAL.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/152776/LINEAMIENTOS_CAPTACION_PLUVIAL.pdf)
- CONAGUA. (2016). *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Conducciones*. Ciudad de México, México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- CONAGUA. (2016). *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Drenaje Pluvial Urbano*. Ciudad de México, México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- CONAGUA. (31 de Enero de 2017). *¿Qué es el agua renovable?*. Recuperado el 31 de Enero de 2018, de CONAGUA: <https://www.gob.mx/conagua/es/articulos/que-es-el-agua-renovable?idiom=es>
- CONAGUA. (31 de Enero de 2017). *Programa Nacional para Captación de Agua de Lluvia y Ecotecnias en Zonas Rurales (PROCAPTAR)*. Recuperado el 2018 de Mayo de 07, de [www.gob.mx](http://www.gob.mx): <https://www.gob.mx/conagua/acciones-y-programas/programa-nacional-para-captacion-de-agua-de-lluvia-y-ecotecnias-en-zonas-rurales-procaptar>

- Cumbre Pueblos. (03 de Octubre de 2017). *Lluvia ácida: Qué es, explicación, causas y consecuencias*. Recuperado el 27 de Abril de 2018, de Cumbre Pueblos: <https://cumbrepuebloscop20.org/medio-ambiente/lluvia-acida/>
- De la Torre, k., Larraz, I., & Reveles, C. (20 de Junio de 2018). *Verificado 2018. ¿Los decretos firmados por Peña Nieto privatizan el Agua?* Recuperado el 05 de Septiembre de 2018, de El Universal: <http://www.eluniversal.com.mx/nacion/verificado-2018-los-decretos-firmados-por-pena-nieto-privatizan-el-agua>
- Delegación Tlalpan. (22 de Marzo de 2016). *Invierte Tlalpan 55 millones de pesos para distribución de agua potable*. Recuperado el 30 de Agosto de 2017, de Tlalpan.gob.mx: <http://www.tlalpan.gob.mx/noticias/2203201601.php>
- Departamento General de Irrigación. (2016). *El agua como recurso natural*. Recuperado el 31 de Enero de 2018, de aquabook: [http://aquabook.agua.gob.ar/168\\_0](http://aquabook.agua.gob.ar/168_0)
- Domínguez Viteri, J. L., & Jaramillo Pacheco, J. L. (17 de Diciembre de 2014). *Estado del arte en el diseño de sistemas de captación de agua lluvia, y de tratamiento de aguas grises y residuales para viviendas sustentables*. Recuperado el 14 de Septiembre de 2017, de Universidad Técnica Particular de Loja: <https://www.utpl.edu.ec/jorgeluisjaramillo/?p=1384>
- Duran Escamilla, P., Herrera Monroy, L., & Guido Aldana, P. (2010). *Captación de agua de lluvia, alternativa sustentable*. Recuperado el 09 de Septiembre de 2017, de Congreso Nacional del Medio Ambiente: <http://www.conama10.conama.org/conama10/download/files/CT%202010/41008.pdf>
- EcolInventos. (10 de Abril de 2018). *La agricultura ecológica a pequeña escala, única forma de erradicar el hambre en el mundo según la ONU*. Recuperado el 13 de Julio de 2018, de EcolInventos: <https://ecoinventos.com/agricultura-ecologica-pequena-escala-erradicar-hambre-mundo-onu/>
- Ecologics Engineering Solutions . (2018). *ecologics - step action pump*. Recuperado el 26 de Agosto de 2018, de ecologics: <http://www.ecologics.co.nz/step-action-pump.php>
- El Economista. (09 de Abril de 2018). *Implementan Proyecto Tláloc en Yucatán*. Recuperado el 12 de Abril de 2018, de El Economista: <https://www.eleconomista.com.mx/empresas/Implementan-Proyecto-Tlaloc-en-Yucatan-20180409-0126.html>
- FAO . (s.f.). *Water management for urban and peri-urban horticulture* . Recuperado el 25 de Octubre de 2017, de FAO: <http://www.fao.org/3/a-ap524e.pdf>
- FAO. (Abril de 2013). *Publicaciones*. Recuperado el 29 de Agosto de 2017, de FAO: <http://www.fao.org/3/a-i3247s.pdf>

- FAO. (Julio de 2016). *Presupuestos municipales y trabajo comunitario impulsan desarrollo productivo de la Provincia Carabuco*. Recuperado el 24 de Octubre de 2017, de FAO: <http://www.fao.org/3/a-c0395s.pdf>
- FAO. (01 de Junio de 2017). *Cronología del Corredor Seco: El acelerador de la resiliencia en Centroamérica*. Recuperado el 29 de Abril de 2018, de FAO: <http://www.fao.org/in-action/agronoticias/detail/es/c/1024540/>
- Flores Acuña, D. (2016). *2. Flujo a Presión*. Recuperado el 15 de Octubre de 2018, de docplayer: <https://docplayer.es/9452052-2-flujo-a-presion-2-1-flujo-uniforme-permanente-y-laminar-2-1-1-ecuacion-de-continuidad-q-va-2-1-2-ecuacion-del-esfuerzo-cortante.html>
- Franco Salas, A., & Pérez Urrestarazu, L. (2007). *Presión necesaria en el origen del cabezal*. Recuperado el 17 de Octubre de 2018, de OpenCourseWare Universidad de Sevilla: [http://ocwus.us.es/ingenieria-agroforestal/hidraulica-y-riegos/temario/Tema%2010.Riego%20goteo/tutorial\\_20.htm](http://ocwus.us.es/ingenieria-agroforestal/hidraulica-y-riegos/temario/Tema%2010.Riego%20goteo/tutorial_20.htm)
- Gobierno de la Ciudad de México. (31 de Diciembre de 2018). *SACMEX*. Recuperado el 15 de Abril de 2019, de Gaceta Oficial de la Ciudad de México: [https://www.sacmex.cdmx.gob.mx/storage/app/media/tarifas/Tarifas\\_Agua\\_Art\\_172\\_2019.pdf](https://www.sacmex.cdmx.gob.mx/storage/app/media/tarifas/Tarifas_Agua_Art_172_2019.pdf)
- González Reyes, C. (2018). *Tratamiento de agua para consumo humano*. Departamento de ingeniería sanitaria y ambiental, UNAM, Ciudad de México, México.
- Guerrero Angulo, J. Ó. (Abril de 1995). Ecuación modificada de Colebrook-White. *Ingeniería Hidráulica en México*, X(1), 43-48.
- Gutiérrez Satrias, A. (Abril de 2014). *Impluvium*. Recuperado el 24 de Enero de 2018, de Agua UNAM: <http://www.agua.unam.mx/assets/pdfs/impluvium/numero01.pdf>
- Gutiérrez Vázquez, A. M. (2017). *El Agua. Recurso natural de gran trascendencia para la vida* (Primera ed.). Ciudad de México, México: SACMEX.
- Hiriart R., E. (s.f.). *Pavimentos Permeables*. Recuperado el 10 de Mayo de 2018, de Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto A.C.: <http://imcyc.com/50/ponencia/IngHiriart.ppt>
- iagua. (2018). *Consumos por usos*. Recuperado el 27 de Abril de 2018, de iagua: <https://www.iagua.es/sites/default/files/images/consumos-por-usos.jpg>
- Imagen Agropecuaria. (09 de Septiembre de 2016). *Captación de lluvia opción viable para abasto de agua potable*. Recuperado el 18 de Octubre de 2017, de Imagen Agropecuaria: <http://imagenagropecuaria.com/2016/33415/>

- IMTA. (2015). *Captación y aprovechamiento de agua pluvial a nivel domiciliario y comunitario*. Recuperado el 20 de Abril de 2018, de Red del Agua UNAM: [http://www.agua.unam.mx/reunamos/assets/pdfs/CordovaMiguel\\_IMTA.pdf](http://www.agua.unam.mx/reunamos/assets/pdfs/CordovaMiguel_IMTA.pdf)
- INEGI. (2009). *Prontuario de información geográfica delegacional de los Estados Unidos Mexicanos. La Magdalena Contreras, Distrito Federal*. Ciudad de México: INEGI.
- INEGI. (2018). *Banco de Indicadores*, Beta. Recuperado el 19 de Septiembre de 2018, de INEGI: <http://www.beta.inegi.org.mx/app/indicadores/##divFV1002000018>
- INEGI. (2018). *Espacio y Datos de México*, Beta. Recuperado el 20 de Septiembre de 2018, de INEGI: <http://www.beta.inegi.org.mx/app/mapa/espacioydatos/default.aspx?ag=09008>
- Instituto para el Federalismo y el Desarrollo Municipal. (2010). *La Magdalena Contreras*. Recuperado el 22 de Septiembre de 2018, de Enciclopedia de los Municipios y Delegaciones de México. Distrito Federal: <http://siglo.inafed.gob.mx/enciclopedia/EMM09DF/delegaciones/09008a.html>
- INTA . (2011). *Guía metodológica de alternativas técnicas de agua*. Recuperado el 2018 de Julio de 16, de FAO: <http://www.fao.org/3/a-at623s.pdf>
- Isla Urbana. (2017). *Manual de mantenimiento para su sistema residencial*. Ciudad de México, México: Isla Urbana.
- Isla Urbana. (2018). *Sistemas de campo*. Recuperado el 2018 de Junio de 05, de Isla Urbana: <http://islaurbana.org/sistemas-de-campo/>
- Isla Urbana. (2018). *Sistemas de Ciudad* . Recuperado el 3 de Junio de 2018, de Isla Urbana: <http://islaurbana.org/sistemas-de-ciudad/>
- Lira, I. (19 de Junio de 2018). *Académicos: 756 cuencas de país ya se ofertan a concesionarios; Conagua niega privatizar el agua*. Recuperado el 05 de Septiembre de 2018, de Sin Embargo: <http://www.sinembargo.mx/19-06-2018/3430888>
- Manzano Camarillo, M. (Agosto de 2011). Programa Agua y Vida. *Por una cultura del uso sostenible del agua en zonas áridas*. Monterrey, México: Tecnológico de Monterrey.
- Medina Espinoza, G. (Enero de 2011). Captación y aprovechamiento del agua de lluvia. *La captación y aprovechamiento del agua de lluvia en los centros urbanos y rurales*. Facultad de Ingeniería, Ciudad de México, México.
- Morales García, A. (Abril de 2018). *Apuntes de Hidrología*. Facultad de Ingeniería, UNAM, México.
- NEODATA S.A. de C.V. (15 de Enero de 2019). Precios Unitarios 2018 (18.3.3). NEODATA.
- Olivas, J. C. (27 de Agosto de 2012). *Tenochtitlán; ciudad de aguas*. Recuperado el 24 de Enero de 2018, de CASIOPEA: [http://wiki.ead.pucv.cl/Tenochtitl%C3%A1n;\\_ciudad\\_de\\_aguas](http://wiki.ead.pucv.cl/Tenochtitl%C3%A1n;_ciudad_de_aguas)

- ONU. (2017). *Agua*. Recuperado el 26 de Octubre de 2017, de ONU:  
<http://www.un.org/es/sections/issues-depth/water/index.html>
- ONU. (2017). *Nueva Agenda Urbana*. Quito, Ecuador: Hábitat III.
- ONU. (2017). *Objetivos de Desarrollo Sostenible*. Recuperado el 28 de Octubre de 2017, de ONU:  
<http://www.un.org/sustainabledevelopment/es/water-and-sanitation/>
- ONU-Agua. (2017). *Agua y Cambio Climático*. Recuperado el 29 de Octubre de 2017, de UN WATER: <http://www.unwater.org/water-facts/climate-change/>
- ONU-Agua. (2017). *Water and Disasters*. Recuperado el 29 de Octubre de 2017, de UN WATER:  
<http://www.unwater.org/water-facts/disasters/>
- ONU-Agua. (2017). *Water and Ecosystems*. Recuperado el 29 de Octubre de 2017, de UN Water:  
<http://www.unwater.org/water-facts/ecosystems/>
- ONU-Agua. (2017). *Water and Urbanization*. Recuperado el 30 de Octubre de 2017, de UN WATER:  
<http://www.unwater.org/water-facts/urbanization/>
- ONU-Agua. (2017). *Water Scarcity*. Recuperado el 29 de Octubre de 2017, de UN WATER:  
<http://www.unwater.org/water-facts/scarcity/#>
- Órgano de Difusión del Gobierno de la Ciudad de México. (31 de Enero de 2018). Aviso por el cual se dan a conocer las reglas de operación del programa "Agua a Tu Casa CDMX" para el ejercicio fiscal 2018. *Gaceta Oficial de la Ciudad de México, Vigésima época*(252 Tomo I), págs. 225-243.
- PacoZea.com. (10 de Noviembre de 2017). *Reconocen a "Agua a Tu Casa CDMX" como mejor servicio público sostenible de Latinoamérica*. Recuperado el 04 de Mayo de 2017, de pacozea.com: <https://www.pacozea.com/reconocen-agua-casa-cdmx-mejor-servicio-publico-sostenible-latinoamerica>
- Paullier, J. (28 de Julio de 2015). *Por qué México es el país que más agua embotellada consume en el mundo*. Recuperado el 29 de Enero de 2018, de BBC Mundo :  
[http://www.bbc.com/mundo/noticias/2015/07/150722\\_mexico\\_consumo\\_agua\\_embotellada\\_jp](http://www.bbc.com/mundo/noticias/2015/07/150722_mexico_consumo_agua_embotellada_jp)
- Ramírez, A. (28 de Mayo de 2007). *Distribución del agua en el Planeta*. Recuperado el 22 de Diciembre de 2017, de Ciencias de la Tierra: <http://ramirez-cienciasdelatierra.blogspot.mx/2007/05/distribucion-del-agua-en-el-planeta.html>
- Red del Agua UNAM. (2010). *Grupo de Análisis - Captación y Aprovechamiento de Agua de Lluvia. Estado del arte*. Recuperado el 06 de Septiembre de 2017, de Red del Agua UNAM:  
[http://www.agua.unam.mx/assets/pdfs/gda/estadodelarte\\_gda\\_agualluvia.pdf](http://www.agua.unam.mx/assets/pdfs/gda/estadodelarte_gda_agualluvia.pdf)

- Redacción Aristegui Noticias. (18 de Junio de 2018). *Afirma Conagua que los 10 Decretos de Reserva no privatizan el agua*. Recuperado el 05 de Septiembre de 2018, de Aristegui Noticias: <https://aristeguinoticias.com/1806/mexico/afirma-conagua-que-los-10-decretos-de-reserva-no-privatizan-el-agua/>
- Revista CAMBIO. (Enero de 2018). *Una cosecha que quita la sed*. Recuperado el 02 de Mayo de 2018, de [revistacambio.com.mx](http://www.revistacambio.com.mx): <http://www.revistacambio.com.mx/nacion/una-cosecha-que-quita-la-sed/>
- Romero Sánchez, G. (12 de Enero de 2018). *Cedió el gobierno a demandas y devolvió a la ALDF la ley hídrica*. Recuperado el 11 de Junio de 2018, de Jornada: <http://www.jornada.unam.mx/2018/02/12/capital/032n1cap>
- Romero, V. (21 de Junio de 2016). *Niños conozcan el ciclo hidrológico*. Recuperado el 10 de Enero de 2018, de Panorama: <http://www.panorama.com.ve/pitoquito/Ninos-conozcan-el-ciclo-hidrologico-20160617-0081.html>
- Ruiz Urbano, M. d. (Abril de 2018). *Apuntes de Hidrología*. Facultad de Ingeniería, UNAM, México.
- SACMEX. (2018). *Factibilidad Hídrica 2017*. Recuperado el 01 de Octubre de 2018, de SACMEX: <https://www.sacmex.cdmx.gob.mx/atencion-usuarios/factibilidad-hidrica>
- SCT. (09 de Diciembre de 2015). *Isoyetas de intensidad - duración - periodo de retorno para la República Mexicana*. Recuperado el 23 de Noviembre de 2018, de Secretaría de Comunicaciones y Transportes: <http://www.sct.gob.mx/carreteras/direccion-general-de-servicios-tecnicos/isoyetas/>
- Secretaría de Gobernación . (02 de Agosto de 1993). *Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal*. Recuperado el 01 de Noviembre de 2018, de Diario Oficial de la Federación: [http://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=4766429&fecha=02/08/1993](http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4766429&fecha=02/08/1993)
- Secretaría de Obras y Servicios. (Enero de 2019). *Tabulador General de Precios Unitarios Edición 2018*. Recuperado el 2 de Febrero de 2019, de Secretaría de Obras y Servicios: <https://www.obras.cdmx.gob.mx/storage/app/uploads/public/5c6/db1/b25/5c6db1b254c50404337615.pdf>
- SEMARNAT. (14 de Enero de 2017). *Normas Oficiales Mexicanas NOM-001-SEMARNAT-1996, NOM-002-SEMARNAT-1996, NOM-003-SEMARNAT-1997*. Recuperado el 22 de Julio de 2018, de CONAGUA: [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/105139/Normas\\_Oficiales\\_Mexicanas.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/105139/Normas_Oficiales_Mexicanas.pdf)
- Soluciones Hidropluviales. (s.f.). *Captación agua de lluvia*. Recuperado el 23 de Agosto de 2017, de Soluciones Hidropluviales: <http://hidropluviales.com/captacion-agua-de-lluvia/>

Soluciones Hidropluviales. (s.f.). *Captación en el mundo*. Recuperado el 22 de Agosto de 2017, de Soluciones Hidropluviales: <http://hidropluviales.com/captacion-en-el-mundo/>

Soluciones Hidropluviales. (s.f.). *Filtro Vórtice WISY*. Recuperado el 2018 de Agosto de 12, de Soluciones Hidropluviales: <https://hidropluviales.com/2018/01/09/filtro-vortice-wisy/#Wisy>

Suárez, G. (24 de Noviembre de 2017). *Asamblea aprueba Ley de Sustentabilidad Hídrica*. Recuperado el 11 de Junio de 2018, de El universal: <http://www.eluniversal.com.mx/metropoli/cdmx/asamblea-aprueba-ley-de-sustentabilidad-hidrica>

UN WATER. (07 de Febrero de 2014). *El derecho humano al agua y al saneamiento*. Recuperado el 28 de Mayo de 2018, de UN WATER: [http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/human\\_right\\_to\\_water.shtml](http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/human_right_to_water.shtml)

United Nations Environment Programme. (1983). Rain and Stormwater Harvesting in Rural Areas. *Water Resources Series, 5, 224*.

waterbuck. (30 de Marzo de 2013). *The Innovative Human - Powered Water Well Pump for the 21st Century*. Recuperado el 26 de Agosto de 2018, de Waterbuck: <http://waterbuckpump.com/2013/03/30/6/>

WWAP. (2016). *Informe de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo 2016: Agua y empleo*. París: UNESCO.

YUNGA. (2013). *Insignia del Agua*. Roma, Italia: FAO.