



**EDUCACIÓN**  
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO  
NACIONAL DE MÉXICO

Instituto Tecnológico de Colima

División de Estudios de Posgrado e Investigación

# DISEÑO DE UN SISTEMA DE CAPTACIÓN Y APROVECHAMIENTO DE AGUA DE LLUVIA PARA ESPACIOS PÚBLICOS DE LA CIUDAD DE COLIMA.

## TESIS

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE  
MAESTRO EN ARQUITECTURA SOSTENIBLE Y GESTIÓN URBANA**

**PRESENTA:**

**ING. SERGIO ALEJANDRO CORTÉS ALCARAZ**

**DIRECTOR DE TESIS:**

**MTRA. MARÍA DEL PILAR RAMÍREZ RIVERA**

**CO-DIRECTOR:**

**DR. OLIVER MENDOZA CANO**

VILLA DE ÁLVAREZ, COLIMA. ENERO 2022.





## Oficio de impresión



Instituto Tecnológico de Colima  
División de Estudios de Posgrado e Investigación  
Villa de Álvarez, Colima, **25/enero/2022**  
Oficio No. DEPI 1.2.1.1/12/2022

### ESTUDIANTE CORTÉS ALCARAZ SERGIO ALEJANDRO PASANTE DE LA MAESTRÍA EN ARQUITECTURA SOSTENIBLE Y GESTIÓN URBANA PRESENTE

La **División de Estudios de Posgrado e Investigación** de acuerdo al procedimiento para la obtención del Título de Maestría de los Institutos Tecnológicos y habiendo cumplido todas las indicaciones que la **Comisión Revisora** hizo a su trabajo profesional

**"DISEÑO DE UN SISTEMA DE CAPTACIÓN Y APROVECHAMIENTO DE AGUA DE LLUVIA PARA ESPACIOS PÚBLICOS DE LA CIUDAD DE COLIMA"**

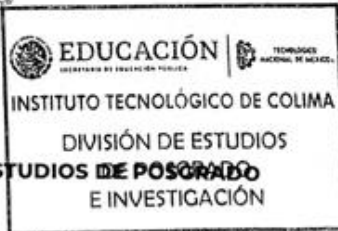
Por la opción de tesis, que para obtener el grado de Maestro en Arquitectura Sostenible y Gestión Urbana será presentado por Usted, tiene a bien concederle la **AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN** de la tesis citada.

Sin otro particular, aprovecho la ocasión para enviarle un cordial saludo.

### ATENTAMENTE

Excelencia en Educación Tecnológica®

**PETER CHUNG ALONSO**  
JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO  
E INVESTIGACIÓN



Ccp. Archivo

PCA/\*cas



Av. Tecnológico #1, C.P. 28976, Villa de Álvarez, Colima, Tel. 312 3129920 Ext: 113 y 213  
Correo electrónico: [posgrado@colima.tecnm.mx](mailto:posgrado@colima.tecnm.mx) [www.colima.tecnm.mx](http://www.colima.tecnm.mx)



2022 Flores  
Año de Magón  
PROCESADOR DE LA REVOLUCIÓN TECNOLÓGICA



## Prólogo

Esta investigación presenta la propuesta de un diseño de captación y aprovechamiento de agua de lluvia para espacios público de la ciudad de Colima, haciendo un análisis del jardín de los viveros ubicado en la parte sur de la ciudad, como caso de estudio. La propuesta es un sistema integral que incluye un prototipo de captación replicable en cualquier otro espacio con condiciones similares al del espacio estudiado.

La tesis que sustenta la siguiente investigación se compone de cuatro capítulos que a continuación se describen:

Dentro del primer capítulo se encuentran todas las bases y generalidades del proyecto: los motivos de selección, justificación, planteamiento de la problemática, objetivos generales, específicos, alcances y limitaciones.

En el segundo capítulo se plasma todo el estado del arte, las metodologías, teorías y modelos relacionados con la captación de agua de lluvia en espacios públicos, antecedentes históricos, un marco de referencias con casos análogos en otras ciudades del mundo, se muestran los distintos tipos de captación de agua de lluvia, así como también, la legislación aplicable a la investigación.

Para el tercer capítulo se localiza la metodología, explicada a detalle, la cual llevo el rumbo de la investigación para poder cumplir con los objetivos. En el cuarto capítulo se encuentran desarrollados los resultados obtenidos, los cuales están organizados de tal manera den respuesta a cada uno de los objetivos, hasta llegar al sistema final propuesto para dar solución a la problemática.

Por último, se presentan las conclusiones y recomendaciones acerca de este trabajo de investigación, teniendo en cuenta la importancia de su realización, sus posibles aplicaciones, las limitaciones que hubo y trabajos futuros a desarrollar de investigación, teniendo como base la presente.



## Agradecimientos

El presente trabajo está dedicado a mi familia, en especial a mis padres Jorge Antonio Cortés Contreras y Ma. Guadalupe Alcaraz Orozco, y mis hermanos Jorge y Diego por todo su apoyo y amor incondicional que han puesto en mí a lo largo de toda mi etapa de estudiantil.

A todos mis compañeros de generación de la MASGU 2019-2021 con quienes coincidimos en espacio y tiempo en este trayecto académico y personal, por ponerme el ejemplo, empujarme a ser mejor y dar el extra siempre.

A mi querida directora de tesis la Maestra María del Pilar Ramírez Rivera por todo el acompañamiento que tuvo conmigo, su valioso tiempo y su incondicional apoyo.

Al Biólogo Ángel Eduardo Galeana Pérez y al Instituto de Planeación para el Municipio de Colima por el asesoramiento y oportunas observaciones.

Al Dr. Oliver Mendoza Cano de la Universidad de Colima por su apoyo en asesoría externa como codirector de esta tesis y valiosas observaciones.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por estos 24 meses de beca otorgada para llevar a cabo este proceso de desarrollo académico y personal. De igual manera al Tecnológico Nacional de México campus Colima por abrirme las puertas del instituto y poder ser parte de la familia TECNAM, además de haberme brindado los recursos necesarios para mi formación académica.

A todo el cuerpo académico de la Maestría en Arquitectura Sostenible y Gestión Urbana que de algún u otro modo me formaron y transfirieron de su sabiduría, por sus consejos, tiempo, dedicación y confianza que tuvieron en mí.

Y por último a todos aquellos que aportaron de manera directa o indirectamente a concluir este posgrado.



## Resumen

Uno de los retos más importantes que se tiene a nivel mundial para el desarrollo sostenible es el abastecimiento del agua, en específico, brindarla en cantidad, calidad y de bajo costo para los seres humanos. Las ciudades desarrolladas han apostado por la recuperación de los espacios públicos como herramienta para aminorar los impactos ambientales y proporcionar ambientes de calidad a las personas. El ahorro de agua en las ciudades se puede lograr con la gestión del agua de lluvia.

Esta tesis presenta el análisis y estudio sistemas de captación de agua de lluvia (SCALL) como una alternativa a lo antes mencionado, para finalmente generar dos propuestas de diseño: un prototipo y una propuesta integral. El Prototipo SA, es un sistema independiente, de fácil instalación y replicable para cualquier espacio público de la ciudad con el cual se tiene una captación de  $6\text{m}^3$  anuales como máximo.

La segunda propuesta conforma el diseño de sistema integral de captación de agua específico para el Jardín de los Viveros, con el cual se logra un ahorro de hasta un 22% aproximadamente en la demanda anual de agua para riego de las áreas verdes. Aunque el ahorro de agua y de dinero por consumo de la misma es bajo, los beneficios de implementación de un SCALL van más allá de lo económico, pues su primordial enfoque es la protección del medio ambiente.



## Abstract

One of the most important global challenges to sustainable development is the provision of water in quantity, quality and low cost to humans. Developed cities have been committed to the recovery of public spaces as a tool to reduce environmental impacts and provide quality environments for people. Water savings in cities can be achieved with the management of rainwater.

This document presents the analysis and study rain water catchment systems (SCALL) as an alternative to the above, to finally generate two design proposals: A prototype and an integral proposal. The SA prototype, is a stand-alone, easy-to-install, replicable system for any public space in the city with a maximum annual acquisition of  $6\text{m}^3$ .

The second proposal is the design of an integral water collection system specific to the Los Viveros Garden, which achieves savings of up to approximately 22% in the annual demand for irrigation water in the green areas. Although the saving of water and money from water consumption is low, the benefits of implementing an SCALL go beyond the economic, their primary focus must be on the environmental protection.





## INDICE GENERAL

<b>I. ÍNDICE DE ABREVIATURAS .....</b>	<b>11</b>
<b>II. ÍNDICE DE TABLAS .....</b>	<b>12</b>
<b>III. ÍNDICE DE IMÁGENES.....</b>	<b>14</b>
<b>1. GENERALIDADES.....</b>	<b>18</b>
1.1 Planteamiento del problema .....	19
1.2 Justificación del tema de investigación.....	20
1.3 La gran pregunta de investigación.....	22
1.4 Hipótesis .....	22
1.5 Objetivos .....	22
1.5.1 General.....	22
1.5.2. Objetivos particulares .....	22
1.6 Descripción del proceso metodológico .....	23
1.7 Alcances y limitaciones .....	25
<b>2. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>26</b>
2.1 Marco histórico.....	27
2.1.1 Captación de agua de lluvia.....	27
2.1.2 Abastecimiento de agua en la ciudad de Colima. ....	30
2.2 Marco conceptual .....	32
2.2.1 Distribución de la precipitación en México.....	32
2.2.1.1 Agua finita. ....	34
2.2.1.2 Agua de lluvia.....	34
2.2.1.3 Agua pluvial.....	35
2.2.2 Sistema de captación de agua de lluvia.....	35
2.2.2.1 Definición.....	35
2.2.2.2 Elementos del sistema de captación de agua de lluvia.....	35
2.2.2.3 Tipos de sistemas captación de agua de lluvia. ....	35
2.2.3 Diseño urbano sensible al agua (DUSA).....	39
2.2.4 Espacio público abierto. ....	40
2.2.4.1 Áreas verdes de los espacios públicos.....	41
2.2.5 Espacio público y el desarrollo sostenible.....	42
2.2.6 Resiliencia urbana.....	44
2.3 Marco referencial .....	46





2.3.1	Internacional.....	46
2.3.2	Nacional.....	53
2.3.3	Modelos de sistemas de captación de agua de lluvia.....	56
2.4	Marco Normativo y Legal.....	61
2.4.1	Derecho y manejo del agua.....	61
2.4.2	Espacio público.....	62
2.4.3	Tratado internacional.....	64
2.4.3.1	Agenda 21.....	64
2.4.3.2	Guerra del agua.....	64
2.5	Marco Contextual.....	65
2.5.1	Estado de Colima.....	65
2.5.2	Ciudad de Colima.....	66
3.	METODOLOGÍA APLICADA.....	71
3.1	Tipo de estudio.....	72
3.2	Área de estudio.....	73
3.3	Universo y muestra.....	74
3.4	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	82
3.5	Técnicas de procesamiento y análisis de datos.....	90
4.	RESULTADOS.....	108
4.1	Diseño de sistema integral de captación y aprovechamiento de agua de lluvia. 109	
4.1.1	Diseño del canal abierto (conducción del agua de la cancha 2).....	109
4.1.2	Diseño del canal cerrado (conducción del agua de la cancha 1).....	112
4.1.3	Diseño de la tubería (conducción del agua de la cafetería).....	114
4.1.4	Diseño de la cisterna.....	115
4.1.5	Diseño de pozo de absorción.....	117
4.1.6	Diseño de las capas del jardín de lluvia.....	117
4.2	Diseño de PROTOTIPO SA.....	119
4.3	Renders del diseño del sistema integral.....	122
4.4	Análisis de oferta vs demanda de agua.....	123
4.5	Ahorro en el costo del agua.....	125
4.6	Requisitos del espacio para implementar del sistema.....	126
4.7	Mantenimiento básico del sistema de captación de agua de lluvia.....	127





<b>4.8</b>	<b>Discusión .....</b>	<b>128</b>
<b>5.</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>130</b>
<b>5.1</b>	<b>Cumplimiento de los objetivos de la investigación.....</b>	<b>131</b>
<b>5.2</b>	<b>Aceptación o rechazo de la hipótesis. ....</b>	<b>132</b>
<b>5.3</b>	<b>Importancia de los resultados obtenidos. ....</b>	<b>132</b>
<b>5.4</b>	<b>Aportaciones.....</b>	<b>133</b>
<b>5.5</b>	<b>Recomendaciones para continuar con las investigaciones en lo futuro.....</b>	<b>133</b>
<b>5.6</b>	<b>Nuevos proyectos de investigación. ....</b>	<b>134</b>
<b>6.</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>135</b>



## I. ÍNDICE DE ABREVIATURAS

ARCSA (Asociación de Sistemas de Captación de Agua de Lluvia).....	33, 50, 41
CIAPACOV (Comisión Intermunicipal de Agua Potable y Alcantarillo de los Municipios de Colima y Villa de Álvarez).....	28, 65, 66, 41
CONAGUA (Comisión Nacional del Agua).....	12, 14, 15, 23, 27, 52, 67, 79, 81, 2, 11, 41
CONAMA (Comisión Nacional del Medio Ambiente).....	39
DUSA (Diseño Urbano Sensible al Agua).....	37
FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura)	12, 33, 34, 41, 42
INAH (Instituto Nacional de Antropología e Historia).....	28, 43
INFONAVIT (Instituto del Fondo Nacional de la Vivienda para los Trabajadores).....	54
IPCO (Instituto de Planeación para el Municipio de Colima).....	14, 18, 70, 76, 77, 83, 38
ODM (Objetivos de Desarrollo del Milenio).....	41
ODS (Objetivos de Desarrollo Sostenible).....	40
OMS (Organización Mundial de la Salud).....	18
ONG (Organizaciones No Gubernamentales).....	48, 50
ONU (Organización de las Naciones Unidas).....	12, 19, 39, 40, 56, 62, 44
OPS Organización Panamericana de la Salud).....	42, 43
SCALL (Sistemas de Captación de Agua de Lluvia).....	14, 20, 35, 48, 52, 77, 78, 33, 34
SEDESOL (Secretaría de Desarrollo Social).....	17, 18, 38, 44, 45





## II. ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Precipitación histórica nacional..... 33

Tabla 2. Listado de algunas Instituciones y Actores que trabajan en temas de captación de agua de lluvia en México. .... 54

Tabla 3. Modelos y patentes de sistemas de captación de agua de lluvia en México y en el mundo. .... 56

Tabla 4. Criterios de selección de caso de estudio. .... 84

Tabla 5. Tabla comparativa de Jardín San Pablo, Jardín La Rivera, Jardín El Moraleta y Jardín Los Viveros..... 85

Tabla 6. Estaciones climatológicas que tienen influencia en la ciudad de Colima, por su cercanía. 87

Tabla 7. Tabla con la precipitación media mensual de las estaciones de CONAGUA con clave 6008, 6040, 6073 y 6052 al año 2017. .... 88

Tabla 8. Valores de referencia para el coeficiente de escorrentía (Ce) en diferentes tipos de superficies y coberturas. .... 91

Tabla 9. Precipitación media mensual histórica de la estación climatológica 6040 de CONAGUA .. 93

Tabla 10. Precipitación media mensual histórica de la estación climatológica 6008 de CONAGUA 93

Tabla 11. Precipitación media mensual histórica de la estación climatológica 6052 de CONAGUA 94

Tabla 12. Precipitación media mensual histórica de la estación climatológica 6073 de CONAGUA 94

Tabla 13. Potencial de captación de agua de lluvia de los espacios públicos con influencia de la estación 6008. .... 100

Tabla 14. Potencial de captación de agua de lluvia de los espacios públicos con influencia de la estación 6040. .... 100

*Tabla 15. Potencial de captación de agua de lluvia de los espacios públicos con influencia de la estación 6073. .... 101*

Tabla 16. Potencial de captación de agua de lluvia de los espacios públicos con influencia de la estación 6052. .... 101

Tabla 17. Tabla donde resume el potencial de captación de agua de lluvia de los espacios públicos con influencia de las estaciones y diversos diámetros del prototipo. .... 102





Tabla 18. Se muestra cuatro áreas con potencial para captar el agua de lluvia. Las 2 canchas, la cafetería y el andador principal. .... 103

Tabla 19. Se observan las nuevas áreas con potencial para captar el agua, agregando un jardín de lluvia, un prototipo piloto, y un canal abierto. Identificando también con el material de superficie. .... 104

Tabla 20. En la siguiente tabla se muestra el potencial de captación de agua de lluvia anual en litros (L) y en metros cúbicos (m3), esta se ve afectado por un coeficiente de escorrentía (Ce) que depende del tipo de material. Para la obtención del potencial. .... 104

Tabla 21. Potencial de captación por mes. .... 105

Tabla 22. Cálculo para cancha. .... 111

Tabla 23. Diámetro de las bajantes de aguas pluviales para un régimen pluviométrico de 100mm/h. .... 114

Tabla 24. Demanda de agua para riego. .... 123

Tabla 25. Demanda de agua para riego. Elaboración propia, 2021. .... 124

Tabla 26. Ahorro económico anual en pesos por año, de cada una de las zonas y tamaño de prototipo ..... 126

Tabla 27. Ahorro total anual. Elaboración propia. .... 126

Tabla 28. Ahorro en la demanda anual en riego alternado cada dos días para caso de estudio de Jardín de los Viveros. Elaboración propia. .... 129





### III. ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 1. Esquema metodológico. Elaboración propia, 2021..... 23

Imagen 2. Casa Romana "La Domus". ..... 28

Imagen 3. Esquema de un chultún del pueblo maya del siglo X a.C. .... 29

Imagen 4. Bordo en la región de Cerro del Toro en Manzanillo. Fuente:  
<https://www.colimanoticias.com/entregan-ayuntamiento-y-sagarpa-ollas-de-agua-en-la-central/>  
..... 31

Imagen 5. Cisterna para captación de agua de lluvia en la comunidad del Terrero, Comala. Fuente:  
<https://www.afmedios.com/blog/2016/04/15/instalan-geocisternas-para-captacion-de-agua-pluvial-en-el-terrero/> ..... 31

Imagen 6. El mapa muestra la lluvia acumulada promedio anual histórica de la República Mexicana entre los años de 1981 y 2010. Los colores representan una cantidad de agua en mm precipitada. Fuente: <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatol> ..... 32

Imagen 7. Sistema de captación habitacional..... 35

Imagen 8. Objetivos de las Naciones Unidas para el desarrollo sostenible 2015-2030. Fuente: (Naciones Unidas, 2017). ..... 43

Imagen 9. Ejemplo de un jardín de lluvia en la ciudad de Melbourne. Fuente:  
[http://www.agua.unam.mx/jornadas2013/assets/resultados/08\\_conflictos/perlo\\_manuel.pdf](http://www.agua.unam.mx/jornadas2013/assets/resultados/08_conflictos/perlo_manuel.pdf)... 46

Imagen 10. Ejemplo de una plaza que capta el agua de lluvia, cisterna de almacenamiento y pozo, en la ciudad de Venecia. Fuente: [http://www.agua.unam.mx/jornadas2013/assets/resultados/08\\_conflictos/perlomanuel.pdf](http://www.agua.unam.mx/jornadas2013/assets/resultados/08_conflictos/perlomanuel.pdf) ..... 47

Imagen 11. Corte de una parte del jardín flotante en Xiang'he, China. Fuente:  
[https://25z50njg6e94f2let2ipiwiq-wpengine.netdna-ssl.com/wp-content/uploads/2014/05/2013\\_OKRA\\_Paisea-024\\_Xianghe\\_OKRA.pdf](https://25z50njg6e94f2let2ipiwiq-wpengine.netdna-ssl.com/wp-content/uploads/2014/05/2013_OKRA_Paisea-024_Xianghe_OKRA.pdf) ..... 48

Imagen 12. Parque con humedales en Houtan, Shangai, China. Fuente:  
[http://www.agua.unam.mx/jornadas2013/assets/resultados/08\\_conflictos/perlo\\_manuel.pdf](http://www.agua.unam.mx/jornadas2013/assets/resultados/08_conflictos/perlo_manuel.pdf).. 48

Imagen 13. Plaza de agua en Rotterdam, Países Bajos. Fuente: <https://www.publicspace.org/es/obras/-/project/h034-water-square-in-benthemplein> ..... 49

Imagen 14. SCALL en escuela de Metepec, Estado de México. Fuente:  
[http://www.agua.unam.mx/jornadas2013/assets/resultados/08\\_conflictos/perlo\\_manuel.pdf](http://www.agua.unam.mx/jornadas2013/assets/resultados/08_conflictos/perlo_manuel.pdf) 55





Imagen 15. Jardín infiltrante Legaria en la CDMX. Fuente: <http://www.eetestudio.com/jardin-infiltrante-legaria>. ..... 55

Imagen 16. SCALL en escuela de Metepec, Estado de México. Fuente: [http://www.agua.unam.mx/jornadas2013/assets/resultados/08\\_conflictos/perlo\\_manuel.pdf](http://www.agua.unam.mx/jornadas2013/assets/resultados/08_conflictos/perlo_manuel.pdf)... 56

Imagen 17. Mapa de los Estados Unidos Mexicanos y del Estado de Colima. Fuente: INEGI ..... 65

Imagen 18. Diagrama de temperatura de Colima. Obtenida en: <https://es.climate-data.org/america-del-norte/mexico/colima/colima-3420/>..... 68

Imagen 19. Mapa de hidrografía del Estado de Colima. Fuente: Inegi 2021..... 69

Imagen 20. Climograma de Colima. Obtenida en: <https://es.climate-data.org/america-del-norte/mexico/colima/colima-3420/>. ..... 70

Imagen 21. Mapa de la ubicación de las estaciones climatológicas más cercanas a la ciudad de Colima. Fuente: CONAGUA ..... 70

Imagen 22. Mapa de los espacios públicos de la ciudad de Colima. Fuente: IPCO 2021..... 73

Imagen 23. Mapa de espacios públicos de la ciudad de Colima por zonas. Elaboración propia. .... 74

Imagen 24. Mapa de percepción de seguridad. Elaboración propia. .... 75

Imagen 24 (a). Mapa delictivo por colonias. (IPCO, 2018)..... 76

Imagen 25. Ubicación de espacios públicos seleccionados. Elaboración propia ..... 77

Imagen 26. Fotografías del jardín de San Pablo. La primera corresponde a la vista área del jardín obtenida de Google Maps vista satélite, las demás son de elaboración propia..... 78

Imagen 27. Fotografías del jardín de la colonia La Rivera. La primera corresponde a la vista área del jardín obtenida de Google Maps vista satélite, las demás son de elaboración propia..... 79

Imagen 28. Fotografías del jardín El Moralete. La primera corresponde a la vista área del jardín obtenida de Google Maps vista satélite, las demás son de elaboración propia..... 80

Imagen 29. Fotografías del jardín los viveros. La primera corresponde a la vista área del jardín obtenida de Google Maps vista satélite, las demás son de elaboración propia..... 81

Imagen 30. Captura de pantalla de la recopilación de datos en la plataforma de CONAGUA de las estaciones climatológicas que tienen inferencia en la ciudad de Colima..... 86

Imagen 31. Mapa de la ciudad de Colima mostrando los espacios públicos abiertos en polígonos verdes y con puntos azules las estaciones climatológicas cercanas a estos..... 87





Imagen 32. Mapa de las áreas de influencias de las estaciones climatológicas en la ciudad de Colima..... 89

Imagen 33. Mapa de las áreas de influencias de las estaciones climatológicas en la ciudad de Colima, encerrando con azul el jardín de los viveros..... 92

Imagen 34. La gráfica de barras muestra la precipitación media mensual histórica de la estación climatológica 6040 de CONAGUA. Observándose que el periodo de lluvias se encuentra entre los meses de junio-octubre ..... 93

Imagen 35. La gráfica de barras muestra la precipitación media mensual histórica de la estación climatológica 6008 de CONAGUA. Observándose que el periodo de lluvias se encuentra entre los meses de junio-octubre ..... 93

Imagen 36. La gráfica de barras muestra la precipitación media mensual histórica de la estación climatológica 6052 de CONAGUA. Observándose que el periodo de lluvias se encuentra entre los meses de junio-octubre ..... 94

Imagen 37. La gráfica de barras muestra la precipitación media mensual histórica de la estación climatológica 6073 de CONAGUA. Observándose que el periodo de lluvias se encuentra entre los meses de junio-octubre ..... 94

Imagen 38. Vista aérea del jardín, en la imagen se muestra un pin color amarillo para la identificación del jardín y una circunferencia en rojo delimitando su área de influencia con un radio de 350 metros. .... 95

Imagen 39. Imágenes tomadas del jardín de los viveros, donde se aprecia parte de su configuración espacial. Elaboración propia. .... 97

Imagen 40. Croquis de la distribución del jardín de los viveros. Elaboración propia. .... 98

Imagen 41. Esquema de prototipo. Elaboración propia, 2021. .... 99

Imagen 42. Grafica de potencial de captación por mes. Elaboración propia, 2021. .... 105

Imagen 43. Diseño de sistema integral Jardín Viveros. Elaboración propia. .... 109

Imagen 44. Diseño del canal abierto (conducción del agua de la cancha 2) ..... 110

Imagen 45. Diseño de canal. Elaboración propia. .... 112

Imagen 46. Diseño de tubería. Elaboración propia..... 115

Imagen 47. Diseño de cisterna. Elaboración propia..... 116

Imagen 48. Jardín de lluvia. Elaboración propia. .... 117





Imagen 49. Esquema de prototipo con componentes de sistema integral. Elaboración propia, 2021  
..... 119

Imagen 50. Esquema con componentes de prototipo con instalación individual. Elaboración propia,  
2021..... 120

Imagen 51. Renders de propuesta de diseño del sistema integral. Elaboración propia, 2021..... 122

Imagen 52. Costos por m3 de agua del H. Ayuntamiento de Colima. Ley la Ley que estable las  
Cuotas y Tarifas para el Pago de Derechos por los Servicios Públicos de Agua Potable y  
Alcantarillado y Saneamiento de los Municipios de Colima y Villa de Álvarez, 2021. .... 125







# 1. GENERALIDADES





## 1.1 Planteamiento del problema

Hoy en día los espacios públicos han dejado de ser lugares de esparcimiento, recreación y convivencia; por el contrario, se han convertido en escenarios de una inmensa variedad de conflictos sociales (SEDESOL, 2010). Uno de los principales factores por el cual muchos de los espacios públicos abiertos son abandonados o subutilizados es el deterioro físico, originado por la falta de mantenimiento de las administraciones locales y la falta de participación ciudadana en la preservación de estos, esto provoca un aumento en la percepción de inseguridad a la población. (Borja, 2012). Los espacios públicos y la calidad de vida urbana tienen una estrecha relación, de acuerdo con Beck (2009) la alta calidad, el buen diseño, el mantenimiento y la administración de parques y espacios públicos urbanos promueven la mejora de la calidad de vida.

En México, el mantenimiento de las áreas verdes de los espacios públicos se ha convertido en un problema cada vez más frecuente en los H. Ayuntamientos debido a que estos espacios aumentan año con año y, sin embargo, tanto el recurso económico como el hídrico se vuelven cada vez más limitados, una solución a esta problemática es prever sistemas que capten agua de lluvia que permitan aprovechar y con ello disminuir el consumo de agua del sistema municipal que cada día es más escaso y comprometido. (SEDESOL, 2010).

Con datos proporcionados por el IPCO (2020), se observa que la ciudad de Colima cuenta una superficie total en espacios públicos abiertos de 1'355,109.62 m<sup>2</sup> sin considerar los camellones ni glorietas. Con estas cifras y basados en el censo de población de 2020, en donde marca que la ciudad tiene 146,965 habitantes, se obtiene el dato que existe 9.22 m<sup>2</sup> de espacio público abierto por habitante. Con estos datos de acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS) se encuentra por debajo de la proporción mínima de área verde por habitante que es de 16m<sup>2</sup>/habitante. Aunado a esto, se localizaron problemas constantes en los espacios públicos como áreas verdes descuidadas, falta de mantenimiento y obras inconclusas.





Otra de las problemáticas que enfrenta el municipio de Colima, así como de forma generalizada en todo el estado, es el factor hídrico, en el cual se identificaron dos puntos, por una parte, la demanda por el crecimiento poblacional que ha rebasado la oferta disponible con la infraestructura hidráulica actual de acuerdo con datos del Gobierno del Estado de Colima, aunado a la deficiencia en la administración y manejo del recurso, han llevado a que la disponibilidad en las cuencas y acuíferos esté hoy limitado y se tenga registrado ya escases del recurso. (Secretaría de Planeación y Finanzas del Gobierno del Estado de Colima, 2017). Por otro lado, las inundaciones, ocasionadas por lluvias intensas atípicas y sobre todo a la inminente urbanización desordenada que ha hecho cambios de uso de suelo, aumentando las zonas impermeables que generan vulnerabilidad por escurrimientos que afectan a la población y a la infraestructura urbana, con ello la captación del agua de lluvia puede ayudar a reducir esta problemática.

Una de las metas que tiene Colima, de acuerdo con la Estrategia de Resiliencia (2019), es realizar un plan de resiliencia hídrica en la ciudad con la finalidad de hacer un “Colima ambientalmente sostenible” y con ello crear espacios públicos abiertos resilientes y sostenibles. Con ello se plantea la propuesta de un sistema de captación de agua de lluvia, recolección, almacenamiento y aprovechamiento para los espacios públicos de la ciudad de Colima.

## 1.2 Justificación del tema de investigación

Los espacios públicos requieren ser lugares resilientes y sustentables, que garanticen la calidad paisajística y dar el servicio de recreación. De acuerdo con los compromisos de transformación en pro del desarrollo urbano sostenible de ONU HABITAT III (2016) apuestan por la creación de espacios públicos inclusivos, verdes, sostenibles, de calidad e incrementar la resiliencia en las ciudades. Los autores Martínez (2004), Reyes y Gutiérrez (2010) y Yáñez (2013) demuestran la importancia que poseen las áreas verdes, pues éstas producen oxígeno, absorben



contaminantes, infiltran agua a los acuíferos, conservan la biodiversidad, actúan de espacios comunes para la sociedad, retiene el suelo, realizan funciones de recreación y estéticas, generan microclimas, disminuyen las islas de calor, entre otros.

Una de las necesidades reconocidas es que los espacios públicos cuenten con un sistema de captación, almacenamiento y aprovechamiento de agua de lluvia eficiente, reproducible y autosuficiente, a fin de contar con agua para el mantenimiento ya sea parcial o totalmente de sus áreas verdes; y, de ser necesario, ser espacios con disponibilidad de agua en caso de un desastre y que pueda servir para la población en caso emergente o repentino

Dentro de las ventajas económicas se tiene: la reducción del consumo de agua y energía de la red de abastecimiento; el agua de lluvia es un recurso gratuito que no se aprovecha y no es necesario potabilizarla para fines de uso de riego.

En temas ambientales, los Sistemas de Captación de Agua de Lluvia (SCALL) ayudarán a reducir el impacto del estrés hídrico en el arbolado urbano de la ciudad.

En los beneficios sociales se encuentran, el contar con espacios públicos resilientes, fomentar la cultura del cuidado del agua, aumentar la disponibilidad de agua potable para otros usos y contribuye a minimizar las inundaciones por saturación en el drenaje. (Fondo para la Comunicación y la Educación Ambiental A.C., 2004; Gleason, 2005; Anaya, 2009; Gleason, 2014). Además, el generar áreas con reservas de agua ya sea para riego, con una buena calidad; en caso de cualquier eventualidad natural o antropogénica, convierte al lugar en espacios resilientes.

### 1.3 Pregunta de investigación

¿Sería factible implementar un prototipo de captación de agua de lluvia para que funcione como un medio alternativo y autosuficiente del riego de las áreas verdes de los espacios públicos de la ciudad de Colima y que además contribuya a la resiliencia y sostenibilidad de estos?

### 1.4 Hipótesis

El diseño de un prototipo de captación y aprovechamiento de agua de lluvia en espacios públicos de la ciudad de Colima, es factible para implementarse y utilizarse como medio alternativo para el riego de sus áreas verdes, reduciendo hasta un 20% del consumo anual de agua y contribuyendo a su resiliencia y sostenibilidad.

### 1.5 Objetivos

#### 1.5.1 General

Diseñar un sistema de captación y aprovechamiento de agua de lluvia para espacios públicos de la ciudad de Colima como medio alternativo para el ahorro de agua utilizada para el riego de sus áreas verdes, que sea replicable y contribuya a la resiliencia y sostenibilidad.

#### 1.5.2. Objetivos particulares

1. Delimitar y caracterizar los espacios públicos que serán objetos de estudios.
2. Analizar la factibilidad técnica del sistema de captación y aprovechamiento de agua de lluvia en un espacio público.
3. Definir y diseñar un prototipo replicable de un sistema de captación y aprovechamiento con base a las factibilidades técnicas y el uso que se le destinará al agua.
4. Determinar las características del prototipo y sus alcances.



## 1.6 Descripción del proceso metodológico

En el apartado de la metodología se establece el proceso de la investigación que consta de tres etapas principales, la primera consistió en la revisión e identificación del estado del arte de los sistemas de captación de agua de lluvia existentes, posteriormente el análisis de la zona de estudio y finalmente la identificación y adaptación del diseño de un sistema aplicable para los espacios públicos de la ciudad de Colima, basándose en prototipos e investigaciones a nivel nacional e internacional así como normatividad aplicable.

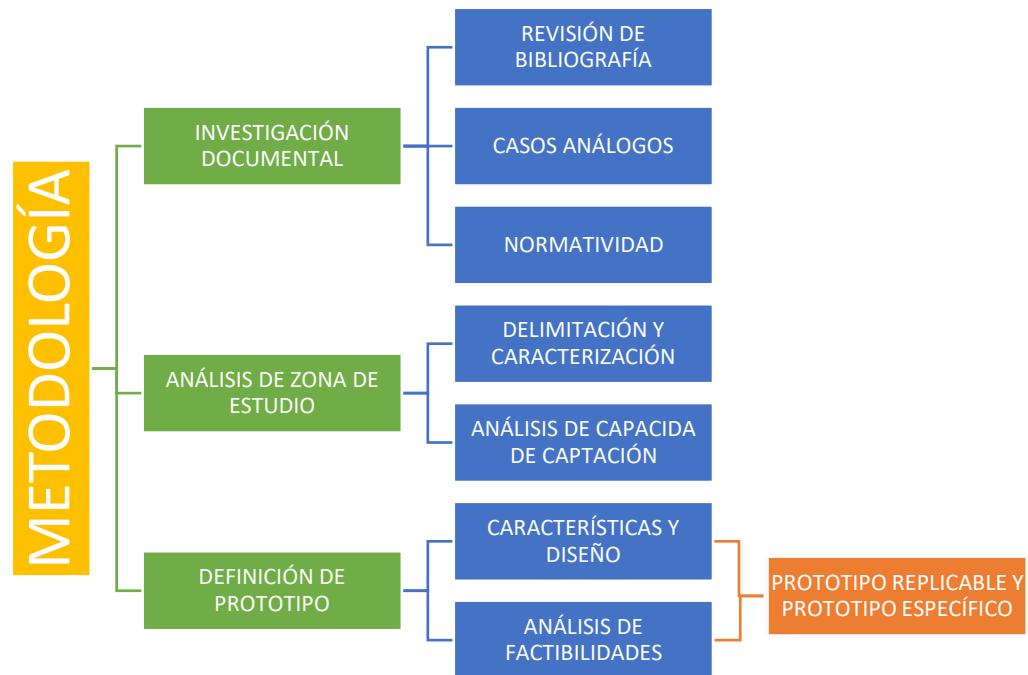


Imagen 1. Esquema metodológico. Elaboración propia, 2021

### **Revisión de bibliografía**

En primer lugar, se realizó la recolección y revisión de documentos, tesis, artículos, libros y toda aquella información relacionada con captación de agua de lluvia, sistemas de captación, almacenamiento y aprovechamiento de agua de lluvia.

### **Revisión de casos análogos**

Se analizaron las características de prototipos existentes, así como los casos de aplicación en diferentes espacios y ciudades del mundo.

### **Revisión de normatividad**

Se revisaron los artículos y leyes que se relacionan con el uso del agua, su almacenamiento y distribución, aplicables en el municipio, así como de índole estatal y nacional.

### **Delimitación y caracterización del área de actuación**

Se hizo la selección de los espacios que podían ser aplicados como zona de estudio y se evaluaron de acuerdo a sus características para definir que espacios son más propicias para la intervención.

### **Análisis de capacidad de captación**

Se recabó información del sitio seleccionado y se hizo un análisis de la capacidad máxima de captación de acuerdo a sus características actuales.

### **Diseño y características de prototipo**

A partir de la información obtenida en los puntos anteriores, se hizo la definición de prototipo que responde a las necesidades y características de la zona de estudio.



## Prototipo, análisis de factibilidades

Teniendo la definición del prototipo, se hizo la integración del análisis de la factibilidad de implementación de un prototipo en la zona de estudio, así como la replicabilidad del mismo.

### 1.7 Alcances y limitaciones

La presente investigación busca diseñar un prototipo de un sistema captación y aprovechamiento del agua de lluvia en un espacio público de la ciudad de Colima, que pueda ser reproducible en más espacios con características similares, a través de un proceso de investigación estructurado (documental, de campo y experimental) de tal manera que permita conocer la condiciones normativas, estado del arte, características tipológicas de los espacios públicos, y el diseño un sistema de captación y almacenamiento de la misma, para su posterior implementación.

Dentro de las limitaciones se encuentran las siguientes: el Estado de Colima cuenta con pocas estaciones hidrometeorológicas operadas por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) con un histórico de datos de más de 30 años, recordando, que la precipitación es variable en tiempo y espacio.

La calidad del agua de lluvia que se obtenga no será evaluada ya que no se tienen la capacidad técnica para realizarla y que para los fines de esta investigación resulta irrelevante.







## 2. MARCO TEÓRICO



## 2.1 Marco histórico

### 2.1.1 Captación de agua de lluvia.

La captación de agua de lluvia no es un invento moderno, como lo muestran Ballén, Galarza y Ortiz (2006), León, Córdoba y Carreño (2016), Hugues (2019), Gould y Nissen–Petersen (1999), Anaya (2009) y Jiménez (2018) en sus respectivas investigaciones, argumentan que se utilizaban desde hace ya varios miles de años por nuestros antepasados en varias partes del mundo. A continuación, en este apartado se mencionan algunas formas diferentes de captación y almacenamiento del agua de lluvia en un determinado tiempo histórico.

En los orígenes del ser humano el agua superficial era la principal fuente de abastecimiento para su sobrevivencia, por lo que en los valles de los ríos fueron los lugares donde se establecieron las primeras civilizaciones, desarrollándose la agricultura, la pesca y posteriormente la ganadería. Estas actividades no dependían directamente del agua de lluvia debido a la abundancia de las aguas superficiales; una vez transcurrido el tiempo y la inminente expansión demográfica, la demanda de alimentos y agua comenzó a incrementarse, ocasionando la búsqueda de nuevos lugares, muchos migrando a zonas más áridas y con ello desarrollar técnicas de captación de lluvias para consumo y riego de cultivos (Ballén *et al.*, 2006).

En los siglos III y IV a.C. durante la República Romana, en la ciudad de Roma ya se utilizaba la captación del agua de lluvia en las viviendas unifamiliares llamadas “*la Domus*” que contenía un espacio a cielo abierto “*atrio*” y en él se instalaba un estanque central “*impluvium*” para captar la lluvia. Además de estas viviendas, los romanos aprovechaban el agua de lluvia en otras construcciones como en la Basílica de Constantinopla con una cisterna de 80,000m<sup>3</sup> (Ballén *et al.*, 2006).



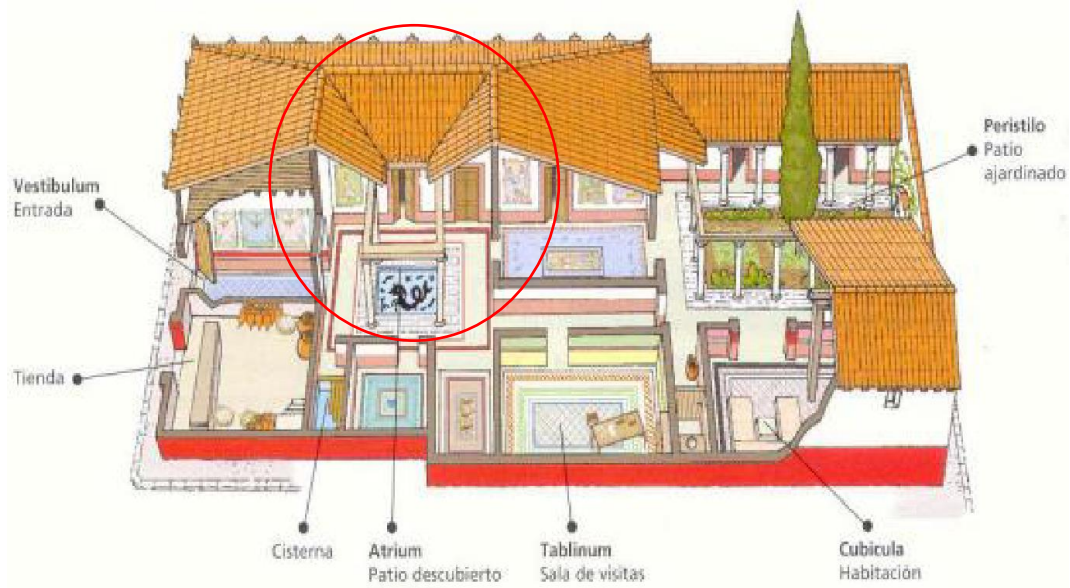


Imagen 2. Casa Romana "La Domus".

Para los años 1710 a.C. en palacios europeos como el de Knossos en Creta (Grecia) y la Alhambra en Granada (España), contenían sistemas sofisticados de captación de agua, utilizando los techos y cisternas, fuentes y albercas para su almacenamiento. Dentro de la Edad Media en la ciudad de Venecia fueron construidos más de 6700 cisternas subterráneas filtrantes para el abasto del agua (Gnadlinger, 2015).

En Asia también fueron utilizados estos sistemas; en la provincia de Gansu, China se encontraron pozos y jarras para la captación de agua de lluvia de hace más de 2,000 años. Además, en el país Irán se desarrolló el "Abanbar", el cual es un sistema tradicional comunitario para la captación y almacenamiento (Gnadlinger, 2015).

En México y Mesoamérica de acuerdo con la Comisión Nacional del Agua (2009) diversas culturas prehispánicas implementaron la captación del agua de lluvia para uso agrícola y consumo humano. Se captaba el agua mediante canales

y zanjas aprovechando el agua rodada, ya sea de manera subterránea o a cielo abierto en patios, casas, en el campo, jagüeyes, bordos, entre otros.

Dentro de los hallazgos arqueológicos más importantes registrados de almacenamientos subterráneos para la captación de agua de lluvia en las culturas prehispánicas fueron en San José Mogote (1000 a.C.), Tierras Largas (1000-900 a.C.), Oaxaca, y miles de chultunes o cisternas mayas en la península de Yucatán; y de los depósitos a cielo abierto destacan los jagüeyes: bordos elaborados con tierra o recubrimiento de piedra (CONAGUA, 2009).

También dentro del México prehispánico, entre los años 650-900 d.C. en la zona arqueológica de Xocicalco, Morelos existe la evidencia de la utilización de la plaza central y los patios para canalizar el agua de lluvia hacia las cisternas y almacenarla (Garrido, 2008).

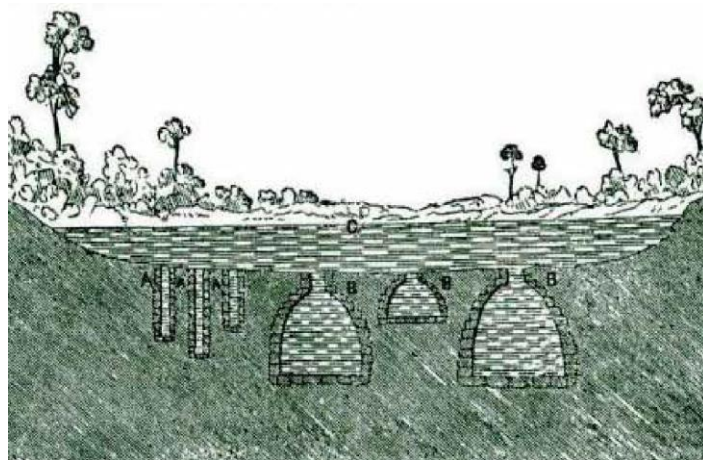


Imagen 3. Esquema de un chultún del pueblo maya del siglo X a.C.

Miles de años después el uso de los sistemas de aprovechamiento de aguas de lluvias se fue quedando obsoleto con la invención e imposición de métodos y obras para utilizar nuevas fuentes de abastecimiento de agua como presas, acueductos, pozos de extracción y sistemas de irrigación. Sin embargo, existe el registro de que a mediados del siglo XX en ciudades como Guanajuato, Zacatecas o Mérida frente a la limitada oferta de agua los habitantes adecuaron las azoteas de

sus casas para captar y conducir el agua de lluvia a diferentes tipos de depósitos (barriles, pilas, aljibes, ollas) (Ballén et al., 2006; CONAGUA, 2009).

### 2.1.2 Abastecimiento de agua en la ciudad de Colima.

Muchas ciudades del mundo fueron fundadas en las cercanías de fuentes de abastecimiento de agua como sucedió en la ciudad de Colima, que se formó cerca del Río Colima, el cual abasteció por cientos de años a la propia ciudad desde las civilizaciones prehispánicas hasta los años 1990.

De acuerdo con Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH, 2020), el Estado de Colima cuenta con 2 zonas arqueológicas: La Campana y El Chanal. La Campana tiene su origen entre los años 100 a.C. y el asentamiento se localiza entre 2 cuerpos de agua principales el Río Colima y el arroyo Pereira, favoreciendo el florecimiento de esta civilización. A pesar de ello, se tiene información de que contaban con un sistema de drenaje para colección de aguas pluviales. El Chanal tiene una gran cantidad de representaciones de Tláloc el Dios de la lluvia, al igual que La Campana. El asentamiento se encuentra a un costado del Río Colima, el cual abastecía de agua a los habitantes. Sin embargo, no se han encontrado evidencias de la existencia de sistema de captación.

Con la llegada de los españoles se tiene registro que Colima se abastecía de agua de diversos pozos de agua y por medio de aguadores que eran quienes vendían el agua, posteriormente se tuvo el servicio de agua potable entubada del cuál se abastecía del Río Colima. En los años de 1950 se iniciaron con la perforación de pozos profundos. Actualmente el sistema de abastecimiento de agua potable para la zona conurbada de Colima y Villa de Álvarez se obtiene de la captación del manantial Zacualpan y de la extracción de una serie de pozos ubicados dentro de la zona urbana de la conurbación (Comisión Intermunicipal de Agua Potable y Alcantarillo de los Municipios de Colima y Villa de Álvarez (CIAPACOV), 2012).





### ***Captación de agua de lluvia en localidades del Estado de Colima.***

Se tiene el registro de que en las zonas rurales de todos los municipios del Estado de Colima se ha implementado la captación de agua de lluvia mediante bordos o coloquialmente conocidos como “ollas”, el uso principal del agua es para la agricultura y el ganado. También, existen cisternas comunitarias y techos captadores en algunas localidades de la zona norte del estado, donde el abastecimiento de agua por fuentes superficiales o subterráneas es insuficiente o inaccesible, para dotar a la población de agua potable. Y por mencionar algunas comunidades: “El terrero” y “San Antonio”, ubicados en el municipio de Minatitlán; “Agosto” en Comala; “Agua Dulce” y “La Lima” en Villa de Álvarez; y, en Cuahtémoc, la comunidad de “Montitlán.



Imagen 4. Bordo en la región de Cerro del Toro en Manzanillo. Fuente: <https://www.colimanoticias.com/entregan-ayuntamiento-y-sagarpa-ollas-de-aqua-en-la-central/>



Imagen 5. Cisterna para captación de agua de lluvia en la comunidad del Terrero, Comala. Fuente: <https://www.afmedios.com/blog/2016/04/15/instalan-geocisternas-para-captacion-de-aqua-pluvial-en-el-terrero/>

## 2.2 Marco conceptual

### 2.2.1 Distribución de la precipitación en México.

Para comenzar a hablar de la precipitación es necesario conocer el ciclo hidrológico, el cuál es el concepto fundamental de la hidrología y como cualquier ciclo no tiene principio ni fin. Es la transformación de los distintos estados físicos del agua, debido al constante movimiento y a la interacción de las condiciones naturales como la radiación solar, el viento, la presión atmosférica, la vegetación, entre otros. Entre sus principales componentes tenemos la evaporación, precipitación, infiltración, escurrimientos y flujo subterráneo. El ciclo hidrológico es un sistema automático y autónomo, por lo que no necesita de ninguna ayuda del ser humano para su operación. Se debe respetar y adaptarse a este ciclo natural para lograr la sustentabilidad (Aparicio, 1992), (Gleason, 2014).

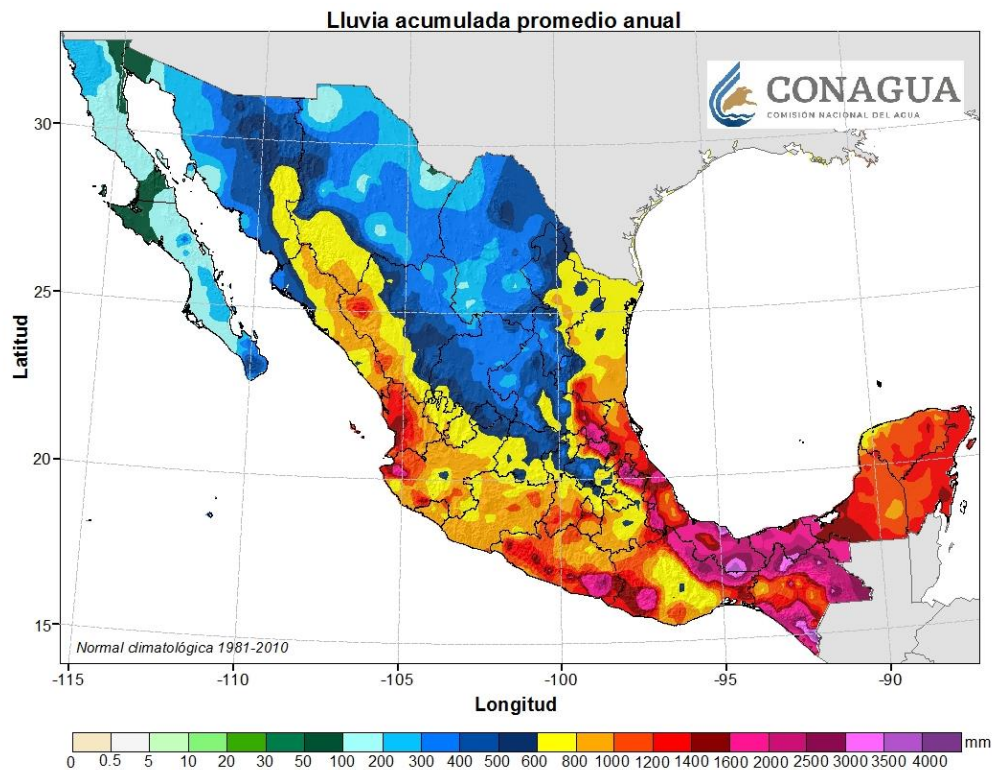


Imagen 6. El mapa muestra la lluvia acumulada promedio anual histórica de la República Mexicana entre los años de 1981 y 2010. Los colores representan una cantidad de agua en mm precipitada. Fuente: <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatol>



García (2003) afirma que la distribución geográfica de las lluvias en México tiene una estrecha relación con la orografía del país y con la circulación atmosférica. Las partes que están rodeadas o cerca de las montañas aumentan la cantidad de lluvia, debido a que se presentan lluvias de tipo orográficas que por su composición los vientos húmedos son obstruidos por esa barrera de cordilleras, provocando que el aire ascienda, se enfríe, luego se condense, crea nubes y precipita.

La temporada de lluvias en la mayor parte de la República Mexicana se presenta en verano, entre los meses de mayo a octubre, exceptuado una parte del noroeste que predomina las lluvias en invierno.

Tabla 1. Precipitación histórica nacional.

**Precipitación (milímetros)**

Estado	2000	2005	2010	2015	2018	Estado	2000	2005	2010	2015	2018
Tabasco	2,413	2,406	2,407	2,410	2,390	Tamaulipas	766	767	775	780	777
Chiapas	1,961	1,969	1,995	2,000	1,991	Sinaloa	793	770	763	767	768
Veracruz	1,475	1,492	1,500	1,508	1,511	Ciudad de México	721	719	723	717	714
Oaxaca	1,519	1,519	1,515	1,497	1,486	Tlaxcala	711	705	708	715	715
Puebla	1,261	1,271	1,275	1,277	1,277	Guanajuato	592	605	615	617	621
Quintana Roo	1,249	1,263	1,259	1,276	1,276	Nuevo León	589	602	614	614	613
Campeche	1,138	1,169	1,185	1,196	1,201	Querétaro	555	558	562	568	571
Guerrero	1,110	1,105	1,116	1,117	1,116	Zacatecas	516	518	513	517	517
Yucatán	1,108	1,091	1,079	1,080	1,077	Durango	509	499	502	499	499
Nayarit	1,062	1,069	1,086	1,095	1,102	Aguascalientes	448	456	464	471	477
San Luis Potosí	960	946	959	953	941	Chihuahua	423	423	430	434	436
<b>Colima</b>	<b>890</b>	<b>883</b>	<b>893</b>	<b>942</b>	<b>966</b>	Sonora	428	422	422	425	427
Morelos	876	884	891	917	955	Coahuila	316	327	335	338	342
Estado de México	893	877	868	862	866	Baja California	203	204	202	200	199
Jalisco	824	821	823	827	833	Baja California Sur	176	176	178	183	183
Michoacán	803	807	812	816	819	<b>Nacional</b>	<b>772</b>	<b>774</b>	<b>779</b>	<b>781</b>	<b>781</b>
Hidalgo	814	802	804	798	792						

Fuente: Adaptación de

[http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/ibi\\_apps/WFServlet?IBIF\\_ex=D3\\_AGUA01\\_01&IBIC\\_user=dgeia\\_mce&IBIC\\_pass=dgeia\\_mce&NOMBREENTIDAD=\\*&NOMBREANIO=\\*, 2021](http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/ibi_apps/WFServlet?IBIF_ex=D3_AGUA01_01&IBIC_user=dgeia_mce&IBIC_pass=dgeia_mce&NOMBREENTIDAD=*&NOMBREANIO=*, 2021)





En la tabla 1, se observa que el Estado de Colima se encuentra en la posición 12 de los estados con mayor precipitación media anual, que ronda 900 mm anuales de lluvia por encima de la media nacional.

### 2.2.1.1 Agua finita.

De acuerdo con la declaración de Dublín (1992) sobre el agua y desarrollo sostenible en el principio rector no. 1 se menciona: “El agua dulce es un recurso finito y vulnerable, esencial para sostener la vida, el desarrollo y el medio ambiente”.

Fernández (2012) menciona que cada año aproximadamente se evaporan 505.000 km<sup>3</sup> de agua de los océanos y que la mayor parte no puede ser utilizada como recurso de agua dulce, debido a que se precipita nuevamente sobre los mismos océanos. La precipitación anual sobre tierra firme se estima en 120.000 km<sup>3</sup>, sin embargo, la precipitación es variable en tiempo y espacio, es decir no llueve constantemente la misma cantidad todo el año ni en toda la Tierra.

Un dato interesante es que sólo el 2.53% del total de agua en el planeta es dulce, el resto es salada. Porcentualmente, el reparto del total de agua dulce es el siguiente: Europa cuenta con el 7%; Oceanía, 6%; América del Sur, 28%; Asia, 32%; África, 9%; y América del Norte, 18%. (Molinares y Echeverría, 2011).

Otro factor que influye o altera el ciclo hidrológico son los impactos antropogénicos. Nosotros los seres humanos tomamos el agua de las fuentes naturales en condiciones mejores a las que habitualmente la retornamos; esto provoca que cada vez el agua dulce aprovechable sea menor o en su defecto más costosa potabilizarla (Fernández, 2012).

### 2.2.1.2 Agua de lluvia.

De acuerdo con Gleason Espíndola (2014) el agua de lluvia es la precipitación de forma líquida proveniente de las nubes antes de tener contacto con la superficie de la Tierra; por lo tanto, ésta no tiene contaminantes químicos ni tóxico, no ha sufrido de una contaminación severa.



### 2.2.1.3 Agua pluvial.

Es el agua de lluvia que entra en contacto con la superficie terrestre y por lo tanto sufre de un grado de contaminación mayor, ya que por donde circula se mezcla con diferentes productos químicos y otros agentes que alteran su pureza (Gleason Espíndola, 2014).

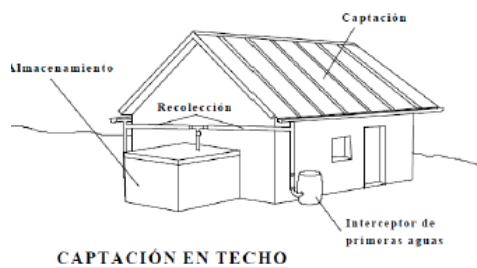
## 2.2.2 Sistema de captación de agua de lluvia.

### 2.2.2.1 Definición.

También se conoce como sistema de cosecha de agua; y se define como “Un sistema hidráulico para la recolección y uso del agua de lluvia, consiste en una cisterna(s), tuberías, accesorios, bombas y otros accesorios de fontanería requeridos para la captación y distribución del agua de lluvia” (ARCSA, 2013). En otras palabras, tiene como propósito captar el agua de lluvia, conducirla, almacenarla y aprovecharla como fuente alterna de agua potable.

La captación del agua de lluvia puede ser definida también como la recolección de los escurrimientos superficiales para su uso productivo (FAO ,2000).

### 2.2.2.2 Elementos del sistema de captación de agua de lluvia.



*Imagen 7. Sistema de captación habitacional.*

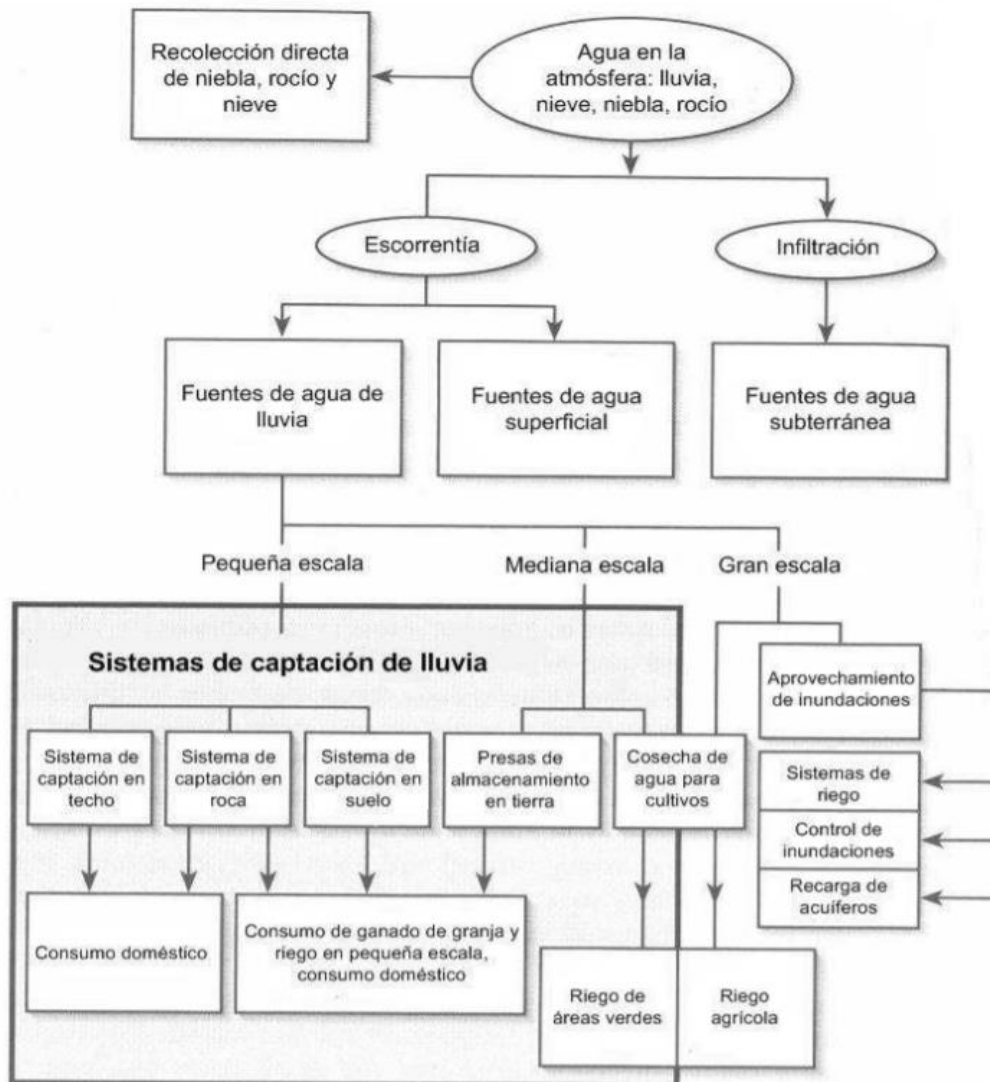
El sistema de captación de agua de lluvia está compuesto de los siguientes elementos: captación, recolección y conducción, interceptor, y almacenamiento.

### 2.2.2.3 Tipos de sistemas captación de agua de lluvia.

Existe conocimiento sobre una gran variedad de técnicas relacionadas con sistemas de captación y aprovechamiento de agua de lluvia. Dichas técnicas se

pueden clasificar con base en sus diferentes fuentes, tipo de escorrentía, técnicas de manipulación, tipo de almacenamiento y a los diferentes usos que se le da al recurso (FAO, 2000). A continuación, se muestran dos clasificaciones:


a) *Gould y Nissen-Petersen (1999), clasifican la clasifican según en la forma que se capta*



b) Herrera (2010), clasifica los distintos tipos de captación de agua de lluvia dependiendo a la forma que se capta y el uso que se da.

Consumo humano y doméstico			
Tipo de sistema	Descripción	Ventajas	Desventajas
<b>Sistema SCALL en techo</b> 	Captación a través de los techos, recolección y conducción en canaletas, tratamiento a través de filtros, almacenamiento en cisternas de diferentes materiales y formas, sistema de distribución por bombeo si es posible.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Se minimiza la contaminación del agua.</li> <li>- Alta calidad fisicoquímica del agua.</li> <li>- Sistema independiente, ideal para comunidades dispersas y alejadas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Costos iniciales elevados para familias de escasos recursos económicos.</li> <li>- Cantidad de agua captada depende de la precipitación del lugar y del área de captación.</li> </ul>
<b>Captación de agua en niebla</b> 	Captación a través de capta nieblas, recolección y conducción en canaleta y manguera respectivamente, almacenamiento en pequeños depósitos (Garrafones).	<ul style="list-style-type: none"> <li>- No requiere de energía para la operación del sistema (a menos que tenga bomba).</li> <li>- Mantenimiento sencillo.</li> <li>- Comodidad y ahorro de tiempo en la recolección del agua.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- En el sistema con cisternas normalmente es necesario el uso de bombas el cual aumenta los costos.</li> </ul>

Riego, abrevaderos y disminución de la erosión del suelo			
Tipo de sistema	Descripción	Ventajas	Desventajas
<b>Bordos, represas, atajados, ollas de agua, lagunas artificiales o jagüeyes.</b> 	Captación en pequeños embalses a través de los escurrimientos naturales bajo el concepto de micro captación, no se requiere un tratamiento especial de filtración y si se requiere se distribuye a través de canales.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aumenta la producción agrícola.</li> <li>- Previenen la erosión del suelo.</li> <li>- Regular los caudales.</li> <li>- Aumenta las posibilidades de crecimiento vegetal y animal.</li> <li>- Aumentan la retención de humedad del suelo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cantidad de agua captada depende de la precipitación del lugar y del área de captación.</li> <li>- Requieren de áreas más grandes de captación</li> </ul>
<b>Surcos, hondonadas o cajetes</b> 	Este método sirve aprovecha el agua de lluvia y se almacena directamente en el cultivo o plantación requerida.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- En temporadas de lluvia no requiere el riego constante.</li> <li>- Aumentan la retención de humedad del suelo.</li> <li>- Bajo costo de implementación.</li> <li>- Fácil y rápido su construcción</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Requieren mantenimiento constante por asolvamiento.</li> <li>- Cantidad de agua captada depende de la precipitación del lugar y del área de captación.</li> </ul>

Infiltración de forma artificial del agua al acuífero			
Tipo de sistema	Descripción	Ventajas	Desventajas
<b>Jardín de lluvia</b> 	<p>Depresión ajardinada poco profunda que incorpora muchos mecanismos de eliminación de contaminantes, incluida la escorrentía temporal de aguas</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Protegen los sistemas naturales y mejoran el ciclo del agua en entornos urbanos.</li> </ul>	
<b>Pavimentos o superficies permeables</b> 	<p>Es un tipo de concreto o superficie que permite la filtración de agua pluvial hacia estratos inferiores del subsuelo.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Integran el tratamiento de las aguas de las aguas lluvia en el paisaje maximiza el servicio al ciudadano mejorando el paisaje con la integración de cursos y/o láminas de agua en el entorno.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cantidad de agua captada depende de la precipitación del lugar y del área de captación.</li> </ul>
<b>Humedales artificiales</b> 	<p>Zonas planas que están temporal o permanentemente inundadas, en ellas se desarrollan diferentes tipos de seres vivos desarrollando determinados procesos físicos y químicos capaces de "limpiar" el agua contaminada.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Minimizan el costo de las infraestructuras de drenaje al mismo tiempo que aumente el valor del entorno.</li> <li>- Mantienen el equilibrio hídrico en zonas ecológicas y zonas de conservación.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Elevados costos de inversión y excavación según el caso.</li> <li>- Requieren de áreas más grandes de captación.</li> </ul>
<b>Drenes o franjas filtrantes</b> 	<p>Captación en franjas que permiten filtrar el agua, su recolección y conducción es a través de cunetas o escurrimientos naturales, y la filtración es natural a través de las capas del suelo.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Restauran la sobreexplotación de acuíferos en un mediano y largo plazo.</li> <li>- Tratamiento primario de depuración antes de ser inyectado al subsuelo.</li> <li>- Controlan de alguna manera las inundaciones provocadas por la presencia de gastos extraordinarios.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Necesario el mantenimiento constante de las áreas.</li> <li>- Mayor exposición a contaminación al tener contacto con otras superficies.</li> </ul>
<b>Pozos de absorción o de infiltración</b> 	<p>Captación en pozos perforados para su infiltración, recolección y conducción a través de pavimentos, cunetas o escurrimientos naturales, filtración primaria a través de grava graduada antes de la infiltración al subsuelo y al acuífero.</p>		





### 2.2.3 Diseño urbano sensible al agua (DUSA).

El diseño urbano sensible al agua (DUSA) (por sus siglas en inglés WSUD Water Sensitive Urban Design), es un enfoque del ciclo urbano del agua que incorpora el suministro de agua, la gestión de aguas pluviales, la gestión de aguas subterráneas, las aguas residuales y el diseño urbano de una forma que contribuye a la protección del medio ambiente (Gluckman, 2017).

El DUSA se generó en Australia, un país que ha históricamente sufrido de importantes periodos de escasez de líquido, así como de otros que implican un exceso desmedido de lluvia. Caracterizado por ser un continente más bien desértico, ha sido necesario encontrar elementos que faciliten la gestión y distribución del agua de tal manera que esto garantice la supervivencia de sus ciudades. Los principios que integran este esquema de diseño son:

*Protección.* El objetivo principal es proteger y mejorar los sistemas naturales de agua dentro de los desarrollos urbanos. Promoción y protección de los arroyos naturales como activos que puedan funcionar de manera más eficaz y que sean compatibles con los ecosistemas que dependen de ellos.

*Integración.* Esto se refiere a una incorporación del tratamiento de aguas pluviales y la utilización de aguas en el paisaje urbano, mediante corredores de usos múltiples para lograr una mejora en la calidad visual y recreativa. El sistema de drenaje pluvial puede ser utilizado por sus cualidades estéticas, los ejemplos pueden ser parques y senderos para caminar o simplemente podríamos hacer uso de la topografía del terreno, como las líneas quebradas y líneas de encharcamiento.

*Calidad de agua.* En este aspecto se menciona la mejora en la calidad del agua que se drena desde los desarrollos urbanos al medio receptor, esto a través de la filtración y retención de agua que puede ser tratada para eliminar los contaminantes cerca de su fuente. Este enfoque reduce el efecto que el agua contaminada puede tener sobre el medio ambiente y apoya en la protección de los arroyos naturales.



*Reducción de la escorrentía y los caudales máximos (caudales pico).* Reducir los caudales pico de las áreas urbanas por medio de las estrategias de retención local permite el uso eficiente del suelo para la mitigación de las inundaciones mediante la implementación de numerosos puntos de almacenamiento en contraste con la práctica actual de la utilización de grandes represas, por ende, este enfoque reduce la demanda de infraestructura para controlar aguas debajo de la cuenca y hace eficiente el drenaje urbano durante la época de lluvias.

*Ascender el valor mientras se minimizan los costos.* Se pretende disminuir el costo de la infraestructura de drenaje urbano, pues así habrá una reducción de los caudales máximos de la escorrentía y caudales pico, de esta forma podrán minimizarse los costos del desarrollo para el drenaje, mientras las características naturales como ríos y lagos agregarán un mayor valor a las zonas urbanas (Gleason, 2014).

#### **2.2.4 Espacio público abierto.**

Un concepto que se utilizará mucho en la descripción de este documento será espacio público; Perahia (2007) lo describe como aquel que da identidad y carácter a una ciudad, que además conserva la memoria de sus habitantes en sus espacios, debido a que pasan los años, hay tanta historia y anécdotas por cada uno de los usuarios. En muchas ciudades estos espacios son puntos importantes y referenciales para la sociedad, donde los usuarios más frecuentes se apropian de ellos.

De acuerdo con la clasificación de los espacios públicos de la Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL, 2007), se tienen calles y andadores peatonales, centros de ciudad o centros cívicos, plazas o alamedas, camellones, parques y áreas verdes (jardines), parques lineales, bosques urbanos, espacios deportivos y culturales, y por último los centros de barrio. Los parques y áreas verdes (jardines) se definen como espacios verdes que funcionan como extensiones recreativas de la vivienda, sobre todo del tipo multifamiliar. Contribuyen a la vitalidad de la ciudad,



son elementos refrescantes ya que rompen con la monotonía visual de las construcciones y edificios al ofrecer un contraste en el escenario urbano.

El Reglamento de Zonificación del Municipio de Colima (2019) concibe al espacio público abierto como: aquellas áreas con acceso al público para ser utilizadas como tales, por lo que no debe edificarse en ellas más que las instalaciones mínimas necesarias; y, por su actividad y radio de influencia se clasifican de la siguiente forma: a). Parque urbano: vecinal, de barrio, y distrital o de subcentro; b). Otros espacios abiertos: jardín y plazoleta. No se consideran como espacios abiertos las áreas ajardinadas propias de la vialidad como camellones, glorietas y jardines en banquetas.

#### **2.2.4.1 Áreas verdes de los espacios públicos.**

Yáñez (2013) define a las áreas verdes como un tipo de espacio público, las cuales presentan un sentido genérico de vegetación arbórea, arbustiva y/o nativa, lugares para esparcimiento y circulación.

De acuerdo con CONAMA (Comisión Nacional del Medio Ambiente) (2002) citado en Martínez (2004) se consideran como “áreas verdes” a los espacios urbanos, o alrededor a éstos, en los cuales predomina la presencia de árboles, arbustos o plantas, que pueden tener diferentes usos; como el de esparcimiento, recreación, protección, recuperación y/o rehabilitación del entorno.

Las áreas verdes contribuyen a la mejora de las condiciones ambientales mediante el aumento de la calidad del aire, la reducción del efecto invernadero y la captura de carbono. Los árboles y la vegetación atrapan el aire contaminado producido de los vehículos e industrias. De la misma manera, los árboles pueden influir en el grado de radiación solar, el movimiento y temperatura del aire, la humedad y proporcionan protección frente a lluvias intensas. Por ello, la vegetación en zonas urbanas densamente pobladas puede reducir el efecto de isla de calor producido por la concentración de los pavimentos y el concreto (ONU HABITAT III, 2016).







## 2.2.5 Espacio público y el desarrollo sostenible.

El espacio público es pieza fundamental para la sostenibilidad del medio ambiente. Los espacios públicos bien planeados y diseñados desempeñan un papel fundamental en las estrategias de mitigación y adaptación al cambio climático. Los espacios abiertos verdes pueden reducir las emisiones de carbono a la atmósfera mediante la absorción de carbono, además, pueden actuar como sistema de drenaje sostenible, moderador de temperatura solar, fuente de corredores de refrigeración, refugio y hábitat de vida silvestre. A nivel mundial muchos gobiernos municipales están apostando por crear lugares públicos social y culturalmente inclusivos y promover reverdecimiento de la ciudad. Existen estudios que demuestran que la interacción con la naturaleza, a través del espacio público verde, se ha asociado con la salud general y mental de las personas (ONU HABITAT III, 2016).

La Organización Mundial de la Salud (2018) recomienda un mínimo de 16 metros cuadrados de espacio verde por habitante y que todos los residentes vivan a 15 minutos a pie de la zona verde para garantizar su bienestar. Otros estudios sugieren que los servicios de los ecosistemas urbanos como la reducción de la contaminación del aire y refrigeración urbana tienen múltiples beneficios para la salud a largo plazo (ONU HABITAT III, 2016).

Hay cada vez más atención al espacio público y se puede observar que dentro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible 2016-2030 (ODS) de la ONU se ha propuesto un undécimo objetivo: “Construir ciudades y asentamientos humanos incluyentes, seguros, resilientes y sostenibles”. Una de las metas propuestas establecidas es que para el 2030 se “proporcionará acceso universal a espacios seguros, inclusivos y accesibles, verdes y públicos, especialmente para las mujeres y los niños, los ancianos y las personas con discapacidad” (ONU HABITAT III, 2016).

Dentro de los ODS también se encuentra el tema de agua de lluvia, el cual se relaciona con el objetivo 6 en el cual se establece que se debe garantizar la



disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos. Las metas del objetivo 6 que están relacionadas con el agua de lluvia son: lograr el acceso universal y equitativo al agua potable a todos habitantes, aumentar el uso eficiente de los recursos hídricos, implementar la gestión integral de los recursos hídricos, ampliar la cooperación internacional y el apoyo prestado a los países en desarrollo para la creación de programas como los de captación de agua; si bien no se menciona literalmente la captación de agua de lluvia, es una solución alternativa para lograr los objetivos.



Imagen 8. Objetivos de las Naciones Unidas para el desarrollo sostenible 2015-2030. Fuente: (Naciones Unidas, 2017).

Es importante señalar que no es únicamente el objetivo 6 el cual se relaciona al agua de lluvia, sino que también indirectamente los objetivos 3, 8, 9, 10, 11, 12, 13 y 15. Dos de las metas de los Objetivos de Desarrollo del Milenio están estrechamente relacionadas con el agua y las ciudades. La meta 7c de los ODM insta a la reducción a la mitad del número de personas sin acceso sostenible a agua potable y a un saneamiento saludables. La meta 7d de los ODM articula los compromisos de los países miembros de Naciones Unidas a mejorar significativamente la vida de al menos 100 millones de habitantes de tugurios para el año 2010.

### 2.2.6 Resiliencia urbana.

La Organización Panamericana de la Salud (OPS) (2006) afirma que el número de personas que demandan el acceso al servicio de agua potable en situaciones de desastre es mucho mayor que los muertos, heridos, albergados o población que necesita atención médica. Las condiciones como la inequidad, pobreza extrema, crecimiento urbano acelerado y no planificado y el cambio climático del escenario global actual han propiciado el aumento del riesgo ante las amenazas naturales como deslizamientos, lluvias intensas, huracanes, sequías, incendios y terremotos; esto conlleva al incremento de la vulnerabilidad de la infraestructura y servicios básicos de las comunidades. Por estos motivos, los servicios de agua y saneamiento ameritan ser considerados como infraestructura crítica y una prioridad para la reducción del riesgo de desastres.

De acuerdo con la OPS (2006) cada año, más de 200 millones de personas son afectadas por sequías, inundaciones, tormentas tropicales, terremotos, incendios forestales y otras amenazas. Los últimos años nos han demostrado que las amenazas naturales pueden afectar a cualquiera y en cualquier lugar. El Estado de Colima cuenta con una serie constante de amenazas naturales como terremotos, huracanes, tormentas severas y erupciones volcánicas las cuales generan problemáticas en los sistemas de agua potables. Dentro de las últimas perturbaciones de mayor impacto que han atacado a la ciudad de Colima, están el sismo del 2003 y los huracanes Jova en el año 2011 y Patricia en el 2015.

Dentro de las principales problemáticas observadas tras los terremotos en 1985 en la Ciudad de México, Colima 2003, Oaxaca 2017, Hidalgo 2017, se encontró la falta de abastecimiento de agua potable, electricidad, gas doméstico y red telefónica, así como fallas en el funcionamiento de los servicios de recolección de basura. La situación habitacional y la distribución de la red de agua potable tendió a la normalización un mes después de los sismos (Rodríguez, Escamilla, García y López, 2018).



Por lo anterior la resiliencia de los sistemas ante la ocurrencia de desastres naturales es un paso importante para asegurar que los logros alcanzados en el incremento del acceso a los servicios de agua y saneamiento se consoliden en el largo plazo (OPS, 2006).

La resiliencia se ha empleado en diferentes disciplinas, como la capacidad de un sistema para responder, adaptarse y recuperarse de un desastre o en otras palabras mantener y recuperar el estado de equilibrio ante las perturbaciones naturales y humanas. (Gobierno municipal de Colima, 2019). En este mismo ámbito la Gobierno municipal de Colima (2019) se refiere a la resiliencia urbana como: “la capacidad de las personas, comunidades, instituciones y empresas que se encuentran dentro de una ciudad para sobrevivir, adaptarse y crecer, independientemente de los impactos agudos o las tensiones crónicas que experimenten”. Esta definición de resiliencia no solo toma en cuenta los eventos puntuales (impactos) como los terremotos, inundaciones o brotes de enfermedades, sino también las condiciones que atenúan la estructura de la ciudad (tensiones) de manera continua o cíclica, como la inseguridad, el desempleo e inequidad social, la contaminación atmosférica, la escasez de agua y otros recursos.



## 2.3 Marco referencial

Actualmente se piensa en los sistemas de captación y aprovechamiento de agua de lluvia como una fuente alternativa de abastecimiento cuando no existe red de agua potable, el suministro es deficiente o el agua tiene un elevado costo para su acceso. A continuación, se presentará la situación mundial actual en cuestión de captación de agua de lluvia.

### 2.3.1 Internacional.

#### a) *Captación en espacios públicos*

##### *Jardines pluviales en la ciudad de Melbourne, Australia.*

Un ejemplo de jardines pluviales es la reconstrucción de la Avenida Alleyne como una calle con una secuencia de jardines pluviales que corren paralelos a la misma con el objetivo de resolver el problema de las escorrentías en una zona suburbana. Para este efecto, el ancho de la calle se redujo de 7 a 5 metros, dando cabida a los jardines y a una serie de espacios de estacionamiento que se van alternando a lo largo de la vialidad. El exceso de agua pluvial es dirigido, a través de pendientes, hacia estos espacios verdes que se encargan de filtrar y conducir el agua pluvial hacia un depósito (Perló, 2013).



Imagen 9. Ejemplo de un jardín de lluvia en la ciudad de Melbourne. Fuente: [http://www.agua.unam.mx/jornadas2013/assets/resultados/08\\_conflictos/perlo\\_manuel.pdf](http://www.agua.unam.mx/jornadas2013/assets/resultados/08_conflictos/perlo_manuel.pdf)

### Plazas-Cisterna en Venecia, Italia.

La ciudad de Venecia, edificada en el centro de una laguna salada del mismo nombre, se consolidó a través de rellenos artificiales sobre una serie de islotes. Debido a que el acceso al agua dulce resultaba muy complicado, se planteó una metrópoli pétreo, capaz de hacer resbalar sobre su superficie cada gota de agua que cayera del cielo para después almacenarlas en una serie de cisternas subterráneas. Cada espacio público de la ciudad habla de este hecho. En el centro de todos ellos se ubica la boca de pozo, adornada de distintas formas, a través de la cual los vecinos podían acceder al agua recolectada bajo la superficie, a través de los techos y las plazas. Aunque la cantidad de líquido disponible siempre fue escasa, el diseño empleado para utilizar a la lluvia como única fuente de agua potable es totalmente pertinente el día de hoy (Perló, 2013).

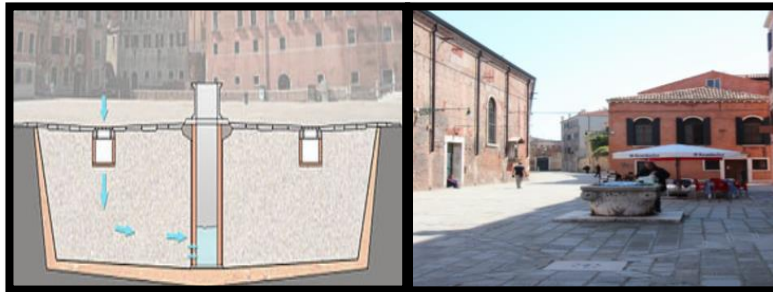


Imagen 10. Ejemplo de una plaza que capta el agua de lluvia, cisterna de almacenamiento y pozo, en la ciudad de Venecia. Fuente: [http://www.agua.unam.mx/jornadas2013/assets/resultados/08\\_conflictos/perlomanuel.pdf](http://www.agua.unam.mx/jornadas2013/assets/resultados/08_conflictos/perlomanuel.pdf)

### Parque de jardines flotantes Xiang'he, China.

Otra intervención en el espacio público se hizo en la ciudad de Xiang'he, China llamado el parque de los jardines flotantes, que convierte unas antiguas minas de arcilla en un parque de agua. Uno de los impactos positivos es que el sistema de gestión del agua de la zona residencial contigua está conectado con el parque dotándole del agua purificada y filtrada. Dos terceras partes del parque serán embalses o zonas de infiltración del agua. Durante las temporadas de lluvias las balsas ofrecen gran capacidad de almacenaje, el movimiento del agua produce energía a través de saltos de agua (Perló, 2013).



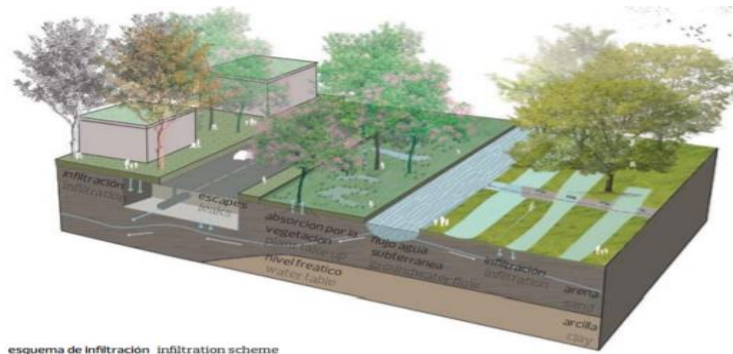


Imagen 11. Corte de una parte del jardín flotante en Xiang'he, China.  
Fuente: [https://25z50njg6e94f2let2ipiwq-wpengine.netdna-ssl.com/wp-content/uploads/2014/05/2013\\_OKRA\\_Paisea-024\\_Xianghe\\_OKRA.pdf](https://25z50njg6e94f2let2ipiwq-wpengine.netdna-ssl.com/wp-content/uploads/2014/05/2013_OKRA_Paisea-024_Xianghe_OKRA.pdf)

### Parque Houtan en Shangai, China.

El parque Houtan fue diseñado por el arquitecto paisajista chino Kong Jian Yu, está construido al paralelo a una porción del Río Hu y funciona como un filtro natural de agua. Aunque el parque es un experimento para comprobar el uso de los humedales como sistemas de tratamiento de agua, éste genera un hábitat muy agradable donde se pueda caminar entre una serie de especies vegetales y pastos acuáticos. Por andadores de madera, se pasea sobre el agua, rodeado de flores de loto y lirios. El parque genera una atmósfera de tranquilidad además de que funciona como un riñón que purifica parte del agua del río (Perló, 2013).



Imagen 12. Parque con humedales en Houtan, Shangai, China. Fuente: [http://www.agua.unam.mx/jornadas2013/assets/resultados/08\\_conflictos/perlo\\_manuel.pdf](http://www.agua.unam.mx/jornadas2013/assets/resultados/08_conflictos/perlo_manuel.pdf)

### Plaza de agua Bentemplein Rotterdam, Países Bajos.

En el 2011 en la ciudad de Rotterdam, Holanda, el gobierno municipal decidió hacer una intervención en una plaza de Bentemplein. Se destinaron cuatro millones y medio de euros a la construcción de un sistema de retención de aguas pluviales. Aparte de su función hidráulica, la obra debía servir como un espacio y dotarlo de atractivos que apelaran a los usuarios de los edificios que lo rodean. Con este fin, se promovió un proceso participativo que reunió a los profesores y alumnos del Graphic Lyceum y el colegio Zadkine, usuarios del teatro y el gimnasio, a miembros de la iglesia adyacente y a residentes del vecindario de Agniesebuurt. Se organizaron tres talleres para consensuar un programa de necesidades e imaginar la atmósfera deseada.

El espacio público es conocido como la plaza del agua, ya que contiene tres balsas de retención que se llenan cuando llueve. Buena parte del año las balsas están secas y sirven como espacios recreativos. La más grande y profunda ocupa el centro de la plaza. Se llena solo cuando llueve mucho, a través de uno de sus cuatro lados, donde el llamado «muro de agua» vierte una cascada abundante y vistosa.

Cuando está vacía, sirve como cancha de fútbol, de baloncesto o de voleibol y consta de dos gradas para que el público pueda ver los partidos. Al norte de la plaza, justo delante de la testera de la iglesia, está la balsa más pequeña, con un perímetro trapezoidal, reseguido también de gradas, y una isla central que sirve como escenario para bailar. La tercera balsa, cuando está seca, está destinada a todos aquellos que se mueven sobre ruedas y a quienes los quieran observar (Perló, 2013).



Imagen 13. Plaza de agua en Rotterdam, Países Bajos. Fuente: <https://www.publicspace.org/es/obras/-/project/h034-water-square-in-bentemplein>



## ***b) Captación de agua de lluvia en techos***

### África

En algunas regiones de África donde escasea el agua por sus condiciones económicas no les permiten acceder a tecnologías de alto costo para dotar de los servicios de agua potable, este es uno de los factores que ha propiciado la implementación de SCALL como una solución alternativa para el abasto de agua.

La recolección de agua de lluvia es muy difundida en ciudades como Botswana, Togo, Mali, Malawi, Sudáfrica, Namibia, Zimbabwe, Mozambique, Sierra Leona y Tanzania. Cabe mencionar que existe un proyecto desarrollado por varias organizaciones africanas y el apoyo del gobierno de Inglaterra llamado “Sistemas de Aprovechamiento de Agua de Lluvia de Muy Bajo Costo” con el cual se objetivo es suplir un porcentaje de la demanda total de las casas a partir de una inversión menor a los 120 dólares y utilizando materiales de la zona (Ballén Suárez, Galarza, & Ortiz Mosquera, 2006).

### Asia

En el continente asiático existen países con una gran concentración de población como lo son China y la India, además de que presentan una alta contaminación en sus fuentes de abastecimiento. Estas circunstancias motivan el implemento de los SCALL en estas partes del mundo. Para el gobierno de la India representa un reto el poder dotar de servicios de agua potable a más de mil millones de personas sin sobreexplotar sus fuentes disponibles de abastecimiento, por esta razón se ha optado por promover los SCALL aprovechando las altas precipitaciones. (Ballén Suárez, Galarza & Ortiz Mosquera, 2006). En China, desde 1988 el gobierno ha apostado por el proyecto “121” de captación de agua de lluvia, otorgando recurso financiero a las familias del campo para su suministro de agua, del ganado y cultivos. De acuerdo con Herrera (2006) en Bangladesh desde 1977 se han instalado cerca de 1,000 SCALL por Organizaciones No Gubernamentales (ONG's) con costo aproximado de \$50-\$150 dólares. En Singapur, el 86% de los edificios de



apartamentos cuentan con techos especialmente diseñados para la captación de aguas lluvias que son almacenadas en cisternas separadas. Por su parte, en Tokio en la zona de Ronjinson sobre la vía pública se tiene instalada una estructura que recolecta agua, la transporta a un pozo subterráneo y por medio de una bomba manual es utilizada para riego de jardines, aseo de fachadas y pisos, para combatir eventuales incendios y en situaciones de emergencia.

### Oceanía

En Australia, exceptuando a los grandes asentamientos, la densidad de población es muy baja. Esto conlleva a que el agua debe recorrer grandes distancias a través de kilómetros de tubería, volviéndolo muy costoso o inaccesible entubar el agua. El aprovechamiento de lluvia se presenta como una solución viable al problema. En 1994, la Oficina Australiana de Estadística dio a conocer que el 30.4% de los hogares australianos ubicados en las zonas rurales y el 6.5% de los hogares en las ciudades utilizan algún sistema de aprovechamiento de lluvia, de la suma de éstos, el 13% utiliza el agua para beber y cocinar (Escamilla, 2010).

### Europa

Alemania es considerado uno de los países pioneros en la recolección de agua, este país incorpora 50,000 sistemas de captación de agua de lluvia anuales como parte de su política pública, debido a la escasez de agua que se presenta en las zonas urbanas. Esta agua es usada para la descarga de inodoros, riego de áreas verdes y llenado de un estanque artificial (Escamilla, 2010).

En otro proyecto de Belss-Luedecke-Strasse Building State en Berlín, el agua de lluvia de las cubiertas de algunas casas se descarga en una cisterna con una determinada capacidad, junto con el agua de escurrimiento de las calles, espacios de estacionamiento y vías peatonales. El agua es tratada en varios pasos y usada en la descarga de sanitarios y el riego de jardines. El sistema está diseñado para que los sólidos de mayor tamaño en el flujo inicial sean evacuados al alcantarillado. El sistema retiene aproximadamente el 58% del agua de lluvia que cae dentro de



las instalaciones. A través de un modelo basado en 10 años de simulación se estimó que el ahorro de agua potable con la utilización de la lluvia es de 2,430 m<sup>3</sup> por año (Suárez, 2006).

### América

Brasil también realiza la captación del agua de lluvia, a través de las ONG's en la década pasada, la cual inició con un proyecto de construir 1 millón de tanques para almacenamiento de agua de lluvia (Escamilla, 2010).

Un país con riqueza hídrica es Colombia, sin embargo, en algunas comunidades presentan problemas de abastecimiento de agua y es ahí donde se utilizan los sistemas de aprovechamiento de agua de lluvia, la desventaja es que la mayoría de ellos son poco tecnificados, lo cual ocasiona una baja calidad en el agua y baja eficiencia de los sistemas (Suárez, 2006).

En barrios de Tegucigalpa, Honduras, se pueden encontrar viviendas acondicionadas con precarios sistemas de aprovechamiento pluvial. Estos sistemas, aún con sus deficiencias, logran mejorar el nivel de vida de los habitantes (Jiménez, 2017).

En Norteamérica, los Estados Unidos practican en por lo menos 15 de los 50 estados que conforman su territorio la captación de agua de lluvia; cuentan con un manejo de la técnica a nivel profesional, además, cuentan con la Asociación de Sistemas de Captación de Agua de Lluvia (ARCISA, por sus siglas en inglés) que les provee de la capacitación necesaria para la implementación exitosa de los sistemas, resolución de problemas y la consolidación de un mercado para la captación del agua de lluvia. Se calcula que más de medio millón de personas en los Estados Unidos utilizan sistemas de aprovechamiento de agua lluvia abasteciéndose de agua para usos doméstico o propósitos agrícolas, comerciales o industriales. Existen más de 50 compañías especializadas en el diseño y construcción de sistemas de aprovechamiento de aguas lluvias (Suárez, 2006).



En la ciudad de Vancouver, el gobierno canadiense lanzó un programa con el objetivo de motivar el aprovechamiento del agua de lluvia, para utilizarla, por lo menos, en el riego de jardines y césped; ya que estas actividades en el verano demandan más del 40% del agua total. El programa consta de un subsidio para la compra de barriles de agua de lluvia, éstos son tanques plásticos de 284 litros y cuestan \$40 USD con impuestos (Suárez, 2006; Herrera, 2010).

Las poblaciones de algunas islas con escasas corrientes de agua superficial suelen utilizar los sistemas de aprovechamiento pluvial como su forma de suministro, este es el caso de Micronesia, Rapa-Nui (Isla de Pascua), Bermudas, Islas Vírgenes, Hawái y San Andrés (Colombia) (Escamilla, 2010).

### 2.3.2 Nacional.

Como se ha mencionado, México en su historia ha sido un país que ha aprovechado el agua de lluvia, cuya práctica se abandonó después de la llegada de los españoles y la tecnificación de nuevas fuentes de abastecimiento; según Anaya (2004) en México cada año se reciben aproximadamente 1,488 miles de millones de m<sup>3</sup> en forma de precipitación y existen 13 millones de mexicanos sin acceso al agua entubada; si se aprovechará únicamente el 3% de esa lluvia, se podría abastecer de agua a esos 13 millones de personas, abastecer a 50 millones cabezas de animal y regar 100 mil hectáreas de invernadero. De acuerdo con este potencial tan privilegiado de México con el agua de lluvia, existen instituciones motivadas por dar solución a la escasez de agua y contribuir con un mejor manejo de los recursos hídricos.

A continuación, se muestra un listado de algunas de las instituciones y actores que trabajan en el área de la captación de agua de lluvia.



Tabla 2. Listado de algunas Instituciones y Actores que trabajan en temas de captación de agua de lluvia en México.

Institución	Trabajo
Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)	En su plataforma digital se encuentran trabajos de investigación de esta temática, además de su periódico digital Impluvium, donde existe un compendio de artículos sobre los SCALL. Además, que junto el gobierno de la CDMX instaló 474 SCALL, con el programa "Agua a tu casa (2016)"
Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA)	Ha realizado investigaciones de campo y ha adaptado la tecnología en comunidades rurales al norte del estado de Morelos, así como en sus instalaciones ubicadas en el mismo estado. Además de sus cursos y capacitaciones. También dirigieron un programa en Pátzcuaro, Michoacán, instalando 15 SCALL en escuelas rurales
Comisión Nacional del Agua (CONAGUA)	Mediante el Programa Nacional para Captación de Agua de Lluvia y Ecotecnias en Zonas Rurales (PROCAPTAR) lanzado en el 2017. Además de información, manuales y lineamientos técnicos que sirvan de base para los cálculos para el diseño de los SCALL.
UNAM campus Morelia	El Instituto de Investigaciones en ecosistemas y sustentabilidad y su unidad de ecotecnologías, realiza investigaciones en temas de energía, agua y vivienda, en donde se busca promover el uso sustentable de los recursos naturales.
Instituto Politécnico Nacional (IPN)	Se han realizado investigaciones con el fin de conocer el estado del arte de los SCALL en el mundo y en México, destacando sus ventajas y considerando también sus limitaciones.
Universidad Autónoma de Chapingo	A través del Centro Internacional de Demostración y Capacitación en Aprovechamiento del Agua de Lluvia del Colegio de Postgraduados (CIDECALLI-CP), haciendo investigación, elaborando y ejecutando proyectos sobre SCALL, además de la realización de prototipos llamados COLPOS 1 a COLPOS 5 para diferentes usos y en distintas ciudades de México.
Isla Urbana	Asociación civil con sede en la CDMX que promueve y apoya proyectos de captación de agua de lluvia. La empresa ha instalado mas de 7,500 SCALL en todo México.
Asociación Mexicana de Sistemas de Captación de Agua de Lluvia (AMSCALL)	La Asociación Mexicana de Sistemas de Captación de Agua de Lluvia tiene como finalidad la participación de México en temas SCALL y fungir como un organismo representativo ante los entes gubernamentales. Se tiene cada 2 años un Congreso Nacional de SCALLS llamado CONASMCALL, donde expertos de todo México y del mundo se reúnen a dar conferencias y hacer retroalimentación. Además, cuenta con cursos y capacitaciones en temas de captación de agua de lluvia
Instituto de Investigaciones Tecnológicas del Agua Lic. Arturo Gleason Santana A.C.(IITAAC)	Organismo pionero en la implementación de los SCALL en el estado de Jalisco, que tiene como objetivo fortalecer el área de investigación aplicada y la difusión del conocimiento didáctico, mediante un laboratorio móvil para el monitoreo del agua de lluvia "El Cazatormentas"
GOBIERNOS ESTATALES	Los gobiernos estatales como la Ciudad de México, Jalisco, Chihuahua y Guanajuato han implementado en sus políticas públicas programas que apoyan e incentivan la implementación de SCALLS

Fuente: elaboración propia.



### ***Sistema de captación de agua de lluvia en centro educativo de Metepec, Estado de México.***

El H. Ayuntamiento de Metepec inauguró el sistema de captación de lluvia en el centro educativo del nivel medio superior número 146 en San Lucas Tunco, mediante el cual se busca reducir el impacto al medio ambiente por la extracción de este recurso (Perló, 2013).



Imagen 14. SCALL en escuela de Metepec, Estado de México. Fuente: [http://www.agua.unam.mx/jornadas2013/assets/resultados/08\\_conflictos/perlo\\_manuel.pdf](http://www.agua.unam.mx/jornadas2013/assets/resultados/08_conflictos/perlo_manuel.pdf)

### ***Jardín infiltrante Legaria en la Ciudad de México***

Este proyecto se ejecutó en el año 2016, en la delegación Miguel Hidalgo de la Ciudad de México; es un ejemplo de la construcción de un jardín con la capacidad de infiltración en un área residual de una glorieta, anteriormente ese espacio era usado como estacionamiento y acumulaba encharcamientos y contaminación. Tiene una superficie aproximada de 120 m<sup>2</sup> de áreas de infiltración y se espera que 300 m<sup>3</sup> sean infiltrados al subsuelo. Actualmente el espacio se encuentra



Imagen 15. Jardín infiltrante Legaria en la CDMX. Fuente: <http://www.eetestudio.com/jardin-infiltrante-legaria>.



funcionando correctamente como se proyectó ([Página web de proyecto de arquitectura y urbanismo], s.f.)

### ***Azotea verde edificio del INFONAVIT***

La azotea verde del edificio del Infonavit (Instituto del Fondo Nacional de la Vivienda para los Trabajadores) en la ciudad de México. Esta azotea verde tiene 5 mil metros cuadrados, gran variedad de plantas, 380 metros de pista para jogging y un espacio para ejercitarse en yoga, en dónde se aprovecha el agua de lluvia directamente para el riego de las plantas y cultivos.




Imagen 16. SCALL en escuela de Metepec, Estado de México. Fuente: [http://www.agua.unam.mx/jornadas2013/assets/resultados/08\\_conflictos/perlo\\_manuel.pdf](http://www.agua.unam.mx/jornadas2013/assets/resultados/08_conflictos/perlo_manuel.pdf)

### **2.3.3 Modelos de sistemas de captación de agua de lluvia.**

En la siguiente tabla se muestra una recopilación de algunos modelos y patentes de sistemas de captación de agua de lluvia, desarrollados en México y en distintas partes del mundo.

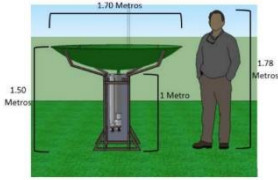
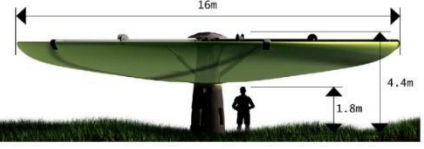

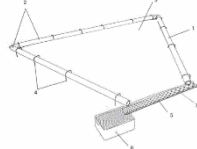
Tabla 3. Modelos y patentes de sistemas de captación de agua de lluvia en México y en el mundo.

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



<p>Proyecto de Isla Urbana</p> <p>México</p>	<p>Consta básicamente de un desvío al drenaje, un dispositivo de prefiltrado conocido como separador de primera lluvia, cloración en la cisterna y dos filtros a presión. (Isla Urbana, 2010). Ellos desarrollaron el "Tlaloque", el 14 de octubre de 2011, se presentó ante el Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial el "Separador de primeras aguas (interceptor de primeras lluvias) modular, prefabricable y autolimpiable", con el número MX/u/2011/000451, mismo que recibió el Título de Registro de Modelo de Utilidad No. 2738.</p>	
<p>CIDECALLI-COLPOS 1</p> <p>México</p>	<p>Cisterna para uso doméstico para dotar a una familia de 4 personas. Tanque de almacenamiento 73 m<sup>3</sup>. Costo aproximado de \$35,000MXN (Anaya, 2009).</p>	
<p>CIDECALLI-COLPOS 2</p> <p>México</p>	<p>Estanque para peces de ornato y comestibles en sistemas de producción libre y de jaulas flotantes. Un uso alternativo del agua es en el cultivo de hortalizas en huerto familiar. Capacidad 70 m<sup>3</sup> y costo de \$23,000MXN (Anaya, 2009).</p>	
<p>CIDECALLI-COLPOS 3</p> <p>México</p>	<p>Cisterna para planta purificadora de agua de lluvia. Abastecimiento del agua de lluvia a nivel comunitario. Inversión por persona \$500-600MXN. Capacidad de la cisterna 1,980m<sup>3</sup> y beneficia a 2,300 personas (Anaya, 2009).</p>	

<p>CIDECALLI-COLPOS 4</p> <p>México</p>	<p>Abrevadero para pequeñas explotaciones ganaderas. Modelo capaz de servir una ganadería o granja familiar. Proporciona agua con una dotación de 50 litros por cabeza de animal por día. Capacidad de 500 m<sup>3</sup> y costo de \$52,000MXN (Anaya, 2009).</p>	
<p>CIDECALLI-COLPOS 5</p> <p>México</p>	<p>Cisterna para riego en invernaderos. Capacidad de 2,000 m<sup>3</sup>, costo \$234,000, el agua de lluvia captada por la cubierta es almacenada y conservada en condiciones adecuadas para el riego de cultivos bajo el sistema hidropónico (Anaya, 2009).</p>	
<p>Modelo SCAPT</p> <p>ONU</p>	<p>La captación del agua de lluvia es utilizada para fines domésticos y se acostumbra a utilizar la superficie del techo como captación, este modelo minimiza la contaminación del agua. (UNATSABAR, 2001)</p>	
<p>Captación Pluvial Rural Rotoplas</p> <p>México</p>	<p>Es una estructura que puede ser instalada en el exterior en cualquier tipo de vivienda. A través de una serie de herramientas, el agua de lluvia es recolectada y filtrada para consumo, o bien, para el aseo de exteriores y todas las actividades que se realizan de manera cotidiana, proporcionando múltiples beneficios (obtenido en: <a href="https://rotoplas.com.mx/productos/tratamiento/captadores/captador-pluvial-urbano/">https://rotoplas.com.mx/productos/tratamiento/captadores/captador-pluvial-urbano/</a>)</p>	
<p>Rotoplas Urbano</p> <p>México</p>	<p>Este sistema reduce el consumo de energía y de agua proveniente de servicios de empresas. Por lo tanto, provoca un ahorro en pago de agua, pipas o transporte para buscarla. Además, genera conciencia social respecto a la sustentabilidad y el cuidado del agua, siendo sumamente importante el inculcar cada uno de los miembros de la familia</p>	

	(obtenido en: <a href="https://rotoplas.com.mx/productos/tratamiento/captadores/captador-pluvial-urbano/">https://rotoplas.com.mx/productos/tratamiento/captadores/captador-pluvial-urbano/</a> )	
México	Hidro-árbol Es un proyecto que se presenta como un sistema captador de lluvia, dicho líquido es tratado y limpiado en un proceso de bloques que cuentan con filtros de arena y carbón activado. Desarrollado por Bravo Quintero en Veracruz, por el Instituto Tecnológico Superior de Misantla.	
Australia	The Watree Diseñado por Chris Buerckner, en Australia	
España	Patente. ES-12-16745 Patentada en el 2018. Yow Own Water S.A. Madrid, España	
España	Patente. ES-1219926 Patentada en el 2018. Yow Own Water S.A. Madrid, España	

<p>Patente. ES-1215364</p> <p>España</p>	<p>Patentada en el 2018. Yow Own Water S.A. Madrid, España</p>	
<p>Patente. ES-1163409</p> <p>España</p>	<p>Patentada en el 2016. Yow Own Water S.A. Madrid, España</p>	
<p>Patente. ES-1174810</p> <p>España</p>	<p>Patentada en el 2016. Yow Own Water S.A. Madrid, España</p>	
<p>Patente. ES-1178233</p> <p>España</p>	<p>Patentada en el 2017. Yow Own Water S.A. Madrid, España</p>	

Fuente: elaboración propia.

## 2.4 Marco Normativo y Legal

A continuación, se presenta el marco normativo, haciendo referencia a la legislación que nos rige para el caso de estudio y en el apartado correspondiente.

### 2.4.1 Derecho y manejo del agua.

La Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos (1997), nuestra Carta Magna que rige a todos los mexicanos menciona en los siguientes artículos relacionados con los temas del agua: el artículo 4° habla acerca del derecho humano al agua, por lo tanto, de todos los mexicanos; el art. 27° habla de la propiedad del agua que es de la Nación; finalmente el artículo 115° habla de los municipios como los encargados de las funciones y servicios públicos de dotación de agua potable. Sin embargo, es importante señalar que en ningún lado se menciona el agua de lluvia, por lo que se considera que el agua que cae del cielo es propiedad de la nación.

Por otro lado, a nivel federal está la Ley General de Asentamientos Humanos, Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano (LGAHOTDU, 2016) que en sus artículos 34° y 37° menciona la gestión integral del agua y el aprovechamiento de aguas pluviales; así como el manejo integral del agua, respectivamente.

En este mismo orden la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LEGEEPA, 1988) en su artículo 17° TER dice que las dependencias de la Administración Pública Federal instalarán en los inmuebles a su cargo un sistema de captación de agua pluvial, dependiendo de la posibilidad física, técnica y financiera que resulte conveniente para cada caso. El artículo 23 de esta ley menciona que el aprovechamiento del agua para usos urbanos deberá incorporar de manera equitativa los costos de su tratamiento, considerando la calidad y la cantidad que se utilice.

En lo que corresponde con la Ley de Aguas Nacionales (LAN, 1992) no hace mención acerca de la captación de agua de lluvia. A nivel estatal, para Colima está la Ley de Aguas para el Estado de Colima (1995, última reforma (2018)) en la cual



se declara de utilidad pública los temas de captación, regulación, conducción, almacenamiento y distribución de agua en asentamientos humanos de los municipios del Estado. Existen estados como la Ciudad de México y Jalisco que, así como Colima tiene la ley de aguas del Distrito Federal (2003) y La Ley para el Estado de Jalisco y sus municipios (2007) respectivamente, pero a diferencia de Colima, es que estos ya incluyen la recolección de agua de lluvia como una alternativa al abastecimiento de agua, esto se debe principalmente a que en estos estados tienen grandes metrópolis con una alta densidad poblacional, provocando problemas de escasez de agua potable; en la Ley de Aguas del Distrito Federal el título noveno titulado “De la cosecha de agua de lluvia del Distrito Federal” hace referencia a la captación de agua de lluvia; así como en los artículos 16 y 86-Bis de la Ley de Aguas del Estado de Jalisco.

#### **2.4.2 Espacio público.**

Al analizar la legislación aplicable al Municipio de Colima, se observa que no existe limitante alguna normativo/legal para poder implementar un sistema de captación de agua de lluvia en espacios públicos, al contrario, se encuentra carente el Estado y el Municipio de reglamentación en temas de captación de agua de lluvia, a diferencia de otros estados como la Ciudad de México y Jalisco. A nivel local en la Estrategia de Resiliencia (Gobierno municipal de Colima, 2019) se tiene como meta el promover el manejo sostenible del agua y para ella la creación de un plan de acción para mejorar la resiliencia hídrica de la conurbación tanto en disponibilidad y calidad del agua.

En la Constitución el artículo 11 hace referencia al derecho del libre tránsito y movilidad con el que todos los mexicanos contamos; no hace falta portar algún requisito judicial. También menciona las responsabilidades que tiene el estado y el municipio con respecto a los espacios públicos abiertos; por ejemplo, el artículo 116 hace atribución al municipio de las funciones y servicios públicos de calles, parques y jardines y su equipamiento.





También en la Ley General de Asentamientos Humanos, Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano (LGAHOTDU, 2016) se hace mención del rescate, creación y mantenimiento de los espacios públicos, así como a generar espacios resilientes y sustentables, esto se encuentra inmerso en varios artículos de esta ley.

En la Ley General de Cambio Climático se garantiza el derecho a un ambiente sano y regula acciones para la mitigación y adaptación al cambio climático proponiendo estrategias desde el punto de vista de los espacios públicos abiertos.

De acuerdo con el Reglamento de Zonificación del Municipio de Colima concibe al espacio público abierto como: aquellas áreas con acceso al público para ser utilizadas como tales, por lo que no debe edificarse en ellas más que las instalaciones mínimas necesarias; y, por su actividad y radio de influencia se clasifican de la siguiente forma: a). Parque urbano: vecinal, de barrio, y distrital o de subcentro; b). Otros espacios abiertos: jardín, y plazoleta. No se consideran como espacios abiertos las áreas ajardinadas propias de la vialidad como camellones glorietas y jardines en banqueta.

La Ley Ambiental para el Desarrollo Sustentable del Estado de Colima (2002) menciona que los parques urbanos, de barrio y jardines vecinales son los espacios verdes abiertos de uso público que contribuyen a mantener el equilibrio ecológico y ofrecer espacios para el esparcimiento, recreación, el deporte o la cultura. También delega a los ayuntamientos el mantenimiento, mejoramiento, fomento y conservación de las áreas y espacios verdes municipales, que deben realizarse con las técnicas y especies apropiadas, procurarán el incremento de áreas y espacios verdes municipales.







### 2.4.3 Tratado internacional.

#### 2.4.3.1 *Agenda 21.*

Como instrumento internacional pionero en temas de sustentabilidad referente al agua y captación de agua de lluvia está la Agenda XXI, la cual es un plan de acción universal, nacional y local propuesto por las Naciones Unidas, firmado desde 1992 en Río de Janeiro por más de 178 países, entre ellos México. En el capítulo 18 en uno de sus apartados se establece como estrategia referente a la conservación y gestión de los recursos hídricos expandir el abastecimiento de agua tanto urbana como rural, así como establecer y ampliar sistemas de captación de agua de lluvia. En otro apartado hace mención del tema del agua y el desarrollo urbano sostenible, en las actividades propuestas están la protección de los recursos hídricos contra el agotamiento, la contaminación y la degradación, la distribución eficiente y equitativa de los recursos hídricos, reformas institucionales, legales y administrativas (ONU, 1992).

#### 2.4.3.2 *Guerra del agua.*

Existen evidencias de que el agua es un factor para comenzar una guerra, tal es el caso famoso de Bolivia, específicamente en la ciudad de Cochabamba. Para entrar en contexto en 1999 se aprobó la Ley de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario, con ello el gobierno entrega una concesión a un consorcio privado internacional “Aguas del Tunari”, para privatizar 100% el servicio de suministro de agua en Cochabamba, también el agua de lluvia se privatizó. La guerra del agua se detonó por el aumento del 300% del precio del agua, ésta tuvo como saldo 1 muerto, 121 heridos y 172 encarcelados. Después de esto el gobierno tuvo que cancelar el contrato con la empresa y por su parte la empresa demandó al gobierno. Han pasado 21 años sin darle solución a este problema y a la fecha se calcula la pérdida de más de 10 mil vidas por la falta de agua. Con esto queda claro que el agua es un tema vital para la sociedad global. (Carrillo, 2005)







## **Zona Metropolitana.**

La ciudad de Colima es el centro principal de la Zona Metropolitana en proceso del Norte del Estado de Colima o también conocida como Zona Metropolitana Colima-Villa de Álvarez, incluyendo a los municipios de Comala, Coquimatlán, Cuauhtémoc y Villa de Álvarez; estos municipios comparten problemas comunes de planeación y gestión de la ciudad como manejo, disposición y tratamiento de residuos sólidos, movilidad, transporte, manejo y aprovechamiento de aguas pluviales, tratamiento de aguas residuales y en el caso de la conurbación entre Colima y Villa de Álvarez la red de agua potable y drenaje, operada por el organismo Comisión Intermunicipal de Agua Potable y Alcantarillado de los municipios de Colima y Villa de Álvarez (CIAPACOV).

## **Geomorfología.**

Forma parte de las provincias Eje Neovolcánico y Sierra Madre del Sur y de dos subprovincias llamadas Volcanes de Colima y Cordillera Costera del sur. La ciudad de Colima se ubica dentro de la franja de mayor peligrosidad sísmica en México, esto lo confirman las múltiples afectaciones de los más de 40 sismos que han impactado desde su fundación. Entre ellos el sismo de mayor magnitud para México en el siglo XX, ocurrido en el año 1932, y el más reciente del 21 de enero del 2003. Otro peligro frecuente es la actividad volcánica del Volcán de Fuego de Colima, considerado el volcán más activo de México. A pesar de que la distancia entre la ciudad y el volcán es de 32 kilómetros, en diversas ocasiones se presenta caídas de ceniza y una posibilidad remota de que ocurran avalanchas de flujos piroclásticos. (Gobierno municipal de Colima, 2019). Debido a la geomorfología de su territorio, dado por la presencia del estrato volcánico, en las faldas del volcán nacen numerosos manantiales que escurren y permean en la ciudad, en su camino se forma 3 escurrimientos: dos arroyos de flujo intermitente (El Pereyra y el Manrique) y un río perene: el Colima, que atraviesan la mancha urbana hasta encontrarse en el suroeste con el río Armería.



## Clima y temperatura.

La ciudad se caracteriza por tener climas cálidos subhúmedos con lluvias en el verano. Presenta una temperatura media anual entre los 24 a 26°C (Gobierno municipal de Colima, 2019).

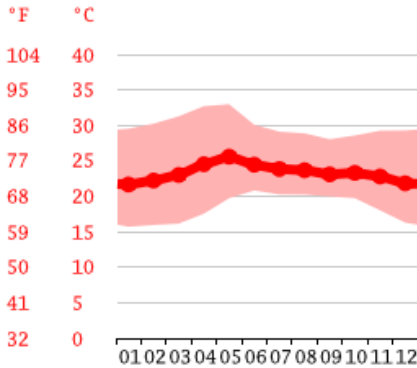


Imagen 18. Diagrama de temperatura de Colima. Obtenida en: <https://es.climate-data.org/americas-del-norte/mexico/colima/colima-3420/>.

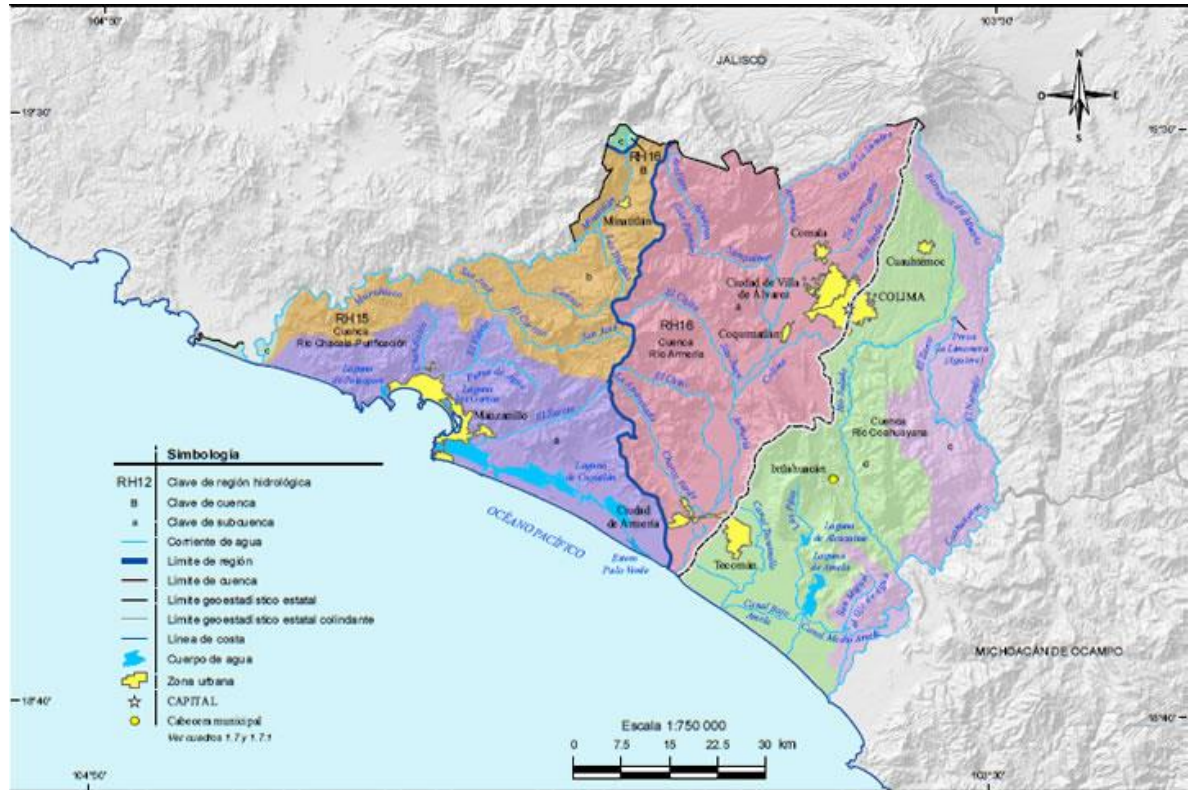
## Hidrología.

La zona urbana de la ciudad de Colima pertenece a la cuenca hidrológica del Río Armería, por lo que es cruzada por varios escurrimientos, dentro de los más importantes se encuentran: El Río Colima; los arroyos El Zarco, El Manrique, La Estancia, La Cañada. Al ser cruzada la ciudad por muchos escurrimientos impactan en la planificación y vida de la población. Aunque el riesgo es considerado bajo, la cercanía con el Océano Pacífico expone a la ciudad a las trayectorias de los ciclones tropicales durante la temporada de lluvias; en el 2011 con el huracán Jova (categoría II) se presentaron desbordamiento de ríos, inundaciones y percances en la ciudad (Gobierno municipal de Colima, 2019).

El 80% del agua que se utiliza en Colima recorre 56 Km desde Cerro Grande, en la Reserva de la Biósfera Sierra de Manantlán, hasta el tanque de almacenamiento El Diezmo, que opera la CIAPACOV. El resto del agua se obtiene



de pozos profundos suministrados por el acuífero del Valle de Colima. En el Municipio de Colima alrededor del 90% de la población cuenta con servicios de agua potable, cuenta con un buen servicio de drenaje, con un mecanismo de tratamiento de aguas residuales en desarrollo y una creciente cultura del pago de los servicios de agua potable (CIAPACOV, 2012).



Fuente: INEGI. Información Topográfica Digital, Escala 1:250 000, serie II.  
INEGI. CONAGUA. 2007. Mapa de la Red Hidrográfica Digital de México, Escala 1:250 000.  
INEGI. Continuo Nacional del Conjunto de Datos Geográficos de la Carta Hidrológica de Aguas Superficiales, Escala 1:250 000, serie I.

Imagen 19. Mapa de hidrografía del Estado de Colima. Fuente: Inegi 2021.

### Climatología.

Los meses más lluviosos del año son de junio a octubre que concentran el 90.35% del total de las lluvias anuales, época en la que también ocurren con cierta frecuencia perturbaciones ciclónicas provenientes del Océano Pacífico, que al internarse al estado y a entidades vecinas provocan lluvias torrenciales que causan algunos destrozos en la región, por lo que del mes de diciembre a mayo se

considera el periodo de estiaje. La mayor parte del municipio se cubre por lluvias anuales de 800 mm a 1000mm (Gobierno municipal de Colima, 2019).

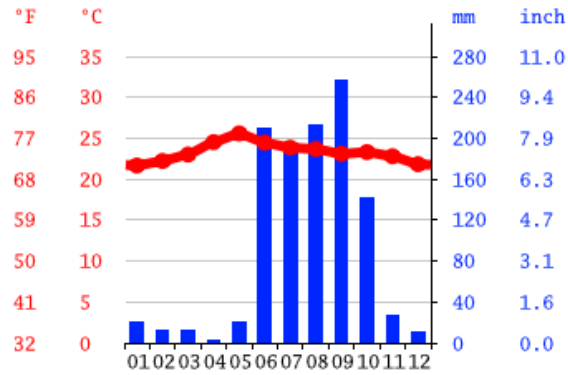


Imagen 20. Climograma de Colima. Obtenida en: <https://es.climate-data.org/americas-del-norte/mexico/colima/colima-3420/>.

Las estaciones climatológicas de uso público con las que cuenta el Estado de Colima, a cargo de CONAGUA, que tienen influencia directamente con la ciudad de Colima son las siguientes: 6006 COLIMA (OBS), 6040 COLIMA (DGE), 6073 TRAPICHE y 6052 la E.T.A. 254 COMALA (CONAGUA, s.f).

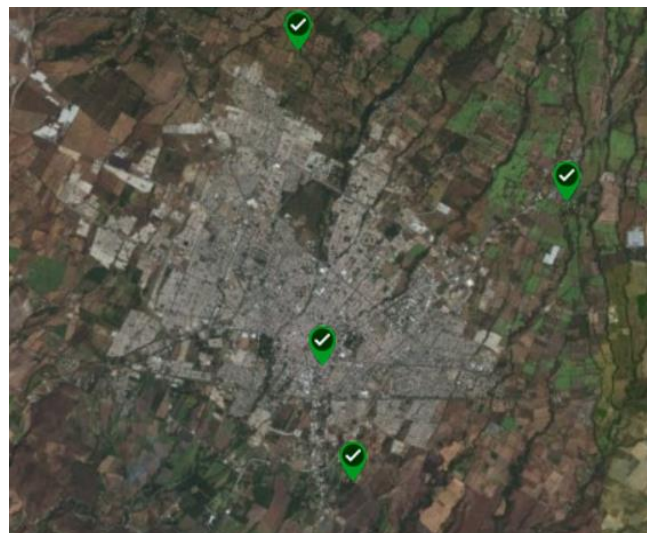


Imagen 21. Mapa de la ubicación de las estaciones climatológicas más cercanas a la ciudad de Colima. Fuente: CONAGUA





### 3. METODOLOGÍA APLICADA



En este capítulo de metodología se define el tipo de investigación, área de estudio, población, muestra, técnicas de recolección y procesamiento de datos; en otras palabras, los pasos que se llevaron a cabo en la presente investigación.

### 3.1 Tipo de estudio.

La presente investigación se conforma por dos principales tipologías, la investigación documental y la investigación de campo. A continuación, se describen cada de una de ellas.

- **Investigación documental:** Es la primera etapa de la investigación, se lleva a cabo el análisis del estado del arte, y a su vez la búsqueda de información específica del proyecto, como bases de datos, mapas, información meteorológica, entre otras. Dentro del estado del arte de esta investigación se encontraron con casos de análogos dónde se han implementado estos tipos de tecnología tanto a nivel internacional como nacional. En la cuestión legal se encuentra muy bien marcada la legislación del agua, sin embargo, falta el desarrollo de normatividad de la captación de esta. Se exploraron bases de datos de CONAGUA, INEGI, del H. Ayuntamiento de Colima, de los cuales se recopiló información valiosa para el desarrollo de la investigación.
- **Investigación de campo:** Después de la investigación documental sigue la investigación de campo, donde se recaba información específica de los espacios públicos, tanto de las variables cualitativas como las cuantitativas. Se realizó la visita a los espacios públicos del universo para obtener información cuantitativa y cualitativa.



### 3.2 Área de estudio.

En el 2020 en un estudio realizado por el Instituto de Planeación para el Municipio de Colima (IPCO), el municipio de Colima cuenta con 187 jardines vecinales municipalizados, de los cuales 156 en la ciudad y el resto de ellos en la zona rural. Para fines de esta investigación se toman en cuenta para área de estudio los 156 jardines vecinales dentro de la ciudad de Colima

De acuerdo con datos proporcionados por el IPCO en el 2020, se observa que la ciudad de Colima cuenta una superficie total en espacios públicos abiertos

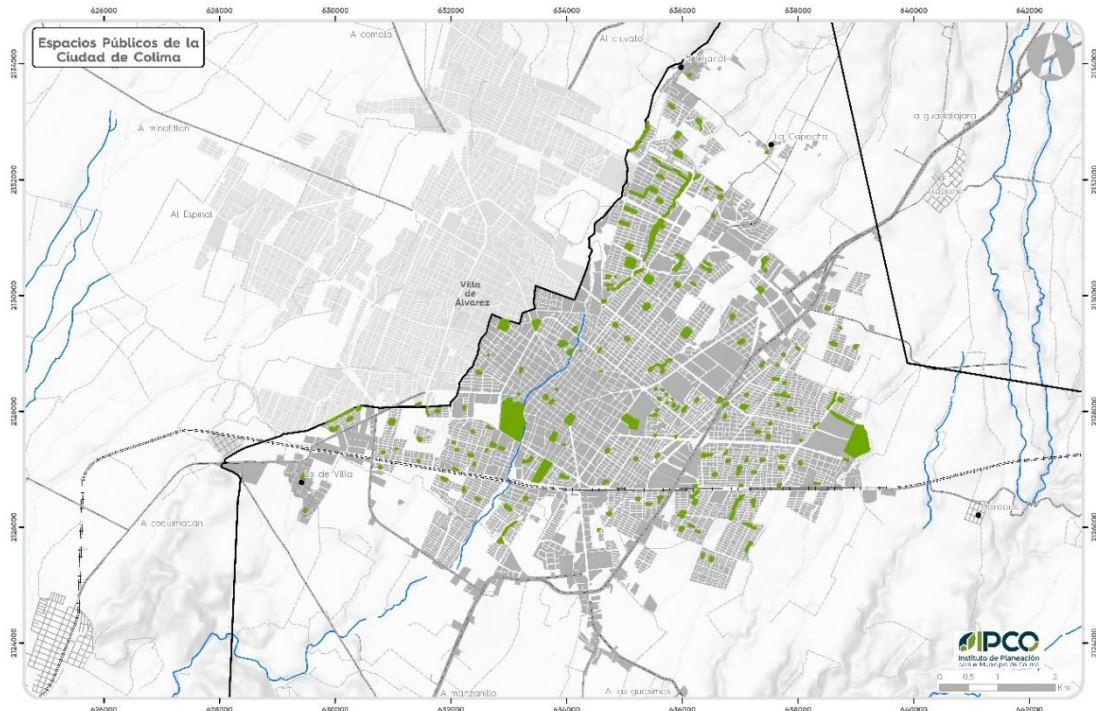


Imagen 22. Mapa de los espacios públicos de la ciudad de Colima. Fuente: IPCO 2021

de 1'355,109.62 m<sup>2</sup> sin considerar los camellones ni glorietas. Con estas cifras y basados en el censo de población de 2020, en donde marca que la ciudad tiene 146,965 habitantes, se obtiene el dato que existe 9.22 m<sup>2</sup> de espacio público abierto por habitante.

### 3.3 Universo y población.

Del universo se encuentra un total de 156 espacios públicos en la ciudad de Colima (IPCO, 2020). Para delimitar la población de estudio se utilizaron algunos criterios de exclusión y de inclusión.

El primer criterio de inclusión que se utilizó fue aquellos espacios públicos con mayor déficit de agua potable, que de acuerdo con la Dirección de Parque y Jardines del H. Ayuntamiento de Colima son los espacios públicos ubicados en las zonas sur (37 espacios) y en la zona suroriente (39 espacios).

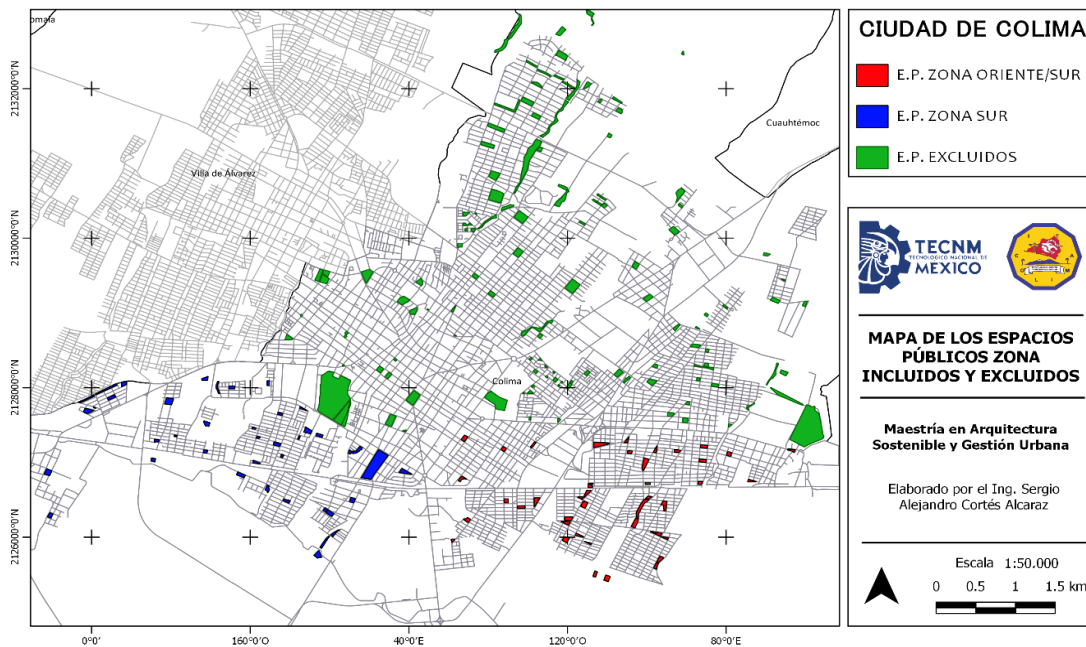


Imagen 23. Mapa de espacios públicos de la ciudad de Colima por zonas. Elaboración propia.

En un segundo criterio de inclusión se encuentra el tipo de espacio público. Para fines de esta investigación se seleccionaron los jardines vecinales, es el tipo de espacio que se encuentran en mayor cantidad y que por lo tanto el diseño de un SCALL en alguno de ellos pudiera replicarse con mayor facilidad. De acuerdo con el Reglamento de Construcción del Municipio de Colima un jardín vecinal tiene de un área de entre 2,500 y 10,000 metros cuadrados. También de acuerdo con el artículo 123 inciso c) marca que se puede tener áreas verdes, con áreas construidas y superficie edificable como kioscos o similares, por lo tanto, se excluyeron aquellos

jardines que no tuvieran superficies construida y fueran únicamente áreas verdes. Dentro de este apartado también se excluyeron los parques lineales (por su configuración que salen de las generalidades) y los jardines que estuvieran en colonias privadas (porque no se tiene acceso público).

Otro criterio de exclusión fue el de la seguridad, de acuerdo con el proceso de esta investigación se tenían previstas vista de campo con un equipo de investigadores compuesto de hombres y mujeres en los jardines seleccionados en diferentes horarios del día, destacando el horario de entre las 6:00-10:00 pm, ya que son los horarios donde predomina los horarios de lluvia en la ciudad de Colima. Por consiguiente, se excluyeron aquellos jardines los cuales presentan percepción de inseguridad. Dentro de los puntos rojos de inseguridad que por experiencia del investigador y de manera subjetiva fueron aquellos espacios públicos que se encontraran en la zona sur de las vías del tren y la zona oriente de libramiento Ejército Nacional, mostrados en el mapa. Además, de acuerdo con un mapa generado por el IPCO coinciden en algunas zonas de peligrosidad, siendo un instrumento sustentado y estudiado con mayor profundidad.

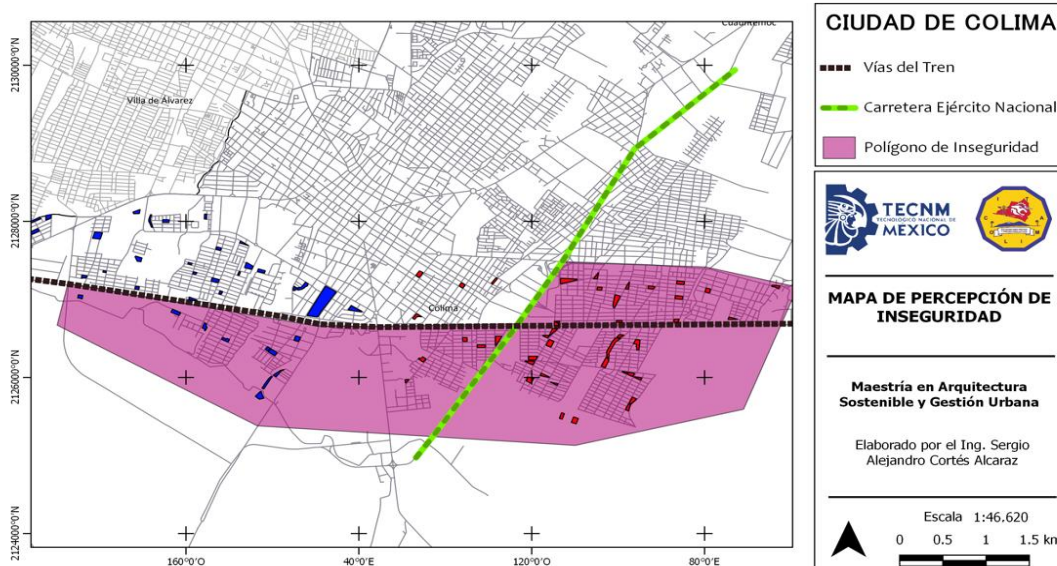


Imagen 24. Mapa de percepción de seguridad. Elaboración propia.





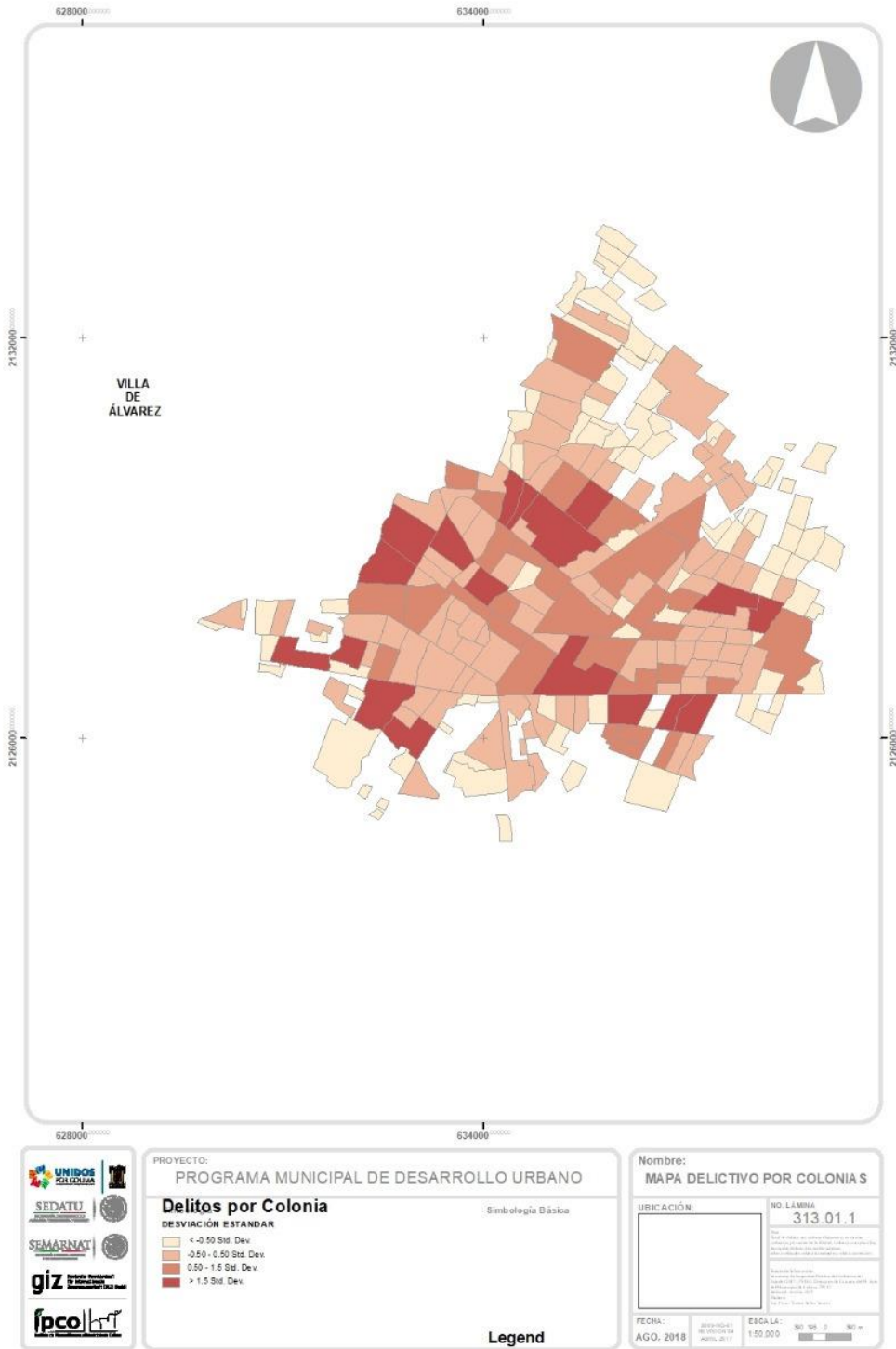


Imagen 25 (a). Mapa delictivo por colonias. (IPCO, 2018)





De acuerdo con la última discriminación, quedaron únicamente 9 espacios públicos, de los cuales se seleccionaron aquellos que tuvieran características similares entre sí, teniendo en cuenta las variables de ubicación, configuración geoespacial, topografía, seguridad y con ello la identificación de las áreas aprovechables para la captación de agua de lluvia. A partir de esos aspectos y de la complejidad que implica el diseño, 4 espacios son considerados como la población de estudio, que son los siguientes.

A continuación, se muestra la población a estudiar:

1. Jardín San Pablo
2. Jardín La Rivera
3. Jardín El Moralete
4. Jardín Los Viveros

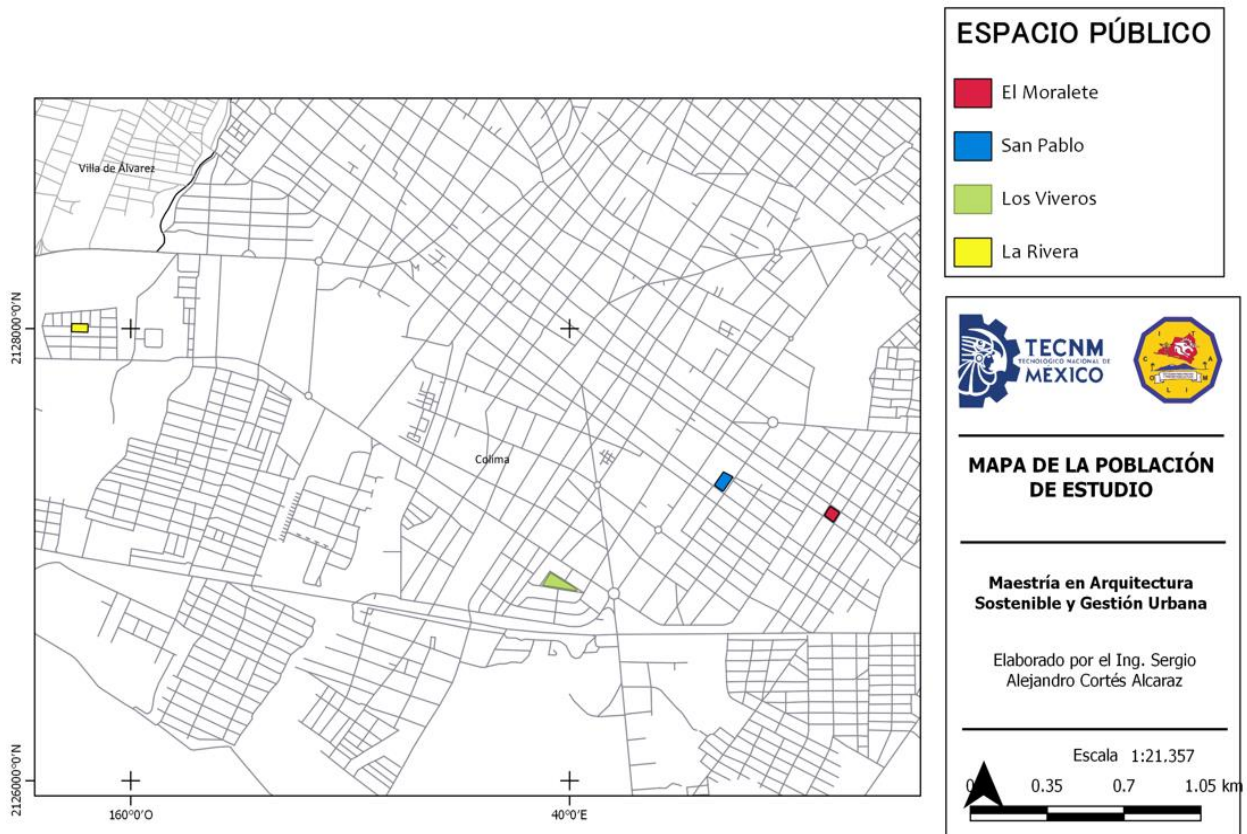


Imagen 26. Ubicación de espacios públicos seleccionados. Elaboración propia

## DESCRIPCIÓN DE LOS 4 ESPACIOS PÚBLICOS.

### ESPACIO PÚBLICO #1. JARDÍN DE SAN PABLO.

Área Total: 3,684.50 m<sup>2</sup>

Área Construido: 1,386.60 m<sup>2</sup>

Área Verde: 2,186.73 m<sup>2</sup>

Ubicación: Entre calles Aniceto Castellanos, Morelos, José Martí y Ohiggins, municipio de Colima. Colonia San Pablo.

Referencia: Cerca del Colegio Cambridge y Benedetti's pizza de Calzada Galván

Coordenadas: 19.234974, -103.718438



Imagen 27. Fotografías del jardín de San Pablo. La primera corresponde a la vista área del jardín obtenida de Google Maps vista satélite, las demás son de elaboración propia.



## ESPACIO PÚBLICO #2. Jardín de la Colonia La Rivera.

Área Total: 2,726.90 m<sup>2</sup>

Área Construido: 1,499.80 m<sup>2</sup>

Área Verde: 1,227.10 m<sup>2</sup>

Ubicación: Entre calles Laguna de Cuyutlán, Laguna del Jabalí y Laguna del Calabozo. Colonia La Rivera.

Coordenadas: 19.24129, -103.74617



Imagen 28. Fotografías del jardín de la colonia La Rivera. La primera corresponde a la vista área del jardín obtenida de Google Maps vista satélite, las demás son de elaboración propia.

### ESPACIO PÚBLICO #3. Jardín El Moraleta.

Área Total: 2,554.68 m<sup>2</sup>

Área Construido: 1,334.31 m<sup>2</sup>

Área Verde: 1,156.68 m<sup>2</sup>

Ubicación: Entre calles Francisco I. Madero, Miguel Hidalgo, Del Agrarista y Lucio Blanco. Colonia El Moraleta

Coordenadas: 19.2336, -103.7138



Imagen 29. Fotografías del jardín El Moraleta. La primera corresponde a la vista área del jardín obtenida de Google Maps vista satélite, las demás son de elaboración propia.



#### **ESPACIO PÚBLICO #4. Jardín Los Viveros.**

Área Total: 5,051.48 m<sup>2</sup>

Área Construido: 1,942.09 m<sup>2</sup>

Área Verde: 3,109.39 m<sup>2</sup>

Ubicación: Entre calles Laureles, Tabachines, Crotos.

Coordenadas: 19.231033, -103.725764

Referencias: Ubicado entre Parque Hidalgo y el Rey Colimán, a 1 cuadra de Av. 20 de noviembre



*Imagen 30. Fotografías del jardín los viveros. La primera corresponde a la vista área del jardín obtenida de Google Maps vista satélite, las demás son de elaboración propia.*

### 3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos.

Las diferentes herramientas, procesos y técnicas que se establecen para el desarrollo de la investigación para la recolección de datos. Para esta investigación se utilizaron dos técnicas la documental y de campo.

#### 3.4.1 Investigación documental.

Se realizaron fichas bibliográficas de los documentos obtenidos y con ello todo el estado del arte. Así como también la búsqueda de información en fuentes de instituciones u organizaciones nacionales que tengan base de datos como el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), así como del propio IPCO.

#### 3.4.2 Selección de la muestra.

Para la elección de la muestra se establecieron criterios y posteriormente se generó una tabla comparativa con los espacios públicos.

Para la elección de la muestra se consideran dos tipos de variables a determinar, como parte de la medición de las características de los espacios públicos:

*Variables cualitativas:* Para este caso se consideran variables cualitativas las de ubicación, nivel socioeconómico, conectividad, configuración geoespacial, percepción de la seguridad.

*Variables cuantitativas:* Cuando supuestos funcionan satisfactoriamente se aplica preferentemente la estadística paramétrica. Pueden presentarse datos cualitativos, como variables independientes. En estas variables entran el tamaño, pendiente transversal y potencial de captación de agua de lluvia de acuerdo con las condiciones de cada espacio.

Se analizaron cuatro espacios públicos abiertos del municipio de Colima que estuvieran de la zona sur y suroriente debido a que en estas zonas existe un mayor déficit hídrico para el mantenimiento de las áreas verdes públicas de la ciudad de





Colima, de acuerdo con información proporcionada por el IPCO. Dentro de los criterios primordiales que se seleccionaron estos cuatro espacios fueron:

- **Tamaño:** En un rango de 1,500 m<sup>2</sup> y 5,500 m<sup>2</sup> en este rango están alrededor del 80% de los jardines de estas zonas.
- **Ubicación:** Espacios con una ubicación accesible de llegar de manera ya sea por transporte privado, público, bicicleta o caminando, y además de la cercanía con alguna avenida.
- **Configuración geoespacial:** Con una configuración espacial distintas entre sí (áreas de andadores, quioscos, fuentes, áreas verdes, áreas deportivas, equipamiento urbano)
- **Topografía:** Los espacios no tengan topografía muy accidentada, preferiblemente una pendiente uniforme.
- **Seguridad:** La percepción de la seguridad en los espacios públicos fue otro de los factores para la elección de los jardines a analizar. Esto con la finalidad de poder ir de manera presencial a cada espacio, analizarlos y captar el agua.
- **Contengan los requisitos mínimos para la instalación de un SCALL:** Que exista un área de por lo menos 10 m<sup>2</sup> libre de construcciones y de zonas arboladas, no obstruir vialidades o andadores, encontrarse cercano a puntos de descarga pluvial.

Con estos criterios se desarrolló una tabla comparativa como se observa en la tabla no. 4, donde se incluyen cada uno de los indicadores a evaluar y una ponderación numérica del 0-5 dependiendo las características de cada indicador, para con ello otorgarles una calificación y obtener el espacio público más idóneo para realizar el primer prototipo del SCALL.



Tabla 4. Criterios de selección de caso de estudio.

	INDICADOR	Ponderación			
		5	3	1	0
TOPOGRAFÍA	Pendiente transversal del 2% máximo hacia la captación pluvial	Igual o <2%	3 a 4%	5 a 6%	Mayor a 7%
	Depresiones (posible encharcamiento de agua)	Sin depresiones	Depresión menor a 15mm	Depresión de 15-30mm	Depresión mayor a 30mm
	Tapas o rejillas	Tapa o rejilla a nivel de banqueteta	Tapa o rejilla a con desnivel menor a 20mm	Tapa o rejilla con desnivel mayor a 20mm	Ausencia de tapa o rejilla
Total de segmento					
DATOS GENERALES DEL ESPACIO	Nivel socioeconómico	Muy bajo	Bajo	Medio	Alto
	Ubicación	Zona sur	Zona oriente	Zona centro	Zona norte
	Conectividad	Sobre avenida principal	A 1-2 cuadras de avenida principal	A 3-5 cuadras de avenida principal	A más de 5 cuadras de la avenida principal
Total de segmento					
CONFIGURACION GEOSPACIAL	Señalización y control de cruce (semáforos, paso cebra o topes)	Tres o más elementos	Dos elementos	Un elemento	No existe
	Alumbrado público	Suficientes en buen estado	Poco en buenas condiciones	Poco en mal estado	No existe
	Arbolado	Suficientes en buen estado	Poco en buenas condiciones	Poco en mal estado	No existe
	Mobiliario urbano	Suficientes en buen estado	Poco en buenas condiciones	Poco en mal estado	No existe
Total de segmento					
SEGURIDAD	Imagen urbana	Excelente	Buena	Regular	Mala
	Permeabilidad	Mucha	Regular	Poca	Nula
	Percepción	Excelente	Buena	Regular	Mala
Total de segmento					
<b>TOTAL GENERAL</b>					

Fuente: elaboración propia.

En la siguiente tabla se comparan los indicadores de seguridad, topografía, configuración geoespacial y datos generales espacio. En esta se observa que el mejor evaluado es el jardín de los viveros.



Tabla 5. Tabla comparativa de Jardín San Pablo, Jardín La Rivera, Jardín El Moralete y Jardín Los Viveros

Tabla comparativa de los espacios públicos									
	INDICADOR	Ponderación				Jardín San Pablo	Jardín La Rivera	Jardín El Moralete	Jardín Los Viveros
		5	3	1	0				
TOPOGRAFÍA	Pendiente transversal del 2% máximo hacia la captación pluvial	Igual o <2%	3 a 4%	5 a 6%	Mayor a 7%	3	3	1	5
	Depresiones (posible encharcamiento de agua)	Sin depresiones	Depresión menor a 15mm	Depresión de 15-30mm	Depresión mayor a 30mm	1	1	3	3
	Tapas o rejillas	Tapa o rejilla a nivel de banqueteta	Tapa o rejilla a con desnivel menor a 20mm	Tapa o rejilla con desnivel mayor a 20mm	Ausencia de tapa o rejilla	1	3	3	1
Total de segmento						1.67	2.33	2.33	3
DATOS GENERALES DEL ESPACIO	Nivel socioeconómico	Muy bajo	Bajo	Medio	Alto	0	3	0	1
	Ubicación	Zona sur	Zona oriente	Zona centro	Zona norte	5	5	5	5
	Conectividad	Sobre avenida principal	A 1-2 cuadras de avenida principal	A 3-5 cuadras de avenida principal	A más de 5 cuadras de la avenida	3	0	3	3
Total de segmento						2.66666667	2.66666667	2.66666667	3
CONFIGURACIÓN GEOSPACIAL	Señalización y control de cruce (semáforos, paso cebra o topes)	Tres o más elementos	Dos elementos	Un elemento	No existe	5	0	0	3
	Alumbrado público	Suficientes en buen estado	Poco en buenas condiciones	Poco en mal estado	No existe	5	3	5	5
	Arbolado	Suficientes en buen estado	Poco en buenas condiciones	Poco en mal estado	No existe	3	3	5	5
	Mobiliario urbano	Suficientes en buen estado	Poco en buenas condiciones	Poco en mal estado	No existe	3	3	3	5
Total de segmento						4	2.25	3.25	4.5
SEGURIDAD	Imagen urbana	Excelente	Buena	Regular	Mala	5	1	5	3
	Permeabilidad	Mucha	Regular	Poca	Nula	3	3	1	3
	Percepción	Excelente	Buena	Regular	Mala	5	1	3	5
Total de segmento						4.33	1.67	3.00	3.67
<b>TOTAL GENERAL</b>						<b>3.2</b>	<b>2.2</b>	<b>2.8</b>	<b>3.6</b>

Fuente: elaboración propia.



### 3.4.3 Análisis de las estaciones meteorológicas:

También, dentro de la investigación documental es necesario recopilar la información pluviométrica de las estaciones cercanas de la zona de estudio también será necesario la investigación documental: Basada en fuentes de instituciones u organizaciones nacionales que tengan base de datos como CONAGUA

Dentro de la página web de la Comisión Nacional del Agua en el apartado de información estadística climatológica se ubicaron las estaciones cercanas al área de estudio. Posteriormente se descargó en formato digital el archivo vectorial de las estaciones climatológicas en todo el territorio Nacional, después con ayuda del programa QGIS se logró separar únicamente las más cercanas al área de estudio y se realizó el mapa figura 23, en el cual se aprecian los espacios públicos abiertos en color verde y con puntos azules las estaciones climatológicas que tienen incidencia en la ciudad de Colima.

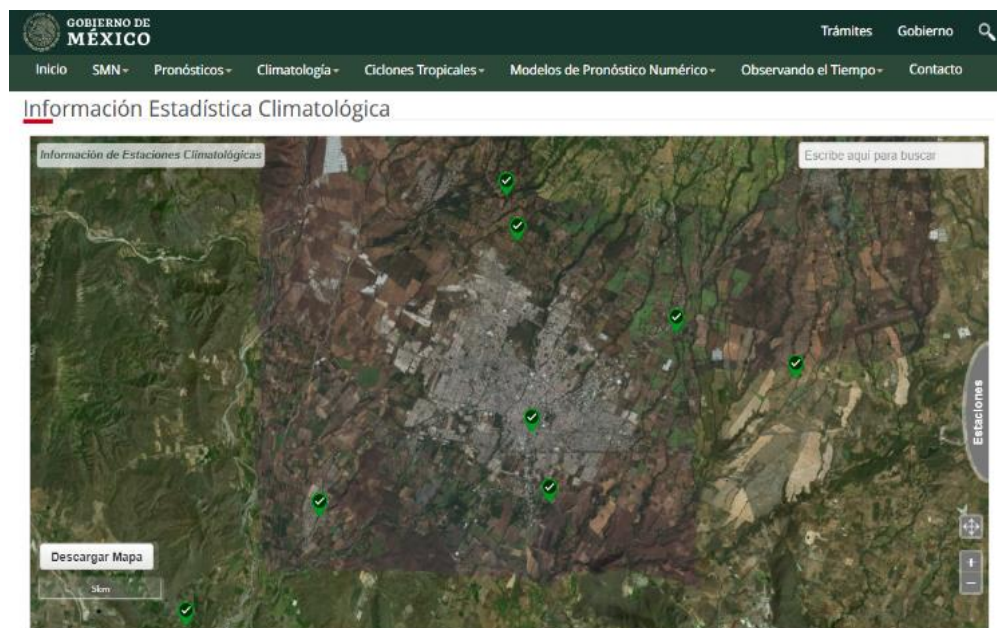


Imagen 31. Captura de pantalla de la recopilación de datos en la plataforma de CONAGUA de las estaciones climatológicas que tienen inferencia en la ciudad de Colima.

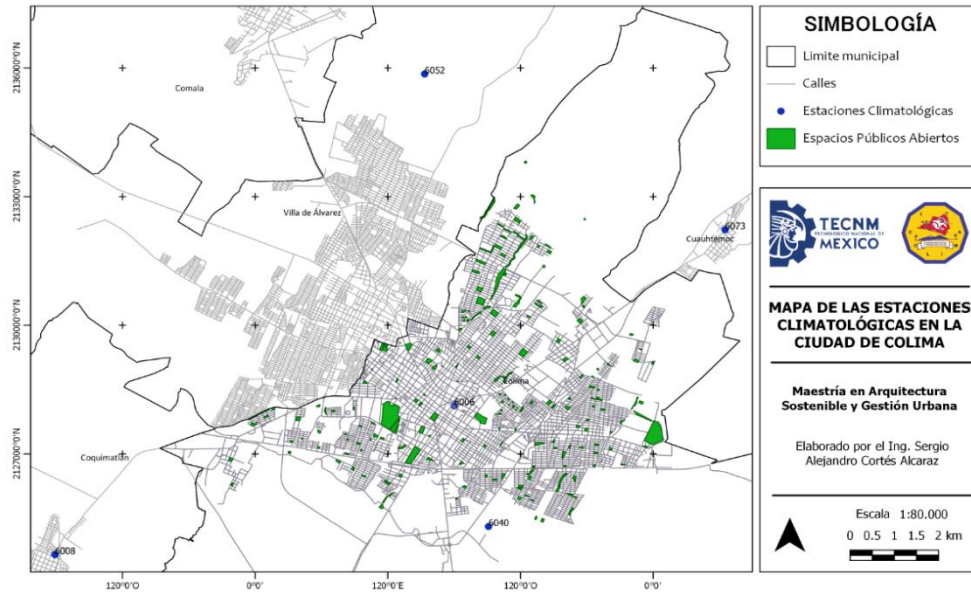


Imagen 32. Mapa de la ciudad de Colima mostrando los espacios públicos abiertos en polígonos verdes y con puntos azules las estaciones climatológicas cercanas a estos.

Una vez teniendo las estaciones se prosiguió a conseguir la información pluviométrica de cada una de ellas y analizarlas, como se observa en la tabla de las cinco estaciones, cuatro de ellas nos funcionarán para su análisis en dado caso de ser requeridas. La estación 6006 Colima (OBS) fue desechada debido a que presenta un sesgo importante y no contiene datos actualizados hasta la fecha.

Tabla 6. Estaciones climatológicas que tienen influencia en la ciudad de Colima, por su cercanía.

ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS				
CLAVE	NOMBRE	UBICACIÓN	PERIODO	SIRVE/NO SIRVE
6006	COLIMA (OBS)	COLIMA	1878-2011	NO SIRVE
6008	COQUIMATLÁN	COQUIMATLÁN	1948-2017	SIRVE
6040	COLIMA (DGE)	COLIMA	1950-2019	SIRVE
6052	E.T.A. 254 COMALA	COMALA	1975-2019	SIRVE
6073	TRAPICHE	CUAUHTÉMOC	1995-2017	SIRVE

Fuente: elaboración propia.

*Determinación de la precipitación promedio mensual:*

Las estaciones climatológicas registran datos del clima, como son temperatura, humedad relativa, precipitación, etc. De las cuatro estaciones climatológicas seleccionadas se descargaron únicamente los datos promedio mensuales de precipitación y se realizó la tabla 2 con datos históricos hasta el año 2017, el cuál es el dato que tiene actualizado CONAGUA en su página de internet. En la tabla se observa claramente los periodos de lluvia anuales de cada estación y coinciden entre sí, el periodo de lluvia comienza en el mes de junio y termina en el mes de octubre y, por ende, el estiaje comienza en noviembre y termina en mayo. El mes con menos lluvia es el mes de abril.

*Tabla 7. Tabla con la precipitación media mensual de las estaciones de CONAGUA con clave 6008, 6040, 6073 y 6052 al año 2017.*

Lluvia Total Media Mensual (mm = L/m <sup>2</sup> ) Con datos actualizados hasta el 2017														
CLAVE	ESTACIÓN	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
6008	Coquimatlán	26.05	9.16	7.18	2.00	10.74	110.76	177.17	185.58	179.80	95.39	20.65	11.61	836.09
6040	Colima (DGE)	23.02	7.49	5.97	1.86	12.08	128.22	202.67	190.60	191.92	95.60	19.87	11.41	890.71
6073	Trapiche	12.61	13.73	8.82	0.00	10.07	132.55	206.95	206.08	231.71	111.16	22.20	6.82	962.70
6052	E.T.A. 254 Comala	23.17	8.46	4.50	0.58	10.59	104.50	190.51	223.27	204.32	100.48	25.40	15.86	911.64
<b>PROMEDIO</b>		21.21	9.71	6.62	1.11	10.87	119.01	194.33	201.38	201.94	100.66	22.03	11.43	<b>900.29</b>

*Fuente: elaboración propia.*

Para obtener el valor promedio mensual del total de años evaluados, expresados en mm/mes o litros/m<sup>2</sup>/mes, capaz de ser recolectado en la superficie horizontal del techo, se utiliza la siguiente fórmula. (Manual Cepis de agua de lluvia)

$$Pp_i = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} P_i}{n}$$

Donde  $n$ : número de años evaluados,  $p_i$ : valor de precipitación mensual del mes "i" (mm) y  $Pp_i$ : precipitación promedio mensual del mes "i" de todos los años evaluados (mm/mes).





Con las estaciones seleccionadas se prosiguió a crear el mapa de las áreas de influencia de las estaciones climatológicas con respecto a la distancia de estas los espacios públicos de la ciudad de Colima. Para ello se utilizó el método de interpolación simple llamado polígonos de Thiessen o Diagramas de Voronoi, los cuales consisten en unir puntos entre sí, a través de las mediatrices de los segmentos a unir. Las intersecciones de estas mediatrices crean una serie de polígonos, los cuales sus perímetros son equidistantes a los puntos vecinos y así se designa su área de influencia. Con ayuda de una herramienta del programa QGIS fue como se realizaron las áreas de influencia. Como se puede observar en la estación que más área de influencia tiene en la ciudad de Colima es la 6040 Colima (DGE) abarcando más del 60% de los espacios públicos abiertos.

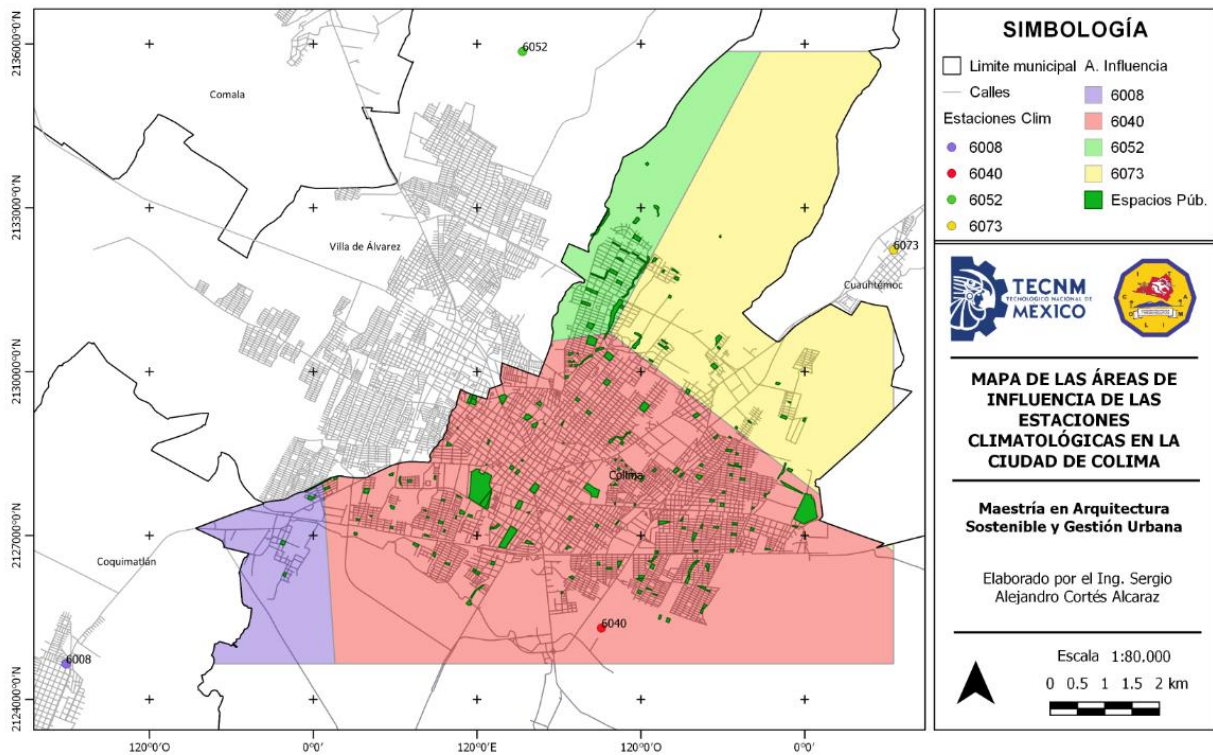


Imagen 33. Mapa de las áreas de influencias de las estaciones climatológicas en la ciudad de Colima.

### 3.5 Técnicas de procesamiento y análisis de datos.

#### 3.5.1 Delimitación y caracterización de los espacios públicos que serán objetos de estudio para la implementación de un SCALL.

De acuerdo con la información obtenida del IPCO y del portal del Instituto Nacional de Estadística y Geografía se recolectaron los archivos en formato digital con representación vectorial con extensión .shp y con la ayuda del sistema de información geográfica QGIS 2.18.3 se llevó a cabo la construcción del mapa actualizado de los espacios públicos abiertos del municipio de Colima. En el mapa se observa la ciudad de Colima y su conurbación con la ciudad de Villa de Álvarez, en polígonos verdes se observan las ubicaciones de los espacios antes mencionados.



### 3.5.2 Análisis de la factibilidad técnica del sistema de captación de agua de lluvia.

#### Estimación del potencial de captación de agua de lluvia del sistema

Para estimar el potencial de captación que un sistema puede tener, es necesario conocer la precipitación media mensual o en su caso precipitación media anual de la zona en la cual se quiere proponer el sistema, también es importante conocer el material de los elementos en la cual se captará el agua para con ello determinar su coeficiente de escorrentía, así como también el área en plano horizontal en el cual se captará el agua.

Con esto el cálculo de potencial de captación queda determinado por la siguiente fórmula:

$$P_c = A_c \times P_{pi} \times C_e$$

Donde:

$P_c$ : Potencial de captación (litros/año ó litros/mes)

$A_c$ : Área de captación en plano horizontal (m<sup>2</sup>)

$P_{pi}$ : Precipitación promedio anual (litro/m<sup>2</sup>/año ó litro/m<sup>2</sup>/mes)

$C_e$ : Coeficiente de escorrentía (adimensional)

Para la obtención de los coeficientes de escorrentía  $C_e$  se obtienen los datos de valores ya estudiados, como a continuación se presentan:

Tabla 8. Valores de referencia para el coeficiente de escorrentía ( $C_e$ ) en diferentes tipos de superficies y coberturas.

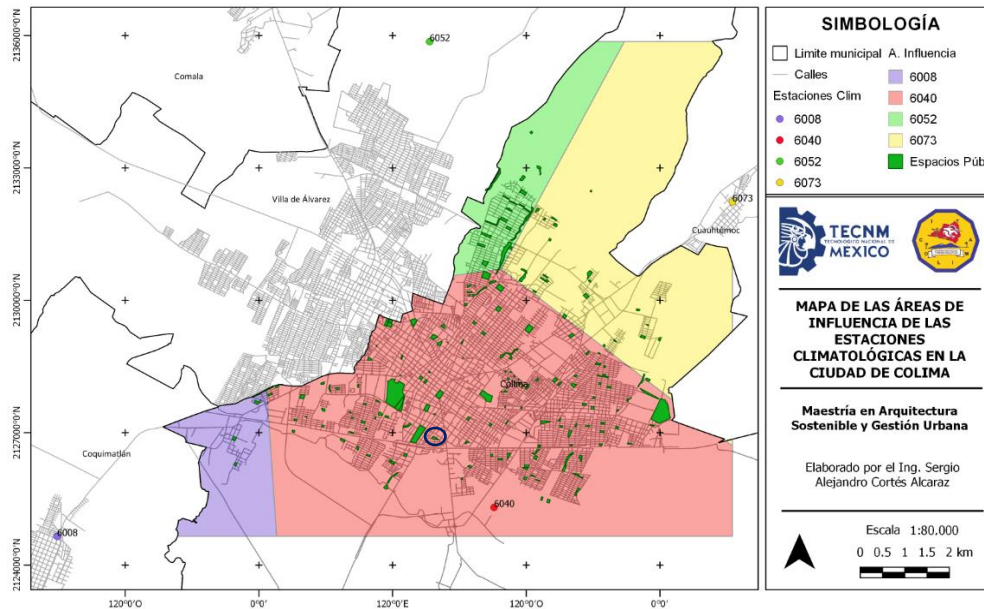
Tipos de superficie o coberturas del área de captación	Coeficiente de escorrentía ( $C_e$ )
Lámina plástica de polietileno	0.90
Mortero (mezcla de cemento y arena)	0.88
Asfalto	0.88
Tejas de arcilla recocida	0.50
Manta plástica + grava	0.70
Suelo de textura fina (arcilloso)	0.24-0.55
Suelo de textura gruesa	0.20
Pastos	0.12-0.62
Techos	0.75-0.95
Concreto	0.70-0.95

Fuente: FAO ONU. 2013.



*Precipitación mensual del espacio público.*

De acuerdo con las áreas de influencia de las estaciones en la ciudad de Colima, se ubicó el jardín de los viveros en el mapa y con ello se selecciona la estación climatológica 6040, como la estación que influye directamente en el espacio público.



*Imagen 34. Mapa de las áreas de influencias de las estaciones climatológicas en la ciudad de Colima, encerrando con azul el jardín de los viveros.*

A continuación, se obtiene la precipitación media mensual histórica de las estaciones 6040, 6008, 6052, 6073 de CONAGUA, se expresa en una tabla y en un gráfico, el orden de los meses se maneja comenzando por la temporada de lluvias que inician en el mes de junio hasta el mes de mayo donde termina el estiaje.

## ESTACIÓN 6040

Tabla 9. Precipitación media mensual histórica de la estación climatológica 6040 de CONAGUA

ESTACIÓN 6040	
Mes	Precipitación media mensual histórica (mm ó litros/m <sup>2</sup> )
Junio	128.22
Julio	202.67
Agosto	190.60
Septiembre	191.92
Octubre	95.60
Noviembre	19.87
Diciembre	11.41
Enero	23.02
Febrero	7.49
Marzo	5.97
Abril	1.86
Mayo	12.08
Total	890.71

Fuente: Elaboración propia

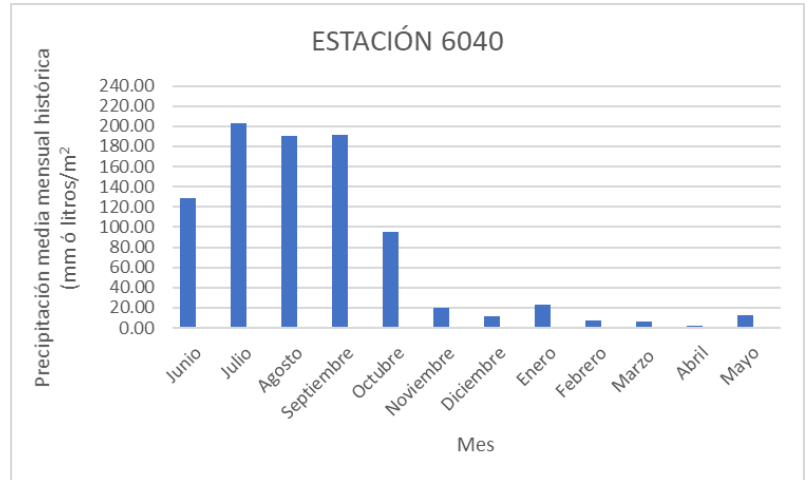


Imagen 35. La gráfica de barras muestra la precipitación media mensual histórica de la estación climatológica 6040 de CONAGUA. Observándose que el periodo de lluvias se encuentra entre los meses de junio-octubre

## ESTACIÓN 6008

Tabla 10. Precipitación media mensual histórica de la estación climatológica 6008 de CONAGUA

ESTACIÓN 6008	
Mes	Precipitación media mensual histórica (mm ó litros/m <sup>2</sup> )
Junio	110.76
Julio	177.17
Agosto	185.58
Septiembre	179.80
Octubre	95.39
Noviembre	20.65
Diciembre	11.61
Enero	26.05
Febrero	9.16
Marzo	7.18
Abril	2.00
Mayo	10.74
Total	836.09

Fuente: Elaboración propia



Imagen 36. La gráfica de barras muestra la precipitación media mensual histórica de la estación climatológica 6008 de CONAGUA. Observándose que el periodo de lluvias se encuentra entre los meses de junio-octubre

## ESTACIÓN 6052

Tabla 11. Precipitación media mensual histórica de la estación climatológica 6052 de CONAGUA

ESTACIÓN 6052	
Mes	Precipitación media mensual histórica (mm ó litros/m <sup>2</sup> )
Junio	104.50
Julio	190.51
Agosto	223.27
Septiembre	204.32
Octubre	100.48
Noviembre	25.40
Diciembre	15.86
Enero	23.17
Febrero	8.46
Marzo	4.50
Abril	0.58
Mayo	10.59
Total	911.64

Fuente: Elaboración propia

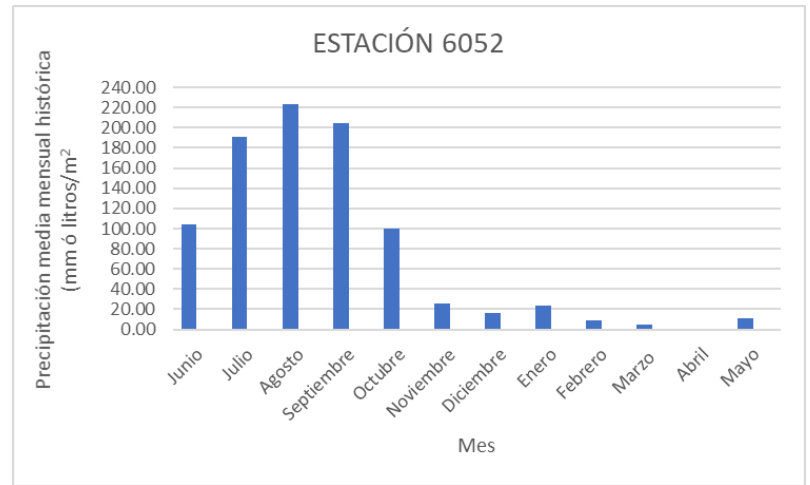


Imagen 37. La gráfica de barras muestra la precipitación media mensual histórica de la estación climatológica 6052 de CONAGUA. Observándose que el periodo de lluvias se encuentra entre los meses de junio-octubre

## ESTACIÓN 6073

Tabla 12. Precipitación media mensual histórica de la estación climatológica 6073 de CONAGUA

ESTACIÓN 6073	
Mes	Precipitación media mensual histórica (mm ó litros/m <sup>2</sup> )
Junio	132.55
Julio	206.95
Agosto	206.08
Septiembre	231.71
Octubre	111.16
Noviembre	22.20
Diciembre	6.82
Enero	12.61
Febrero	13.73
Marzo	8.82
Abril	0.00
Mayo	10.07
Total	962.70

Fuente: Elaboración propia

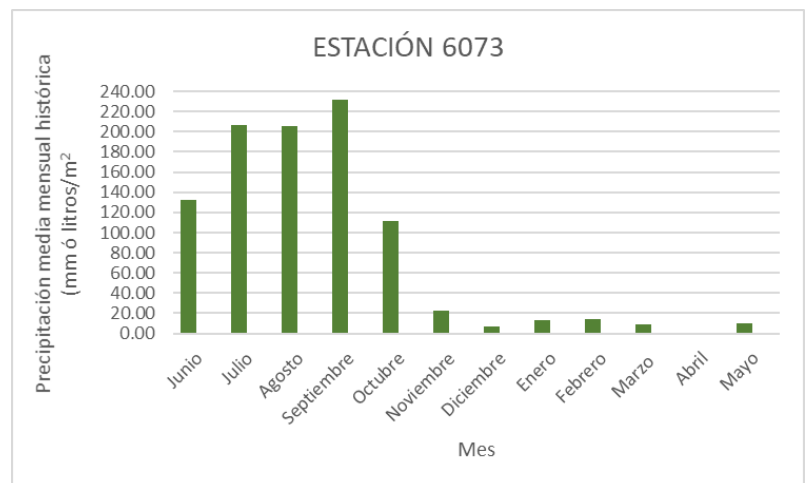


Imagen 38. La gráfica de barras muestra la precipitación media mensual histórica de la estación climatológica 6073 de CONAGUA. Observándose que el periodo de lluvias se encuentra entre los meses de junio-octubre



### *Análisis de zonas de captación de agua de lluvia del sistema.*

Para estimar el potencial primero fue necesario conocer la distribución geoespacial del jardín, así como las zonas captadoras de agua y ubicar el almacenamiento. Para ello fue necesario visitas de campo al sitio de estudio para realizar levantamientos, con ello se obtuvo el siguiente bosquejo del área y se determinaron las posibles áreas de captación, como el espacio destinado para ubicar el sistema.

### **JARDIN LOS VIVEROS.**

Derivado del análisis de la Tabla 7, donde se hizo la comparativa de los cuatro jardines visitados, se selecciona el que obtuvo un mayor puntaje en la tabla comparativa, es decir el jardín de Viveros, para desarrollar ahí el diseño del sistema de captación de agua de lluvia.



*Imagen 39. Vista aérea del jardín, en la imagen se muestra un pin color amarillo para la identificación del jardín y una circunferencia en rojo delimitando su área de influencia con un radio de 350 metros.*

### **Visita de campo**

El jardín espacialmente se encuentra ubicado a 2 cuadras de la glorieta Rey Colimán un hito de la ciudad de Colima y 1 cuadra de la Av. 20 de noviembre que conforma el primer anillo periférico de esta ciudad. Es un jardín denominado vecinal con un radio de influencia de 350 metros.



### ***Configuración espacial***

Área total de 5,051.48m<sup>2</sup>, distribuidos de la siguiente forma:

- 2 canchas deportivas descubiertas con superficie de concreto.
- 1 área de juegos infantiles
- 5 áreas verdes delimitadas por andadores
- 1 caseta de vigilancia
- 1 bodega de usos múltiples
- 3,109.39 m<sup>2</sup> de áreas verdes







Imagen 40. Imágenes tomadas del jardín de los viveros, donde se aprecia parte de su configuración espacial. Elaboración propia.

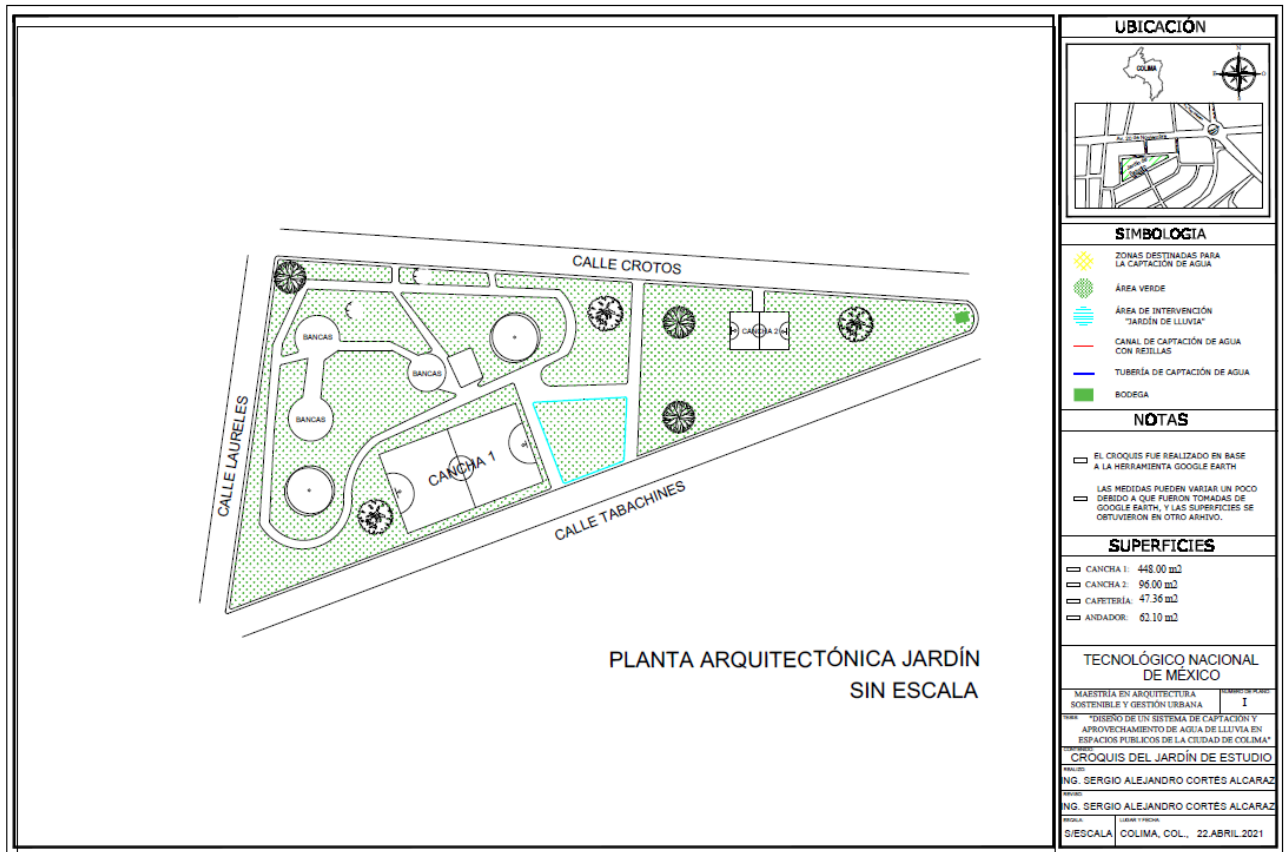


Imagen 41. Croquis de la distribución del jardín de los viveros. Elaboración propia.

## Propuesta de un prototipo SA

Se diseñó un prototipo de captación de agua que consiste en la fabricación de una mesa banca con doble función por un lado servir de espacio público para descanso y por otro lado en temporada de lluvia captar el agua y mediante una tubería ser guiada a la cisterna.





Imagen 42. Esquema de prototipo. Elaboración propia, 2021.

### Potencial de captación de agua de lluvia del prototipo SA

En las siguientes tablas se muestra la precipitación promedio anual con diferentes propuestas de diámetros del techado de la mesa banca, la cual es obtenida para las diferentes estaciones pertenecientes al Estado de Colima, con el uso de la precipitación media mensual histórica (Tabla 8).

Estación 6008

Precipitación Media Mensual Histórica (mm o l/m<sup>2</sup>): 836.09

Tabla 13. Potencial de captación de agua de lluvia de los espacios públicos con influencia de la estación 6008.

Diámetro (m)	Área (m <sup>2</sup> )	Material	CE	Potencial de captación Promedio Anual	
				L/año	m <sup>3</sup> /año
1	0.79	Lona	0.9	590.9972	0.5910
1.5	1.77	Lona	0.9	1329.7437	1.3297
2	3.14	Lona	0.9	2363.9888	2.3640
2.5	4.91	Lona	0.9	3693.7325	3.6937
3	7.07	Lona	0.9	5318.9748	5.3190

Fuente: Elaboración propia.

Estación 6040

Precipitación Media Mensual Histórica (mm o l/m<sup>2</sup>): 890.71

Tabla 14. Potencial de captación de agua de lluvia de los espacios públicos con influencia de la estación 6040.

Diámetro (m)	Área (m <sup>2</sup> )	Material	CE	Potencial de captación Promedio Anual	
				L/año	m <sup>3</sup> /año
1	0.79	Lona	0.9	629.6058	0.6296
1.5	1.77	Lona	0.9	1416.6130	1.4166
2	3.14	Lona	0.9	2518.4232	2.5184
2.5	4.91	Lona	0.9	3935.0362	3.9350
3	7.07	Lona	0.9	5666.4522	5.6665

Fuente: Elaboración propia.



Estación 6073

Precipitación Media Mensual Histórica (mm o l/m<sup>2</sup>): 962.70

Tabla 15. Potencial de captación de agua de lluvia de los espacios públicos con influencia de la estación 6073.

Diámetro (m)	Área (m2)	Material	CE	Potencial de captación Promedio Anual	
				L/año	m3/año
1	0.79	Lona	0.9	680.4925	0.6805
1.5	1.77	Lona	0.9	1531.1082	1.5311
2	3.14	Lona	0.9	2721.9701	2.7220
2.5	4.91	Lona	0.9	4253.0783	4.2531
3	7.07	Lona	0.9	6124.4328	6.1244

Fuente: Elaboración propia.

Estación 6052

Precipitación Media Mensual Histórica (mm o l/m<sup>2</sup>): 911.64

Tabla 16. Potencial de captación de agua de lluvia de los espacios públicos con influencia de la estación 6052.

Diámetro (m)	Área (m2)	Material	CE	Potencial de captación Promedio Anual	
				L/año	m3/año
1	0.79	Lona	0.9	644.4003	0.6444
1.5	1.77	Lona	0.9	1449.9008	1.4499
2	3.14	Lona	0.9	2577.6014	2.5776
2.5	4.91	Lona	0.9	4027.5021	4.0275
3	7.07	Lona	0.9	5799.6031	5.7996

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 17. Tabla donde resume el potencial de captación de agua de lluvia de los espacios públicos con influencia de las estaciones y diversos diámetros del prototipo.

Potencial de captación Promedio Anual (m <sup>3</sup> /año)				
Diámetro (m)	Zona 6008	Zona 6040	Zona 6073	Zona 6052
1.00	0.591	0.6296	0.6805	0.6444
1.50	1.3297	1.4166	1.5311	1.4499
2.00	2.364	2.5184	2.722	2.5776
2.50	1.3297	1.4166	1.5311	1.4499
3.00	5.319	5.6665	6.1244	5.7996

Fuente: Elaboración propia.

### Cálculo de la demanda en riego de áreas verdes

De acuerdo con la tabla de consumos de agua CONAGUA (2007), se tiene que para espacios abiertos como lo son los jardines y parques, se considera un consumo de agua de 5l/m<sup>2</sup>/día.

$$Dr = \frac{Av * Ca * Ds}{1000}$$

Dónde:

Dr: Demanda de riego (m<sup>3</sup>)

Av: Área Verde (m<sup>2</sup>)

Ca: Consumo de agua (litro/m<sup>2</sup>/día)

Ds: Días de riego mensual

TIPO DE INSTALACION	CONSUMO DE AGUA	
SALUD: Hospitales, Clínicas y Centros de salud. Orfanatorios y asilos	800 l/cama/día	(a, b)
	300 l/huésped/día	(a)
EDUCACION Y CULTURA: Educación elemental Educación media y superior	20 l/alumno/turno	(a, b)
	25 l/alumno/turno	(a, b)
RECREACION: Alimentos y bebidas Entretenimiento (teatros públicos) Recreación social (deportivos municipales) Deportes al aire libre, con baño y vestidores. Estadios	12 l/comida	(a, b)
	6 l/asiento/día	(a, b)
	25 l/asistente/día	(a)
	150 l/asistente/día	(a)
	10 l/asiento/día	(a)
SEGURIDAD: Cuarteles Reclusorios	150 l/persona/día	(a)
	150 l/interno/día	(a)
COMUNICACIONES Y TRANSPORTE: Estaciones de transporte Estacionamientos	10 l/pasajero/día	
	2 l/m <sup>2</sup> /día	
ESPACIOS ABIERTOS: Jardines y parques	5 l/m <sup>2</sup> /día	

Sustituyendo de los valores de 3,109.39 m<sup>2</sup> de área verde total del jardín, un consumo de agua diario de 5litro/m<sup>2</sup> obtenemos la demanda de riego mensual, regándolo:

$$30 \text{ días al mes: } Dr = \frac{3,109.39 * 5 * 30}{1000} = 466.41 \text{ m}^3$$

$$15 \text{ días al mes: } Dr = \frac{3,109.39 * 5 * 15}{1000} = 233.20 \text{ m}^3$$

$$10 \text{ días al mes: } Dr = \frac{3,109.39 * 5 * 10}{1000} = 155.47 \text{ m}^3$$



### Análisis del espacio y la demanda de agua en riego de áreas verdes

Al analizar el espacio y la demanda de riego en áreas verdes, se ve la necesidad de crear un sistema integral, utilizando el mobiliario urbano existente en el espacio, además de integrar el prototipo. La justificación es que el prototipo por sí sólo capta muy poca agua comparada con la demandada por el jardín. Para satisfacer la demanda de riego de 30 días (1 mes) con únicamente el prototipo SA, son necesarios los siguientes números de prototipos:

Diámetro (m)	m <sup>3</sup> /SCALL	# de SCALL
1.00	0.6296	741
1.50	1.4166	329
2.00	2.5184	185
2.50	3.935	119
3.00	5.6665	82

Se observa que se necesita un número muy alto de prototipos para satisfacer la demanda de un solo mes de estiaje; por este motivo se opta por un sistema integral de captación de agua de lluvia. Para ello se analizó el jardín y se observó un área ideal para realizar la intervención en la parte sur-central del jardín, con un espacio de más de 10 m<sup>2</sup> libre de arbolado, cercano a un andador peatonal, a dos canchas deportivas y a un área de usos múltiples. La pendiente natural del terreno nos arroja un lugar ideal para llevar el agua ya sea encausada por gravedad. A continuación, se presenta una tabla con las medidas de las áreas de captación más representativas del jardín.

Tabla 18. Se muestra cuatro áreas con potencial para captar el agua de lluvia. Las 2 canchas, la cafetería y el andador principal.

Fuente de Captación	m <sup>2</sup>
Cancha 1	448.00
Cancha 2	96.00
Cafetería	47.36
Andador Principal	62.10
<b>Total</b>	<b>653.46</b>

Fuente: Elaboración propia.



Después se analizan que otras fuentes podemos tomar para captar el agua, como la canalización del agua de la cancha 2 al jardín de lluvia y así como la construcción de un elemento rígido al centro del área de intervención para captar el agua y darle vida a esa zona.

Tabla 19. Se observan las nuevas áreas con potencial para captar el agua, agregando un jardín de lluvia, un prototipo piloto, y un canal abierto. Identificando también con el material de superficie.

Fuente de Captación	Área (m <sup>2</sup> )	Tipo (Material)	Ce
Cancha 1	448.00	Concreto	0.70
Cancha 2	96.00	Concreto	0.70
Canal cancha chica	4.90	Concreto	0.70
Andador Principal	62.10	Concreto	0.70
Cafetería	47.36	Concreto	0.70
Zona A	5.00	Piedra	0.50
Prototipo (Diám=2)	3.14	Lona	0.90
<b>Total</b>	<b>666.50</b>		

Fuente: Elaboración propia.

Ahora con la información recabada de las áreas se obtiene el potencial de captación para estas áreas en un año. Teniendo como resultado la captación de 415.23 m<sup>3</sup> de agua por año.

Tabla 20. En la siguiente tabla se muestra el potencial de captación de agua de lluvia anual en litros (L) y en metros cúbicos (m<sup>3</sup>), esta se ve afectado por un coeficiente de escorrentía (Ce) que depende del tipo de material. Para la obtención del potencial.

Fuente de Captación	Área (m <sup>2</sup> )	Tipo (Material)	Ce	Área*Ce	L/año	m <sup>3</sup> /año
Cancha 1	448.00	Concreto	0.70	313.60	279326.66	279.33
Cancha 2	96.00	Concreto	0.70	67.20	59855.71	59.86
Canal cancha chica	4.90	Concreto	0.70	3.43	3055.14	3.06
Andador Principal	62.10	Concreto	0.70	43.47	38719.16	38.72
Cafetería	47.36	Concreto	0.70	33.15	29525.70	29.53
Zona A	5.00	Piedra	0.50	2.50	2226.78	2.23
Prototipo (Diám=2)	3.14	Lona	0.90	2.83	2518.42	2.52
<b>Total</b>	<b>666.50</b>			<b>466.18</b>	<b>415227.57</b>	<b>415.23</b>

Fuente: Elaboración propia.

Después se enlistan de manera mensual el potencial de captación:

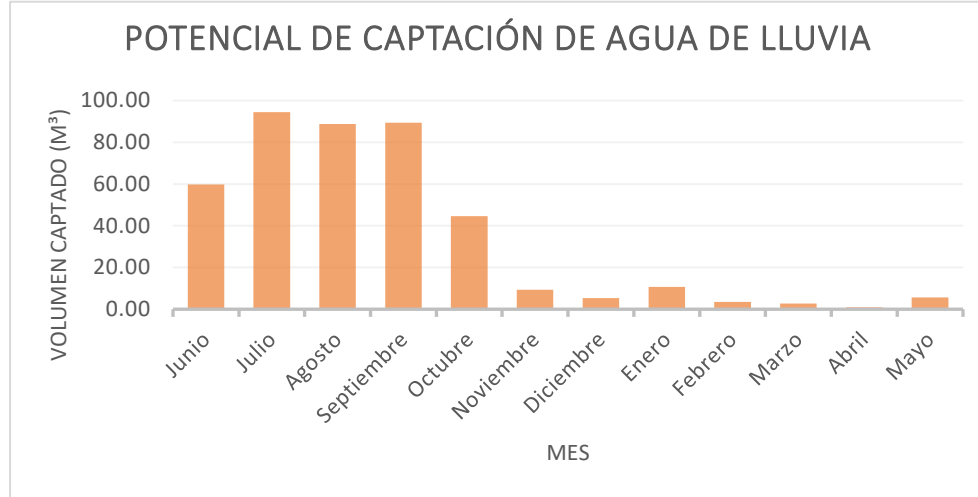


Imagen 43. Grafica de potencial de captación por mes. Elaboración propia, 2021.

Tabla 21. Potencial de captación por mes.

Meses	Precipitación media mensual histórica (mm)	Área aprovechable neta de captación (m <sup>2</sup> )	Potencial de captación de agua de lluvia (l)	Potencial de captación de agua de lluvia (m <sup>3</sup> )
Junio	128.22	466.18	59773.08	59.77
Julio	202.67	466.18	94479.88	94.48
Agosto	190.6	466.18	88853.13	88.85
Septiembre	191.92	466.18	89468.49	89.47
Octubre	95.6	466.18	44566.42	44.57
Noviembre	19.87	466.18	9262.92	9.26
Diciembre	11.41	466.18	5319.07	5.32
Enero	23.02	466.18	10731.37	10.73
Febrero	7.49	466.18	3491.66	3.49
Marzo	5.97	466.18	2783.07	2.78
Abril	1.86	466.18	867.09	0.87
Mayo	12.08	466.18	5631.41	5.63
<b>Total</b>	<b>890.71</b>		<b>415227.57</b>	<b>415.23</b>

Fuente: Elaboración propia.

### 3.5.3 Diseño de elementos de sistema de captación de agua de lluvia.

El sistema integral se conforma de canal abierto, canal cerrado, tubería, cisterna general, pozo de absorción, jardín de lluvia.

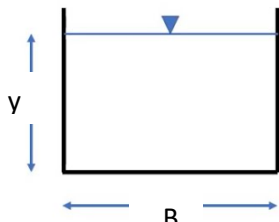
#### Diseño del canal abierto y cerrado

Para el diseño de los canales se considera la fórmula de la obtención del caudal:

$$Q = \frac{V}{t}$$

$V = \text{Volumen}$

$t = \text{tiempo}$



#### Diseño de la tubería

Para conocer el diámetro del bajante de agua se requiere del área de contacto con el agua, posteriormente se hace el ajuste de acuerdo a la precipitación real de Colima con la fórmula:

$$f = i/100$$

Con el resultado obtenido se revisa la tabla 8 para encontrar el diámetro adecuado.

#### Diseño de la cisterna

La capacidad de la cisterna se calcula en función del potencial de captación, donde:

$$l * a * p \geq Pc$$

$l$ : lado       $a$ : alto       $p$ : profundidad

$Pc$ : potencial de captación







## **Diseño de pozo de absorción**

El diseño de este elemento se basa NORMA Oficial Mexicana NOM-015-CONAGUA-2007, Infiltración artificial de agua a los acuíferos - Características y especificaciones de las obras y del agua.

Es necesario realizar un análisis cualitativo de las propiedades que indican la capacidad absorbente del suelo (NOM-006-CNA), estas propiedades son: textura, color, espesor de los estratos permeables y capacidad de infiltración

## **Diseño de las capas del jardín de lluvia**

El diseño de ese elemento se realiza de acuerdo con el documento nombrado Sistema Urbano De Drenaje Sostenible, creado por la Subdirección de Ecourbanismo y Gestión Ambiental Empresarial SEGAE, en diciembre 2011.





## 4. RESULTADOS



## 4.1 Diseño de sistema integral de captación y aprovechamiento de agua de lluvia.

El sistema integral se conforma de canal abierto, canal cerrado, tubería, cisterna general, pozo de absorción, jardín de lluvia y prototipo SA, el cual puede conectarse como parte del sistema o colocarse de manera independiente, según el proyecto lo requiera.

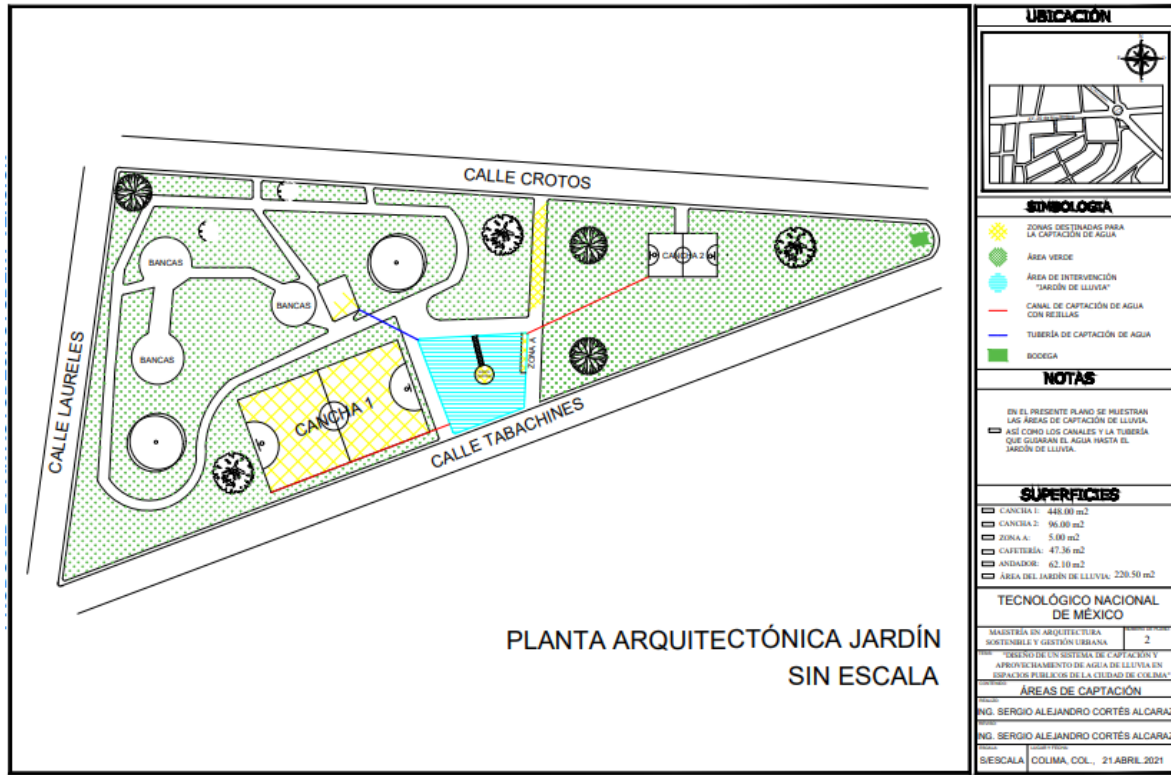


Imagen 44. Diseño de sistema integral Jardín Viveros. Elaboración propia.

### 4.1.1 Diseño del canal abierto (conducción del agua de la cancha 2)

Para el diseño del canal abierto se considera la fórmula de la obtención del caudal que se muestra a continuación:

$$Q = \frac{V}{t}$$

$V = \text{Volumen}$

$t = \text{tiempo}$

Como datos se tienen:

Precipitación máxima de 157 mm/hr, obtenida de un mapa de isoyetas que se muestra a continuación. Este dato multiplicado por la superficie de captación, que son 98 m<sup>2</sup>, dan el volumen. Como tiempo se toman los segundos correspondientes a una hora.

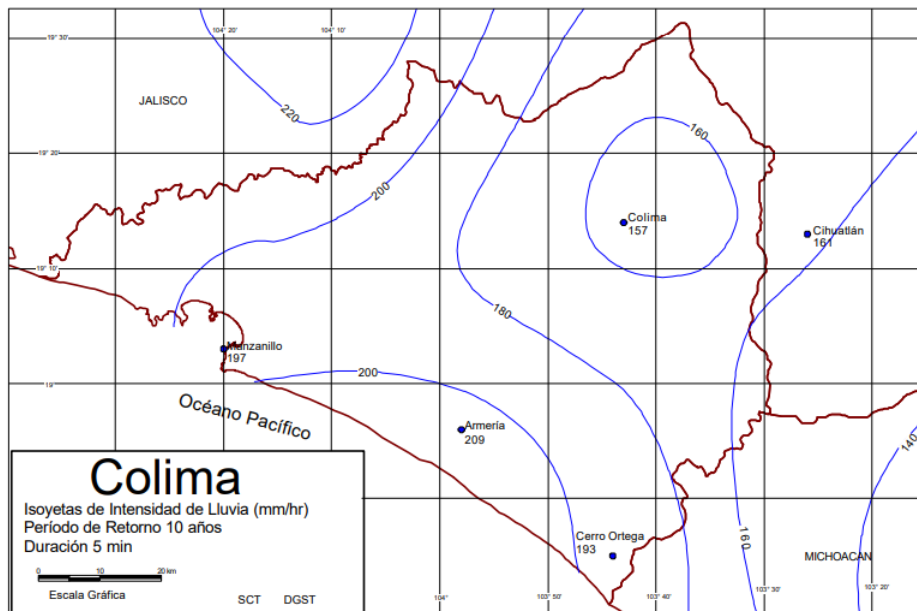


Imagen 45. Diseño del canal abierto (conducción del agua de la cancha 2)

Sustituyendo los datos tenemos:

$$Q = \frac{\left(\frac{157}{1000} m\right)(98m^2)}{86,400s}$$

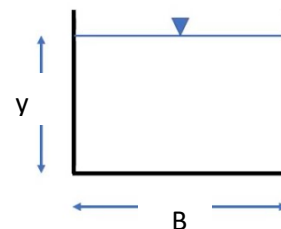
$$Q = 0.000174 m^3/s$$

Una vez obtenido el caudal se procede a dimensionar el canal.

$$Q = v * A$$

$$v = \text{velocidad}$$

$$A = \text{Área}$$



Utilizando la fórmula de la velocidad de Manning y sustituyendo en la de caudal, en términos de “B” y “y” obtenemos:

$$v = \frac{1}{n} * RH_3^2 * s_2^1$$

$$Q = \frac{1}{n} * \left(\frac{y}{2}\right)^{\frac{2}{3}} * s^{\frac{1}{2}} * 2y^2$$

Como ya tenemos el valor del caudal despejamos “y” para conocer las dimensiones del canal

$$y = \left(\frac{2^{2/3} * Q * n}{2 * s^{1/2}}\right)^{3/8}$$

Donde:

**Y**= Altura o tirante de agua

**Q**= Caudal

**S**= Pendiente

**No**= Coef. De rugosidad

Se sustituyen los datos en la formula, los resultados se muestran a continuación:

El valor de s se refiera a la pendiente del terreno el cual es del 2%, n es el coeficiente de rugosidad del material a emplear en este caso, el canal es de concreto y el valor de n= 0.013.

Tabla 22. Cálculo para cancha.

CANCHA 2		
s	0.02	
n	0.013	
y	0.0146	m
A	0.0004	m <sup>2</sup>
B =(2y)	0.0292	m
BL=2y	0.0292	m

Fuente: Elaboración propia.

Las dimensiones del canal son de  $y=1.46\text{ cm}$  por  $B=2.92\text{ cm}$ , considerando un bordo libre de  $2y$  para tener un colchón en caso de mayores precipitaciones, obtenemos que la altura del canal es de  $4.38\text{ cm}$ .

Dado que las dimensiones son muy pequeñas y para el proceso constructivo sería muy complicado, se requiere una mayor dimensión por tanto se proponen las siguientes dimensiones:

$$\text{Altura total } (h) = y + BL \quad y = 5\text{ cm}$$

$$BL(2y) = 10\text{ cm}$$

$$h = 15\text{ cm}$$

$$B = 20\text{ cm}$$

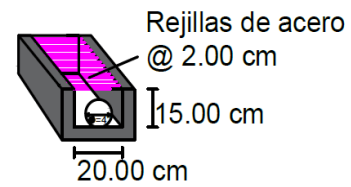


Imagen 46. Diseño de canal. Elaboración propia.

Finalmente se proponen rejillas de acero a cada  $2\text{ cm}$  para cubrir el canal.

#### 4.1.2 Diseño del canal cerrado (conducción del agua de la cancha 1)

Para la obtención de las medidas del canal se lleva a cabo el mismo procedimiento del diseño del canal anterior.

$$Q = \frac{V}{t}$$

$$V = \text{Volumen}$$

$$t = \text{tiempo}$$

Sustituimos los datos, en este caso tenemos que el área de captación es de  $448\text{ m}^2$ , el tiempo es de  $24\text{ hrs}$  y la precipitación de  $157\text{ mm/hr}$ .

$$Q = \frac{\left(\frac{157}{1000}\text{ m}\right)(448\text{ m}^2)}{84600\text{ s}}$$



$$Q = 0.000814 \text{ m}^3/\text{s}$$

Con este valor del caudal se obtiene el valor del tirante “y”

$$y = \left( \frac{2^{2/3} * Q * n}{2 * s^{1/2}} \right)^{3/8}$$

CANCHA 1		
s	0.02	
n	0.013	
y	0.0260	m
A	0.0014	m <sup>2</sup>
B=(2y)	0.0520	m
BL=2y	0.0520	m

Se obtiene un valor de tirante  $y = 2.60 \text{ cm}$  agregando el bordo libre  $BL = 5.20 \text{ cm}$  se tiene una altura total de  $h = 7.80 \text{ cm}$  y una base  $B = 5.20 \text{ cm}$ . Como las medidas son muy pequeñas para ser construidas se proponen dimensiones más grandes por lo tanto queda el canal con las siguientes dimensiones.

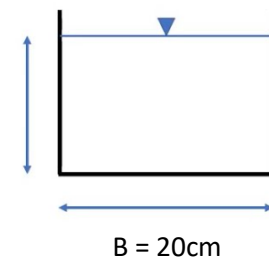
$$y = 5 \text{ cm}$$

$$h = 15 \text{ cm}$$

$$BL(2y) = 10 \text{ cm}$$

$$h = 15 \text{ cm}$$

$$B = 20 \text{ cm}$$



Dado que el canal es a conducción cerrada el parte superior llevara una pequeña losa de concreto.

Tabla 23. Diámetro de las bajantes de aguas pluviales para un régimen pluviométrico de 100mm/h.

Superficie en proyección horizontal servida (m <sup>2</sup> )	Diámetro nominal de la bajante (mm)
65	50
113	63
177	75
318	90
580	110
805	125
1.544	160
2.700	200

#### 4.1.3 Diseño de la tubería (conducción del agua de la cafetería)

El agua que cae sobre el techo de la cafetería se capta mediante un bajante y es guiada por tubería hacia la cisterna.

Para conocer el diámetro del bajante de agua se requiere del área de contacto con el agua la cual es de  $S=47.36 \text{ m}^2$ .

Como en Colima se tiene una precipitación mayor a 100mm/hr se hace una corrección:

$$f = i/100$$

Donde  $i$  es la intensidad pluviométrica obtenida de Colima que es de 157mm/hr.

$$f = 157/100$$

$$f = 1.57$$

Con ese factor se corrige la superficie de contacto

$$S_c = f * S = 1.57 * 47.36 \text{ m}^2 = 74.36 \text{ m}^2$$

De acuerdo con la tabla 8, una vez corregida la superficie se busca el diámetro.

Como se tiene un área de corregida de  $74.36 \text{ m}^2$ , se considerará la superficie de 113 que equivale a un diámetro nominal de 63 mm que vendría a ser de 2 ½”.



Este tubo se conecta a un tubo de 4" para llevar el agua hacia el centro del jardín mismo que recogerá el agua de la mesa-banca y será guiada hasta la cisterna que es el punto de almacenamiento.

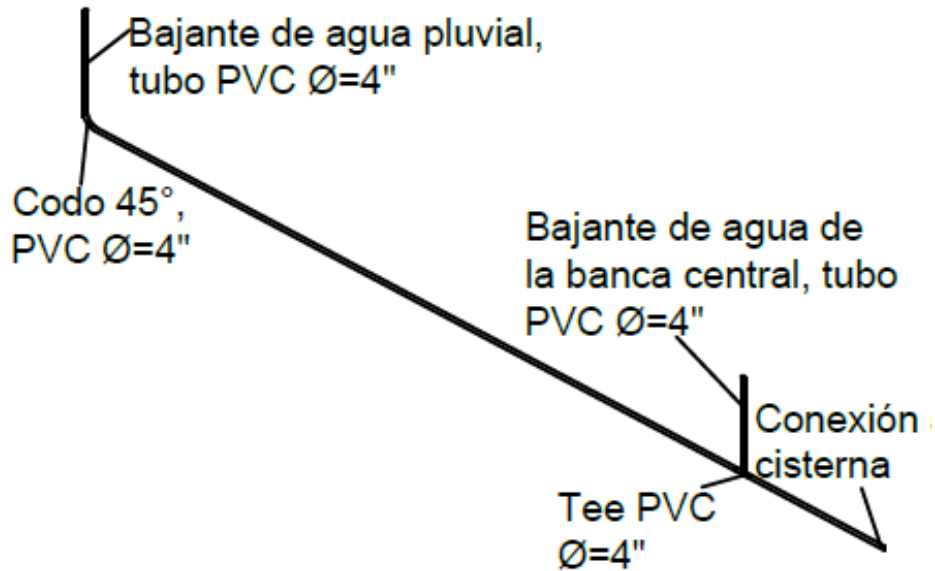


Imagen 47. Diseño de tubería. Elaboración propia.

#### 4.1.4 Diseño de la cisterna

Dado que tenemos un potencial de captación de agua de lluvia de 415.23 m<sup>3</sup> anuales, se propuso una cisterna de una capacidad de 420.00 m<sup>3</sup>

Las dimensiones son las siguientes:

*Largo: 10 m*

*Ancho 10 m*

*Profundidad: 4.2 m*

Las caras laterales y la parte inferior de la cisterna serán de concreto impermeable. El concreto impermeable evita que el agua se salga de la estructura y protege el acero de refuerzo contra la corrosión.

La cara superior es de concreto permeable para poder permitir el paso del agua y que se infiltre de forma directa. En esta cara también se colocará una tapa de acero de 80 cm x 80 cm para de esta forma tener acceso a la cisterna ya sea para darle mantenimiento o cualquier cosa a la que se requiera meterse dentro, también se prevé colocar una escalera tipo marina para poder bajar a la cisterna.

Se colocará una válvula antirretorno en la tubería que conduce el agua hacia la cisterna, de esta forma se evitará que el agua dentro de la cisterna se regrese.

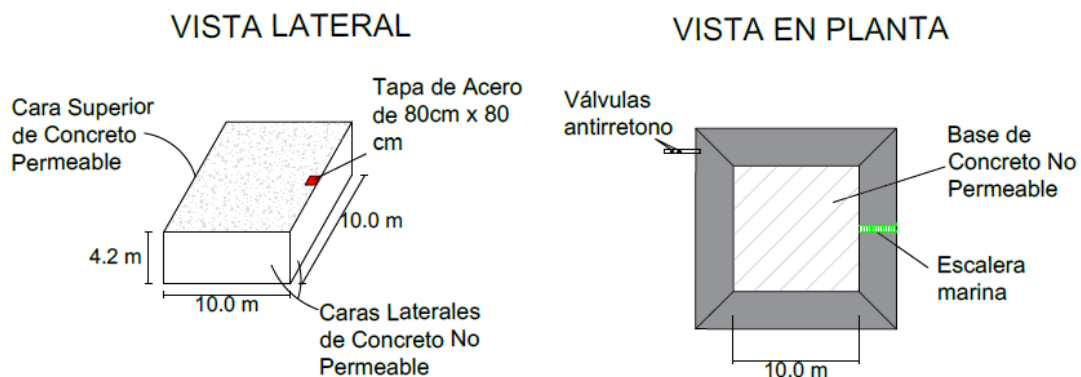


Imagen 48. Diseño de cisterna. Elaboración propia.

Cabe destacar que el diseño de la cisterna va en función de la cantidad de agua que se requiera acumular, en este caso se propone que la cisterna acumule el agua de todo un año sin utilizarse ni un solo litro. Esta se puede reducir si el agua recolectada se va utilizando a lo largo del año.

#### 4.1.5 Diseño de pozo de absorción

Hecho de mampostería de 1.5 metros de diámetro y a una profundidad de 2. Separado 2.5 metros de la cisterna. Con la finalidad de verter el excedente de agua en dado caso que se llene la cisterna en algún año atípico.



#### 4.1.6 Diseño de las capas del jardín de lluvia

### CAPAS JARDÍN DE LLUVIA

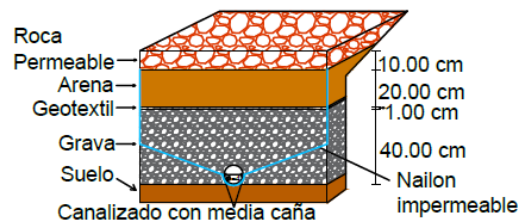


Imagen 49. Jardín de lluvia. Elaboración propia.

Para el diseño del jardín de lluvia se consideraron un total de 4 capas arriba del suelo original.

De acuerdo con el documento nombrado Sistema Urbano De Drenaje Sostenible, creado por la Subdirección de Ecourbanismo y Gestión Ambiental Empresarial SEGAE, en diciembre 2011. Nos hace mención sobre la importancia del orden de las capas, así como el de considerar superficies permeables que permitan el paso del agua y que a su vez los sistemas de



captación puedan cumplir con su función de almacenamiento y aprovechamiento del agua.

A continuación, se desglosan en orden descendente las capas del jardín de lluvia:

En primer orden tenemos que la capa superior debe de ser permeable, es decir que permite el paso del agua, a continuación, se mencionan algunos de los materiales considerados permeables, como: el césped, la grava, la piedra porosa, los pavimentos segmentados como los adoquines drenantes, o piezas prefabricadas en material poroso.

Por lo que se consideró usar algún tipo de piedra permeable como la caliza y/o arsénica. Dándole un grosor a la capa de 10 cm.

La capa siguiente debe de ser de arena, la cual debe ser una capa gruesa y limpia, se le dio un grosor de 20 cm. La razón de esta capa es permitir el paso del agua y al ser poros pequeños retener cualquier tipo de impureza o bien pequeña basuritas que pueda contener el agua.

Después se compone de una pequeña capa o bien de una tela permeable y flexible conocida como Geotextil, esta tela es fabricada de fibras sintéticas de polipropileno y poliéster, cuya función es la filtración y la separación entre capas de materiales, así como el proporcionar una capa drenante. Se consideró dejar un 1 cm para el grosor de esta capa, pero depende del espesor del geotextil.

La siguiente capa se le nombra sub-base permeable, para la cual se considera usar grava ya que por sus propiedades permite el paso del agua de una manera muy efectiva. Dentro de esta capa se coloca en la parte inferior un tubo con ranuras que permite captar el agua para ser conducida a la cisterna. El grosor de esta capa es de 40 cm.





Finalmente, por la parte de abajo del tubo ranurado se coloca un nailon impermeable mismo que cubre las orillas de todo el proceso de capas del jardín de lluvia, esto para evitar que haya fugas del agua.

#### 4.2 Diseño de PROTOTIPO SA.

Opción 1: prototipo conectado a sistema integral.

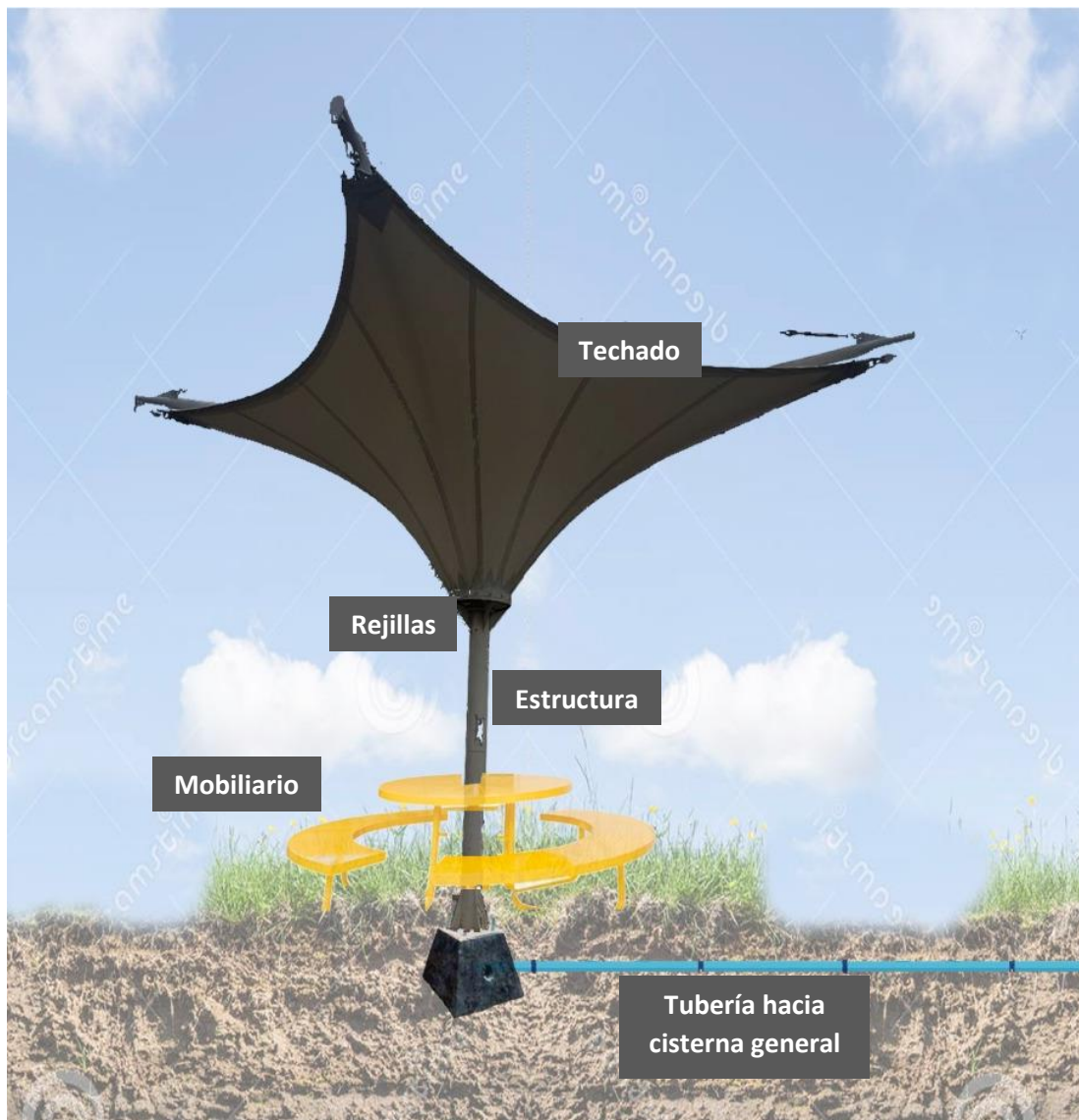


Imagen 50. Esquema de prototipo con componentes de sistema integral. Elaboración propia, 2021

Opción 2: prototipo para instalación individual.



Imagen 51. Esquema con componentes de prototipo con instalación individual. Elaboración propia, 2021

## Componentes del prototipo

### Componentes

#### Techado

Con cubierta de lona en forma de estrella de 4 picos, que se sostiene mediante un tubo circular (OC) de acero de 4" de diámetro.

#### Mobiliario

Mesa circular de diámetro de 1.00 metro. Elaborada de concreto armado con un espesor de 10 cm, con acabado lavado.

Bancas de concreto armado sin respaldo en forma cuadrada.

#### Estructura

Estructura metálica con dado de cimentación, anclada con tornillos, tubo circular (OC) de acero de 4" de diámetro. En la parte superior una estructura que sostiene una cubierta de lona.

#### Rejillas metálicas

La función de la rejilla es impedir el paso de objetos sólidos al sistema

#### Red de agua

Comienza a partir de la primera rejilla con tubería de 3" dentro de la estructura de acero hueca. Conecta directamente con la cisterna. Antes de la cisterna se encuentra otra segunda rejilla y una llave antirretorno y una llave de paso manual que permita cerrar el paso del agua a la cisterna y desviarla al pozo de absorción.





### 4.3 Renders del diseño del sistema integral.



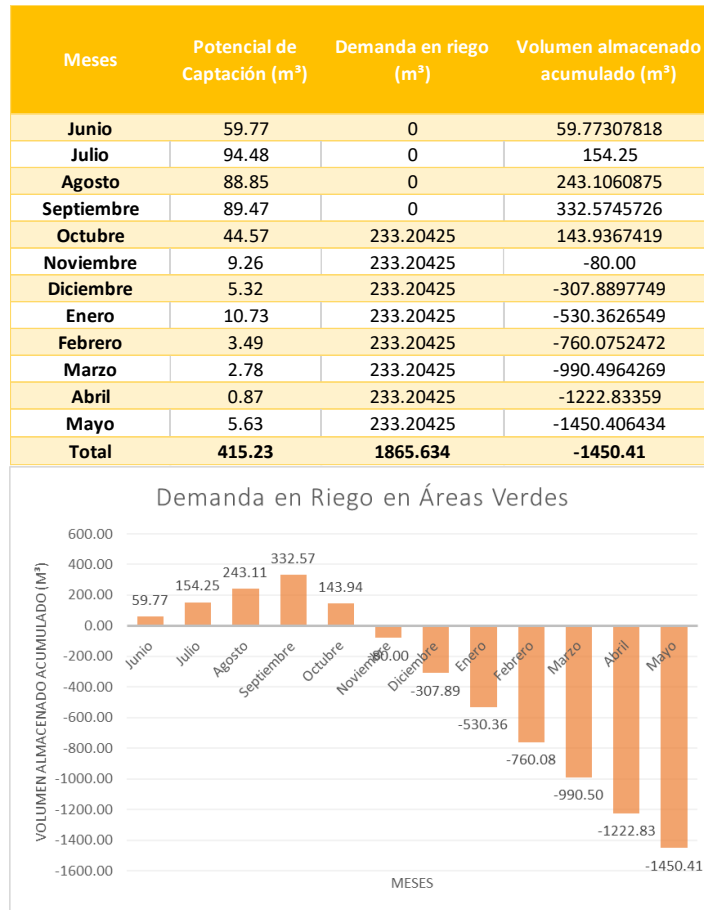
Imagen 52.. Renders de propuesta de diseño del sistema integral. Elaboración propia, 2021

#### 4.4 Análisis de oferta vs demanda de agua

1.- Caso riego de las áreas verdes 15 días al mes en temporada de estiaje\*

\*Para fines prácticos se considera periodo de estiaje de octubre a mayo.

Tabla 24. Demanda de agua para riego.



Fuente: Elaboración propia.

Con esto el sistema proyectado da un porcentaje de cobertura del 22.26% del total de la demanda de agua anual.

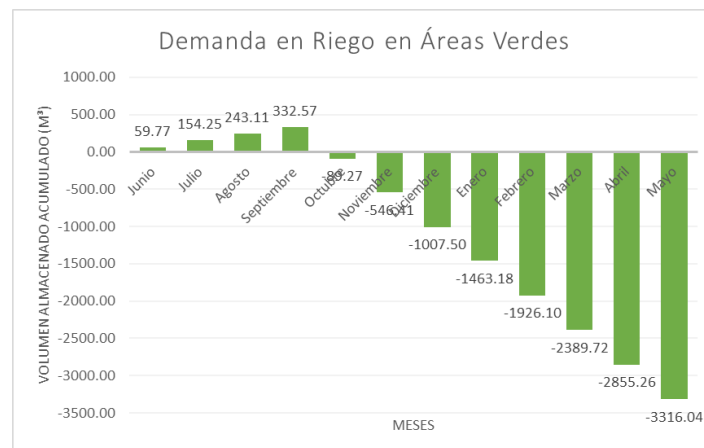
Y una cisterna con capacidad de 332.57 m<sup>3</sup>.

2.- Caso riego de las áreas verdes 30 días al mes en temporada de estiaje\*

\*Para fines prácticos se considera periodo de estiaje de octubre a mayo.

Tabla 25. Demanda de agua para riego. Elaboración propia, 2021.

Meses	Potencial de Captación (m <sup>3</sup> )	Demanda en riego (m <sup>3</sup> )	Volumen almacenado acumulado (m <sup>3</sup> )
Junio	59.77	0	59.77
Julio	94.48	0	154.25
Agosto	88.85	0	243.11
Septiembre	89.47	0	332.57
Octubre	44.57	466.4085	-89.27
Noviembre	9.26	466.4085	-546.41
Diciembre	5.32	466.4085	-1007.50
Enero	10.73	466.41	-1463.18
Febrero	3.49	466.4085	-1926.10
Marzo	2.78	466.4085	-2389.72
Abril	0.87	466.4085	-2855.26
Mayo	5.63	466.4085	-3316.04
<b>Total</b>	<b>415.23</b>	<b>3731.268</b>	<b>-3731.27</b>



Fuente: Elaboración propia.

Con esto el sistema proyectado da un porcentaje de cobertura del 11.13% del total de la demanda de agua anual.

Y una cisterna con capacidad de 332.57 m<sup>3</sup>.



#### 4.5 Ahorro en el costo del agua

De acuerdo con la Ley que establece las Cuotas y Tarifas para el Pago de Derechos por los Servicios Públicos de Agua Potable y Alcantarillado y Saneamiento de los Municipios de Colima y Villa de Álvarez, en el Estado de Colima en el artículo 6 menciona los costos por rangos de consumo de metros cúbicos de agua. En la imagen se muestra los costos por m<sup>3</sup> de agua potable que le cuesta al H. Ayuntamiento de Colima.

(REFORMADO DECRETO 15, P.O. 62, SUP. 2, 26 DICIEMBRE 2006)

**ARTÍCULO 6.-** Por los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento prestados a instituciones o dependencias públicas en los municipios de Colima y Villa de Álvarez, se pagarán los derechos de acuerdo con la siguiente:

**TARIFA**  
(REFORMADO DECRETO 209, P.O. 57, SUP. 3, 29 DICIEMBRE 2007)

RANGOS DE CONSUMO EN METROS CUBICOS		CUOTA POR CADA METRO CÚBICO DE AGUA		
		AGUA POTABLE	ALCANTARILLADO	SANEAMIENTO
DE 0	HASTA a 20	1.87398	0.46850	0.69162
21	a 30	0.10550	0.02638	0.03896
31	a 40	0.12131	0.03032	0.04479
41	a 50	0.13972	0.03494	0.05156
51	a 60	0.16050	0.04013	0.05926
61	a 80	0.19259	0.04814	0.07109
81	a 100	0.23130	0.05782	0.08537
101	a 150	0.27756	0.06939	0.10247
151	a 200	0.33279	0.08320	0.12282
201	en adelante	0.39957	0.09990	0.14744

*Imagen 53. Costos por m<sup>3</sup> de agua del H. Ayuntamiento de Colima. Ley la Ley que establece las Cuotas y Tarifas para el Pago de Derechos por los Servicios Públicos de Agua Potable y Alcantarillado y Saneamiento de los Municipios de Colima y Villa de Álvarez, 2021.*

Ahorro económico del prototipo SA dependiendo el diámetro utilizado y la zona dónde se proponga su implementación.

Tabla 26. Ahorro económico anual en pesos por año, de cada una de las zonas y tamaño de prototipo

Ahorro económico Promedio Anual (\$/año) (Considerando 1.87398 \$/m <sup>3</sup> para dependencias o instituciones públicas)				
Diámetro (m)	Zona 6008	Zona 6040	Zona 6073	Zona 6052
1.00	\$ 1.11	\$ 1.18	\$ 1.28	\$ 1.21
1.50	\$ 2.49	\$ 2.65	\$ 2.87	\$ 2.72
2.00	\$ 4.43	\$ 4.72	\$ 5.10	\$ 4.83
2.50	\$ 6.92	\$ 7.37	\$ 7.97	\$ 7.55
3.00	\$ 9.97	\$ 10.62	\$ 11.48	\$ 10.87

Fuente: Elaboración propia.

Ahorro económico del sistema integral de captación propuesto en el jardín de los viveros.

Tabla 27. Ahorro total anual. Elaboración propia.

Meses	Potencial de Captación (m <sup>3</sup> )	Ahorro en \$ (Considerando 0.39957\$/m <sup>3</sup> )
<b>Junio</b>	59.77	\$ 23.88
<b>Julio</b>	94.48	\$ 37.75
<b>Agosto</b>	88.85	\$ 35.50
<b>Septiembre</b>	89.47	\$ 35.75
<b>Octubre</b>	44.57	\$ 17.81
<b>Noviembre</b>	9.26	\$ 3.70
<b>Diciembre</b>	5.32	\$ 2.13
<b>Enero</b>	10.73	\$ 4.29
<b>Febrero</b>	3.49	\$ 1.40
<b>Marzo</b>	2.78	\$ 1.11
<b>Abril</b>	0.87	\$ 0.35
<b>Mayo</b>	5.63	\$ 2.25
<b>Total</b>	<b>415.23</b>	<b>\$ 165.91</b>

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.6 Requisitos del espacio para implementar del sistema.

Como requisitos mínimos para la implementación de este prototipo se encuentra lo siguiente:

- Espacio libre de obstrucciones de 4 m<sup>2</sup>

- Colocarse por lo menos 5 metros de distancia de un árbol.
- Lugar dónde no exista intercepción ni escurrimientos de agua
- No colocarse en cauces ni arroyos naturales
- Topografía no muy accidentada (Pendiente menor al 7%)

#### 4.7 Mantenimiento básico del sistema de captación de agua de lluvia.

Como Para asegurar una correcta operación y eficiente funcionamiento del SCALL es necesario que al mismo se le dé un adecuado mantenimiento y se esté chequeando cada uno de sus componentes periódicamente. Las acciones correctivas y preventivas que se aplique al sistema asegurarán una mayor vida útil con lo cual se podrá disponer de un SCALL funcionando sin problemas. Es importante llevar un registro a manera de bitácora de cada una de las actividades que se realicen en el SCALL descritas en esta guía, la información que debe anotarse es: fecha, descripción de la actividad realizada, próxima actividad y fecha, nombre de la persona.

*Cubierta:* Se debe verificar cada año que la cubierta se encuentre en buen estado y limpio. Si el techo tiene zonas con óxido u hongos, lijarlas y limpiarlas nuevamente. Al realizar la limpieza tener cuidado de cerrar la llave de paso para con ello evitar que el agua sucia se introduzca a la cisterna.

*Rejillas:* Cada 6 meses verificar que la reja se encuentre bien colocada y en buen estado. Limpiar ambas rejillas de los sedimentos solidos que pudieran tener. En temporada de lluvias es importante monitorearlos con mayor frecuencia.



*Cisterna:* Para el mantenimiento de ésta, es conveniente revisarla cada periodo de estiaje y lavarla en caso de encontrarse con mucho sedimento o muy sucia.

*Pozo de absorción:* Revisión del pozo de absorción cada 6 meses, en caso de sedimentación, hacer el desazolve correspondiente.

#### 4.8 Discusión

Después de analizar los resultados se concluye que es necesario el estudio específico de cada uno de los espacios para dar una solución más detallada y adecuada. Se observa que el potencial de captación de agua de lluvia va directamente proporcional al área de captación, es decir entre mayor área mayor volumen de captación. También está en función de la ubicación del espacio, debido a que la precipitación varía en tiempo y espacio, este factor de la ubicación en la ciudad de Colima tiene una diferencia de 126 mm anuales entre la zona con mayor precipitación (influenciada por la estación 6073) y la zona con menor precipitación (influenciada por la estación 6008).

Es importante mencionar que las áreas verdes demandan anualmente de gran cantidad de agua para su mantenimiento; los sistemas de captación de agua de lluvia no solucionan el 100% de la demanda del agua sin embargo son de gran ayuda en la temporada de estiaje.

El porcentaje que se cubre dependerá de las características de los espacios intervenidos, así como de los días de riego, como se puede observar en la siguiente tabla del caso de estudio del Jardín Viveros.



Tabla 28. Ahorro en la demanda anual en riego alternado cada dos días para caso de estudio de Jardín de los Viveros.  
Elaboración propia.

Ahorro en demanda de agua anual			
	Potencial de captación m <sup>3</sup>	Demanda de riego m <sup>3</sup>	% de ahorro
sistema integral	415.23	1865.64	22.257%
prototipo SA 2m	2.52	1865.64	0.135%
prototipo SA 3m	5.66	1865.64	0.303%

Fuente: Elaboración propia.

Las ventajas que presenta el prototipo SA, es que es replicable y puede colocarse en cualquier espacio e interconectarse, a diferencia del sistema integral que se diseña específicamente para el caso estudiado.

Se observa que el Prototipo SA por sí solo tiene un ahorro mínimo, pero al integrarlo a un sistema integral el ahorro es mayor, sin embargo, este último siempre dependerá de las características que presente el espacio público.

Ahora bien, si analizamos el ahorro de agua en temas monetarios, observamos que el ahorro anual es muy bajo, esto se debe al costo tan bajo que tiene el m<sup>3</sup> de agua en la ciudad de Colima. Esto a los inversionistas realmente suena poco atractivo, porque el periodo de retorno de la inversión es muy a largo plazo por el lado económico. Sin embargo, los beneficios de implementación de un SCALL van más de lo económico, sino que su primordial enfoque es hacia el medio ambiente.





## 5. CONCLUSIONES







## 5.1 Cumplimiento de los objetivos de la investigación.

Los objetivos planteados en esta investigación fueron cubiertos en su totalidad, debido a que se delimitaron y caracterizaron los espacios públicos a estudiar, se analizó la factibilidad técnica del sistema de captación y aprovechamiento de agua de lluvia, se definió y diseño el prototipo y, por último, se determinaron las características del prototipo.

La delimitación y caracterización de los espacios públicos estudiados se realizó mediante información documental y de campo, con ayuda de tablas y sistemas de información geográfico ayudó para la organización de la información.

Por otro lado, se recopiló y analizó la información pluviométrica de las estaciones climatológicas cercanas a los puntos de estudio y con ello se estimó el potencial de captación, dando como resultado una factibilidad técnica a la implementación de los sistemas en las zonas estudiadas.

Con la información analizada y la investigación de campo, se llevó a cabo la definición y el diseño del sistema determinando cada uno de los elementos que lo componen, cumpliendo así con el último objetivo planteado.

### ***Limitaciones.***

Sin embargo, cabe señalar que a lo largo de la investigación estos fueron cambiando y se desecharon algunos otros por no estar al alcance de la investigación ya sea por los tiempos de recolección de la información y otros por el tema de la contingencia sanitaria COVID-19 que no permitió hacer uso de las instalaciones en tiempo y forma requerida para realizar los análisis de agua de lluvia correspondientes en el periodo de lluvias que es de junio-octubre.





## 5.2 Aceptación o rechazo de la hipótesis.

La hipótesis planteada al inicio de la investigación fue la siguiente: “El diseño de un sistema de captación y aprovechamiento de agua de lluvia en espacios públicos de la ciudad de Colima tiene la factibilidad para implementarse y utilizarse como medio alternativo del uso del agua para el riego de sus áreas verdes, contribuyendo a su resiliencia y sostenibilidad”, se considera como aceptada; debido a que, se analizó la zona más desfavorable en temas de riego y el estudio arrojó que es factible la implementación y utilización de la captación de agua de lluvia y con ello disminuir la problemática de la escasez del agua, además, de utilizar el agua de lluvia que no ha sido aprovechada anteriormente.

De tener problemas con el agua de lluvia como la escasez de agua o caso contrario el exceso de agua provocando inundaciones, a dar solución de captar esa agua en almacenamientos y sea usada en temporada de sequía para riego, convierte en espacio resiliente en temas de agua.

## 5.3 Importancia de los resultados obtenidos.

La importancia de esta investigación es que, como pionera en el estado en estudiar la captación de agua de lluvias en espacios públicos en específico de la ciudad de Colima abre las puertas para que se genere el estudio en todo territorio colimense. Con esto las dependencias tomadoras de decisiones puedan implementar el uso de estos sistemas para incentivar el desarrollo sostenible de las ciudades, con ello disminuir el uso del agua potable corriente y esta disminución representa poder brindar mayor cobertura a casas habitación.

Este prototipo busca impactar de manera positiva tanto en el área de la investigación como en el área profesional, ya que este proyecto sienta las bases para generar un sistema de captación en cualquier otra parte de Colima, siguiendo la metodología utilizada y cambiando las condiciones específicas de



cada lugar se pueden llegar a la implementación de estos sistemas tanto en instancias gubernamentales como en iniciativa privada.

#### **5.4 Aportaciones.**

Con los resultados de esta investigación se generará un reporte técnico, con la información detallada del sistema, para que con ello el IPCO conozca las ventajas de que tiene, tomé las decisiones pertinentes, genere sus proyectos, y posteriormente los ejecute.

En el desarrollo de la presente investigación y como parte del programa de la Maestría en Arquitectura Sostenible y Gestión Urbana, se publicó un artículo de divulgación científica en una revista CIENCIA UANL perteneciente a la Universidad De Nuevo León, en dónde además, se me invitó a participar en un programa de radio de Nuevo León para conocer más a detalle de los sistemas de captación de agua de lluvia, en un estado donde actualmente sufren de escasez de agua y en temporada de lluvias, irónicamente sufren de inundaciones.

#### **5.5 Recomendaciones para continuar con las investigaciones en lo futuro.**

Se recomienda hacer estudios microbiológicos y de la química del agua de lluvia y evaluar los parámetros conforme a la Norma Oficial Mexicana-127-SSA1-1994, esta norma es la que establece los límites permisibles de calidad y los tratamientos de potabilización del agua para uso y consumo humano, para con ello tener establecidos los parámetros de la calidad del agua que llueve en distintos puntos de la ciudad de Colima, y en dado caso, saber la viabilidad de usarla para consumo humano directamente o pasarla por una serie de tratamientos.

Otra recomendación es la vinculación con otras instituciones académicas con anticipación para con ello tener el mayor provecho posible y así aumentar el grado de conocimiento y de profundización de los proyectos de investigación. Aunado a esto se recomienda integrar a estudiantes de





licenciatura y/o de maestría, ya sea en veranos de investigación o semestral para que participen en el desarrollo de actividades de campo y de investigación.

Otra de las investigaciones a futuro se pueden tomar otras áreas de la ciudad de Colima, de la zona metropolitana de Colima o del estado para su análisis, y con ello conocer su comportamiento, factibilidades técnicas de intervención de sistemas de captación de agua de lluvia, así comparar las similitudes y diferencias que tienen con el presentado en esta investigación.

## 5.6 Nuevos proyectos de investigación.

Como trabajo futuro del proyecto se recomienda realizar el presupuesto del prototipo de captación, a precios unitarios y/o paramétrico donde se incluyan los conceptos de obra más relevantes, materiales, mano de obra, maquinaria, costos de operación y de mantenimiento.

Como proyecto de investigación se recomienda realizar el balance hídrico de la ciudad de Colima, teniendo en cuenta todas las entradas y salidas a la cuenca que tiene la ciudad, para ello se recomienda destinar tiempo suficiente para la búsqueda de información.

Otro proyecto que se puede realizar es la integración de un sistema urbano de drenaje sostenible en alguna zona específica de la ciudad, a nivel ciudad o a nivel conurbación, ya que, el comportamiento es distinto cuando se analiza en nivel específico en micro y ya a escala macro.





## 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS





- Anaya Garduño, M. (2009). *Antecedentes de la captación del agua de lluvia*, México: Centro Internacional de Demostración y Capacitación de Aprovechamiento del Agua de Lluvia CIDECALLI.
- ANAYA, Garduño. M. (2004). Manual de Sistemas de captación de agua de lluvia para uso doméstico en América Latina y el Caribe; IICA. Ed. Colegio de Posgraduados. Montecillo, México.
- Aparicio, M. F. J. 2010. Fundamentos de hidrología de superficie. Limusa. 1ra. edición. México. 304 p.
- ARCSA. (2013). History & Background. noviembre 06, 2013, de ARCSA Sitio web: [https://arcsa.site-ym.com/?page=arcsa\\_history](https://arcsa.site-ym.com/?page=arcsa_history)
- Ballén Suárez, J. A., Galarza, G. M. Á. & Ortiz Mosquera, R. O., 2006. Historia de los sistemas de aprovechamiento de agua lluvia. *VI Seminario Iberoamericano sobre sistemas de abastecimiento Urbano de Agua*.
- Beck, H. (2009). Linking the quality of public spaces to quality of life. *Journal of Place Management and Development*, 2(3), 240-248.
- Borja, J. (2012). ESPACIO PÚBLICO Y DERECHO A LA CIUDAD. *Debatstreballsocial files wordpress*.
- CIAMA. (1992). DECLARACIÓN DE DUBLIN SOBRE EL AGUA Y EL DESARROLLO SOSTENIBLE. *DECLARACIÓN DE DUBLIN*, (pág. 7). DUBLÍN, IRLANDA.
- CIAPACOV. (Agosto de 2012). *COMISIÓN INTERMUNICIPAL DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO DE LOS MUNICIPIOS DE COLIMA Y VILLA DE ALVAREZ*. Obtenido de <https://www.ciapacov.gob.mx/CulturaAgua>
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), 2009. *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento. Datos Básicos*, Mexico, D.F.: Comisión Nacional del Agua.
- Escamilla, Pino (2010). Captación de agua de lluvia, alternativa sustentable. México: Instituto Politécnico Nacional
- FAO. (2000). Manual de captación y aprovechamiento del agua de lluvia. Santiago, Chile.







- FAO. (21 de julio de 1995). *Ley de Aguas para el Estado de Colima*. Obtenido de <http://www.fao.org/faolex/results/details/es/c/LEX-FAOC139444/>
- Fernández, A. (Diciembre de 2012). El agua: un recurso esencial. *Química viva*, 11(3), 147-170.
- Fondo para la Comunicación y la Educación Ambiental A.C., 2004. *Agua.org.mx*. [En línea] Recuperado en: <https://agua.org.mx/cuanta-agua-tiene-mexico/#cuanta-hay> [Último acceso: Noviembre 2019].
- García, E. (2003). Distribución de la precipitación en la República Mexicana. *Boletín del instituto de Geografía*, 67-76.
- Garrido, S. (2008). Sistemas de captación, almacenamiento, tratamiento y aprovechamiento de agua de lluvia en zonas urbanas. Jiutepec: IMTA.
- Gleason Espíndola, J. A., 2005. *Manual de aprovechamiento de agua pluviales en centros urbanos*. Guadalajara, Jalisco, México: Universidad de Guadalajara, Centro Universitario de Arte, Arquitectura y Diseño.
- Gleason Espíndola, J. A., 2014. *Sistemas de agua sustentables en las ciudades*. Primera ed. D.F., México: Trillas.
- Gluckman, L. (2017). Water Sensitive Urban Design as a Transformative Approach to Urban Water Management in Cape Town: A Case Study of the Proposed River Club Development (Tesis de Maestría). University of Cape Town, Cape Town.
- Gnadlinger J. (2015). "Agua de Chuva no manejo integrado dos recursos hídricos em localidades semiáridas: aspectos históricos, biofísicos, técnicos, económicos e sociopolíticos", Instituto Nacional do Semiárido, ISBN 978-85-64265-13-4, Campina Grande. Brasil.
- Gobierno Municipal de Colima. (2019). *Estrategia de Resiliencia* (pp. 39–63). Colima: Oficina de Resiliencia del estado de Colima.
- Gould J. y E. Nissen-Petersen, 1999. Rainwater Catchment Systems for Domestic Supply: Design, Construction and Implementation. Action Publishing, EUA.
- Herrera, L.A. (2010). Estudio de alternativas para el uso sustentable del agua lluvia. (Maestría). IPN-ESIA Unidad Zacatenco, México.





HISTORIA, I. N. (lunes de julio de 2020). *inah.gob.mx*. Obtenido de <https://www.inah.gob.mx/zonas-arqueologicas>

Hugues, R. T., 2019. La captación del agua de lluvia como solución en el pasado y el presente. *Ingeniería hidráulica y ambiental*, XL(2), pp. 125-139.

INAH. (LUNES de JULIO de 2020). *INSTITUTO NACIONAL DE ANTROPOLOGÍA E HISTORIA*. Obtenido de ZONAS ARQUEOLÓGICAS: <https://www.inah.gob.mx/zonas-arqueologicas>

INEGI. (5 de JULIO de 2015). *CUENTAME INEGI*. Obtenido de <http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/col/territorio/clima.aspx?tema=me&e=06>

Jiménez, Geidy (2018). *EVALUACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA DE UN DISEÑO DE SISTEMA DE APROVECHAMIENTO DE LLUVIA PARA USO DOMÉSTICO EN LA COMUNIDAD AWAJUN DE JUUM DEL DISTRITO DE IMAZA, PROVINCIA DE BAGUA, DEPARTAMENTO DE AMAZONAS, 2017* (Licenciatura). UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRIGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS, CHACHAPOYAS, PERÚ. Recuperado de: <http://repositorio.untrm.edu.pe/bitstream/handle/UNTRM/1505/Jim%C3%A9nez%20Yoplac%20Geidy%20Yecenia.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Jiménez, Viridiana. (2017). *ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICO ECONÓMICA DE LA CAPTACIÓN Y TRATAMIENTO DE AGUA DE LLUVIA EN ZONA URBANA*. (Maestría). IMTA, Jiutepec, Morelos.

LADSEC. (15 de junio de 2002). *Dirección de procesos legislativos del H. Congreso del Estado de Colima*. Obtenido de [http://congresocol.gob.mx/web/Sistema/uploads/LegislacionEstatal/LeyesEstatales/ambiental\\_13feb2016.pdf](http://congresocol.gob.mx/web/Sistema/uploads/LegislacionEstatal/LeyesEstatales/ambiental_13feb2016.pdf)

LEGEEPA. (1988). *Diario Oficial*. México, Df.: Secretaria de Desarrollo urbano y ecología.

León Agatón, A., Córdoba Ruiz, J. C. & Carreño Sayago, U. F., 2016. Revisión del estado de arte en captación y aprovechamiento de aguas lluvias en zonas urbanas y aeropuertos. *Revista Tecnura*, 20(50), pp. 141-153.

Ley de aguas del Distrito Federal. (27 de mayo de 2003). *Gobierno del Distrito Federal*. Obtenido de <http://www.paot.org.mx/centro/leyes/df/pdf/leyagua%2831mayo06%29.pdf>





Ley del agua para el estado de Jalisco. (24 de febrero de 2007). *Jalisco Gobierno del Estado*. Obtenido de [Info.jalisco.gob.mx:https://info.jalisco.gob.mx/gobierno/documentos/9112#:~:text=Compartir%20en%20%3A&text=Establecer%20las%20bases%20generales%20para%20la%20prestaci%C3%B3n%20de%20los%20servicios,contiene%20107%20art%C3%ADculos%20m%C3%A1s%20transitorios](http://Info.jalisco.gob.mx:https://info.jalisco.gob.mx/gobierno/documentos/9112#:~:text=Compartir%20en%20%3A&text=Establecer%20las%20bases%20generales%20para%20la%20prestaci%C3%B3n%20de%20los%20servicios,contiene%20107%20art%C3%ADculos%20m%C3%A1s%20transitorios).

LGAHOTDU. (28 de Noviembre de 2016). *Gobierno de México*. Obtenido de <https://www.gob.mx/sedatu/prensa/publica-dof-ley-general-de-asentamientos-humanos-ordenamiento-territorial-y-desarrollo-urbano>

Martínez, C. (2004). *Valoración económica de áreas verdes urbanas de uso público en la comuna de la Reina* (Master). Universidad de Chile.

OGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD. (2006). *Tecnologías apropiadas para el suministro de agua en situaciones de emergencia*. Colombia. 68p. Recurso electrónico: Link: <file:///D:/Downloads/tecnologiasAGUA.pdf>

ONU HABITAT III. (2016). *NUEVA AGENDA URBANA. Conferencia de las naciones unidas sobre el desarrollo urbano sostenible* (pág. 54). Quito: ONU.

ONU. (1992). *Agenda 21*. noviembre 06, 2016, de ONU Sitio web: <http://www.un.org/spanish/esa/sustdev/agenda21/>

Perahia, R. (2007). *Las Ciudades y su Espacio Público*. Obtenido de <http://www.ub.edu/geocrit/9porto/perahia.htm>

Reyes, I., & Gutierrez, J. (2010). *Los servicios ambientales de la arborización urbana: retos y aportes para la sustentabilidad de la ciudad de toluca*. *Quivera*, 12(1), 96-102.

Rodríguez-Sánchez, D. I., Escamilla-Santiago, R. A., García-Rodríguez, G., & López-Cervantes, M. (2018). *Terremotos y salud en México: atención de la emergencia en el Istmo de Tehuantepec*. *Salud Pública De México*, 60(Supl.1), S90-S96. <https://doi.org/10.21149/9405>

Secretaria de Planeación y Finanzas. (2017). *Programa Institucional 2017-2021* (pp. 0–39). Colima: Gobierno del Estado.

SEDESOL. (jueves de octubre de 2007). *SECRETARIA DE DESARROLLO SOCIAL*. Obtenido de [http://www.inapam.gob.mx/es/SEDESOL/Programa\\_Rescate\\_de\\_Espacios\\_Publicos](http://www.inapam.gob.mx/es/SEDESOL/Programa_Rescate_de_Espacios_Publicos)





SEDESOL. (mayo de 2010). *SECRETARIA DE DESARROLLO SOCIAL*. Obtenido de

[http://www.sedesol.gob.mx/work/models/SEDESOL/Sedesol/sppe/dgap/diagnostico/Diagnostico\\_PREP.pdf](http://www.sedesol.gob.mx/work/models/SEDESOL/Sedesol/sppe/dgap/diagnostico/Diagnostico_PREP.pdf)

Suárez, J. A. (2006). Historia de los sistemas de aprovechamiento de agua lluvia. Brasil: João Pessoa

Viridiana Molinares-Hassan & Judith Echeverría-Molina, (2011). El derecho humano al agua: posibilidades desde una perspectiva de género, 19 International Law, Revista Colombiana de Derecho Internacional, 269-302.

Yañez, S. (2013). *Análisis costo-efectividad para una propuesta de áreas verdes sustentables en el área metropolitana de Santiago (AMS)* (Master). Universidad de Chile.

