



# **UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

## **TESIS**

**“ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL DE  
CAPTACIÓN Y APROVECHAMIENTO DE  
AGUA DE LLUVIA EN LA FACULTAD DE  
INGENIERÍA DE CIUDAD UNIVERSITARIA,  
UNICACH”**

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:**

**MAESTRO EN CIENCIAS EN  
DESARROLLO SUSTENTABLE Y  
GESTIÓN DE RIESGOS**

**PRESENTA**

**EDILBERTO VICTORIO OCAÑA**

**DIRECTOR**

**DR. ARTURO CARRILLO REYES**

**CO-DIRECTOR**

**DRA. TAMARA MILA RIOJA PARADELA**

**ASESORES**

**DR. ROEL SIMUTA CHAMPO**

**DR. JUAN GABRIEL GARCÍA MALDONADO**

**Tuxtla Gutiérrez, Chiapas**

**marzo de 2024**



# **UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

## **TESIS**

**“ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL DE  
CAPTACIÓN Y APROVECHAMIENTO DE  
AGUA DE LLUVIA EN LA FACULTAD DE  
INGENIERÍA DE CIUDAD UNIVERSITARIA,  
UNICACH”**

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:**

**MAESTRO EN CIENCIAS EN  
DESARROLLO SUSTENTABLE Y  
GESTIÓN DE RIESGOS**

**PRESENTA**

**EDILBERTO VICTORIO OCAÑA**

**REVISORES**

**DR. JORGE ANTONIO PAZ TENORIO  
DR. SEGUNDO JORDÁN ORANTES ALBOREZ**

**Tuxtla Gutiérrez, Chiapas**

**marzo de 2024**





**UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS**  
**SECRETARÍA ACADÉMICA**  
**DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO**

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas a 28 de febrero de 2024  
Oficio No. SA/DIP/0146/2024  
Asunto: Autorización de Impresión de Tesis

C. Edilberto Victorio Ocaña  
CVU: 1067682  
Candidato al Grado de Maestro en Ciencias en  
Desarrollo Sustentable y Gestión de Riesgos  
Facultad de Ingeniería  
UNICACH  
Presente

Con fundamento en la **opinión favorable** emitida por escrito por la Comisión Revisora que analizó el trabajo terminal presentado por usted, denominado **Estimación del potencial de captación y aprovechamiento de agua de lluvia en la Facultad de Ingeniería de Ciudad Universitaria, UNICACH** cuyo Director de tesis es el Dr. Arturo Carrillo Reyes (CVU: 101140) quien avala el cumplimiento de los criterios metodológicos y de contenido; esta Dirección a mi cargo **autoriza** la impresión del documento en cita, para la defensa oral del mismo, en el examen que habrá de sustentar para obtener el **Grado de Maestro en Ciencias en Desarrollo Sustentable y Gestión de Riesgos**.

Es imprescindible observar las características normativas que debe guardar el documento impreso, así como realizar la entrega en esta Dirección de un ejemplar empastado.

**Atentamente**  
**"Por la Cultura de mi Raza"**

**Dra. Carolina Orantes García**  
**Directora**



C.c.p. Ing. Mónica Catalina Cisneros Ramos, Directora de la Facultad de Ingeniería, UNICACH. Para su conocimiento.  
Dr. Arturo Carrillo Reyes, Coordinador del Posgrado, Facultad de Ingeniería, UNICACH. Para su conocimiento.  
Archivo/minutario.

RJAG/COG/igp/gtr

**2024 Año de Felipe Carrillo Puerto**  
**BENEMÉRITO DEL PROLETARIADO,**  
**REVOLUCIONARIO Y DEFENSOR DEL MAYAB.**



Dirección de Investigación y Posgrado  
Libramiento Norte Poniente 1550 C.P. 29039  
Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México  
Teléfono: (961) 61 70440 Ext: 4360  
investigacionyposgrado@unicach.mx

## **Agradecimientos**

En el proceso de realización de este trabajo, he contado con el apoyo incondicional de diversas personas que han contribuido de manera significativa a su culminación. A continuación, deseo expresar mi más sincero agradecimiento a aquellos que han sido fundamentales en este camino de aprendizaje y crecimiento académico.

Agradezco profundamente al Dr. Arturo Carrillo Reyes por su guía experta, paciencia y dedicación a lo largo de este proceso. Su mentoría ha sido fundamental en mi crecimiento académico y profesional.

Mi gratitud se extiende a la Dra. Tamara Mila Rioja Paradela por su invaluable contribución, visión y conocimientos que han enriquecido este trabajo y me han inspirado a alcanzar nuevas metas.

A mis asesores, Dr. Roel Simuta Champo y Dr. Juan Gabriel García Maldonado, les agradezco por su valiosa contribución, tiempo dedicado y sugerencias constructivas que fueron fundamentales para el desarrollo de este trabajo.

A mi madre, Mayra Ocaña Ramos, le doy las gracias por su amor incondicional y apoyo en cada paso que he dado. Su constante ánimo y palabras de aliento han sido fundamentales para que yo pudiera alcanzar este logro. Agradezco infinitamente cada sacrificio que ha hecho para brindarme las herramientas necesarias para mi formación académica. Gracias por ser mi inspiración, por motivarme a dar siempre lo mejor de mí y por ser mi sostén en los momentos difíciles. Este logro también es tuyo, mamá, y quiero que sepas que tu influencia ha sido determinante en cada paso que he dado.

A mi querida hermana, Karen Suzel Victorio Ocaña, le agradezco por su incesante ánimo, palabras de aliento y su inquebrantable confianza en mis capacidades. Agradezco infinitamente cada gesto de aliento, cada conversación que hemos compartido y cada momento de complicidad

que nos ha fortalecido en los momentos más desafiantes. Tu presencia ha sido una fuente constante de inspiración y motivación para mí.

Finalmente, agradezco a Dios por darme la fortaleza, la sabiduría y las oportunidades para llegar hasta este punto en mi vida académica. Este logro no habría sido posible sin el apoyo incondicional de todas estas personas especiales. ¡Gracias!

## Índice

Resumen .....	1
Abstract .....	2
1. Introducción .....	3
2. Planteamiento del problema .....	5
3. Justificación.....	7
4. Marco teórico .....	9
4.1. Desarrollo sostenible .....	9
4.2. Ley de aguas nacionales en materia de desarrollo sostenible.....	11
4.3. Ciclo hidrológico .....	13
4.3.1. Precipitación.....	14
4.3.2. Evaporación.....	15
4.3.3. Transpiración.....	15
4.3.4. Evapotranspiración.....	15
4.3.5. Intercepción.....	16
4.3.6. Infiltración.....	16
4.3.7. Escorrentía o escurrimiento.....	17
4.3.7.1. Escorrentía superficial. ....	17
4.3.7.2. Escorrentía subsuperficial.....	17
4.4. Captación de agua de lluvia.....	18

4.4.1.	Factores a tomar en cuenta en la captación de agua de lluvia.....	19
4.4.2.	Beneficios de los sistemas de captación de agua de lluvia .....	21
4.5.	Ventajas del agua de lluvia.....	21
4.5.1.	Ventajas cualitativas.....	21
4.5.2.	Ventajas ambientales.....	22
4.5.3.	Consideraciones de la calidad del agua de lluvia.....	23
4.6.	Participación comunitaria en la captación de agua de lluvia.....	23
4.7.	Clasificación de sistemas de captación de agua de lluvia .....	24
4.7.1.	Sistemas pasivos.....	25
4.7.2.	Sistemas activos .....	25
4.7.2.1.	Captación por medio de ollas.....	25
4.7.2.2.	Captación de agua de lluvia en techos. ....	26
4.7.3.	Microcaptación.....	27
4.7.4.	Macrocaptación .....	27
4.7.5.	Sistemas para uso humano .....	28
4.7.6.	Sistemas para uso agrícola y ganadero.....	28
4.7.7.	Recarga de mantos acuíferos en zonas urbanas .....	29
4.8.	Componentes del sistema de captación de techos .....	30
4.8.1.	Captación.....	30
4.8.2.	Dispositivos filtrantes de contaminación .....	31

4.8.2.1.	Filtro de hojas o pre filtro. ....	32
4.8.2.2.	Separador de primeras aguas. ....	33
4.8.3.	Conducción.....	36
4.8.4.	Depósito o tanque de almacenamiento.....	37
4.8.4.1.	¿Tanque subterráneo o superficial? .....	38
4.9.	Potencial de captación de agua pluvial.....	40
4.10.	Daymet.....	40
4.10.1.	Datos de entrada para el procesamiento de la información.....	42
4.10.2.	Procesamiento de datos .....	42
5.	Antecedentes .....	44
5.1.	Internacional .....	44
5.2.	Nacional.....	51
5.3.	Estatal .....	59
6.	Objetivos .....	62
6.1.	Objetivo general .....	62
6.2.	Objetivos específicos.....	62
6.3.	Hipótesis.....	62
7.	Metodología .....	63
7.1.	Descripción del Área de Estudio .....	63
7.1.1.	Localización .....	63

7.1.2.	Geología, edafología, uso de suelo y vegetación .....	65
7.1.3.	Topografía .....	66
7.1.4.	Hidrografía .....	67
7.1.5.	Climatología y precipitación .....	68
7.1.6.	Infraestructura disponible en CU .....	69
7.1.7.	Distribución de agua potable en CU .....	69
7.2.	Información pluviométrica .....	70
7.2.1.	Precipitación mensual .....	72
7.3.	Número de días hábiles al mes en los edificios de la Facultad de Ingeniería.....	73
7.4.	Demanda de agua mensual en la facultad de Ingeniería.....	81
7.5.	Determinación del área de captación.....	83
7.5.1.	Coeficiente de escurrimiento.....	84
7.6.	Eficiencia de captación.....	85
7.7.	Volumen de captación mensual (oferta).....	86
7.8.	Almacenamiento acumulado mensual .....	87
7.9.	Potencial de ahorro de agua potable .....	87
7.10.	Componentes del sistema .....	88
7.10.1.	Cálculo de la capacidad del tanque de almacenamiento.....	88
7.10.2.	Tanque interceptor de primeras lluvias .....	88
7.10.3.	Canaletas.....	89

7.10.4.	Bajantes y conducción.....	90
8.	Resultados .....	92
8.1.	Análisis pluviométrico.....	92
8.2.	Días hábiles en los edificios 3 y 4 .....	96
8.3.	Usuarios al mes en los edificios 3 y 4 .....	100
8.4.	Demanda mensual de estudiantes y trabajadores de la Facultad de Ingeniería .....	107
8.5.	Demanda para la limpieza de las instalaciones .....	109
8.6.	Demanda para riego de jardines .....	110
8.7.	Demanda total de la Facultad de Ingeniería .....	111
8.8.	Área de captación y coeficiente de escurrimiento .....	113
8.9.	Eficiencia de captación.....	116
8.10.	Volumen de captación mensual y volumen de captación mensual considerando pérdidas (oferta).....	116
8.11.	Oferta acumulada, demanda acumulada y potencial de ahorro de agua potable .....	118
8.12.	Dimensiones y ubicación del tanque de almacenamiento .....	119
8.13.	Dimensión de las bajantes .....	121
8.13.1.	Bajante 1 .....	127
8.13.2.	Bajante 8, 9, 15 y 16.....	129
8.13.3.	Bajante 12 y 13 .....	130
8.14.	Conducción al tanque de almacenamiento .....	132

8.15. Tanque interceptor de primeras lluvias ..... 136

8.16. Desinfección ..... 136

9. Discusiones..... 137

10. Conclusiones y recomendaciones..... 139

11. Literatura citada..... 141

## Índice de figuras

Figura 1. Ciclo hidrológico .....	13
Figura 2. Principales componentes que intervienen en la evapotranspiración e intercepción .....	16
Figura 3. Zonas y procesos del agua subterránea.....	18
Figura 4. Modalidades de captación de agua según la finalidad de uso.....	20
Figura 5. Olla de captación pluvial .....	26
Figura 6. Jardín pluvial en el Parque Highline de Nueva York .....	29
Figura 7. Proceso de recolección de agua de lluvia .....	30
Figura 8. Captación en techos .....	31
Figura 9. Pre filtro .....	32
Figura 10. Vista interna del pre filtro .....	33
Figura 11. Método manual de primera descarga .....	35
Figura 12. Método semiautomático: dispositivo de descarga simple de tubería descendente .....	35
Figura 13. Conducción .....	37
Figura 14. Mapa de localización de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. ....	64
Figura 15. Ubicación de CU, UNICACH. ....	65
Figura 16. Distribución geológica de CU, UNICACH .....	66
Figura 17. Mapa topográfico de la zona norte-Poniente de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. ....	67
Figura 18. Página principal de Daymet.....	71
Figura 19. Datos necesarios para la descarga de información en Daymet .....	72
Figura 20. Simbología de los calendarios de CU, UNICACH.....	74
Figura 21. Calendario escolar 2018.....	75
Figura 22. Calendario académico 2019.....	76
Figura 23. Calendario académico 2020.....	77

Figura 24. Calendario académico 2021 .....	78
Figura 25. Calendario académico 2022 .....	79
Figura 26. Calendario académico 2022 .....	80
Figura 27. Huella, área y forma del techo de captación .....	84
Figura 28. Pretil y bajantes de los edificios 3 y 4. ....	89
Figura 29. Punto de descarga de datos de Daymet.....	92
Figura 30. Precipitación promedio mensual.....	96
Figura 31. Jardines y jardineras de la facultad de ingeniería .....	110
Figura 32. Demanda de la Facultad de Ingeniería.....	112
Figura 33. Planta de azotea de los edificios 3 y 4 .....	114
Figura 34. Techo del edificio 3 .....	115
Figura 35. Techo del edificio 4 .....	115
Figura 36. Precipitación aprovechable .....	116
Figura 37. Volumen de captación mensual .....	117
Figura 38. Volumen de captación mensual considerando pérdidas (oferta) .....	117
Figura 39. Áreas potenciales para el tanque de almacenamiento.....	119
Figura 40. Ubicación de los tanques de almacenamiento .....	120
Figura 41. Tanque de almacenamiento 2. ....	121
Figura 42. Bajantes de los edificios 3 y 4. ....	122
Figura 43. Cálculo del caudal a tubo lleno en la sección circular del bajante 1. ....	127
Figura 44. Cálculo del tirante normal en la sección circular del bajante 1. ....	128
Figura 45. Cálculo del caudal a tubo lleno en la sección circular de los bajantes 8, 9, 15 y 16. .	129
Figura 46. Cálculo del tirante normal en la sección circular de los bajantes 8, 9, 15 y 16. ....	130
Figura 47. Cálculo del caudal a tubo lleno en la sección circular de los bajantes 12 y 13. ....	131

Figura 48. Cálculo del tirante normal en la sección circular de los bajantes 12 y 13. ....	131
Figura 49. Recorrido de las líneas de conducción.....	133
Figura 50. Distribución de las líneas de conducción.....	135
Figura 51. Interceptor de primeras lluvias .....	136

## Índice de tablas

Tabla 1. Ventajas y desventajas de los tanques subterráneos y superficiales .....	39
Tabla 2. Provisión de agua potable según el tipo de edificación .....	81
Tabla 3. Coeficientes de escurrimiento para varias superficies de captación .....	84
Tabla 4. Precipitación acumulada mensual .....	93
Tabla 5. Resumen de días hábiles al año en los edificios 3 y 4 de CU, UNICACH.....	100
Tabla 6. Cantidad de usuarios de los edificios 3 y 4 en CU, UNICACH .....	101
Tabla 7. Alumnos matriculados por ciclo escolar en Ingeniería Topográfica e Higrología e Ingeniería en Geomática.....	101
Tabla 8. Cantidad de alumnos y trabajadores por día para el mes de enero .....	102
Tabla 9. Cantidad de alumnos y trabajadores al día para el mes de febrero .....	103
Tabla 10. Cantidad de alumnos y trabajadores por día para el mes de marzo .....	103
Tabla 11. Cantidad de alumnos y trabajadores por día para el mes de abril.....	103
Tabla 12. Cantidad de alumnos y trabajadores por día para el mes de mayo .....	104
Tabla 13. Cantidad de alumnos y trabajadores por día para el mes de junio .....	104
Tabla 14. Cantidad de alumnos y trabajadores por día para el mes de julio.....	105
Tabla 15. Cantidad de alumnos y trabajadores por día para el mes de agosto.....	105
Tabla 16. Cantidad de alumnos y trabajadores por día para el mes de septiembre.....	106
Tabla 17. Cantidad de alumnos y trabajadores por día para el mes de octubre .....	106
Tabla 18. Cantidad de alumnos y trabajadores por día para el mes de noviembre .....	106
Tabla 19. Cantidad de alumnos y trabajadores por día para el mes de diciembre .....	107
Tabla 20. Demanda mensual para los alumnos de los edificios 3 y 4.....	107
Tabla 21. Demanda mensual para los trabajadores de los edificios 3 y 4.....	108
Tabla 22. Demanda mensual para la limpieza de los edificios 3 y 4 .....	109

Tabla 23. Demanda mensual para riego de jardines de los edificios 3 y 4 .....	111
Tabla 24. Demanda total de la Facultad de Ingeniería .....	111
Tabla 25. Potencial de ahorro de agua potable mensual .....	118
Tabla 26. Áreas de captación de acuerdo a las bajantes de los edificios 3 y 4 .....	122
Tabla 27. Gasto de las bajantes de los edificios 3 y 4.....	123
Tabla 28. Diámetro mínimo de bajantes calculado .....	125
Tabla 29. Adecuación del diámetro calculado de bajantes en base a los diámetros comerciales	126
Tabla 30. Diámetro interno y externo de tubería de PVC sanitario .....	126
Tabla 31. Datos de diseño del bajante 1 .....	127
Tabla 32. Datos de diseño para los bajantes 8, 9, 15 y 16.....	129
Tabla 33. Datos de diseño para los bajantes 12 Y 13.....	130
Tabla 34. caudal máximo trasportado por diámetro comercial. ....	132
Tabla 35. Conducción 1 al tanque del almacenamiento 1.....	133
Tabla 36. Conducción 2 al tanque de almacenamiento 1.....	134
Tabla 37. Conducción 1 al tanque de almacenamiento 2.....	134
Tabla 38. Conducción 2 al tanque del almacenamiento 2.....	134

## Resumen

La ciudad de Tuxtla Gutiérrez se enfrenta a serios problemas de abastecimiento de agua potable debido a la falta de infraestructura en las redes de conducción y distribución, además de las múltiples fugas presentes en dichas redes, por lo que el suministro se realiza a base de tandeos, originando la escasez de agua potable en la Ciudad Universitaria (CU) de la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas (UNICACH). Ante esta problemática, la presente investigación se enfocó en analizar el potencial de captación y aprovechamiento de agua de lluvia en CU como medio alternativo de suministro de agua, dicho análisis se realizó a partir del estudio de las precipitaciones de CU de forma mensual en un periodo de 41 años, partiendo de la selección de las áreas de captación para la determinación del escurrimiento superficial en las zonas de interés. En función de dicho escurrimiento, se estimó la cantidad de agua que puede ser captada en CU basado en la metodología conocida como “cálculo del volumen del tanque de almacenamiento” propuesta por la Organización Panamericana de la Salud (OPS) y el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS) con el fin de conocer el potencial de ahorro a partir de la implementación de un sistema de captación de agua de lluvia para brindar una solución o alternativa de ahorro y optimización en el consumo de agua, a fin de reducir el costo en la operación institucional así como contribuir con el manejo sostenible de este recurso dentro de la institución.

**Palabras clave:** Captación pluvial, disponibilidad de agua, fuente de abastecimiento alternativo, recurso hídrico, sostenibilidad.

## **Abstract**

The city of Tuxtla Gutiérrez faces serious drinking water supply problems due to the lack of infrastructure in the conduction and distribution system, also the multiple leaks present in these systems, so the supply is carried out based on batches, thus causing the shortage of water in the City University (CU) of the University of Science and Arts of Chiapas (UNICACH). Faced with this problem, this research focused on analyzing the potential for collection and use of rainwater in CU as an alternative means of supply, this analysis was carried out with a monthly precipitation study in CU over a period of 41 years, it began with the selection of catchment areas to determinate the surface runoff in the interest areas. Based on this runoff, the amount of water that can be captured in CU was estimated based on the methodology known as “calculation of the volume of the storage tank” proposed by the Pan-American Health Organization (PAHO) and the Pan American Center for Sanitary Engineering and Environmental Sciences (CEPIS) in order to know the feasibility of implementing a rainwater harvesting system to provide a solution or alternative for savings and optimization water consumption, in order to reduce the cost of the institutional operation as well as contribute to the sustainable management of this resource within the institution.

**Keywords:** Rainwater catchment, water availability, alternative supply source, hydric resource, sustainability.

## 1. Introducción

La investigación sobre el potencial de captación, diseño e implementación de Sistemas de Captación de Aguas de Lluvias (SCALL), es un campo que está cobrando relevancia, pasando de los sistemas artesanales locales como esfuerzos aislados, a desarrollos tecnológicos económicamente viables y técnicamente eficientes (León Agatón et al., 2016). No obstante, la viabilidad del manejo sustentable de los ecosistemas implica un debate científico-político y participativo de la sociedad para superar el conflicto entre crecimiento económico y conservación de los recursos naturales (Mendoza, 2006).

La captación de agua de lluvia ha surgido de la necesidad para aumentar la cantidad de agua que se almacena en el suelo o en estructuras construidas, para utilizarlas posteriormente bajo condiciones de déficit de lluvias con propósitos de consumo humano, productivo y conservación ambiental; para el bienestar socioeconómico y ambiental de los usuarios (Y.-R. Chiu et al., 2009; Herrera Monroy, 2010). Numerosos estudios realizados en el mundo demuestran que los sistemas de recolección de aguas de lluvias han sido importantes para suplir diferentes necesidades básicas (León Agatón et al., 2016); de acuerdo con Kinkade (2007) algunos de los beneficios de los SCALL, se encuentran el de proveer de una fuente autosuficiente de agua localizada cerca del usuario, reducir el costo y la necesidad de bombear el agua, así como el de mitigar los efectos de las inundaciones, por citar algunos. Aunado a ello, los SCALL se caracterizan por ser fáciles de construir, operar y mantener (Fewkes, 2012).

León Agatón et al. (2016) mencionan que uno de los pasos más importantes en la planificación de un sistema de recolección de aguas pluviales es la utilización de un método adecuado para determinar la cantidad de precipitación que es posible captar en el sitio a colocar, sin dejar de lado el determinar el uso específico que se le va a dar al agua captada, ya que el nivel y cobertura de tratamiento dependerá de la intensidad de uso y de las condiciones de las

superficies de recolección (Helmreich y Horn, 2009). Es por ello que ante la problemática de escasez de agua que aqueja a la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas (UNICACH) y específicamente a la Facultad de Ingeniería de Ciudad Universitaria (CU), debido principalmente a la falta de infraestructura y las condiciones en las que se encuentran las redes de conducción y distribución, así como la disponibilidad y calidad del recurso (Cruz Gutiérrez, 2011), se plantea evaluar el potencial de captación y aprovechamiento de agua de lluvia en la Facultad de Ingeniería a fin de promover una alternativa para el manejo sostenible del recurso hídrico dentro de la institución y con ello disminuir la demanda de agua del suministro municipal.

## **2. Planteamiento del problema**

La disponibilidad de agua es un problema actual y complejo en el que se ven involucrados una serie de factores que van más allá del incremento poblacional que demandan cada vez más este recurso. En términos generales, dicha escasez se ve vinculada a una serie de factores naturales y antropogénicos tales como la disponibilidad, distribución y la forma de consumo; añadiendo a esto la falta de eficiencia y cobertura de los servicios urbanos, así como la gestión, calidad y cantidad de los mismos, sin dejar de lado el impacto generado al medio ambiente y la falta de recursos financieros para cubrir las necesidades que genera el desarrollo urbano (Duran Juárez y Torres Rodríguez, 2006; Gómez y Santos, 2012; Mendoza, 2006).

Tuxtla Gutiérrez es la ciudad más extensa y urbanizada del estado de Chiapas, y con todo y la riqueza de recursos naturales que la rodea, es complicado abastecer de agua potable a todos los habitantes; para ello se aprovechan las aguas superficiales que afloran en la cuenca del río Sabinal, al igual que de los escurrimientos de los ríos Santo Domingo y Grijalva de donde se obtiene más de 90% de los volúmenes que se suministran, así como de fuentes subterráneas y subálveas que se encargan del suministro de la zona poniente de la ciudad (Fondo para el logro de los ODM, 2011; Ramírez Rivera et al., 2012). A pesar de que la ciudad se ubica en una zona de abundante agua, dicho abastecimiento presenta serias deficiencias debido principalmente a la falta de infraestructura en las redes de conducción y distribución, por lo que la distribución de agua se realiza a base de tandeos (Cruz Gutiérrez, 2011) y de acuerdo al Sistema Municipal de Agua Potable y Alcantarillado (SMAPA, 2013), de 2,200 litros por segundo de agua que son captados por día, solo el 35% llega a los usuarios a causa de fugas en la red de distribución. Ciudad del Agua es la Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) más importante con la que cuenta la ciudad por ser la que mayor capacidad de producción y distribución tiene, dicha planta se encarga de la distribución de la zona norte y parcialmente de la zona sur; sin embargo el

SMAPA (2013) registra una problemática única en esta PTAP debido a que en época de lluvias se interrumpe el funcionamiento de los equipo de bombeo con la finalidad de proteger y evitar daños en la infraestructura hidráulica de la planta potabilizadora a causa de la turbiedad que presenta el agua del rio (El Herald de Chiapas, 2019; Náfate, 2020), por el contrario, en época de estiaje también suspende su servicio debido a los bajos niveles del rio (Mural Chiapas, 2019).

Con base a Cheng y Hong (2004) los centros educativos por su tamaño y demanda de agua se consideran como altos consumidores (como se citó en Manco-Silva et al., 2017) y de acuerdo a Bonnet et al. (2002) sus consumos se asemejan al de una ciudad mediana; es por ello que la “Ciudad Universitaria” de la UNICACH es considerada como una institución pública con un alto consumo de agua, la cual para el ciclo escolar 2019-2020 contó con 4,837 alumnos matriculados distribuidos en 13 licenciaturas y 11 posgrados (Secretaría de Educación Pública y Asociación Nacional de Universidades e Instituciones de Educación Superior, 2020), además del personal docente, administrativo y de servicios.

CU presenta serias deficiencias de abastecimiento de agua y debido a ello se ven comprometidas las posibilidades de progreso económico y bienestar social, dando como resultado la búsqueda de otras fuentes de abastecimiento (agua de pipa); provocando así una sobre explotación de las fuentes accesibles, lo que conlleva a un coste económico extra, además del impacto ambiental que esta demanda genera en la ciudad, ya que el SMAPA satisface únicamente el 11.68% de la demanda promedio anual y el 88.32% es abastecido a partir del suministro de agua de pipa (Gogiel Salvi, 2011; Ricardo Calzadilla et al., 2015; Solís López, 2016).

### 3. Justificación

De acuerdo con el Instituto Ciudadano de Planeación Municipal (2012) el objetivo de una ciudad sustentable es establecer un escenario urbano-ambiental que impulse la transformación hacia una sociedad que planee, construya y ejecute un estilo de vida que garantice los recursos disponibles y minimice el impacto ambiental de sus acciones. Es por ello que esta investigación es de suma importancia, ya que se busca coadyuvar a la construcción de una ciudad sustentable mediante la búsqueda de la gestión del recurso hídrico a partir del uso consciente y eficiente del agua de lluvia, que de acuerdo a Pacheco Montes (2008); contribuye a la construcción de la sostenibilidad urbana. Es por ello que se plantea desde el punto de vista de la ingeniería la posibilidad de desarrollar una alternativa para el abastecimiento de agua en CU por medio de la captación de agua de lluvia para el uso en actividades escolares como lo son: la descarga de sanitarios, riego de jardines, lavado y limpieza de las instalaciones, como una alternativa de gestión del recurso hídrico no potable en lugares de alto consumo.

Múltiples estudios concuerdan en que la captación de agua de lluvia se considera como una opción de manejo sustentable del agua, entre los cuales se encuentran: Aguilar Rodríguez y Delgado Galván (2017), Arboleda Montaña (2016), Arévalo et al. (2020), Camargo González y Fuentes-Galván (2017), Casas-Matiz y Malagón-Micán (2019), Castillo-Rodríguez et al. (s. f.), Ruales Fonseca y Toro Escobar (2019), Salinas López (2015), entre otros más. Es por ello que ante la problemática que se abordó en esta investigación, se realizó un análisis del potencial de captación y aprovechamiento de agua de lluvia en la Facultad de Ingeniería de CU, con el fin de conocer la viabilidad de implementación de uno de estos sistemas para brindar una alternativa de ahorro y optimización en el consumo de agua, a fin reducir el costo en la operación institucional el cual se estimó es en promedio anual de \$2,095,956.96 del cual \$210,600.00 es utilizado para el suministro de SMAPA y \$1,885,356.96 para el suministro de agua en pipas (Solís López, 2016);

así como contribuir con el manejo sostenible de los recursos naturales de la ciudad. Cabe mencionar que es la primera vez que se realiza una investigación como esta en el área de estudio, por lo que da mayor relevancia a los resultados obtenidos.

## **4. Marco teórico**

### **4.1. Desarrollo sostenible**

En 1983 la Organización de las Naciones Unidas (ONU) estableció la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, liderada por la señora Gro Brundtland, quien fuera primera ministra noruega. El grupo de trabajo, conocido como Comisión Brundtland, inició diversos estudios, debates y audiencias públicas en los cinco continentes durante casi tres años, los cuales culminaron en abril de 1987 (López et al., 2005).

En el año de 1984 se reunió por primera vez la Comisión Mundial de Medioambiente y Desarrollo de la ONU, con el convencimiento de que era posible para la humanidad construir un futuro más justo, próspero y seguro, y entre cuyos objetivos estaban los de examinar los temas críticos de desarrollo económico y medio ambiente; pero fue hasta 1987 cuando dicha comisión presento su informe: “Nuestro futuro común”, también conocido como “Informe Brundtland”. Dicho informe definió la sostenibilidad (sustainable development) como “el desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la habilidad de generaciones futuras de satisfacer sus propias necesidades”. Dentro de este concepto se contraponen tres dimensiones: ambiental, social y económica, en donde se corteja la degradación ambiental que viene acompañado del crecimiento económico y al mismo tiempo de la necesidad de disminución de la pobreza (ONU, 1987).

El término de Desarrollo Sostenible ha venido tomando fuerza dentro de los diferentes círculos internacionales y nacionales, debido al deterioro del medio ambiente, al agotamiento de los recursos naturales y a la contaminación ambiental; lo anterior, como consecuencia del afán del ser humano por satisfacer sus necesidades económicas, lo que ha generado como resultado que las generaciones futuras tengan que recibir un medio ambiente y recursos naturales devastados por la contaminación y destrucción debido a que las generaciones del presentes no

cumplen con los criterios establecidos en este concepto. Es así como el desarrollo sostenible propone tres pilares fundamentales; lo económico, lo social y lo ambiental, lo que implica consideraciones desde lo ambiental, social, político, ético, educativo, económico, entre otros, para la generación de soluciones a situaciones de inequidad, violencia, pobreza y disminución de los recursos naturales (Torres, 2016).

Sin embargo, la palabra sostenible o sustentable ha sido un claro ejemplo de confusión en torno a una definición que entendemos como equilibrio, pero sin tener un concepto claro. Higuera et al. (2015) mencionan que los términos sostenible y sustentable comparten raíces semánticas, lo que da paso a que estos dos términos se puedan considerar como sinónimos, los cuales fueron utilizados como traducción a la palabra “sustainable”.

El intento por proporcionar una definición precisa y diferenciada del concepto de desarrollo sustentable o sostenible ha sido hasta ahora una tarea compleja, debido a la gran cantidad de significados que han acuñado al concepto desde diversos enfoques, por ejemplo los impuestos por las corrientes económicas, las político ideológicas y sobre todo las relacionadas con lo social y ambiental (López et al., 2005).

Es a partir del “Informe Brundtland” que algunos autores acotaron el término inglés sustainable development como desarrollo sostenible y de ahí mismo nace la confusión entre si existe diferencia o no entre desarrollo sostenible y desarrollo sustentable (Ávila, 2018). Sin embargo existen diversas controversias entre quienes intentan hacer un análisis profundo de estos conceptos; dado que este término se ha convertido en un acompañante de discursos políticos o incluso clichés de diversas empresas que al usarlas de manera inconsciente pierden significado (López et al., 2005).

Para Ávila (2018) la única diferencia que existe entre desarrollo sostenible y desarrollo sustentable es la traducción que se le hizo al español. En México se tradujo como desarrollo

sostenible y en otros países de habla hispana, como desarrollo sustentable. La misma idea se encuentra en el libro “De la economía a la ecología” de Riechmann (1995). Así mismo López et al. (2005) cita a Gómez (1996) y describe que ambos términos son sinónimos, por lo que es común referirse a él en América Latina como desarrollo sustentable, en tanto que en España, y en muchas de las traducciones oficiales de organismos internacionales se expresa como desarrollo sostenible, sin que se considere alguna diferencia de significado. Cabe mencionar que, para fines de esta investigación, tanto el término de desarrollo sustentable como el de desarrollo sostenible se utilizaran como sinónimos y se toma como base la definición previamente mencionada a partir del informe Brundtland.

#### **4.2. Ley de aguas nacionales en materia de desarrollo sostenible**

La Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos (1917) determina que la propiedad de las tierras y aguas comprendidas dentro de los límites del territorio nacional corresponde a la nación, la cual ha tenido y tiene el derecho de transmitir el dominio de ellas a los particulares, constituyendo la propiedad privada. Las expropiaciones sólo podrán hacerse por causa de utilidad pública y mediante indemnización. La nación tendrá en todo tiempo el derecho de imponer a la propiedad privada las modalidades que dicte el interés público, así como el de regular, en beneficio social, el aprovechamiento de los elementos naturales susceptibles de apropiación, con objeto de hacer una distribución equitativa de la riqueza pública, cuidar de su conservación, lograr el desarrollo equilibrado del país y el mejoramiento de las condiciones de vida de la población rural y urbana.

Las aguas del subsuelo pueden ser utilizadas libremente mediante obras artificiales y apropiarse por el dueño del terreno. Sin embargo, cuando lo exija el interés público o se afecten

otros aprovechamientos el Ejecutivo Federal podrá reglamentar su extracción y utilización y aún establecer zonas vedadas, al igual que para las aguas superficiales de propiedad nacional.

El dominio de la nación es inalienable e imprescriptible, y la explotación, el uso o el aprovechamiento de las aguas nacionales por los particulares o por sociedades constituidas conforme a las leyes mexicanas no podrán realizarse sino mediante concesiones, otorgadas por el Ejecutivo Federal, de acuerdo con las reglas y condiciones que establezcan las leyes.

Sus disposiciones son de orden público e interés social y tiene por objeto regular la explotación, uso o aprovechamiento de las aguas nacionales, su distribución y control, así como la preservación de su cantidad y calidad para lograr su desarrollo integral sustentable (Comisión Nacional del Agua, 1992).

La Constitución contempla que las aguas nacionales son propiedad de la nación. La doctrina y la jurisprudencia afirman de manera unánime que no se trata de un derecho de propiedad en el sentido estricto del término, sino más bien de un derecho de regulación, de control y de gestión, que permite a la administración federal otorgar concesiones para la utilización y la explotación de las aguas (Cossio, 1995).

Fuerte (2019) cita a Biswas (2003) y menciona que en 1992 se crea la Comisión Nacional de Agua CNA (renombrada en 2004 como la CONAGUA), como órgano normativo encargado de la preservación, administración y gestión de las aguas nacionales de acuerdo con lo establecido en el Artículo 27 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos. La CONAGUA tiene la misión de administrar y preservar las aguas nacionales, de común acuerdo con la sociedad, con el objetivo de alcanzar un desarrollo sustentable (Rolland y Vega, 2010).

### 4.3. Ciclo hidrológico

El desarrollo integral sustentable, mencionado en la Ley de Aguas Nacionales, tiene que ver con el conocimiento del ciclo hidrológico, con la planeación y desarrollo de acuerdo a la disponibilidad de agua. Se refiere a lograr el equilibrio de los recursos tomando en cuenta el escurrimiento natural y el número de habitantes sin que disminuya la cantidad y calidad del agua (León, 2008).

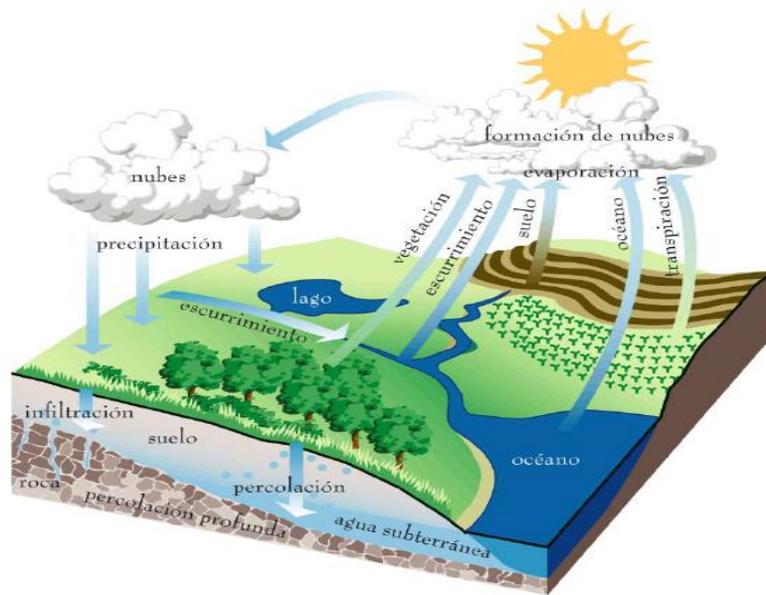


Figura 1. Ciclo hidrológico (UNESCO, 2006).

El agua en la naturaleza no permanece estática, presenta un constante dinamismo en el cual se definen diferentes etapas o fases (Maderey, 2005). En resumen, el ciclo hidrológico es un fenómeno descriptivo aplicable a la circulación general del agua en la Tierra el cual se define como la sucesión de etapas que atraviesa el agua al pasar de la tierra a la atmósfera y volver a la Tierra (Campos, 1998), también se ven involucrados los cambios que experimenta el agua en la naturaleza tanto en su estado (sólido, líquido, gaseoso), como en su forma (agua superficial, agua subterránea, etc.) (Villón, 2004).

La atmósfera comprende al agua en forma de vapor y de nube que proviene, casi en su totalidad., del agua evaporada en el mar. Esta humedad es transportada, por los diversos sistemas de vientos, hacia los continentes en donde se precipita en forma líquida, sólida o de condensación (rocío y escarcha). Durante la precipitación el agua puede iniciar su retomo hacia la atmósfera, porque en su caída se evapora y una parte de ella no llega al suelo, otra parte, al caer sobre las plantas, queda interceptada en las superficies vegetales desde donde parte se evapora y también regresa a la atmósfera y parte escurre hacia el suelo y se infiltra. El agua que cae directamente al suelo será la que recorra propiamente el ciclo hidrológico; una parte de esta precipitación puede caer sobre superficies líquidas (ríos, lagos, lagunas. etc.), otra parte correrá por la superficie dando lugar al escurrimiento superficial o escorrentía que llega a los cauces de los ríos y, a través de éstos, al mar. Una parte de la que se precipitó en la tierra, se evapora directamente desde el suelo, otra por infiltración, satisface la humedad del suelo y cuando lo satura produce el flujo subsuperficial que, como el superficial, también llega a los cauces de los ríos; asimismo, por percolación llega a los mantos de agua subterráneos y a través del flujo subterráneo alimenta el caudal base de los ríos. El agua que se infiltra en el suelo puede volver a la superficie en forma de manantiales en situación próxima tanto geográfica como temporalmente o, por el contrario, profundizar y tener grandes recorridos y de larga duración hacia el mar o hacia depresiones endorreicas (Figura 1). En esta fase subterránea del ciclo; es conveniente tomar en cuenta que la mayor parte de los movimientos subterráneos del agua son muy lentos (Maderey, 2005).

#### **4.3.1. Precipitación**

La precipitación es toda forma de humedad que, originándose en las nubes, llega hasta la superficie del suelo (Villón, 2004). Ordoñez (2011) cita a Musy (2001) y define a la precipitación como toda agua meteórica que cae en la superficie de la tierra, tanto en forma líquida (llovizna,

lluvia, etc.) y sólida (nieve, granizo, etc.) y las precipitaciones ocultas (rocío, la helada blanca, etc.). Ellas son provocadas por un cambio de la temperatura o de la presión. La precipitación constituye la única entrada principal al sistema hidrológico continental.

Desde el punto de vista de la ingeniería hidrológica, la precipitación es la fuente primaria del agua de la superficie terrestre; sus mediciones y análisis forman el punto de partida de los estudios concernientes al uso y control del agua (Villón, 2004).

#### **4.3.2. Evaporación**

La evaporación es el fenómeno físico que permite a un fluido convertirse en vapor e incorporarse al aire. La evaporación puede ocurrir solamente cuando el agua está disponible. También se requiere que la humedad de la atmósfera sea menor que la superficie de evaporación (Ordoñez, 2011).

#### **4.3.3. Transpiración**

Es la evaporación a través de las hojas. El proceso fisiológico de alimentación de las plantas se efectúa mediante el paso de ciertas cantidades de agua, portadoras de los alimentos, por el interior de ellas y ese tráfico solamente es posible gracias a la transpiración (Ordoñez, 2011). D. F. Campos (1998) define este término como el proceso por el cual el agua de la vegetación pasa a la atmósfera en forma de vapor. Este concepto no incluye la evaporación desde el suelo.

#### **4.3.4. Evapotranspiración**

Cantidad de agua transferida del suelo a la atmósfera por evaporación y transpiración de las plantas, también conocida como la pérdida de agua debido a la transpiración de la vegetación más evaporación del suelo y de la superficie húmeda de la vegetación (Campos, 1998).

#### 4.3.5. Intercepción

Es la parte de la precipitación que es interceptada por objetos superficiales como la cubierta vegetal (Figura 2) o los tejados, en general, parte de esta agua interceptada nunca alcanza al suelo porque se adhiere y humedece estos objetos y se evapora (Ordóñez, 2011).

La intercepción es el primer proceso hidrológico que actúa redistribuyendo y modificando la precipitación sobre un área, su determinación es especialmente útil para evaluar la porción de precipitación que finalmente llega al suelo. La cobertura, sea artificial o natural, intercepta parte de la precipitación, deteniéndola temporalmente en sus superficies, de ahí el agua es evaporada para regresar a la atmosfera durante o después de la tormenta, o bien, cae al terreno (Campos, 1998).

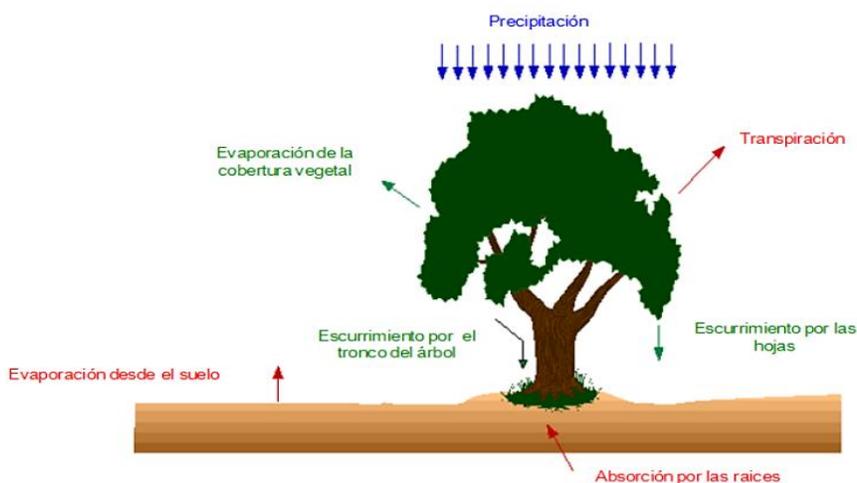


Figura 2. Principales componentes que intervienen en la evapotranspiración e intercepción (Ordóñez, 2011).

#### 4.3.6. Infiltración

Flujo de agua a través de la superficie del suelo. Ampliamente se puede decir que la infiltración es el proceso por el cual el agua penetra al suelo, a través de la superficie y queda retenida en él. La parte de la precipitación que alcanza la superficie del suelo, puede seguir dos caminos: infiltrarse, o bien, llenar las depresiones y posteriormente escurrir sobre el terreno. La

cantidad de agua que se infiltre incrementará la cantidad de humedad contenida en el suelo y podrá llegar a recargar los acuíferos de la zona (Campos, 1998).

#### **4.3.7. Escorrentía o escurrimiento**

El escurrimiento es la parte de la precipitación que fluye por gravedad por la superficie del terreno, o en el interior del mismo, también se conoce como la parte de la precipitación que aparece en las corrientes superficiales, sean estas intermitentes, perennes o efímeras (Campos, 1998).

##### **4.3.7.1. Escorrentía superficial.**

Horton (1933) describió el flujo superficial como la escorrentía que no es absorbida por el suelo mediante infiltración, despreciando de igual manera la intercepción. El flujo superficial es aplicable a superficies impermeables en áreas urbanas y a superficies naturales con capas delgadas de suelo y con baja capacidad de infiltración. Este flujo se produce cuando el flujo subsuperficial satura el suelo cerca a la parte inferior de la pendiente y entonces se presenta flujo superficial a medida que la lluvia cae en un suelo saturado (Chow et al., 1993).

##### **4.3.7.2. Escorrentía subsuperficial.**

Para Horton (1933), este tipo de flujo raramente ocurre en superficies con vegetación en regiones húmedas. El escurrimiento subsuperficial se debe a la precipitación infiltrada en la superficie del suelo pero que se mueve lateralmente sobre el horizonte superior del mismo (Figura 3). Esto puede ocurrir cuando existe un estrato impermeable paralelo a la superficie del suelo; su efecto puede ser inmediato o retardado, dependiendo de las características del mismo (Springall, s. f.).

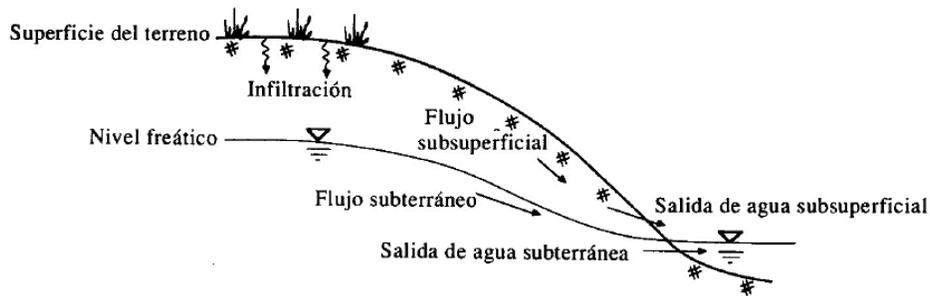


Figura 3. Zonas y procesos del agua subterránea (Chow et al., 1993).

#### 4.4. Captación de agua de lluvia

Se entiende por captación y aprovechamiento del agua de lluvia a todo tipo de esfuerzo técnico, surgido de la iniciativa para aumentar la cantidad de agua de lluvia que se almacena en el suelo o en estructuras construidas, para utilizarlas posteriormente, bajo condiciones de déficit de lluvias (Y. R. Chiu et al., 2009). Herrera (2010) expresa que la captación pluvial no es más que la recolección de agua que escurre en forma superficial con propósitos de consumo humano, productivo y conservación ambiental; para el bienestar socioeconómico y ambiental de los usuarios, este mismo autor plantea que estos sistemas se implementan cuando no existe una red de acueducto o el suministro es deficiente o incluso cuando no se dispone de los recursos, es decir; no existe dinero para invertir y los materiales de construcción son muy costosos o cuando la calidad del agua es muy baja provocada por su contaminación.

La cosecha de agua a través de los SCALL se ha visualizado como una solución sustentable por el ahorro energético y monetario que representa disminuir o eliminar el transporte de agua (Mihelcic et al., 2007). Son tecnologías viables para el suministro de agua en la ciudad, y asisten principalmente en situaciones de emergencia donde no hay otras fuentes de suministro, ya que los cuerpos de agua superficiales han perdido su potencial de uso por desecación y contaminación o los pozos y agua subterránea se han contaminado (Karim et al., 2015).

Sin importar la zona donde sean implementados los SCALL, ya sea en zonas urbanas o rurales; siempre abonan al bienestar social ya que contribuyen con la disminución de la precariedad hídrica en población con acceso limitado o nulo a ella (Lee et al., 2016). Asimismo, modifican directa y simultáneamente la condición de dos problemas: la escasez de agua y la dependencia de los beneficiarios al suministro doméstico (Mohammed et al., s. f.).

#### ***4.4.1. Factores a tomar en cuenta en la captación de agua de lluvia***

Para un planificador en captación de agua de lluvia, la tarea más difícil es seleccionar el diseño apropiado de acuerdo con el tipo de lluvia. Los datos importantes se obtienen de las estaciones meteorológicas que cuenten con información de la precipitación mensual de por lo menos diez años. Las características de la lluvia más importantes para determinar la cantidad son la intensidad, la duración y la distribución de la precipitación. Para planificar obras de captación de agua de lluvia, puede utilizarse como base la precipitación anual o mensual (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 2000).

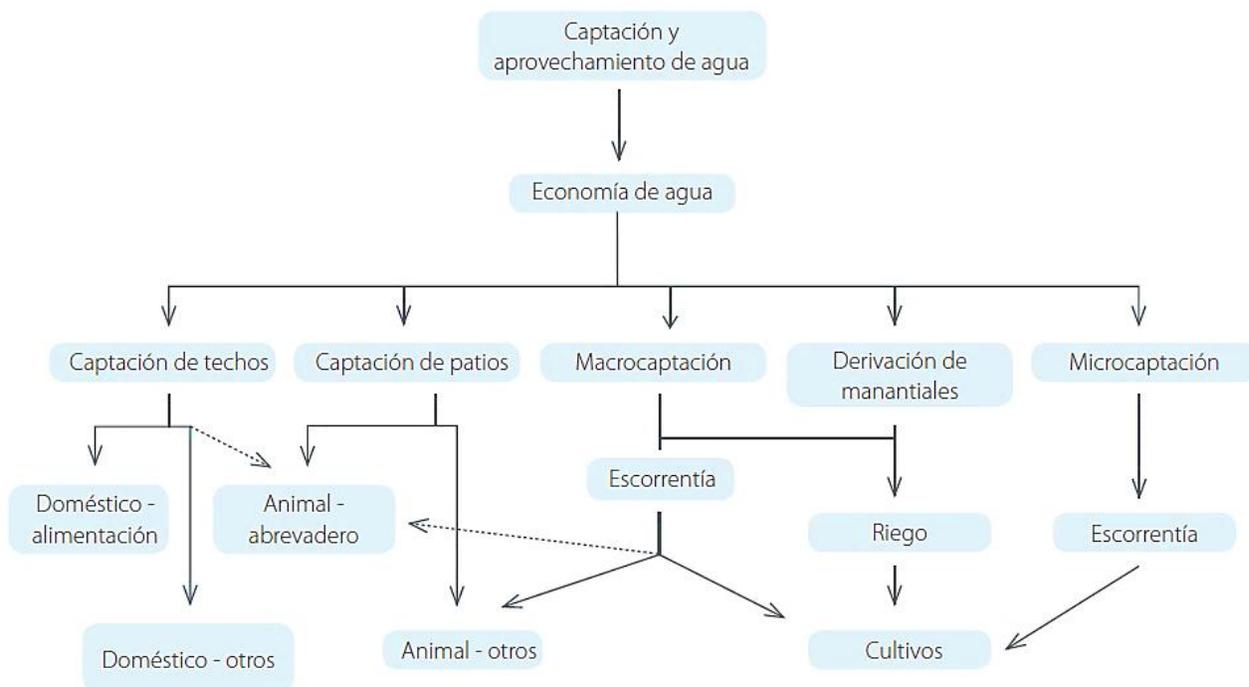


Figura 4. Modalidades de captación de agua según la finalidad de uso (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2013).

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2013) afirma que una etapa importante en la planificación de la captación y aprovechamiento de agua de lluvia es la selección correcta de las modalidades y técnicas necesarias para hacer frente al déficit hídrico recurrente en cada región o localidad, en función de las condiciones ambientales y socioeconómicas presentes y de los objetivos establecidos. Para ello, esta organización realizó una propuesta que toma en cuenta las relaciones entre las características y calidad del agua que puede ser captada mediante las diferentes modalidades y la escala de prioridades para su uso (Figura 4).

#### **4.4.2. Beneficios de los sistemas de captación de agua de lluvia**

Kinkade (2007) sostiene que existen numerosos beneficios identificados de la captación de agua desde la azotea o desde el nivel del suelo, entre los cuales menciona:

- a) Provee de una fuente auto suficiente localizada cerca del usuario
- b) Reduce la necesidad de y el costo de bombear agua
- c) Provee de grandes cualidades la cual es baja en minerales
- d) Mitiga inundaciones y como resultado reduce la erosión en áreas urbanas
- e) Estos sistemas son más fáciles de mantener y de construir y operar

#### **4.5. Ventajas del agua de lluvia**

##### **4.5.1. Ventajas cualitativas**

Una ventaja convincente es que se trata del más puro de los recursos de agua disponibles. De hecho, la calidad del agua de lluvia es un incentivo predominante para la gente cuando la escoge como fuente primaria de abastecimiento o para usos específicos, como labores domésticas en las casas y el riego de plantas y jardines. La calidad del agua de lluvia excede la mayoría de las veces la calidad de las aguas superficiales y subterráneas, ya que no entra en contacto con el suelo y las rocas, donde las sales y minerales se disuelven, y no es sometida al contacto con los contaminantes que se descargan en aguas superficiales o que contaminan aguas subterráneas. Sin embargo, la calidad del agua de lluvia puede ser afectada por el lugar donde se precipita (Gleason et al., 2019).

El agua es el solvente universal y se contamina de casi todo lo que toca, por lo que el agua más pura es la que proviene de la evaporación natural y al condensarse es H<sub>2</sub>O. Sin embargo, el agua de lluvia no es totalmente pura; en la atmósfera se contamina de los elementos que en ella se encuentran: 79% de nitrógeno, 21% de oxígeno y en menor cantidad otros gases o contaminantes

naturales y/o producto de la actividad humana. Por contaminación de la atmósfera se forma la lluvia ácida, producto de las emanaciones industriales y de los vehículos automotores en los grandes centros urbanos. Sin embargo, su volumen es pequeño en comparación con el de la atmósfera, donde se diluye por su constante dinamismo, de manera que el escurrimiento de lluvia ácida sobre los predios de la ciudad resulta muy escaso (León, 2008).

Gleason et al. (2019) afirma que otra de las ventajas es que la intervención de las sustancias químicas para su potabilización es mínima o nula en ocasiones, lo que reduce los altos costos en este rubro.

#### **4.5.2. *Ventajas ambientales***

La captación de agua de lluvia es independiente de un sistema centralizado, y se promueve la autosuficiencia y el valor del vital líquido. Colectar el agua de lluvia no es sólo para conservarla, sino que fomenta la conservación de energía al evitar su uso en la operación de un sistema diseñado para tratar y bombear agua en una extensa área. Otra ventaja es que al ser captada y almacenada aminora la erosión y las inundaciones locales provocadas por el exceso de flujo que corre sobre las cubiertas impermeables, como los pavimentos y techos (Gleason et al., 2019).

Pacheco (s. f.) enfatiza que, si los sistemas de captación se incluyeran ampliamente en la arquitectura y en la normativa urbanística se ahorraría agua potable, se prevendrían inundaciones, sequías y riesgos urbanos en zonas de ladera de gran inestabilidad. La gestión planificada del agua de lluvia mitiga y previene desastres anunciados.

### **4.5.3. Consideraciones de la calidad del agua de lluvia**

Una vez que la lluvia entra en contacto con el techo o la superficie de captación, puede arrastrar a la cisterna o tanque de almacenamiento varios tipos de bacterias, protozoarios, algas, moho y otros contaminantes. De hecho, algunas estructuras de captación de agua de lluvia muestran niveles detectables de estos contaminantes. Muchos problemas de salud están relacionados con bacterias tales como la salmonela y la legionela, y con otros contaminantes físicos como los pesticidas, plomo y arsénico. Estos son criterios primarios para un análisis de la calidad del agua para consumo humano. El agua de lluvia está libre de la mayoría de estos peligros. Cada situación en especial merece un estudio para determinar el procedimiento y el tratamiento apropiados que se requieran.

Por ejemplo, si el agua de lluvia es propuesta para usarla dentro de los hogares o para usos potables, tales como ingerirla y cocinar, o para usos no potables como bañarse y limpiar el inodoro, pueden emplearse algunos filtros y sistemas de desinfección. Si el agua de lluvia es para el riego, donde es poco probable que se use sin tratar para el consumo humano, la presencia de contaminantes puede no ser un factor de riesgo y los requerimientos de tratamiento pueden ser menos rigurosos o no requeridos del todo. Dependiendo del lugar donde se encuentre el sistema, la calidad del agua de lluvia puede variar, ya que puede estar expuesta a la contaminación del aire provocada por las industrias y a las altas concentraciones de las emisiones de los autos (Gleason et al., 2019).

### **4.6. Participación comunitaria en la captación de agua de lluvia**

El mejor método para abordar la sostenibilidad a largo plazo de los proyectos de recolección de agua de lluvia es promover la participación activa de los miembros de la comunidad en cada etapa del proyecto. Las experiencias en muchos países muestran que donde se

fomenta la participación y la propiedad de la comunidad, se logrará más a menor costo, las personas se liberan de la dependencia de las habilidades de otros, se maximizan los beneficios para la salud, es más probable que los proyectos individuales sean autosostenibles y un mayor desarrollo tiende a tener lugar al inicio de la comunidad porque se fomenta un sentido de responsabilidad.

Para garantizar la sostenibilidad de cualquier proyecto de recolección de agua de lluvia, es esencial que la comunidad participe plenamente en cada etapa, lo que incluye:

- a) identificar sus problemas más graves relacionados con el agua y sus posibles soluciones;
- b) capacitación para la construcción y/o operación y mantenimiento de sistemas;
- c) selección, ubicación y construcción de los sistemas de captación de agua de lluvia;
- d) desarrollar mecanismos de financiamiento para asegurar la sostenibilidad del proyecto y la recuperación de costos; y
- e) evaluación del proyecto y rediseño cuando sea necesario.

La sostenibilidad debe ser el criterio principal para la evaluación de proyectos o programas de agua (Guidelines for Rainwater Harvesting in Pacific Island Countries, 2004).

#### **4.7. Clasificación de sistemas de captación de agua de lluvia**

La mayoría de las técnicas de captación de lluvia tienen un origen empírico y han sido desarrolladas a lo largo del tiempo y como consecuencia existe una gran variedad de técnicas adaptadas a diferentes situaciones, las que cumplen diferentes finalidades (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2013).

Kinkade (2007) hace una clasificación y divide a estos sistemas en dos categorías: sistemas activos y sistemas pasivos; así mismo la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2013) hace una clasificación en: microcaptación y

macrocaptación. Por sus características, las técnicas de micro y macrocaptación se destinan al suministro de agua para cultivos. A su vez, Durán et al. (s. f.) hace una clasificación en: sistemas para uso humano, sistemas para uso agrícola y ganadero y sistemas para recarga de mantos acuíferos en zonas urbanas.

#### **4.7.1. *Sistemas pasivos***

Este mismo autor señala que los sistemas pasivos son aquellos que no tienen componentes mecánicos para recolectar, limpiar y almacenar el agua, la idea principal en estos sistemas es recolectar el agua en zonas específicas en la topografía para que pueda ser absorbida por el suelo de forma natural (reúso indirecto). Los sistemas pasivos son simples modificaciones del entorno que utiliza la gravedad para encauzar el agua pluvial. Necesitan una atención mínima y encauzan inmediatamente el agua hacia el área donde se necesite (Gleason et al., 2019).

#### **4.7.2. *Sistemas activos***

Kinkade (2007) define a los sistemas activos como aquellos que recolectan la lluvia, la filtran y la almacenan para reusarla (son fácilmente identificables debido a sus componentes; tanques y cisternas, bombas y filtros, etcétera). Estos sistemas no sólo encauzan el agua pluvial, también colectan y almacenan temporalmente el agua colectada, además requieren mantenimiento adicional y una participación activa después de una lluvia (Gleason et al., 2019). Acosta et al. (2018) define algunos de estos sistemas y los clasifica en:

##### **4.7.2.1. Captación por medio de ollas.**

Una olla de agua u olla pluvial, no es más que una forma de captación de agua ya sea directamente o con derivaciones de escurrimientos superficiales con el propósito de retener el

líquido en época de lluvia y ser utilizada en tiempo de estiaje. Esto puede ser como fuente de abrevadero o también para uso doméstico según las condiciones en el cual se va a diseñar ya que esta agua, no puede contar con una excelente calidad para consumo humano, pero es una alternativa para los ganados y los cultivos agrícolas obtengan el recurso durante las épocas de sequía reduciendo los problemas relacionados a la disponibilidad del agua (Mejía y Díaz, 2014).



Figura 5. Olla de captación pluvial (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, s. f.).

Se aplica el término “olla de agua” (Figura 5) para hacer referencia a obras grandes, en las cuales además del uso pecuario se pueden incorporar pequeñas áreas de riego. Generalmente están impermeabilizadas con geomembrana para minimizar las pérdidas por infiltración y cuentan con obras complementarias como cerco perimetral, canal desarenador y obras de toma, entre otras (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, s. f.).

#### **4.7.2.2. Captación de agua de lluvia en techos.**

Esta es la modalidad más conocida y difundida de captación y aprovechamiento de agua de lluvia. Consiste en captar la escorrentía producida en superficies impermeables o poco permeables, tales como techos de viviendas y establos, patios de tierra batida, superficies rocosas, hormigón, mampostería o plástico. La captación de agua de techos es la que permite obtener el

agua de mejor calidad para consumo doméstico (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2013). Un sistema de captación en techos es aquel sistema que utiliza una superficie y dirigirla a una unidad de almacenamiento, ya sea una cisterna, tanque o aljibe (Anaya, 1998).

#### **4.7.3. Microcaptación**

Consiste en captar la escorrentía superficial generada dentro del propio terreno de cultivo, en áreas contiguas al área sembrada o plantada, para hacerla infiltrar y ser aprovechada por los cultivos. Las técnicas de microcaptación usan las propiedades hidrológicas de un área con pendiente, lisa, poco permeable y sin vegetación, para que genere escorrentía superficial, y las de otra área contigua y aguas abajo, con surcos, bordos, camellones u hoyos, para captar la escorrentía y abastecer el suelo y los cultivos allí sembrados. También es denominada como captación in situ, por tratarse de un proceso de captación y uso en un lugar cercano o contiguo. Los objetivos de la microcaptación de agua de lluvia se refieren a aumentar la disponibilidad de agua para las plantas, mitigar los efectos de la sequía, propiciar una producción sostenible y mejorar el entorno ecológico (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 2000).

#### **4.7.4. Macrocaptación**

Consiste en captar la escorrentía superficial generada en áreas más grandes, ubicadas contiguas al cultivo (macrocaptación interna) o apartadas del área de cultivo (macrocaptación externa), para hacerla infiltrar en el área de cultivo y ser aprovechada por las plantas. Las técnicas de macrocaptación son más complejas que las de microcaptación. Incorporan como principio hidrológico la utilización de un área productora de escorrentía superficial (pendiente más elevada,

suelo delgado, área rocosa, etc.), sin o con escasa cobertura vegetal, para que genere un volumen considerable de flujo superficial hacia el área de cultivo. Entre ambas debe haber estructuras de contención, de conducción de agua, como acequias, canales, zanjas, surcos o camellones. El agua captada puede también ser utilizada para abastecer estructuras de almacenamiento, como estanques o embalses temporales, para diferentes finalidades. También se puede considerar como técnica de macrocaptación la derivación de fuentes de agua externas al área de cultivo, como torrentes, avenidas y cuencas, mediante bocatomas. La mayor parte de las macrocaptaciones se utilizan en regiones semiáridas o áridas, aunque algunas captaciones externas se aplican también en regiones subhúmedas (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2013).

#### ***4.7.5. Sistemas para uso humano***

Son todos aquellos sistemas que aprovechan el escurrimiento superficial captado a través de tejados o superficies terrestres para ser almacenado luego en diversos tipos de cisternas y utilizarse en la vida diaria (Durán et al., s. f.).

#### ***4.7.6. Sistemas para uso agrícola y ganadero***

Son aquellos que tienen por objetivo mejorar la producción de cultivos, árboles y pastizales en áreas propensas a sequía en lugar de que el escurrimiento superficial provoque erosión. Funcionan bajo el concepto de microcaptación in situ, el cual manipula los escurrimientos superficiales para su almacenamiento en presas de tierra, atajados, estanques, hondonadas, jagüeyes, terrazas de cultivo y aljibes. Las técnicas de microcaptación in situ involucran conservación del suelo, aumentan la disponibilidad de agua para los cultivos, mitigan los efectos de sequía y mejoran el entorno ecológico. Estos sistemas de captación de agua de

lluvia son más relevantes para zonas áridas, semiáridas y donde los problemas de degradación ambiental, sequía y presiones de población son más evidentes (Durán et al., s. f.).

#### ***4.7.7. Recarga de mantos acuíferos en zonas urbanas***

Tienen por objetivo la regulación y almacenamiento de agua en un acuífero, asegurando una gestión racional del potencial hidráulico de cualquier cuenca hidrológica o sistema de explotación. Se da a través de la infiltración natural en: suelos permeables, cunetas verdes, estanques de retención, humedales, entre otros (Durán et al., s. f.). Usualmente se refiere al concepto denominado como “infraestructura verde” o “desarrollo de bajo impacto”, en los cuales no se necesita de tuberías ni bombas y ayudan a reducir los costos económicos de la infraestructura artificial (Figura 6). Al diseñar con la naturaleza y llevar a cabo acciones de conservación y regeneración ecosistémica en diversas escalas y zonas de una ciudad (Ulacia, 2014).



Figura 6. Jardín pluvial en el Parque Highline de Nueva York (Pastorelli, 2009).

#### 4.8. Componentes del sistema de captación de techos

Kinkade (2007) afirma que ya sea grande o pequeño, un sistema de recolección de agua de lluvia tiene seis componentes básicos: captación, transporte, lavado de tejados, almacenamiento, distribución y si el uso lo requiere, la purificación (Figura 7). De la misma manera la Comisión Nacional del Agua (2016) especifica los siguientes componentes:

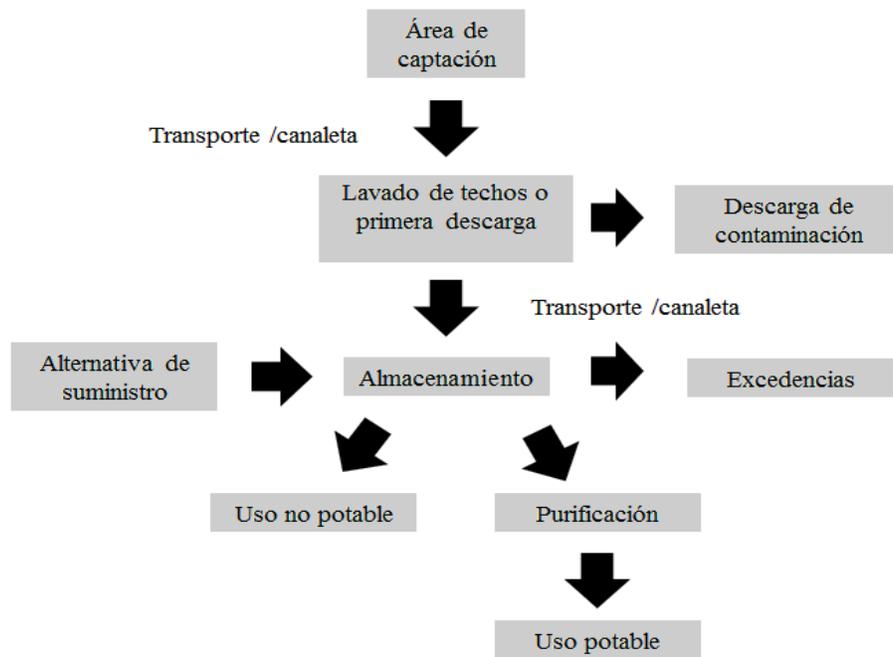


Figura 7. Proceso de recolección de agua de lluvia (Kinkade, 2007).

##### 4.8.1. Captación

Se compone del techo o área destinada para la captación del agua de lluvia y de las canaletas o dispositivos que recolecten y entreguen el agua captada hasta el inicio de la tubería de conducción (Figura 8), debiendo contar con el área mínima que se determine del cálculo de la precipitación para garantizar la dotación mínima establecida.

Se deberá garantizar una pendiente mínima del 2% en el área de captación para generar un escurrimiento hacia las canaletas, así también las canaletas deberán contar con una pendiente de al menos el 2% en el sentido del flujo hacia el tubo colector que entrega a la conducción. En el

dado caso que el área de captación existente en la vivienda no cuente con una pendiente mínima, como una losa de concreto que se deja horizontal, se deberá colocar en el perímetro un pretil de tabique o block de una hilada, localizando los puntos de salida habitual del agua pluvial y en ellos colocar un tubo de PVC o de los materiales recomendados para la conducción de tal manera que el agua sea recolectada en estos sitios (Comisión Nacional del Agua, 2016).

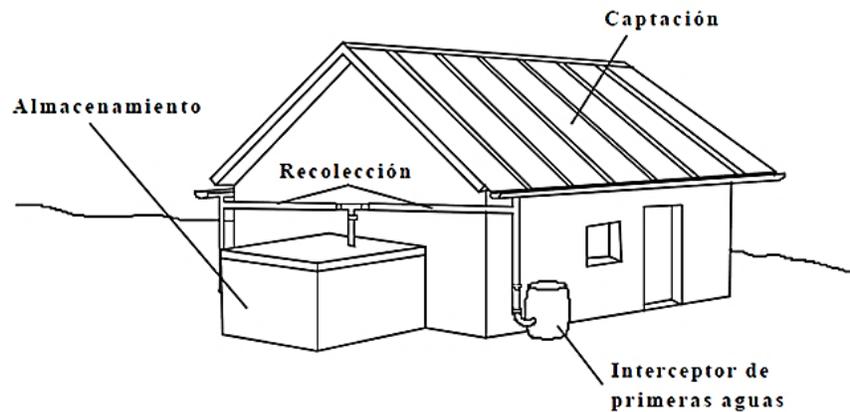


Figura 8. Captación en techos (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, 2001).

Los materiales recomendados para la captación son los siguientes:

- a) Concreto.
- b) Lámina metálica acanalada.
- c) Teja cerámica.
- d) Superficie recubierta con polietileno de alta densidad o PVC, siempre y cuando garanticen que no exista liberación de elementos tóxicos cuando ocurra la degradación del material provocada por los rayos UV o por los elementos del medio ambiente.

#### **4.8.2. Dispositivos filtrantes de contaminación**

Este dispositivo tiene la finalidad de evitar el ingreso de agentes contaminantes al depósito o tanque de almacenamiento, puede utilizarse una barrera física como un filtro graduado

de acuerdo al plano tipo o proyecto específico que se haya diseñado, así también puede optarse por la instalación de un sistema de recolección de primeras aguas.

Los materiales con que se fabrique el dispositivo que se elija, deberán ser inertes, de tal manera que garanticen que no se afectarán las condiciones organolépticas del agua captada (Comisión Nacional del Agua, 2016).

#### 4.8.2.1. Filtro de hojas o pre filtro.

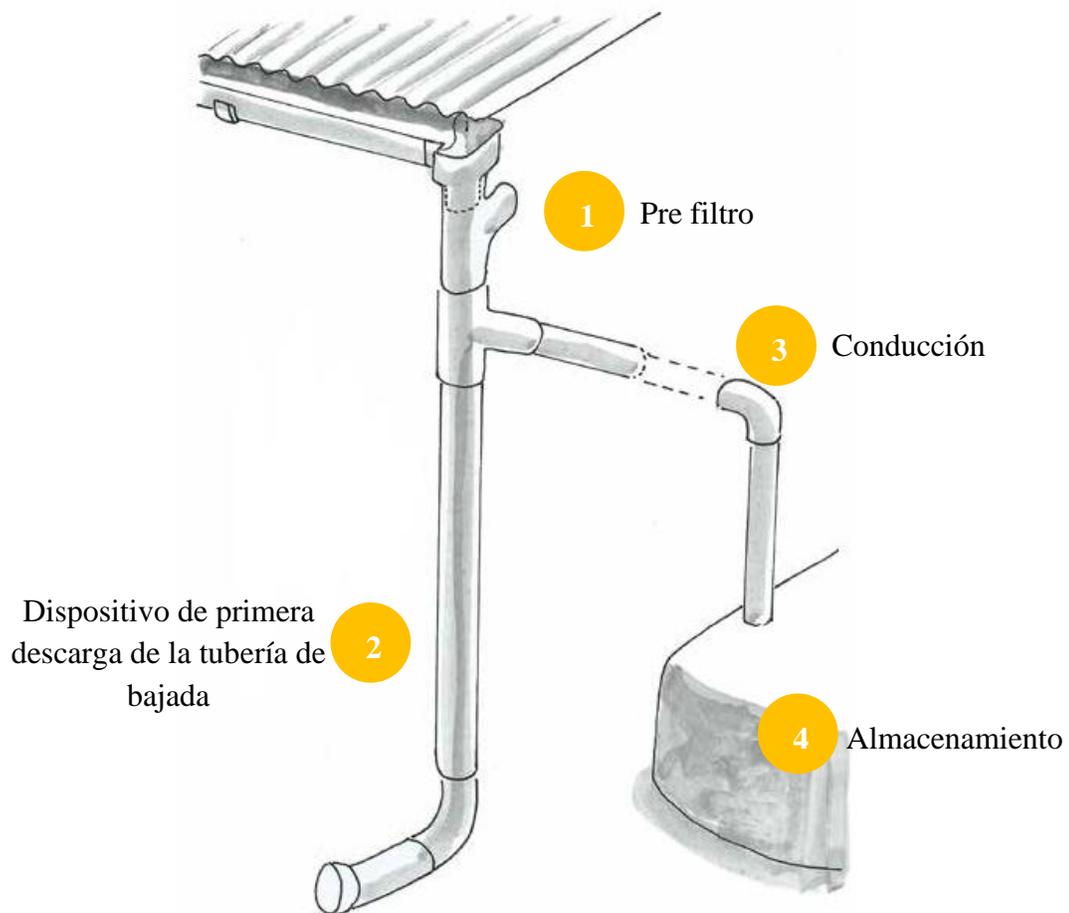


Figura 9. Pre filtro (Belelli y Vázquez; 2018).

El pre filtro tiene como objetivo interceptar y retener los residuos voluminosos como hojas, palitos y otros, con la finalidad de evitar que estos lleguen al almacenamiento, logrando así

una mejor calidad del agua captada. Un ejemplo muy simple de estos mecanismos es aquel elaborado con una conexión de PVC tipo “Y” (Pieza 1, Figura 9) añadiendo tela mosquitera, lo que permite después retirar estos residuos sólidos de forma manual (Figura 10) (Belelli y Vázquez, 2018).



Figura 10. Vista interna del pre filtro (Belelli y Vázquez, 2018).

#### **4.8.2.2. Separador de primeras aguas.**

La función de separación de primeras lluvias funciona con base en el hecho de que el primer volumen de agua que escurre de un techo durante un aguacero arrastra contaminantes suspendidos en el aire y/o depositados sobre el área de captación (el techo), por lo que éstos contaminantes se suelen encontrar concentrados al principio de la precipitación. El concepto de la separación de primeras lluvias consiste en evitar que éste primer volumen de agua ingrese a la cisterna, logrando por lo tanto una mejor calidad en el agua captada (Isla urbana, s. f.).

Los contaminantes como suciedad y polvo se acumulan en los techos durante los períodos secos y durante el período inicial de lluvia, este material llega al almacenamiento. Después de

esta primera descarga de contaminantes, el agua recolectada es mucho más limpia (Otieno, 1994, como se citó en Guidelines for Rainwater Harvesting in Pacific Island Countries, 2004)

Michaelides (1987) argumentó que se pueden encontrar numerosos diseños de desviadores de primera descarga, trampas de sedimentos y filtros en publicaciones relacionadas con los sistemas de captación de techos. Los principales tipos de sistemas incluyen varios tipos de trampas de sedimentos y dispositivos de sedimentación que se colocan en el tanque y diferentes dispositivos manuales de desviación. Vadhanavikkit, et al., (1984) expresó que la mayoría de estos se utilizan raramente. Los que tienen más probabilidades de funcionar con eficacia son los que son muy sencillos de operar y mantener. Muchos de los ejemplos más sofisticados necesitan una inspección y un mantenimiento regulares para funcionar correctamente (como se citó en Guidelines for Rainwater Harvesting in Pacific Island Countries, 2004). A continuación, se describen dos sistemas simples:

**Método manual.** Esta es una disposición simple operada manualmente, mediante la cual la tubería de bajada se aleja manualmente de la entrada del tanque y se reemplaza nuevamente una vez que se ha eliminado la primera agua de descarga (Figura 11). La ventaja de este sistema es que no se requiere tecnología adicional, pero una gran desventaja es que alguien capaz de quitar el tubo de bajada debe estar siempre presente durante las etapas iniciales de los eventos de lluvia. En islas volcánicas, también se recomienda seguir estos procedimientos si la ceniza ha caído sobre el techo (Guidelines for Rainwater Harvesting in Pacific Island Countries, 2004).

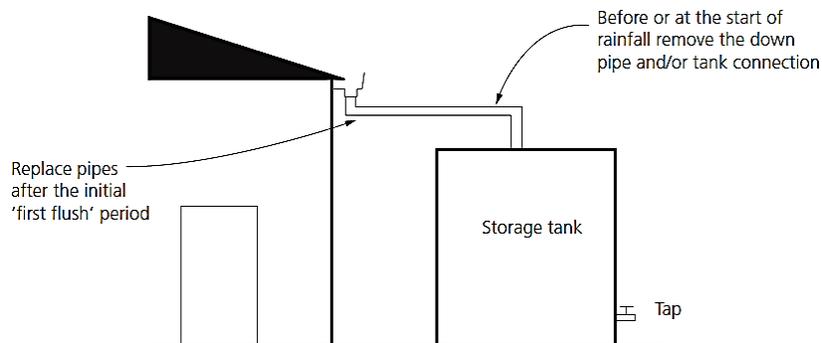


Figura 11. Método manual de primera descarga (Guidelines for Rainwater Harvesting in Pacific Island Countries, 2004).

**Método semiautomático.** Un sistema simple de primera descarga que no depende de la presencia de alguien al comienzo de la lluvia se conoce como "dispositivo de primera descarga de la tubería de bajada". En este sistema, se fija una tubería vertical separada a la tubería de bajada mediante una unión en "T" o similar (Figura 12). El flujo inicial de lluvia (que contiene la mayoría de los contaminantes) que se escurre desde el techo llega a la "primera tubería de bajada" donde se retiene. Cuando esta tubería de bajada se llena, el agua fluye por la tubería de recolección hacia el tanque de almacenamiento.

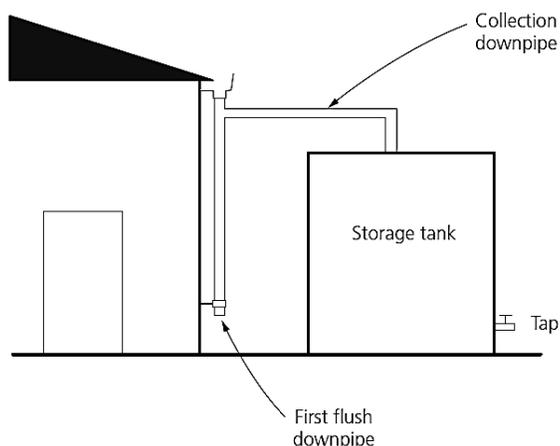


Figura 12. Método semiautomático: dispositivo de descarga simple de tubería descendente (Guidelines for Rainwater Harvesting in Pacific Island Countries, 2004).

Las tuberías de PVC y las juntas en T, ampliamente disponibles y comúnmente utilizadas para tuberías de bajada estándar, se pueden usar para construir la tubería de bajada de primer flujo. Un criterio mínimo de diseño es que el dispositivo debe desviar los primeros 0,5 mm de lluvia. Para calcular el volumen de agua a desviar, multiplique la longitud y el ancho de la superficie de recolección (m) por 0.5 mm (Guidelines for Rainwater Harvesting in Pacific Island Countries, 2004).

#### **4.8.3. Conducción**

Conjunto de tuberías unidas en los bordes más bajos del techo, con el objeto de recolectar el agua de lluvia y de conducirla hasta el sitio deseado (Figura 13). Una parte primordial de la entrega del agua al depósito es que se debe garantizar que el nivel de los elementos para recoger las aguas pluviales ubicadas en la zona de captación, se encuentren al menos 0.3 m por encima de la clave superior del tubo de conducción en el punto de llegada al mismo.

Se deberá revisar el gradiente hidráulico generado desde el punto de recolección del agua pluvial hasta el punto de entrada al tanque o depósito, de tal manera que de ser necesario se incremente el desnivel entre ambos puntos para garantizar un escurrimiento y una conducción óptima (Comisión Nacional del Agua, 2016). La conducción del agua captada podrá realizarse con tubería fabricada de cualquiera de los siguientes materiales:

- a) PVC.
- b) ABS.
- c) Polipropileno.
- d) Polietileno.

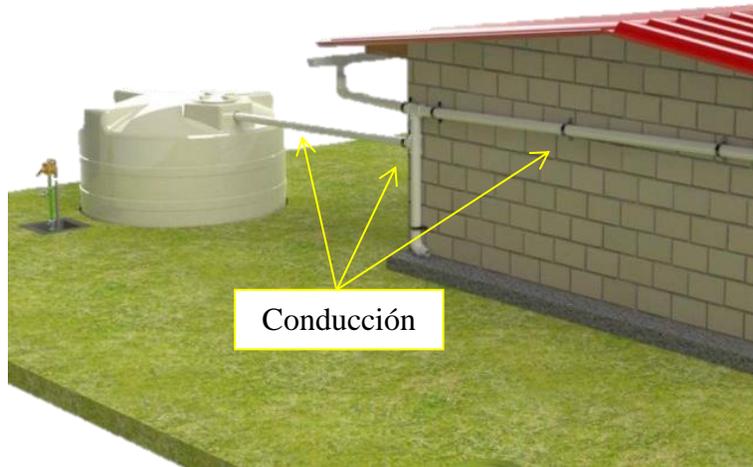


Figura 13. Conducción (RotoplasMx, 2018).

#### **4.8.4. Depósito o tanque de almacenamiento**

La recolección del agua de lluvia se realiza en tanques que deberán tener el volumen necesario para garantizar la dotación establecida, y de acuerdo con la Comisión Nacional del Agua (2016) deberán ser:

- a) Impermeables, para evitar pérdidas por goteo o transpiración;
- b) Herméticos: para evitar contaminación, el ingreso de luz solar y la proliferación de insectos;
- c) Accesible y con abertura amplia para realizar la limpieza;
- d) Accesible para realizar reparaciones necesarias en el caso de tanques fabricados en sitio.

Para los sistemas de captación de agua de lluvia, el tanque de almacenamiento suele ser la parte más cara, por lo que el diseño y la construcción necesitan la debida atención. Además de tener el volumen adecuado con respecto a la zona de captación, las condiciones de lluvia y la demanda, debe tener un diseño funcional, duradero y rentable (Guidelines for Rainwater Harvesting in Pacific Island Countries, 2004). Nissen (1999) señala que debido a su experiencia de campo ha demostrado que no existe un diseño de tanque universal. No obstante, un conjunto de requisitos clave comunes a todos los diseños de tanques eficaces son:

- a) Diseño funcional y hermético;
- b) Cubierta sólida y segura para evitar la entrada de insectos, suciedad y luz solar;
- c) Filtro de entrada apantallado;
- d) Tubería de rebose apantallada;
- e) Una boca de inspección (e idealmente una escalera) para permitir el acceso para la limpieza;
- f) Un sistema de extracción que no contamine el agua (por ejemplo, grifo, bomba);
- g) Sistema de recolección de agua para evitar que el agua derramada forme charcos cerca del tanque; y
- h) Una altura máxima de 2 m para evitar altas presiones de agua (a menos que se utilice refuerzo adicional en muros y cimientos).

#### **4.8.4.1.        ¿Tanque subterráneo o superficial?**

Es recomendable colocar los tanques de almacenamiento de manera superficial, con la finalidad de abatir costos originados por la excavación en caso que se deseará instalarse enterrados, de igual manera al encontrarse en la superficie, es de fácil inspección para el usuario el detectar fugas en el mismo y proceder a repararlas (Comisión Nacional del Agua, 2016).

Sin embargo las Guidelines for Rainwater Harvesting in Pacific Island Countries (2004) afirman que la construcción de un tanque de almacenamiento bajo tierra es un método popular de reducción de costos en la construcción, ya que los problemas de cimentación se evitan por completo y, por lo tanto, se pueden construir tanques muy grandes para uso comunitario con relativa facilidad. Cuando existan suelos estables que puedan absorber la fuerza del agua almacenada, cualquier cemento se necesita solo como sellador. Las principales fallas de estos tanques son las fugas, las cuales son complicadas de localizar e igualmente difíciles de reparar al

igual que la intrusión de alimañas. Las causas de estas fallas son las raíces de los árboles y el aumento del nivel freático, lo que hace que los tanques vacíos floten fuera del suelo o simplemente colapsen bajo la presión del agua exterior.

En la Tabla 1 se muestra un resumen de las ventajas y desventajas del almacenamiento subterráneo y sobre el suelo. En general, alrededor del 80% de los usuarios expresan una preferencia por los tanques sobre el suelo a pesar de que el costo aumente hasta un 50% (DTU, 2004).

Tabla 1. Ventajas y desventajas de los tanques subterráneos y superficiales

	<b>ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
<b>superficial</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Permite una fácil inspección en busca de grietas o fugas</li> <li>b) La extracción de agua puede realizarse por gravedad con extracción por grifo</li> <li>c) Se puede elevar sobre el nivel del suelo para aumentar la presión del agua</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Generalmente más caro</li> <li>b) más fácil de sufrir daños</li> <li>c) La falla puede ser peligrosa</li> <li>d) Propenso a ser deteriorado por el clima</li> </ul>
<b>subterráneo</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) El suelo circundante brinda soporte permitiendo un espesor de pared más bajo y, por lo tanto, menores costos</li> <li>b) Requiere poco o ningún espacio sobre el suelo</li> <li>c) Discreto</li> <li>d) El agua permanece fría</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) La extracción de agua es más problemática: a menudo requiere una bomba</li> <li>b) Las fugas o fallas son difíciles de detectar</li> <li>c) Posible contaminación del tanque por aguas subterráneas o inundaciones</li> <li>d) La estructura puede resultar dañada por las raíces de los árboles o el aumento del agua subterránea.</li> </ul>

- 
- e) Si el tanque se deja al descubierto, puede causar accidentes o el agua se puede contaminar
  - f) Los vehículos pesados que pasan sobre una cisterna también pueden causar daños.
  - g) No se puede drenar fácilmente para limpiar
- 

*Fuente:* Guidelines for Rainwater Harvesting in Pacific Island Countries (2004).

#### 4.9. Potencial de captación de agua pluvial

A la cantidad total de agua que es recibida en forma de lluvia en un área se le denomina dotación de agua pluvial del área. Aparte de esto, la cantidad que puede realmente ser cosechada o captada es denominada potencial de captación o cosecha de agua de lluvia.

$$\text{Potencial de captación de agua pluvial} = \text{Precipitación Pluvial (mm)} \times \text{Eficiencia de captación o recolección}$$

La eficiencia de captación plantea el hecho de que no toda la precipitación en un área puede ser captada, por pérdidas debidas al derramamiento, a la salida, a la infiltración, a la adherencia de soldadura de la captación y a la evaporación superficial, situaciones que contribuirán a reducir la cantidad de salida. Factores como el coeficiente de escorrentía y el primer flujo de desperdicios son tomados en cuenta cuando se estima la eficiencia de captación (Gleason et al., 2019).

#### 4.10. Daymet

Daymet es derivado de una colección de algoritmos y software de computadora diseñado para interpolar y extrapolar a partir de observaciones meteorológicas diarias para producir

estimaciones cuadriculadas de parámetros meteorológicos diarios, el cual es un producto de investigación de la división de Ciencias Ambientales del Laboratorio Nacional de Oak Ridge, el cual cuenta con el apoyo financiero de la Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio (NASA) y el Programa de Ecología Terrestre (TE) a través del Sistema de Información y Datos de Ciencias de la Tierra (ESDIS). El desarrollo continuo del algoritmo y el procesamiento de Daymet también cuenta con el respaldo de la Oficina de Investigación Biológica y Ambiental dentro de la Oficina de Ciencias del Departamento de Energía de los Estados Unidos de América (EUA).

Daymet proporciona estimaciones cuadriculadas, continuas y a largo plazo de las variables meteorológicas y climatológicas diarias mediante la interpolación y extrapolación de observaciones terrestres a través de técnicas de modelado estadístico. Los productos de datos de Daymet proporcionan datos impulsores para el modelado terrestre biogeoquímico y tienen innumerables aplicaciones en áreas de investigación de ciencias de la Tierra, recursos naturales, biodiversidad y agricultura. Las variables meteorológicas incluyen la temperatura mínima y máxima diaria, la precipitación, la presión de vapor, la radiación de onda corta, el equivalente de agua de nieve y la duración del día producido en una superficie cuadriculada de 1 km x 1 km sobre América del Norte continental y Hawái desde 1980 y sobre Puerto Rico desde 1950 hasta 2021, cuyo objetivo es el de proporcionar mediciones de condiciones meteorológicas en superficies donde no existe instrumentación. En donde la comprensión de estas superficies es fundamental para comprender muchos procesos en el sistema biogeoquímico terrestre (ORNL DAAC, 2020).

#### ***4.10.1. Datos de entrada para el procesamiento de la información***

Los datos necesarios para el modelo incluyen un modelo de elevación digital, archivos de horizonte derivados, una máscara de agua terrestre y observaciones de temperatura máxima diaria, temperatura mínima y precipitación de estaciones meteorológicas terrestres. Para lo cual se ensambla un archivo por año para cada año de datos de la estación y se ingresa en el algoritmo del modelo Daymet. Hay disponible un producto de conjunto de datos Daymet para los datos de observación meteorológica diaria a nivel de estación y los datos pronosticados del modelo Daymet correspondientes para los tres parámetros del modelo: tmin, tmax y prcp. También se incluyen los archivos de metadatos de la estación correspondientes para cada variable y año, incluido el nombre de la estación, la identificación de la estación, la latitud y la longitud.

#### ***4.10.2. Procesamiento de datos***

El algoritmo Daymet gestiona la gran cantidad de datos de entrada y la gran extensión espacial del área de estudio mediante la creación de un sistema de pixeles de 2 grados x 2 grados que se procesan individualmente y se identifican mediante un TileID.

El enfoque de Daymet para estimar los parámetros meteorológicos diarios en lugares que carecen de instrumentación se basa en una combinación de interpolación y extrapolación, utilizando entradas de múltiples sitios instrumentados y pesos para cada sitio que reflejan las relaciones espaciales y temporales de la ubicación estimada con las observaciones instrumentales. El número aproximado de observaciones a usar para cada estimación se define como un parámetro para cada una de las variables primarias. Como parte de una serie de modificaciones del algoritmo destinadas a mejorar la solidez en regiones con una densidad de estaciones muy baja, el algoritmo Daymet V4 elimina el cálculo iterativo de la densidad de estaciones y, en su lugar, define un radio de búsqueda para cada ubicación de estimación cuyo tamaño captura exactamente el número promedio de estaciones de entrada, basadas en matrices precalculadas de

distancias de estación. Dadas las observaciones de la estación de entrada preprocesadas y las listas de estaciones precalculadas y los pesos de interpolación para cada ubicación en la cuadrícula de estimación; se utilizan dos flujos de trabajo separados para producir las variables de salida primarias: uno para las variables de temperatura diarias (Tmax y Tmin) y otro para la variable precipitación diaria (Prcp).

Además de la temperatura máxima, mínima y la precipitación total diaria, el registro de datos de Daymet incluye estimaciones de otras variables importantes del clima. Estas variables de salida secundarias son la radiación de onda corta total diaria (Srad), la presión de vapor de agua promedio diaria (VP), la duración del período de luz diurna (duración del día) y una estimación simple de la capa de nieve acumulada, medida como equivalente de agua de la capa de nieve (SWE). La estimación de la duración del día se basa en la ubicación geográfica y la época del año. Las estimaciones para las otras variables secundarias (Srad, VP y SWE) se derivan de las variables primarias de temperatura y precipitación sobre la base de la teoría y las relaciones empíricas.

## **5. Antecedentes**

Los enfoques que se le dan a los estudios de captación de agua de lluvia pueden variar dependiendo del contexto y las necesidades específicas, sin embargo, en su mayoría emplean metodologías cuantitativas para describir el potencial de captación de una zona determinada. Dicho valor es de gran importancia para determinar la viabilidad del mismo, juntos con el ahorro económico que representa la implementación de un sistema, la inversión del mismo, así como la calidad del agua y los elementos que componen el sistema.

### **5.1. Internacional**

Entre las publicaciones internacionales de habla hispana prepondera la participación de países como Colombia, Perú, Ecuador, Cuba entre otros más, donde destacan publicaciones como la de Palacio Castañeda (2010), quien realizó la propuesta de un SCALL en la institución educativa María Auxiliadora, Colombia, como alternativa para el ahorro de agua potable, en donde se logró satisfacer la demanda total de 9 meses y el resto de los meses tiene un potencial superior al 90% de ahorro; por lo que el autor considera al proyecto viable para hacer un uso eficiente del agua, cuyo valor de implementación aproximado se estimó en \$99,042.00. Por su parte en el mismo país Arroyave Rojas et al. (2011) evaluaron técnica y económicamente la captación de agua de lluvia como fuente alterna en la Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia, donde se estimó un potencial de captación de hasta 700 m<sup>3</sup> posibles a captar en una superficie de 3,500 m<sup>2</sup>, lo que se traduce en una reducción de costos de los servicios públicos de \$768,250.00 mensuales. Andrade Espinosa y Martínez Porras (2014) estimaron el costo-beneficio de la utilización de agua de lluvia en la Fundación Universitaria Los Libertadores en Colombia para fines de riego y uso en sanitarios en donde se determinó que el potencial de captación mensual tuvo un ahorro de \$1,125,667.12. del mismo modo Correa Sastoque (2014) diseñó un

SCALL a fin de ahorrar en costos de servicios públicos de la Universidad Libre de Colombia, para ello se calculó un potencial de captación en promedio mensual de  $42.04 \text{ m}^3$ , con lo que se garantiza cumplir con la demanda de la institución, lo cual se ve reflejado en un ahorro de \$3,759,769 anuales; cuyo costo de implementación se estimó en \$7,416,423.

Lara Villegas y Mora Campana (2014) demostraron que es posible satisfacer la demanda total de los laboratorios de Bioquímica y Bromatología de la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo en Ecuador a partir de un sistema mediante tratamiento con ósmosis inversa.

Palacios Hernández y Vásquez Otero (2014) evaluaron los SCALL en el casco urbano de Matagalpa, Nicaragua. Dicha investigación fue de tipo descriptivo-correlacional-exploratorio, donde se llevaron a cabo 100 encuestas para identificar el manejo, tratamiento del agua y la participación de la población en la captación de agua de lluvia. Entre los resultados se destacó la participación de los pobladores siendo el 53% los que practican estas técnicas a partir de techos y que el recurso se utiliza para riego, lavar y uso animal, además se destaca que el 56% de la muestra no tiene conocimientos de los sistemas de captación de agua de lluvia por lo que no se le dan los tratamientos adecuados ni un uso eficiente al recurso captado.

Aranda Huari (2015) diseñó un SCALL para la Universidad Nacional Del Centro Del Perú. El área de estudio contó con un área de captación de  $20,516.96 \text{ m}^2$  distribuidos en los techos de 11 edificios, con lo que fue posible obtener un potencial de ahorro del 44.88% para una población de 10,516 en promedio con una dotación de 60 l/día/estudiante.

Gonzaga Barreto (2015) diseñó un SCALL para uso doméstico en la Isla de Jambelí, Ecuador, ante la inexistente fuente de abastecimiento del recurso hídrico dulce, para lo cual se usó una vivienda tipo con una superficie de captación de  $56 \text{ m}^2$ , con lo que se estimó un potencial de captación de  $34.75 \text{ m}^3$  en promedio anual, sin embargo, fue imposible satisfacer la demanda

de una familia ( $94.20 \text{ m}^3/\text{año}$ ) dado que el área de captación fue demasiado pequeña, por lo que se desechó dicha propuesta. El autor también propuso otra alternativa en la que la dotación mensual fue de  $28 \text{ l/hab/día}$ , con lo que se estimó un tanque de almacenamiento de  $14 \text{ m}^3$ . La oferta anual del sistema fue de  $34.76 \text{ m}^3$  de agua lo que se ve reflejado en un ahorro de  $726.84 \text{ USD}$  anuales, cuya inversión de implementación fue estimada en  $5,588.48 \text{ USD}$  con lo que se estableció como un sistema económicamente factible.

Ospina y Moyano (2015) evaluaron el aprovechamiento de agua de lluvia para consumo humano en la ciudad de Ibagué, Colombia. Dicho estudio logró la potabilización del agua captada para distribuirla como fuente alterna de abastecimiento a dos comunas. En los estudios de calidad se detectó que los niveles de contaminación del agua aumentaron al entrar en contacto con la superficie de escorrentía, además se destacó que la implementación de este sistema es viable desde el punto de vista económico, técnico, ambiental y social. Estos autores también realizaron la comparación con otras fuentes de abastecimiento (superficial y subterránea), con una reducción en la infraestructura que se tradujo como una menor inversión, de igual forma afirmaron que el aprovechamiento del agua de lluvia en el entorno urbano favoreció al control del ciclo hidrológico, previniendo la ocurrencia de avenidas máximas e inundaciones, además de que se favorece al desarrollo de una nueva cultura del agua y al desarrollo sostenible.

León Romero (2016) analizó la viabilidad de implementación de un SCALL para el abastecimiento de zonas residenciales de la Nueva Ciudad de Morococha, en la zona central del Perú. Para ello se utilizó una vivienda tipo, cuya área techada correspondió a  $46 \text{ m}^2$  con una demanda de  $17.51 \text{ litros/hab/día}$ , para lo cual se calculó un tanque de almacenamiento de  $7.65 \text{ m}^3$ . La implementación de dicho sistema se ve reflejado en una inversión de aproximadamente  $S/2,258.57$ , cuyo potencial de ahorro anual fue de  $31.95 \text{ m}^3$ .

Benavides Alfonso y Arévalo (2017) evaluaron el potencial de captación para usos sanitarios y aseo personal a partir de una vivienda tipo de 26.04 m<sup>2</sup>, en el barrio La Victoria de la localidad de San Cristóbal Bogotá, en donde se captaron 31.10 m<sup>3</sup> anuales por vivienda con lo que es posible un ahorro económico del 58.19% anual.

Celis Lugo (2017) evaluó técnica y económica la factibilidad del uso de agua de lluvia para uso sanitario en el Hospital Regional del Valle de Tenza en Colombia, en donde se plantearon dos escenarios de captación con 2,753 m<sup>2</sup> y 3,537 m<sup>2</sup> de área de captación, cuyo costo de inversión fue estimado en 57.966.485 COP y los costos fijos anuales de 938.463 COP.

Salazar Contreras (2017) realizó un estudio de la factibilidad para la implementación de un sistema de manejo y aprovechamiento del agua de lluvia en el campus universitario sede Claustro en Colombia. Para ello se contó con tres techos de 2,523.04 m<sup>2</sup>, 337.73 m<sup>2</sup> y 1,179.34 m<sup>2</sup>, con lo que fue posible captar 4,176.70 m<sup>3</sup>, 559.10 m<sup>3</sup> y 624.70 m<sup>3</sup> en cada bloque. Con estos datos se pudo demostrar que fue posible satisfacer la demanda total de los sanitarios de la sede.

Alcides Ruíz (2017) realizó el prototipo de un SCALL impulsado por gravedad en viviendas de la localidad de Puente Aranda de la ciudad de Bogotá D. C para fines no potables. De acuerdo con los análisis realizados se estimó una dotación de 24 l/habitante/día con lo que se estableció un área de captación de 3 m<sup>2</sup> para poder satisfacer dicha demanda. En los resultados se obtuvieron ahorros de \$27,826.27 en la factura del servicio público a partir de la implementación del sistema, siendo este el 26% de la demanda bimestral.

Espinoza Correa et al. (2017) realizó el diseño de un SCALL para una vivienda unifamiliar en la isla Jambelí, Ecuador. Para ello se utilizó una vivienda tipo a dos aguas con un área de 56 m<sup>2</sup>, cuya dotación fue establecida en 28 l/hab/día, con lo cual se estimó un tanque de almacenamiento de 15 m<sup>3</sup>, con lo que se cubrió la demanda total de la vivienda.

Cadena Garavito y Gómez Cárdenas (2018) diseñaron un SCALL para uso sanitario en una casa residencial en la ciudad de Bogotá D. C. para dicho estudio se tomó un área de captación de 119.782 m<sup>2</sup>, sin embargo, destaca que el volumen de agua recolectada no logró suplir totalmente la demanda, sino que solo se logra sustituir un poco más del 60%.

Melo Niño (2018) evaluó el SCALL implementado en el aeropuerto internacional el Dorado de Bogotá, a fin de identificar si se está generando un óptimo aprovechamiento del agua de lluvia. Para ello, el área aprovechable fue de 50,107 m<sup>2</sup>; con lo que se obtuvo una captación promedio mensual de 3,466 m<sup>3</sup> y una demanda promedio mensual de 25,158.44 m<sup>3</sup> con lo que es insuficiente para suplir con la demanda total del aeropuerto, sin embargo, el autor describe que esto es debido a las pocas precipitaciones en el área de estudio.

Ureña González y Ardila Barreto (2018) evaluaron un SCALL en la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, sede Bosa Porvenir, Colombia. El área de estudio contó con 7,214.33 m<sup>2</sup> para captación, con una población de 2,960 alumnos, con lo que se estimó una demanda de 55.65 m<sup>3</sup>/jornada, lo que dio como resultado un ahorro en los meses con mayor precipitación (marzo – junio y octubre – noviembre) que oscilan entre 20 y 35% de la demanda total.

Flores Fuentes (2018) estudió la prefactibilidad de un SCALL en la fundación Kinal en la ciudad de Guatemala, la cual tenía un consumo de 1,060 m<sup>3</sup> en promedio mensual; con un promedio anual de precipitaciones de 110.78 mm de lluvia. Para ello se contó con un área de captación de 1,368 m<sup>2</sup>, lo que dio un potencial de captación de 136.39 m<sup>3</sup> mensuales capaz de satisfacer el 14.3% de la demanda total, con un ahorro de Q1,020.84.

Arroyave Rojas (2019) evaluó la cantidad y calidad fisicoquímica y microbiológica del agua de lluvia para usos domésticos en el Colegio Mayor de Antioquia en Medellín Colombia, así como los beneficios sociales y económicos. Para ello se instaló un sistema piloto con el cual se

calculó una captación de  $10,036 \text{ m}^3$  en promedio anual en un área de  $4,698 \text{ m}^2$  lo que se ve reflejado en un ahorro de \$48,596,473 anuales.

Casas-Matiz y Malagón-Micán (2019) evaluaron el uso del agua de lluvia en la Universidad de América en Colombia, a fin de determinar su posible gestión en una propuesta de aprovechamiento. Para ello se determinó la cantidad de agua captada, la cual fue de  $36.17 \text{ m}^3$  al año lo que se ve reflejado en un 12.23% de ahorro del consumo de agua potable.

Demartini et al. (2019) propusieron una alternativa de recolección de aguas de lluvias en Santa Fe, Argentina, donde se llevó a cabo la implementación del proyecto “evacuación cero” donde se buscó el equilibrio de las variables de diseño para hacer de un edificio un proyecto sustentable a partir de la combinación de reservorios de agua convencionales con los no convencionales (agua de lluvia), donde se estimó una captación de  $11 \text{ m}^3$  con una intensidad de lluvia de  $60 \text{ mm/h}$  en un área de captación de  $185 \text{ m}^2$ .

Requejo Salazar (2019) propuso un SCALL para vivienda unifamiliar en la ciudad de Jaén, Perú para satisfacer las necesidades de uso doméstico Para ello se contó con áreas de captación que van de  $120$  a  $200 \text{ m}^2$  con lo cual se estimó un ahorro del 50% del consumo de agua potable mensual con la implementación de un taque de almacenamiento de  $5 \text{ m}^3$ .

Ruales Fonseca y Toro Escobar (2019) diseñaron y construyeron un SCALL para uso doméstico en la ciudad de Quito, Ecuador en el techo de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Escuela Politécnica Nacional para lo cual se usó un área de captación de  $72.68 \text{ m}^2$  para un consumo diario de  $120 \text{ l/día}$ , con lo que se fue capaz satisfacer la demanda de octubre a mayo, el cual tuvo un costo de inversión de \$1,342.00.

Torres-Hugues y Fresquet-Blanco (2019) propusieron un sistema de captación de agua de lluvia en una edificación de 10 niveles en la Habana, Cuba. Para ello el área de estudio contó con

una precipitación en promedio anual de 1,312 mm de lámina de lluvia, con dicha información se estimó un potencial de ahorro entre el 77 y el 89% con una superficie de captación de 1,775 m<sup>2</sup>.

Valenzuela (2019) diseñó un SCALL en el edificio de la Facultad de Ingeniería, Ciencias Físicas y Matemática de la Universidad Central del Ecuador para su uso en las instalaciones sanitarias de estos mismo; donde se obtuvo un ahorro de 45.04% del consumo de agua potable a partir de la implementación de este proyecto.

Díaz Guevara (2020) estudió un SCALL en la ciudad de Moyobamba, Perú con el propósito de abastecimiento familiar en donde se encontró que la eficiencia del sistema es relevante, ya que se obtuvo un ahorro 58 m<sup>3</sup> de agua (S/. 164.31 soles), además de que en los meses de marzo y abril abastece al 100% la demanda de agua.

Mejía Zelaya (2020) propuso la recolección de aguas de lluvia en la ceiba, Honduras con lo que permitió maximizar la captación de agua en vivienda social provocando la reducción en la demanda de la red pública a partir de los volúmenes captados por los techos del área de estudio provocando un ahorro del 81% para la demanda de 1 mes, 90% para la demanda de 2 meses y 91 % de la demanda de 3 meses de una vivienda a partir del cálculo de tres tanques de almacenamiento, cuyos costos de implementación fueron de US\$5,022.41, US\$6,627.07 y US\$7,339.17 respectivamente.

Torres Hugues y Fresquet Blanco (2020) realizaron la estimación del potencial de captación de viviendas en Cuba, dicho autor se enfocó en estimar la superficie mínima de captación para satisfacer la demanda total de los inodoros y la propuesta de la modificación de las superficies mínimas para satisfacer la entre el 7 y 35% del resto de la demanda.

## 5.2. Nacional

Picos Benítez (2010) realizó un diagnóstico del consumo de agua en la Zona Universitaria Poniente de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, en donde se detectó un problema por altos consumos de agua potable, por lo que se realizó una serie de propuestas para el uso eficiente del recurso hídrico, así como el diseño de un SCALL, con el que se demostró que se es posible satisfacer aproximadamente el 30% de la demanda del sistema municipal.

Paz Rosales (2011) propuso un SCALL en la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica Unidad Culhuacán, Estado de México. Para dicho proyecto se estimó una superficie de captación de 3,609.6 m<sup>2</sup>, cuyo consumo mensual fue de 81.82 m<sup>3</sup>. Con lo que se estimó un potencial de captación en promedio mensual de 205.81 m<sup>2</sup> con un tanque de almacenamiento de 123.99 m<sup>3</sup>, el cual tuvo un costo de implementación de \$613,921.74 MN.

Siller y Barrera (2011) llevaron a cabo modelos demostrativos de captación de agua de lluvia en tres escuelas de Veracruz con la finalidad de diseñar, experimentar y evaluar metodologías que mejoren cualitativa y cuantitativamente la participación de la comunidad escolar y que les ayude a fortalecer un ambiente saludable. Para ello se evaluó la viabilidad técnica para la construcción y se elaboró la propuesta de diseño (integrada por área de captación, conducción, pre filtro, tanque de almacenamiento y bomba de distribución), así mismo se socializó la propuesta y el plan de trabajo con la comunidad escolar con lo que se procedió a la construcción del sistema. Las escuelas donde se llevaron a cabo la implementación de estos sistemas son: Escuela Primaria Adalberto Tejeda y José Vasconcelos, Escuela Primaria Tierra y Libertad y Agustín de Iturbide y Escuela Primaria 16 de septiembre, con lo que se obtuvieron potenciales de captación de 310.74, 166.12 y 321.40 m<sup>3</sup> de agua al año respectivamente.

García Velázquez (2012) desarrolló un SCALL con tratamiento primario y secundario en un Eco barrio de la Ciudad de México, en donde se demostró que entre los meses de junio a

octubre existieron ahorros desde el 16 % de hasta el 100 % del consumo de agua en zonas con mayor ocurrencia de lluvias; sin embargo, también se propuso un plan de ahorro para poder llegar hasta un 80 % en las zonas con menores porcentajes, cuyo costo de implementación fue estimado en \$6,000 MN, con un retorno de inversión entre 1 y 2 años.

Rojas-Valencia et al. (2012) determinaron la calidad del agua de lluvia del sistema de captación de agua pluvial de un edificio de la zona sur del Distrito Federal, cuyo techo tiene 288.4 m<sup>2</sup> y cuenta con una cisterna de almacenamiento de 3 m<sup>3</sup> para una población de 250 personas con una dotación de 10 l/día/persona; con lo que se obtuvo el ahorro equivalente al 36% anual. Los resultados microbiológicos mostraron diversos tipos de bacterias como bacilos, cocos y coliformes (*Escherichia coli* y *Enterobacter aerogenes*), mientras que los fisicoquímicos reportaron concentraciones bajas de sólidos suspendidos totales, demanda biológica de oxígeno, demanda química de oxígeno y carbón orgánico total, por lo que se consideró al agua captada como un recurso alternativo.

Ruvalcaba Saucedo y Ramírez Quintana (2012) estudiaron el potencial de captación del auditorio del parque solidaridad en Guadalajara, cuyo techo contó con 800 m<sup>2</sup> y de acuerdo al autor, en el área de estudio llueven 980 mm en promedio anual; con lo que se estimó un potencial de captación de 784 m<sup>3</sup> en promedio anual.

Rea Zafra (2013) propuso un SCALL habitacional en la unidad territorial Paraje San Juan, Ciudad de México. Para ello se estimó de manera remota la superficie de los techos de las viviendas presentes en el área de estudio, con lo que se calculó un área efectiva de 325,478 m<sup>2</sup> contenidas en 66 manzanas, con un potencial de captación de 188,256 m<sup>3</sup>. Para ello también se estimó un tanque de almacenamiento de 49.9 m<sup>3</sup>, así como una planta potabilizadora, cuya inversión de implementación se estimó en \$224,000.00 MN, con lo que se calculó un ahorro de 2'628,000.00 MN para una manzana con 30 familias.

Acosta Vadillo (2013) desarrolló un SCALL para uso industrial en el parque Benito Juárez en el estado de México. En el área de estudio la demanda de agua fue de 857 m<sup>3</sup> en promedio mensual y para la propuesta se usó un área de captación de 787 m<sup>2</sup> con lo que se estimó un ahorro del 10.2% de la demanda de agua potable, así mismo se demostró que la calidad del agua de lluvia captada tuvo mejor calidad que la proporcionada por la red municipal.

Gutiérrez Neri (2014) planteó un proyecto a fin de atender los requerimientos de agua de los sanitarios de la escuela “La Puerta de Santiago”, mediante la captación pluvial, para lo cual se diseñó el sistema con un área de captación de 1,481.44 m<sup>2</sup> con una precipitación en promedio anual de 779 mm con lo que se obtuvo un potencial de captación de 923 m<sup>3</sup>/año para una demanda de 921.69 m<sup>3</sup>/año.

Luna Espinosa et al. (2015) diseñaron un sistema de captación de agua de lluvia para uso en jardines y sanitarios en la Facultad de Planeación Urbana y Regional de la Universidad Autónoma del Estado de México, para ello se seleccionó el edificio C, cuyo techo consta de 508.72 m<sup>2</sup> y para la implementación del sistema se estimó una inversión de \$36,718.31, sin embargo, el autor no realiza un estudio de la cantidad de agua posible a captar, sino que se enfoca en la calidad del recurso captado.

La Comisión Nacional del Agua y La Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2016) publicaron un conjunto de lineamientos técnicos referentes a los sistemas de captación de agua de lluvia con fines de abasto de agua potable a nivel vivienda tanto en zona urbana como rural, en donde se especifica la metodología a emplear para el cálculo del potencial de captación, así como de cada uno de los componentes necesarios para la implementación.

Salinas López et al. (2016) evaluaron el potencial de captación de un SCALL en la Zona Metropolitana de Monterrey, en donde se obtuvieron los volúmenes posibles a captar en

promedio anual por manzana a partir del cálculo del área de los techos mediante un análisis remoto, con lo que se obtuvo una captación de 160,201,174 m<sup>3</sup> de toda el área de estudio.

Rojas León (2016) propuso un SCALL para consumo humano en vivienda popular de la Colonia Plan de Ayala en Chilpancingo, Guerrero. Para lo cual el autor implementó una prueba piloto con un techo de lámina galvanizada con 7% de pendiente. Dicho autor hizo la implementación del prototipo, pero no menciona datos de ahorros, ni toca el tema de la factibilidad del mismo.

Pérez Hernández et al. (2017) diseñaron un SCALL en el municipio de San Miguel Tulancingo, Oaxaca; para dotar con agua de calidad, en cantidad y de manera continua a los habitantes del área de estudio. Para el diseño se contempló una población de 500 habitantes, con una dotación de 3.4 l/hab/día para consumo humano y 20 l/hab/día para uso doméstico. La precipitación neta mensual usada fue de 412 mm y para la demanda de 4 270.5 m<sup>3</sup>/año se calculó una superficie de 10,452 m<sup>2</sup>, con lo que se requiere de un almacenamiento mínimo de 891 m<sup>3</sup> de acuerdo a los datos obtenidos del balance hídrico aplicado.

Aguilar Rodríguez y Delgado Galván (2017) analizaron el potencial de captación de agua de lluvia para uso en una industria de cerámica en Dolores Hidalgo, Guanajuato a fin de optimizar el uso del agua mediante un modelo sustentable de producción. Para dicho estudio se usó un área de captación de 733 m<sup>2</sup>; con un total de precipitación en promedio mensual de junio a octubre de 372.99 mm, con lo que se recolectaron 218.72 m<sup>3</sup> anuales, capaz de satisfacer el 40% de la demanda anual de la fábrica.

Camargo González y Fuentes-Galván (2017) diseñaron un SCALL para abastecer los servicios sanitarios del Departamento de Educación de la Universidad de Guanajuato. Para ello se contó con un área de captación de 360 m<sup>2</sup>, lo que proporcionó un volumen de captación de 39 m<sup>3</sup>

con lo cual se comprobó la viabilidad de implementación del sistema, ya que el caudal recolectado es el suficiente para satisfacer la demanda de por lo menos 5 meses.

Cruz Rosas et al. (2017) desarrollaron un SCALL que compitió con los diseños de Isla Urbana y Rotoplas, cuyo costo de implementación fue estimado en \$10,299.00 y de acuerdo con los resultados obtenidos se estableció que el proyecto fue técnica y económicamente viable para hacer uso eficiente del agua pluvial, ya que con el sistema se logró abastecer completamente las actividades principales realizadas en el hogar.

Parada-Molina y Cervantes (2017) evaluaron la cantidad de agua de lluvia y niebla capturada y su relación con el consumo a nivel vivienda con un área de captación de 60 m<sup>2</sup> en la ciudad de Xalapa, Veracruz, donde se observó que el agua de lluvia fue capaz de satisfacer el 35 % de la demanda mensual (14 m<sup>3</sup>) con una precipitación acumulada de 4 meses (noviembre-febrero) de 257.7 mm, sin embargo los niveles de captación de niebla fueron bajos, lo cual representó el 1.7 % del consumo mensual de la vivienda.

López-Hernández et al. (2017) diseñaron tres SCALL en los que compararon los costos generados con la extracción de agua del subsuelo en el municipio de Calpulalpan, Tlaxcala. Se encontró que captar el agua de lluvia resultó más económico que extraer agua del subsuelo cuando se trata de volúmenes relativamente pequeños (146-1,575 m<sup>3</sup>). Además de que con la lluvia del lugar es suficiente para abastecer de agua todo el año, por lo que la instalación de estos sistemas fue técnica y económicamente viable.

El Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (2018) publicó un manual de instalación de SCALL para casa habitación aplicable en viviendas rurales o urbanas con techos de al menos 40 m<sup>2</sup>, para zonas con precipitaciones mayores a 900 mm anuales con una dotación de al menos 20 l/habitante/día. Dicho documento explica a detalle las condiciones e instalación de los elementos

del sistema tales como: área de captación, línea de conducción, trampa de sólidos, filtro de hojas y depósito o tanque de almacenamiento.

Tolentino Cristóbal (2018) propuso un plan para la captación de agua de lluvia en los techos de la ciudad de México en donde se detalla la metodología necesaria para desarrollar el estudio del potencial de captación, el cálculo del caudal de conducción del sistema de almacenamiento, el dimensionamiento de las canaletas, el volumen de almacenamiento, la capacidad de bombeo y en general el calibre de la tubería necesaria para el sistema.

Lizárraga-Mendiola et al. (2018) analizaron las posibilidades de implementación de tecnologías de bajo impacto (captación de agua de lluvia) en las ciudades de Pachuca de Soto y Mineral de la Reforma en viviendas unifamiliares. En dicho estudio se observó que es posible cosechar volúmenes suficientes en azoteas de viviendas unifamiliares con superficies de 100 m<sup>2</sup> donde se satisfizo el 25% del volumen necesario para fines no potables.

Jiménez-Pérez (2018) determinó los lineamientos técnicos para el diseño y construcción de SCALL para las edificaciones del Área Metropolitana de Guadalajara (AMG) con el propósito de captar agua de lluvia sin riesgos para la salud, coadyuvando en el abasto de agua potable, la disminución de inundaciones, la recuperación de los mantos acuíferos y apoyando con la gestión integral del agua a nivel local. Para ello se tomaron en cuenta la calidad de agua de lluvia, marco normativo, sistemas de tratamiento y los tipos de edificación. Se concluyó que es factible la implementación de los SCALL en el AMG puesto que los elementos que lo integran son comunes en las prácticas constructivas del área de estudio, además de que la normativa lo permite y los porcentajes de lluvia de la ciudad son suficientes para abastecer el gasto de agua potable.

Galicia Aguilar (2018) diseñó un taque de almacenamiento de agua de lluvia para una vivienda unifamiliar de la Zona Metropolitana del Valle de Toluca en donde demostró que un tanque de almacenamiento hecho a partir de neumático y concreto, logró tener las capacidades de

carga necesarias para su implementación con un costo de inversión de \$1,856.43/m<sup>2</sup> siendo más económica que los sistemas comerciales.

Jalife Acosta et al. (2018) realizaron una revisión descriptiva-evaluativa, donde abordaron los conceptos que se refieren a la captación de agua de lluvia, sus componentes; así como antecedentes de trabajos realizados, en especial en zonas áridas; como estrategia de uso sustentable del agua, con el objetivo de evidenciar la viabilidad y necesidad de aplicar la captación en zonas con estas características, así como la generación de información al respecto.

Canseco Arteaga (2019) diseñó un SCALL para casa habitación en la zona de Iztapalapa, Ciudad de México en donde se describió la problemática que presenta la zona de estudio referente a la escasez de agua, a partir del estudio de estrategias sustentables como lo es la captación de agua de lluvia y la exposición teórica de los elementos que componen estas estrategias de consumo alternativo.

Tellman (2019) analizó la viabilidad de instalación de SCALL en la Ciudad de México. Se tomó un área de captación promedio de 60 m<sup>2</sup> con lo que se obtuvieron almacenamientos de 2,500, 5,000 y 10,000 l, para un consumo que va de 20 a 100 l/persona/día según el tipo de vivienda; con lo que se estimó un potencial de captación aproximado de 39 mil millones de litros de agua anuales, con lo cual cerca de 415,000 personas en aproximadamente 105,000 viviendas mejorarían de manera significativa su situación de escasez de agua.

Camacho-Cardona (2019) realizó la propuesta de una casa habitación sustentable en el entorno urbano del Estado de México con el objetivo de volver autosuficientes servicios e insumos tales como el agua, electricidad, confort térmico, uso de luz solar y calentamiento de agua. Para el abastecimiento de agua potable se propuso la cosecha de agua de lluvia con mecanismos de analogía proporcional propios de procesos naturales a través de dos aljibes y un tinaco con capacidad total de 80.2 m<sup>3</sup> ubicados en el sótano de la vivienda.

De la Cruz Guzmán y Gleason Espíndola, (2018) evaluaron la viabilidad de implementación de un SCALL para uso alternativo no potable en el Centro Universitario de Ciencias Económico Administrativas de la Universidad de Guadalajara. Para dicho cálculo se estimó una superficie de captación de 794.87 m<sup>2</sup>, con una precipitación media anual de 1,024.9 mm y un coeficiente de escorrentía de 0.80, dando así un potencial de captación de 651.72 m<sup>3</sup>, lo que representó un ahorro de \$13,132.12 al año. Siento esta una alternativa viable que apoya no solo de manera económica a la institución, sino que coadyuva a cumplir con las metas de reducir el impacto en el medio ambiente que se planteado dentro del Plan Universitario de Sustentabilidad.

Aguilar Ramírez y Carreón Barrientos (2018) analizaron la viabilidad de implementación de un SCALL en la Escuela de Nivel Medio Superior de Guanajuato (ENMSGTO) como fuente alternativa de abastecimiento con fines de ahorro de consumo de agua potable. Para ello se estimó un área de captación de 110 m<sup>2</sup> y una demanda de 25 l/alumno/turno. El cálculo de la demanda anual con distribución mensual mostró un promedio de 3.80 m<sup>3</sup>, lo cual fue posible satisfacer en los meses comprendidos entre junio y septiembre en un 100%, además de poder almacenar el volumen necesario para los meses sin eventos pluviales; lo cual hizo del proyecto una alternativa viable de implementación.

Solórzano-Villarreal et al. (2019) estudiaron la metodología para estimar la relación de consumo y captación de agua de lluvia en un edificio en la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco, México. Dicho estudio fue realizado a partir de la cuantificación de las personas que usan los sanitarios y las limpiezas que se llevan a cabo en las instalaciones, así como las disponibilidades mensuales de las precipitaciones en relación a la superficie de la azotea, en donde se logró satisfacer la demanda de los meses comprendidos entre abril y octubre en un 100% a la demanda de la institución.

Tobías Ramírez y Hernández-Pérez (2019) realizaron una investigación en la Ciudad Juárez, Chihuahua, tomando en consideración los techos como captador pluvial en la que se buscó generar edificios sostenibles con el fin de mitigar la sobre explotación de los mantos freáticos; se comprobó la viabilidad del modelo desarrollado a partir de tres modelos experimentales implementados en la zona oriente, centro y poniente de la ciudad con la capacidad de medir la cantidad de lluvia cosechada con pendientes de 2% , 10% y 27% . Se observó que los techos de lámina galvanizada con pendientes del entre 10% y 27% tienen mejores resultados de captación pluvial teniendo una captación promedio mayor del 31.03% en comparación con los techos de 2% de pendiente.

### **5.3. Estatal**

Torres González (2023) analizó las características físico-químicas del agua de lluvia a fin de explorar una fuente alternativa para el suministro de agua en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez. Para dicho estudio el autor recolectó datos en diferentes temporalidades, analizando el agua captada de los años 2018, 2019 y 2020 en donde los parámetros de estudio fueron: pH, turbiedad, color, dureza y sólidos disueltos totales, de acuerdo a las normatividades correspondientes en donde se determinó que el agua captada es apta para emplearla en actividades domésticas con características de calidad similares a la proporcionada por el sistema de abastecimiento municipal, con lo cual se contribuye a la problemática de escasez del agua en temporada de lluvias.

Altamirano Farro (2019) analizó e identificó zonas para la implementación de Sistemas de Captación de Agua de Lluvia en la región metropolitana y frailesca de Chiapas a partir del análisis de las normales climatológicas del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) en el periodo comprendido del año 1981 al 2010 con lo cual se determinó la precipitación media anual con el

apoyo de análisis espaciales que dieron como resultado un mapa de distribución de lluvia y en base a la investigación realizada por Salinas (2015); quien considera que es factible la implementación de un SCALL en lugares con al menos 200 mm en promedio anual, se determinaron las zonas que cumplen con los criterios para implementar un SCALL tomando como variables la densidad poblacional y la precipitación, entre las cuales se encuentran: la zona oriente de Tuxtla Gutiérrez, Berriozábal, la zona sur de Suchiapa y Chiapa de corzo, la zona centro de Villaflores, la cabecera municipal de villa corzo, la concordia, Ángel Albino corzo y Montecristo de guerrero, cuyas localidades tienen como mínimo un promedio anual de lluvia que oscila entre 200 mm y 600 mm.

Solís López (2016) elaboró un modelo para impulsar la sustentabilidad en las instituciones de educación superior (IES) siendo la CU, UNICACH el caso de estudio. En dicha investigación se construyeron entre 3 o 4 indicadores por cada dimensión (social, económica y ambiental) en las áreas de: agua, energía, áreas verdes, residuos peligrosos, residuos sólidos urbanos y salud; haciendo un total de 59 indicadores. Para el diagnóstico del agua el autor realizó un estudio tipo descriptivo-observacional y experimental con resultados cuanti-cualitativos abordando las tres dimensiones de la sustentabilidad. Entre los resultados obtenidos se destacan un estimado del consumo anual de 52,270.35 m<sup>3</sup> de los cuales 6,104.76 m<sup>3</sup> son abastecidos por el SMAPA y 46,165.71 m<sup>3</sup> fueron abastecidos a partir del uso de agua de pipa; teniendo un costo anual de \$210,600.00 y \$1,885,356.96 respectivamente, para una población de 4,498 individuos durante el periodo de 2012 a 2015. A partir de los datos previamente expuestos se hizo notar que la universidad cuenta con un consumo per cápita elevado (32.28 l/hab/día) ya que la Organización Mundial de la Salud (OMS) recomienda una cantidad aproximada de 20 litros al día por persona, para lo cual el autor realizó recomendaciones entorno a medidas de ahorro y alternativas que suplan la demanda de uso de agua en pipa, entre las que se destacó el uso del pozo profundo

localizado en Centro de Energías Renovables, o bien; la captación de agua de lluvia y rehusó de aguas grises.

Mundo Molina (2016) realizó el diseño de una casa sustentable en la comunidad indígena de Yalentay, Zinacantán. Dicho diseño fue inspirado en el colector de aguas de lluvias construido en 1999. A partir de ello se diseñó una casa que adoptó los usos y costumbres de la comunidad a fin de hacer de este diseño eficiente en la zona de estudio. Dicho diseño se ve integrado por: sala-comedor; baño ecológico; cocina con estufa ecológica y tanque de agua arremetido (una parte en la cocina y otra parte en el patio), además de porche de acceso y dos o tres recamaras, dependiendo del número de integrantes de la familia, en donde el colector de agua de lluvia domiciliario es una parte fundamental del diseño con un costo de construcción de 0.10USD lo que lo hace económicamente viable en comparación con tanques de plástico prefabricado.

## **6. Objetivos**

### **6.1. Objetivo general**

Determinar el potencial de captación y aprovechamiento de agua de lluvia en las instalaciones de la Facultad de Ingeniería de CU.

### **6.2. Objetivos específicos**

- Estimar la precipitación en promedio mensual para el área de estudio en un periodo superior a 15 años.
- Cuantificar la cantidad de días hábiles y la cantidad de usuarios de los edificios 3 y 4.
- Calcular la demanda de agua potable de los edificios 3 y 4.
- Determinar el área de captación.
- Determinar la cantidad de agua posible a captar en el área de estudio para su aprovechamiento como medio de suministro alternativo.
- Estimar el potencial de ahorro con el volumen de agua posible a captar.
- Dimensionar los elementos que componen el sistema de captación.

### **6.3. Hipótesis**

H1.- La Facultad de Ingeniería tiene un potencial de escurrimiento aproximado de 3,000 m<sup>3</sup> medio anual.

H2.- El agua que es posible captar a partir de los techos en CU podría ser de alrededor de 1,000 m<sup>3</sup> medios anuales.

H3.- Es posible la implementación de un sistema de captación de agua de lluvia en techos que supla parcialmente la demanda del suministro del sistema de agua potable municipal.

## **7. Metodología**

### **7.1. Descripción del Área de Estudio**

#### **7.1.1. Localización**

El estudio se llevó a cabo en las instalaciones de la Facultad de Ingeniería de CU, UNICACH en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas (Figura 14), capital del estado que presenta la concentración más grande de población, la cual se encuentra integrada por 115 localidades de las cuales 112 son rurales y 3 son urbanas. La ciudad de Tuxtla Gutiérrez se ubica en la Región Socioeconómica I Metropolitana y limita al Norte con San Fernando y Usumacinta, al Este con Chiapa de Corzo, al Sur con Suchiapa y al Oeste con Ocozocoautla de Espinosa y Berriozábal; cuenta con una extensión territorial de 334.61 km<sup>2</sup> que representa el 0.45% de territorio estatal y el 18.6% de la superficie regional (INEGI, 2021; Comisión de Planeación para el Desarrollo de la LXVII Legislatura del H. Congreso del Estado de Chiapas, 2019; Secretaría de Turismo, s. f.). La ciudad cuenta con 578,830 habitantes que equivalen al 95.81% de la población total del municipio, teniendo una población total de 604,147 habitantes de los cuales 316,623 son mujeres y 287,524 son hombres de acuerdo al INEGI (2021).

La Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas es un órgano descentralizado autónomo, de interés público y social, con personalidad jurídica y patrimonio propio, al servicio de los intereses educativos, sociales y culturales del estado de Chiapas. Se encuentra localizada en el Libramiento Norte Poniente, N° 1150, Col. Lajas Maciel (Figura 15). Dicha institución cuenta con 54 programas educativos, 38 a nivel licenciatura, 16 de posgrados, de los cuales 13 licenciaturas y 11 posgrados tienen cede en CU. Entre las unidades académicas de esta cede se destacan: el Instituto de Ciencias Biológicas, Instituto de Ciencias Básicas y Aplicadas, la Facultad de Ingeniería, Facultad de Ciencias Humanas y Sociales, Facultad de Ciencias de la

Nutrición y Alimentos y la Facultad de Ciencias Odontológicas y Salud Pública (ANUIES, 2020; UNICACH, 2018).

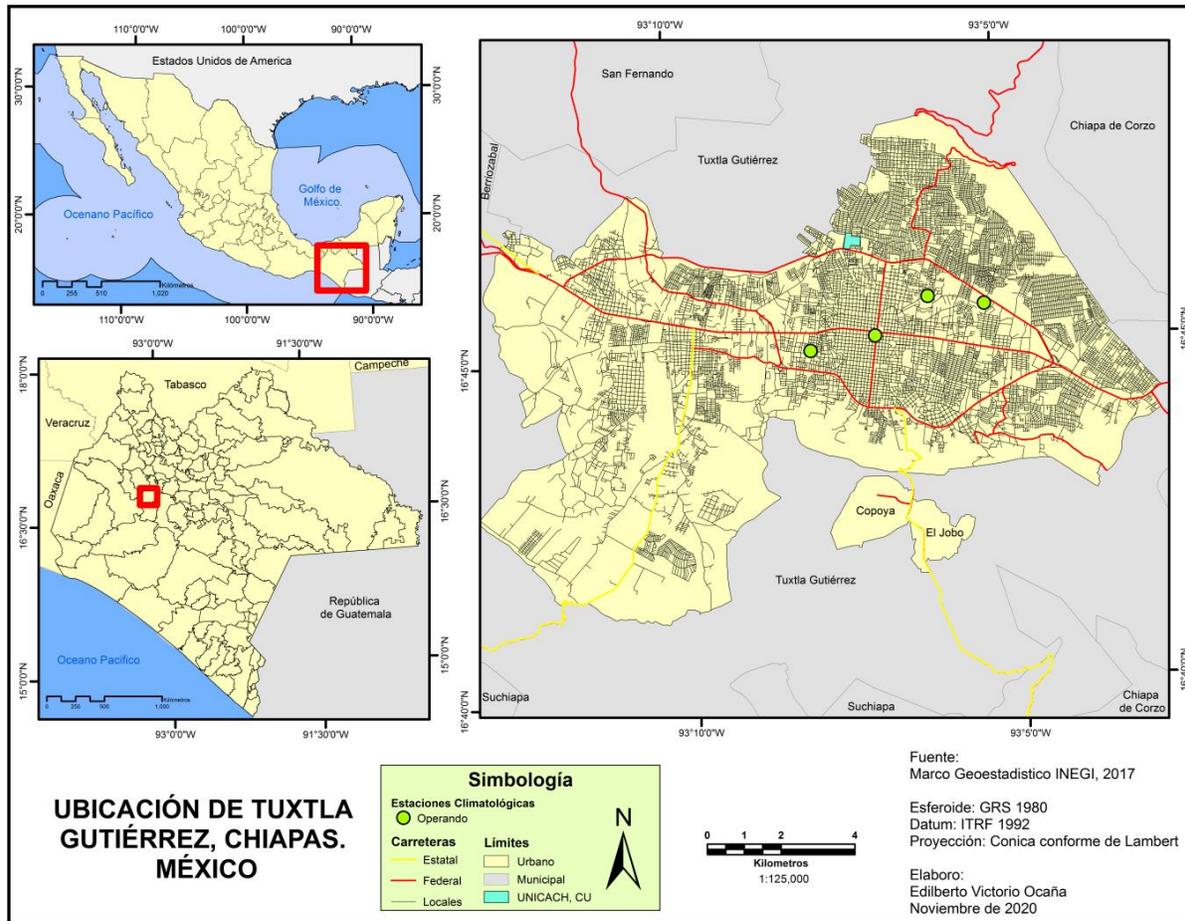


Figura 14. Mapa de localización de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.

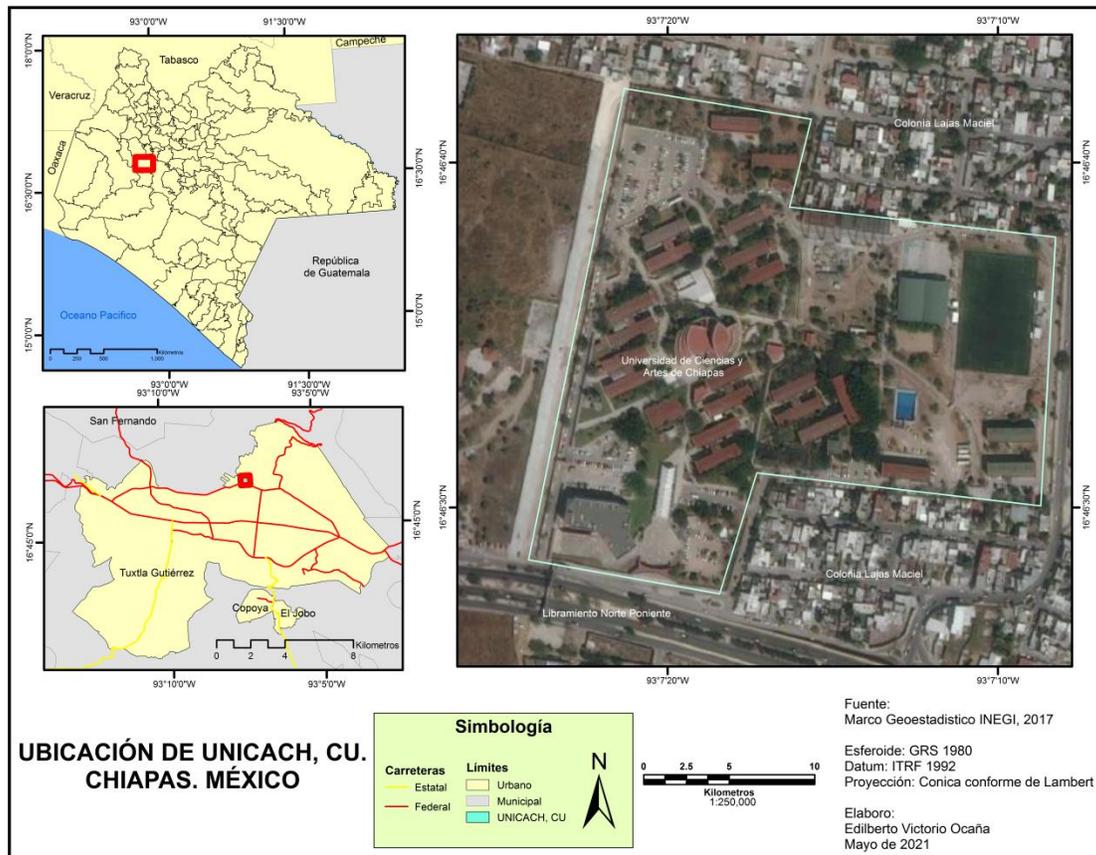


Figura 15. Ubicación de CU, UNICACH.

### 7.1.2. Geología, edafología, uso de suelo y vegetación

La geología del área de estudio se encuentra dada por: Q(al) = Suelo aluvial del cenozoico cuaternario y Ks(cz-lu) = roca sedimentaria caliza-lutita del mesozoico cretáceo superior (Figura 16) de acuerdo a datos de la carta geológica 1:250,000, Tuxtla Gutiérrez E15-11, edición 1985. Con referencia a la edafología, la predominante en CU es Leptosol de acuerdo con la carta edafológica 1:250,000 E15-11 edición 2007. Así mismo el uso de suelo y vegetación de la zona de estudio es totalmente zona urbana de acuerdo con la carta de uso de suelo y vegetación E15-11 a escala 1:250,000.

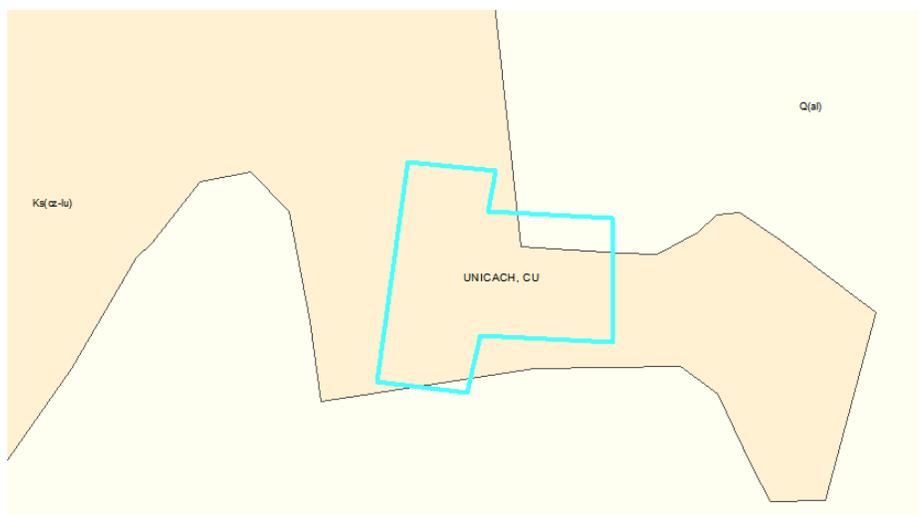


Figura 16. Distribución geológica de CU, UNICACH. (Carta geológica 1:250,000, NEGI, 1985).

### 7.1.3. Topografía

El municipio de Tuxtla Gutiérrez está ubicado mayormente en la Depresión Central del estado, sin embargo, también forma parte de las regiones fisiográficas Montañas del Norte y Altos de Chiapas presentando relieve montañoso tanto al sur como al norte (Figura 17). La altura del relieve varía entre los 300 m y los 1,400 metros sobre el nivel del mar (msnm). Las formas del relieve presentes en el municipio son: Llanura aluvial con lomerío (34.99%), sierra alta de laderas tendidas (29.73%), meseta típica (25.16%), valle de laderas tendidas con lomerío (4.21%), lomerío típico (3.85%) y cañón típico (2.06%) (Comisión de Planeación para el Desarrollo de la LXVII Legislatura del H. Congreso del Estado de Chiapas, 2019; Villavicencio, s. f.).

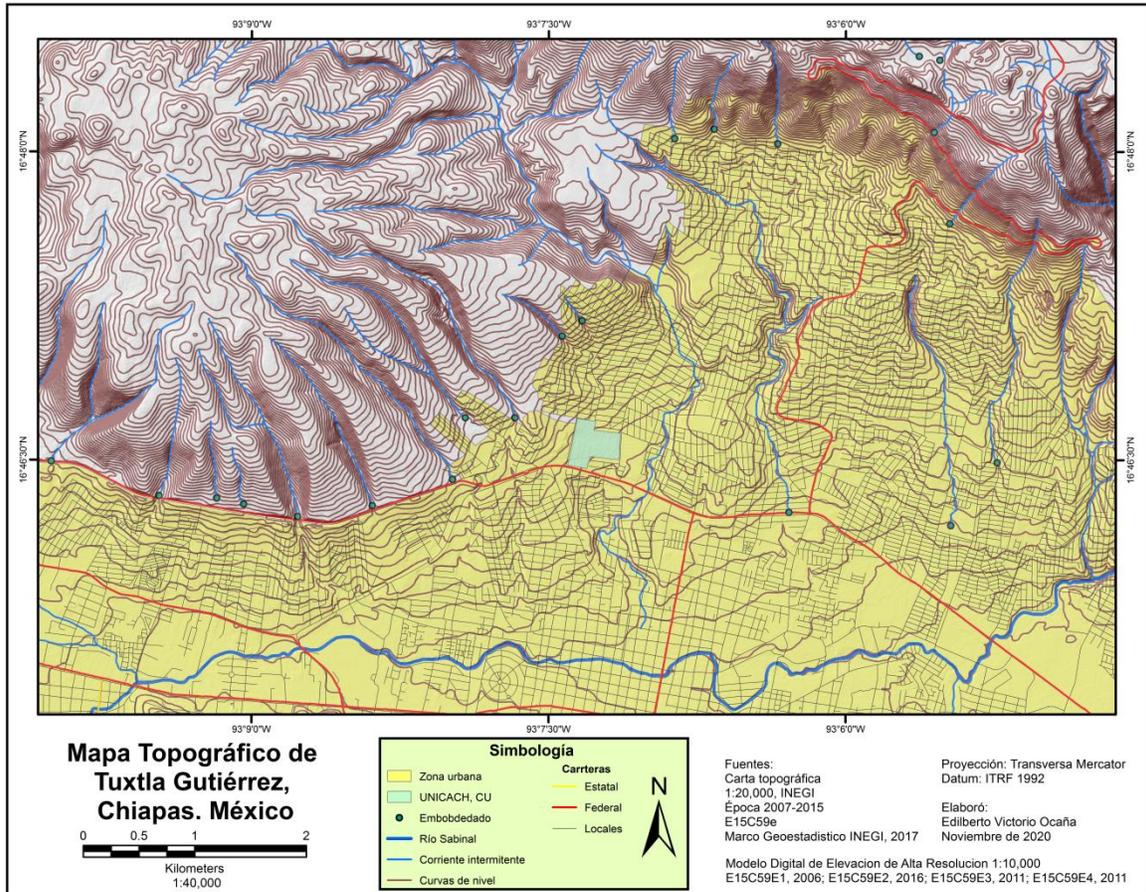


Figura 17. Mapa topográfico de la zona norte-Poniente de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.

#### 7.1.4. Hidrografía

El área de estudio se encuentra inmersa dentro de la Región Hidrológica No. 30 Grijalva-Usumacinta y su río principal (Río Sabinal) es un afluente del río Grijalva, cuyos principales afluentes son los arroyos: San Agustín, La Chacona, Chapultepec, Ojo de Agua, Pomarroza, Pistimbak, Potinaspak, Totoposte, Bambú, Arroyo Blanco, Lomas del Oriente, Cerro Hueco, Santa Ana, Poc-Poc, San Roque, El Zope, San Pascualito, El Cocal, Romeo Rincón, San Francisco Sabinal y La Laguna. CU está localizado justo entre los escurrimientos Potinaspak y Totoposte, siendo ambas corrientes intermitentes (Comisión de Planeación para el Desarrollo de

la LXVII Legislatura del H. Congreso del Estado de Chiapas, 2019; Gobierno del Estado de Chiapas, s. f.).

#### **7.1.5. Climatología y precipitación**

De acuerdo con Jiménez Pérez (2020) las precipitaciones en México siguen un régimen bimodal, es decir; cuentan con un máximo de lluvias en junio y otro en septiembre, teniendo una reducción en las precipitaciones entre julio y agosto. A este fenómeno se le conoce como canícula, la cual se caracteriza por la elevación de temperaturas superiores a los 37 °C, disminución de lluvias, calentamiento del aire y cielos despejados. En Chiapas, la canícula puede durar varias semanas, generalmente entre julio y agosto (IMTA, 2019). Durante este periodo, las temperaturas suelen elevarse considerablemente, lo que puede provocar sequías y afectar la disponibilidad de agua (Montero Martínez y Andrade Velázquez, 2015), debido que a los vientos alisios, al soplar con fuerza desde el Este, impiden la formación de nubes sobre el océano, lo que provoca la reducción las lluvias en el parte del territorio continental (IMTA, 2019).

El clima en el municipio de Tuxtla Gutiérrez es mayormente cálido subhúmedo con periodos de lluvia comprendidos en los meses de mayo a octubre, con precipitaciones medias que oscilan entre los 900 a 1,200 mm de lluvia; dentro del periodo correspondiente a los meses de noviembre a abril la precipitación media es de 25 mm a 50 mm. En los meses de mayo a octubre las temperaturas mínimas promedios oscilan entre 18 y 21 °C mientras que las máximas van de 30 a 33 °C. Así mismo en durante los meses de noviembre a abril las temperaturas mínimas medias reportadas van de 12 a 15 °C, mientras que las máximas en este mismo periodo van de 24 a 27 °C, de 27 a 30 °C y de 30 a 33 °C (Comisión de Planeación para el Desarrollo de la LXVII Legislatura del H. Congreso del Estado de Chiapas, 2019).

### ***7.1.6. Infraestructura disponible en CU***

Esta sede cuenta con una amplia infraestructura en donde se encuentra el Centro Universitario de Información y Documentación (CUID), la emisora radiofónica Radio UNICACH, un Teatro Universitario, un Centro de Lenguas, el Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Energías Renovables (CIDTER) y el Centro de Investigación en Gestión de Riesgos y Cambio Climático (CIGERCC), cuenta con 15 clínicas de atención a la salud en las facultades de Ciencias Odontológicas y Salud Pública, Nutrición y Alimentos y en la Facultad de Ciencias Humanas y Sociales. CU también posee diversos espacios deportivos para la práctica de las disciplinas que ofrece la institución entre las que se encuentran: un campo de pasto sintético, roca de escalada, cancha de voleibol de playa, alberca semiolímpica y canchas de usos múltiples (UNICACH, s. f.; UNICACH, 2018).

CU cuenta con una superficie total de 137,504.496 m<sup>2</sup>, de los cuales 48,894.01 m<sup>2</sup> corresponden a superficies con concreto, 24,620.738 m<sup>2</sup> corresponde a superficies ocupadas por edificaciones, 24,125.762 m<sup>2</sup> son ocupados por áreas verdes y 41,863.986 m<sup>2</sup> son áreas sin asignar (Solís López, 2016).

### ***7.1.7. Distribución de agua potable en CU***

Dicha distribución se realiza a partir de la toma de agua potable de SMAPA y es transportada a través de tuberías de 2 pulgadas de PVC hidráulico y de cobre, la longitud total del sistema de distribución se desconoce ya que no se cuentan con los planos actualizados de dicha red. Para conocer el consumo de agua potable se hace a partir del medidor del SMAPA y con el control de las pipas para su pago correspondiente. Referente al almacenamiento del agua dentro de la institución se realiza a partir de 2 cisternas con capacidad de 80,000 l y 100,000 l; de la misma manera se cuenta con 2 bombas, una sumergible y la otra centrífuga con capacidad de 5

Hp y 2 Hp respectivamente. Para la distribución se bombea el agua hacia los tanques elevados localizados a alturas de 12 m y por gravedad se realiza el abastecimiento del recurso; únicamente la facultad de Ciencias Odontológicas cuenta con un tinaco adicional para atender a las clínicas de atención pública (Solís López, 2016).

## **7.2. Información pluviométrica**

Anaya (1994) argumentó que el análisis de precipitación es uno de los factores para definir si es, o no factible realizar obras de captación y la complejidad radica en la selección del diseño que se adecúe a la zona de estudio. Los datos importantes se obtienen de las estaciones meteorológicas que cuenten con datos de precipitación mensual de por lo menos diez años (Como se citó en Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 2000); por su parte, la Comisión Nacional del Agua (2016) estableció un límite no menor a 15 años en los registros de precipitación, sin embargo dadas las condiciones de las estaciones meteorológicas aledañas a la zona de estudio, la falta de información pluviométrica y a la inconsistencia de los datos de las mismas, se optó por hacer uso de los datos de precipitación diaria del algoritmo de Daymet versión 4.0, el cual ya tiene dentro de su metodología de trabajo los análisis estadísticos necesarios de distintas variables meteorológicas, entre ellas la precipitación, con lo que se obtiene una cuadrícula de pixel de 1 km de ancho con un periodo de estudio de 41 años (1980 - 2021).

Dicha información fue obtenida directamente de la página de Daymet (Thornton et al., 2020), en donde se descargó la información de la precipitación diaria de un solo pixel como se muestra en la sección enmarcada en color naranja de la Figura 18.

The image shows the 'Get Data' page of the Daymet website. The navigation bar includes 'Get Data', 'Description', 'Citations', 'Publications', and 'Learning'. The 'Get Data' section is divided into three columns:

- Direct Download:** Offers daily surface weather data for North America, including climatologic summaries and validation files.
- Single Pixel Extraction Tool:** A web-based tool for extracting data from a specific geographic point (latitude and longitude) from the Daymet grid.
- Web Services:** Provides RESTful API endpoints for programmatic data retrieval.

Figura 18. Página principal de Daymet (ORNL DAAC, 2020).

Para esta opción de descarga se necesitó la localización del punto de interés (edificios 3 y 4 de CU, UNICACH); la variable de descarga fue la precipitación (PRCP) y el rango de años fueron todos (1980-2021) para posteriormente continuar con la descarga como se muestra en la Figura 19, en donde se obtuvo un archivo con extensión csv, el cual contiene los datos de la precipitación diaria de los años seleccionados.

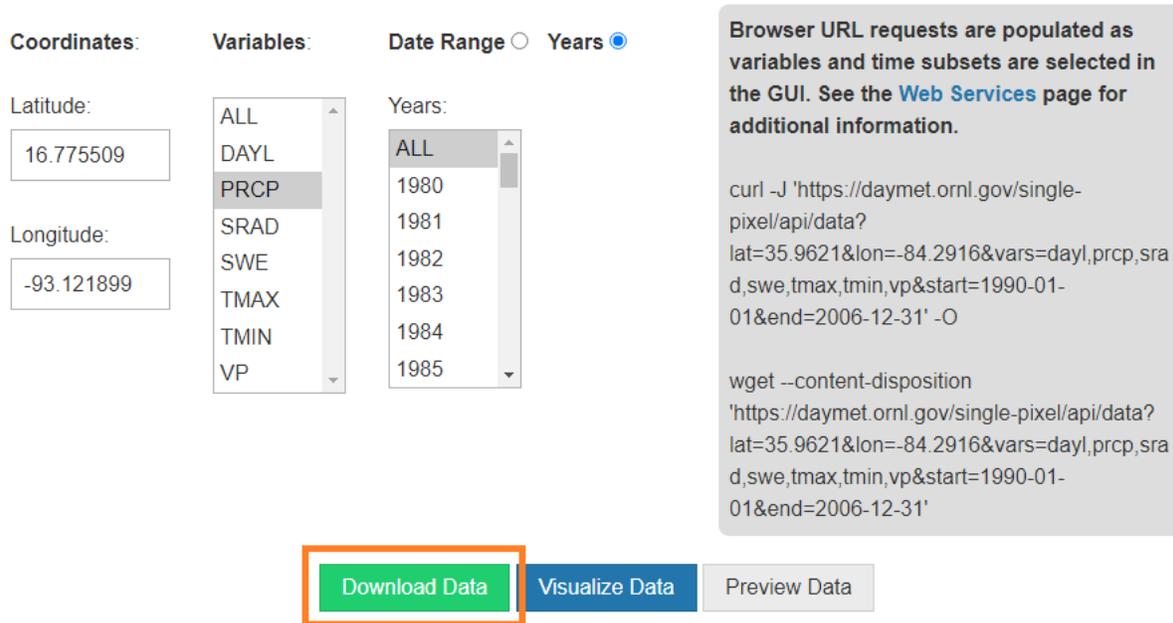


Figura 19. Datos necesarios para la descarga de información en Daymet (ORNL DAAC, 2020).

### 7.2.1. Precipitación mensual

Con la información de los milímetros recogidos en un día (precipitación diaria) se procedió a calcular los milímetros recogidos en un mes (precipitación mensual) como una simple suma de las precipitaciones diarias del mes en cuestión (Arriaga, 2015), también definida como la lámina total acumulada del mes (*Estudio Topohidráulico e Hidrológico sobre el Rio Altar, s. f.*), la cual se ve reflejada en la siguiente expresión.

$$hp = \sum_{d=1}^{dm} Pd$$

Dónde:

hp = Precipitación total mensual [mm/mes].

Pd = Precipitación total en 24 horas [mm/día].

Con la recopilación de la información pluviométrica de la zona, se obtuvo la precipitación mensual promedio según la NMX-AA-164-SCFI-2013, con la siguiente expresión:

$$\overline{pm} = \sum_{i=1}^n \frac{p_d}{n}$$

Pm = Precipitación promedio con distribución mensual [mm/mes].

n = Número de años evaluados [adimensional].

Pd = Precipitación del mes “i” [mm].

### **7.3. Número de días hábiles al mes en los edificios de la Facultad de Ingeniería**

Para la determinación de la cantidad de días hábiles se realizó un promedio a partir del conteo de los días que se labora por mes en la institución con el apoyo de los calendarios académicos (Figura 21 a 25) publicados por el departamento de servicios escolares de CU, UNICACH del 2018 al 2022, así como el calendario académico 2021 (Figura 26) del Centro de Lenguas (CELE, UNICACH), donde se determinaron las actividades del PICHI-PESIC; los días considerados son de lunes a sábados siendo estos los días laborales en los edificios 3 y 4.

Cabe destacar que la simbología importante que fue tomada en cuenta son los referentes a los periodos vacacionales, los días inhábiles por ley federal del trabajo y días asuetos para personal docente, así como los inicios y finales de clases (Figura 20).

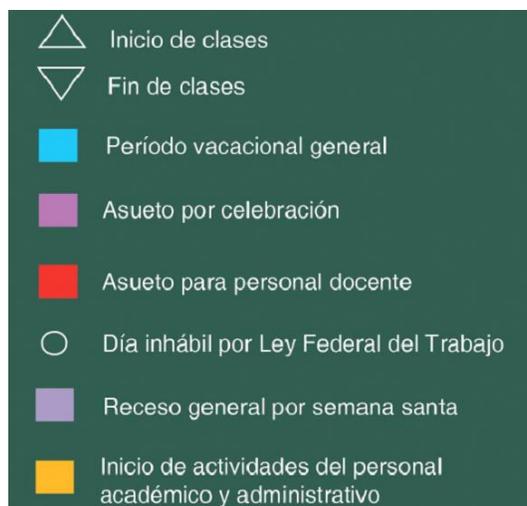
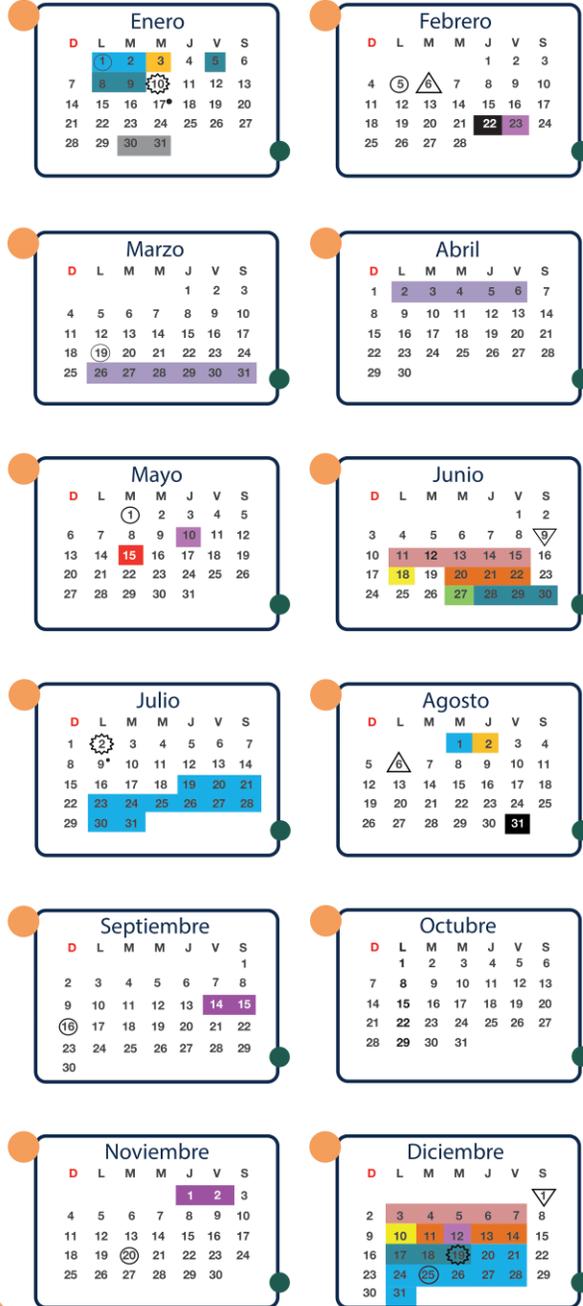
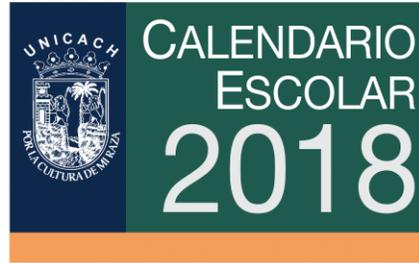


Figura 20. Simbología de los calendarios de CU, UNICACH (UNICACH, 2020).

# UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS



**Aprobado en la Quincuagésima cuarta sesión extraordinaria del H. Consejo Universitario**

- Inicio de clases
- Fin de clases
- Período de evaluaciones ordinarias
- Cierre de captura de calificaciones de evaluaciones ordinarias
- Pago de derecho para presentar evaluaciones extraordinarias
- Período de evaluaciones extraordinarias
- Cierre del ciclo escolar (con calificaciones de evaluaciones extraordinarias capturadas)
- Examen de admisión
- Reinscripciones generales:**  
17 enero y 9 de julio
- Autorización de cargas académicas para estudiantes irregulares:**  
22 al 26 de enero  
10 al 13 de julio
- Inscripciones estudiantes de nuevo ingreso:**  
9 de julio
- Jornadas académicas:**  
15 de enero al 2 de febrero  
2 al 18 de julio
- Período de impartición de cursos:**  
Intersemestrales:  
9 de julio al 3 de agosto  
Intrasemestrales:  
6 de febrero al 8 de junio  
6 de agosto al 30 de noviembre
- Vacaciones
- Asueto por celebración (10 de mayo únicamente para madres)
- Asueto para personal docente
- Día inhábil por Ley Federal del Trabajo
- Semana santa
- Ceremonia de Entrega de Cartas de Pasante en Tuxtla Gutiérrez
- Inicio de actividades del personal académico y administrativo
- Curso de inducción para estudiantes de nuevo ingreso



<https://www.facebook.com/unicach.press> [https://twitter.com/unicach\\_press](https://twitter.com/unicach_press)

Figura 21. Calendario escolar 2018 (UNICACH, 2018).

# UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS



# CALENDARIO ACADÉMICO 2019



Aprobado en la Sexagésima Séptima sesión extraordinaria del H. Consejo Universitario, de fecha 26 de septiembre de 2018.

- ▲ Inicio de clases
- ▼ Finalizan clases
- Aplicación de evaluaciones ordinarias
- Captura de calificaciones: 27 de mayo al 3 de junio  
25 de noviembre al 2 de diciembre
- Pago de derecho para presentar evaluaciones extraordinarias
- Aplicación de evaluaciones extraordinarias
- Captura de calificaciones: 10 al 13 de junio  
9 al 13 de diciembre
- ☀ Cierre del ciclo escolar
- U.A. envían a Secretaría Académica la relación de asignaturas optativas y electivas seleccionadas por los estudiantes
- ★ Reinscripciones generales:  
14 de enero, 24 de junio
- ★ Autorización de cargas académicas para estudiantes irregulares:  
15 al 18 de enero  
25 al 28 de junio
- ★ Inscripciones de nuevo ingreso:  
1-5 de julio 2019
- ★ Jornadas académicas:  
7-19 de enero, 17 de junio-5 de julio 2019  
y 8 al 15 de enero 2020
- ★ Inscripciones cursos de verano :13 y 14 de junio
- ★ Desarrollo de cursos de verano : 17 de junio al 5 de julio
- ★ Captura calificaciones cursos de verano : 6 de julio
- Período vacacional general
- Asueto por celebración
- Asueto para personal docente
- Día inhábil por Ley Federal del Trabajo
- Semana santa
- Receso General por mantenimiento de Instalaciones (Incluye 3 días vacaciones para personal con más de 5 años)
- Inicio de actividades del personal académico y administrativo
- Examen de admisión: Publicación de Convocatoria 5 de feb. Cierre de registro 31 de mayo, Publicación de Resultados 26 de junio
- ★ Captura de evaluaciones parciales por ciclos escolares
- Enero-junio:**  
1er. parcial 4-8 de marzo  
2o. parcial 29 de abril-3 mayo
- Agosto-diciembre:**  
1er. parcial 9-13 de sept.  
2o. parcial 4-8 de nov.



<https://www.facebook.com/unicach.press> [https://twitter.com/unicach\\_press](https://twitter.com/unicach_press)

Figura 22. Calendario académico 2019 (UNICACH, 2019).



# UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS



# CALENDARIO ACADÉMICO 2021



Aprobado en la Octogésima Tercera Sesión Extraordinaria del H. Consejo Universitario.

[www.unicach.mx](http://www.unicach.mx)

- △ Inicio de clases
- ▽ Fin de clases
- Periodo de evaluación ordinarias  
Captura de calificaciones: 7 al 11 de junio  
29 de noviembre al 3 de diciembre
- Pago de derecho para presentar evaluaciones extraordinarias
- Aplicación de evaluaciones extraordinarias  
Captura de calificaciones: 21 al 25 de junio  
13 al 17 de diciembre
- ⚙ Cierre del ciclo escolar
- Periodo vacacional general
- Asueto por celebración
- Asueto para personal docente
- Día inhábil por Ley Federal del Trabajo
- Receso general por Semana Santa
- Inicio de actividades del personal académico y administrativo
- Examen General de Admisión
- Jornadas Académicas
- ★ Reinscripciones generales: 11 de enero, 5 de julio
- ★ Autorización de carga académica para alumnos irregulares:  
25 al 29 de enero  
2 al 6 de agosto
- ★ Inscripciones a estudiantes de nuevo ingreso: agosto
- ★ Integración de plantillas académicas pregrado:  
3 de mayo al 30 de junio
- ★ Registro de autorización de cursos:  
Intramestrales: 18 al 25 de enero, 18 al 28 de junio  
Intramestrales: 20 al 28 de mayo, 19 al 29 de noviembre

Nota: Los proyectos extracurriculares se registrarán por la programación que establezca la Unidad Académica.



Figura 24. Calendario académico 2021 (UNICACH, 2021).



# CALENDARIO ACADÉMICO

# 2022

Aprobado en la Tercera Sesión Ordinaria del H. Consejo Universitario realizada el 9 de diciembre de 2021

- Inicio de clases
- Fin de clases
- Período de evaluaciones ordinarias  
Captura de calificaciones: 6 al 10 de junio 28 de noviembre al 2 de diciembre
- Pago de derecho para presentar evaluaciones extraordinarias
- Período de evaluaciones extraordinarias  
Captura de calificaciones extraordinarias: 20 al 24 de junio 13 al 16 de diciembre
- Cierre del ciclo escolar para dar inicio al egreso de estudiantes de licenciatura y posgrado.
- Reinscripciones generales: 17 de enero, 4 de julio
- Autorización de cargas académicas para estudiantes irregulares: 25 al 29 de enero 1 al 5 de agosto
- Inscripciones a estudiantes de nuevo ingreso: Agosto
- Período vacacional general
- Asueto por celebración
- Asueto para personal docente
- Día inhábil por Ley Federal del Trabajo
- Semana Santa
- Examen de admisión (Resultados: 8 de julio)
- Inicio de actividades del personal académico y administrativo (09 de enero 2023 para personal académico con más de cinco años de antigüedad)
- Jornadas académicas: Invierno 17 al 29 de enero Verano 29 de junio al 13 de julio

Evaluación docente: Febrero: 1 de abril al 21 de mayo  
Agosto: 1 de octubre al 30 de noviembre

**01 ENERO 2023**

D	L	M	M	J	V	S
1	2	3	4	5	6	7
8	9	10	11	12	13	14
15	16	17	18	19	20	21
22	23	24	25	26	27	28
29	30	31				

## UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS



[www.unicach.mx](http://www.unicach.mx)

Figura 25. Calendario académico 2022 (UNICACH, 2022).



# CALENDARIO ESCOLAR 2021

## Sábado

Enero						
D	L	M	M	J	V	S
						1 2
3	4	5	6	7	8	9
10	11	12	13	14	15	16
17	18	19	20	21	22	23
24	25	26	27	28	29	30
31						

Febrero						
D	L	M	M	J	V	S
		1	2	3	4	5 6
7	8	9	10	11	12	13
14	15	16	17	18	19	20
21	22	23	24	25	26	27
28						

Marzo						
D	L	M	M	J	V	S
						1 2 3 4 5 6
7	8	9	10	11	12	13
14	15	16	17	18	19	20
21	22	23	24	25	26	27
28	29	30	31			

Abril						
D	L	M	M	J	V	S
				1	2	3
4	5	6	7	8	9	10
11	12	13	14	15	16	17
18	19	20	21	22	23	24
25	26	27	28	29	30	

Mayo						
D	L	M	M	J	V	S
						1
2	3	4	5	6	7	8
9	10	11	12	13	14	15
16	17	18	19	20	21	22
23	24	25	26	27	28	29
30	31					

Junio						
D	L	M	M	J	V	S
				1	2	3 4 5
6	7	8	9	10	11	12
13	14	15	16	17	18	19
20	21	22	23	24	25	26
27	28	29	30			

Julio						
D	L	M	M	J	V	S
				1	2	3
4	5	6	7	8	9	10
11	12	13	14	15	16	17
18	19	20	21	22	23	24
25	26	27	28	29	30	31

Agosto						
D	L	M	M	J	V	S
1	2	3	4	5	6	7
8	9	10	11	12	13	14
15	16	17	18	19	20	21
22	23	24	25	26	27	28
29	30	31				

Septiembre						
D	L	M	M	J	V	S
				1	2	3 4
5	6	7	8	9	10	11
12	13	14	15	16	17	18
19	20	21	22	23	24	25
26	27	28	29	30		

Octubre						
D	L	M	M	J	V	S
				1	2	
3	4	5	6	7	8	9
10	11	12	13	14	15	16
17	18	19	20	21	22	23
24	25	26	27	28	29	30
31						

Noviembre						
D	L	M	M	J	V	S
		1	2	3	4	5 6
7	8	9	10	11	12	13
14	15	16	17	18	19	20
21	22	23	24	25	26	27
28	29	30				

Diciembre						
D	L	M	M	J	V	S
				1	2	3 4
5	6	7	8	9	10	11
12	13	14	15	16	17	18
19	20	21	22	23	24	25
26	27	28	29	30	31	

△ Inicio de clases

▽ Finalizan clases

★ Examen ubicación PICHÍ-PESIC

■ Reinscripciones PICHÍ-PESIC

■ Inscripciones nuevo ingreso PICHÍ

■ Inscripciones nuevo ingreso PESIC

■ Vacaciones

■ Asueto por celebración

■ Inicio de actividades personal académico y administrativo

● Día inhábil por Ley Federal del Trabajo



Programa Infantil Chiapaneco de Inglés  
Facultad de Humanidades-UNICACH



Figura 26. Calendario académico 2022 (UNICACH, 2022).

#### 7.4. Demanda de agua mensual en la facultad de Ingeniería

El consumo de agua en una edificación es casi impredecible, aún más considerando la diversidad de actividades que se desarrollan; sin embargo, se está acostumbrado a contar con ella de forma constante (Gleason et al., 2019), cabe señalar que existen datos preestablecidos de dotación mínima de agua potable de acuerdo al tipo de establecimiento (Tabla 2) de acuerdo a la Norma Técnica Complementaria para el Proyecto Arquitectónico, capítulo 3. Higiene, Servicios y Acondicionamiento Ambiental, a partir de los cuales se estimó la dotación mensual necesaria para satisfacer la demanda de los edificios 3 y 4 de CU, UNICACH.

Tabla 2. Provisión de agua potable según el tipo de edificación

<b>Tipo de edificación</b>	<b>Dotación Mínima (en litros)</b>
Vivienda	150 l/habitante/día
Mercados públicos	100 l/puesto/día
Locales comerciales en general	6 l/m <sup>2</sup> /día
Baños públicos	300 l/bañista/día
Servicio sanitario público	300 l/mueble/día
Lavanderías	40 l/kg de ropa seca
Agencias y talleres	100 l/trabajador/día
Oficinas de cualquier tipo	50 l/persona/día
Atención médica a usuarios externos en hospitales y centros de salud	12 l/sitio/paciente
Atención médica a usuarios internos en hospitales y centros de salud	800 l/cama/día
Asilos y orfanatos	300 l/huésped/día
Educación preescolar	20 l/alumno/turno
Educación básica y media básica	25 l/alumno/turno
Educación media superior y superior	25 l/alumno/turno
Institutos de investigación	50 l/persona/turno
Museos y centros de información	10 l/asistencia/día
Cafés, restaurantes, bares, etc.	12 l/comensal/día
Espectáculos y reuniones	10 l/asistente/día

Centros comunitarios, sociales, culturales, salones de fiestas, etc.	25 l/asistente/día
Prácticas deportivas con sanitarios con regadera y vestidores	150 l/asistente/día
Hoteles, moteles, albergues y casas de huéspedes	300 l/huésped/día
Policía y bomberos	200 l/persona/día
Centros de readaptación social, de integración familiar y reformatorios	200 l/interno/día
Agencias funerarias	10 l/sitio/visitante
Cementerios, crematorios y mausoleos	100 l/trabajador/día
Visitantes a cementerios, crematorios y mausoleos	3 l/visitante/día
Estacionamientos	8 l/cajón/día
Sitios, paraderos y estaciones de transferencia	100 l/trabajador/día
Estaciones de transporte, terminales de autobuses foráneos	10 l/pasajero/día
Estaciones del sistema de transporte colectivo	2 l/m <sup>2</sup> /día
Todo tipo de Industria	100 l/trabajador/día
Jardines y parques	100 L/trabajador/día
Jardines y parques	5 L/m <sup>2</sup> /día

---

*Fuente:* Norma técnica complementaria para el proyecto arquitectónico (2011).

Para determinar el volumen de agua que se demanda de forma mensual se aplicó la fórmula empleada por el Fondo Para el Logro de los ODM et al., (2012) también propuesta por la Organización Panamericana de la Salud y el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (OPS et al., 2004).

$$Dm = \frac{Nu \times Nd \times Dot}{1000}$$

Dónde:

Nu = Número de usuarios que se benefician del sistema.

Nd = Número de días hábiles al mes.

Dot = Dotación [l/alumno/turno].

Dm = Demanda de agua mensual [m<sup>3</sup>].

Cabe destacar que de acuerdo con la CONAGUA (2007), las necesidades de riego se consideran por separado a razón de 5 l/m<sup>2</sup>/día, así como las necesidades generadas por empleados o trabajadores son consideradas por separado a razón de 100 l/trabajador/día, siempre y cuando se requieran sanitarios con regaderas, de lo contrario se consideran 40 l/trabajador/día (*Norma técnica complementaria para el proyecto arquitectónico*, 2011). Cuya dotación, de acuerdo con la Tabla 2; corresponde a 25 l/alumno/turno y para el personal que labora en la Facultad de Ingeniería correspondió a 40 l/trabajador/día. También se tomó en consideración la cantidad de agua necesaria para la limpieza de las instalaciones, tales como el lavado de baños y trapeado de salones y oficinas, cuya información fue obtenida directamente del área de servicio de dicha facultad, así como los días de riego de los jardines.

#### **7.5. Determinación del área de captación**

Esta se llevó a cabo mediante el cálculo del área seleccionada que se destinó como medio de captación. Dicha área además de ser el lugar para coleccionar la mayor cantidad de agua, es el principal medio de contaminación, en donde el techo es considerado con mucho potencial, sobre todo por la calidad del agua que mantiene (García Velázquez, 2012). De acuerdo con Requejo Salazar (2019) este es uno de los elementos más importantes del sistema, en donde recomienda una superficie con una pendiente no menos al 5%, áreas que no sean transitables y que estén libres de cubiertas vegetadas, pues dichas áreas son susceptibles a la acumulación de biomasa que sería arrastrada por el agua captada. Las formas geométricas de las cubiertas generalmente varían, (a una o dos aguas y cubiertas parabólicas o curvadas). Cabe destacar que, para determinar el área de captación, se tomó en cuenta la proyección horizontal de la superficie seleccionada como se ejemplifica en la Figura 27. Dicha proyección fue obtenida en el sitio de estudio con el apoyo de una cinta de 50 m.

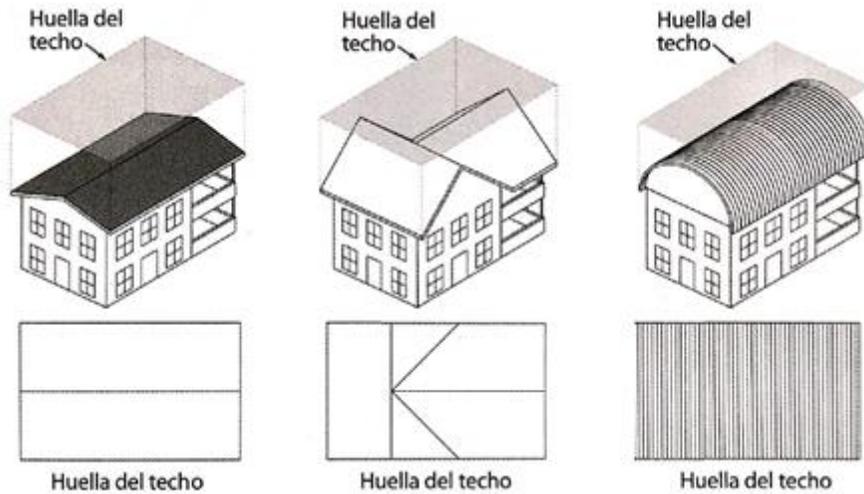


Figura 27. Huella, área y forma del techo de captación (Requejo Salazar, 2019).

### 7.5.1. Coeficiente de escurrimiento

Es el factor que determina la proporción de lluvia que fluye superficialmente como escorrentía, y este depende de varios factores, como el tipo de suelo, la cubierta vegetal, la humedad del suelo previa a la lluvia, así como la intensidad y duración de la lluvia (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 2000). Este valor (Tabla 3) es asignado por el diseñador del sistema, quien toma en cuenta el estado y condición de las superficies si es que estas están muy porosas, accidentadas o lisas (Jiménez-Pérez, 2018).

Tabla 3. Coeficientes de escurrimiento para varias superficies de captación

Tipo de captación		Coeficientes
Techo	Cubiertas metálicas o plásticas (PVC, Polietileno)	0.90 – 0.95
	Techos impermeabilizados o cubiertas con materiales duros	0.75 – 0.90
	Azulejos	0.80 – 0.90
	Hojas de metal acanaladas, lámina metalizada corrugada	0.70 – 0.90
Pavimento	Concreto	0.60 – 0.95
	Pavimento	0.50 – 0.60

	Suelo en cuestas menores al 10%	0.00 – 0.30
Suelo	Superficies naturales rocosas	0.20 – 0.50
	Plano (2% o menos) descubierto	0.20 – 0.75
	Plano (2% o menos) con vegetación	0.10 – 0.60
Césped en suelo arenoso	Plano (2% o menos)	0.05 – 0.10
	Promedio (2% a 7%)	0.10 – 0.15
Césped en suelo pesado	Plano (2% o menos)	0.13 – 0.17
	Promedio (2% a 7%)	0.18 – 0.22

*Fuente:* Comisión Nacional del Agua (2016), Gleason et al. (2019) y Jiménez-Pérez (2018).

## 7.6. Eficiencia de captación

A la cantidad de agua pluvial que recibe un área se le denomina dotación de agua pluvial, sin embargo no toda esta agua puede ser realmente captada debido a diversos factores directamente involucrados con la superficie de captación; a la parte que si es posible captar se le conoce como potencial de captación de agua de lluvia, el cual es un estimado del volumen de agua que se puede obtener de acuerdo con las características del proyecto y las características climatológicas de la zona donde se establezca (Gleason et al., 2019; Jiménez-Pérez, 2018).

$$\text{Eficiencia de captación} = P_m \times K_e$$

Dónde:

Eficiencia de captación = Lamina de lluvia que escurre de forma superficial [mm].

$P_m$  = Precipitación mensual [mm].

$K_e$  = Coeficiente de escorrentía [adimensional].

La eficiencia de captación plantea el hecho de que no toda la precipitación en un área puede ser captada por pérdidas debidas al derramamiento, a la salida, a la infiltración, a la

adherencia de soldadura de la captación y a la evaporación superficial, situaciones que contribuirán a reducir la cantidad de salida (Gleason et al., 2019).

### 7.7. Volumen de captación mensual (oferta)

Un sistema de captación y aprovechamiento de agua de lluvia tiene una capacidad limitada de abastecimiento que se estima con la siguiente ecuación propuesta por Gould y Nissen-Petersen (1999), y Mechell et al. (2010) a partir de los promedios mensuales de precipitaciones de todos los años evaluados, el material del techo y el coeficiente de escurrimiento:

$$A_i = \frac{Pm \cdot AC \cdot K_e}{1000}$$

Dónde:

$A_i$  = Volumen de captación mensual u oferta del mes [ $m^3$ ].

$Pm$  = Precipitación pluvial mensual [mm].

$AC$  = Área de captación [ $m^2$ ].

$K_e$  = Coeficiente de escurrimiento que depende del tipo de superficie [adimensional] (Tabla 4).

Palacio Castañeda (2010) asume pérdidas del 20% anual debido a la evaporación, a la textura del material del techo, a las pérdidas en las canaletas y en el almacenamiento, y a la ineficiencia del sistema de captación, por tal razón se afecta el volumen de la oferta disponible por ese porcentaje para no sobredimensionar el sistema e incluir en el diseño las pérdidas asociadas. De esta manera ese valor porcentual se distribuye uniformemente durante los doce meses del año para determinar la oferta mensual, de la siguiente manera.

$$A'_i = A_i - \left( A_i * \frac{0.2}{12} \right)$$

Dónde:

$A'_i$  = oferta de agua en el mes “i” teniendo en cuenta las pérdidas [ $m^3$ ].

$A_i$  = oferta de agua en el mes “i” [ $m^3$ ].

### 7.8. Almacenamiento acumulado mensual

Partiendo de los valores obtenidos de la demanda mensual y de la oferta de las precipitaciones, se procede a calcular el acumulado de ellos partiendo del mes con mayor oferta de agua, para posteriormente calcular la diferencia de los valores acumulados de cada uno de los meses de la oferta y la demanda respectivamente (Aranda Huari, 2015), dicho cálculo se realizó con base a la Comisión Nacional del Agua (2016) mediante la siguiente formula:

$$Alm_n = Alm_{n-1} + A'_i - Dm$$

Donde:

$Alm_n$  = Volumen de almacenamiento mensual en el tanque en el mes n [ $m^3$ ].

$Alm_{n-1}$  = Volumen de almacenamiento en el tanque del mes anterior [ $m^3$ ].

$A'_i$  = Volumen de captación mensual considerando las pérdidas [ $m^3$ ].

$Dm$  = Demanda de agua mensual [ $m^3$ ].

### 7.9. Potencial de ahorro de agua potable

Se determinó mediante la relación entre el volumen de agua de lluvia posible que puede ser recolectada y la demanda de agua existente en un mes, como se expresa en la siguiente ecuación (Ghisi, Berssan y Martini, 2007).

$$PPWS = 100 \frac{A'_i}{Dm}$$

Dónde:

$PPWS$  = Potencial de Ahorro de Agua Potable (por sus siglas en inglés) [%].

$A'_i$  = Volumen mensual de agua de lluvia que puede ser recolectado [ $m^3$  /mes].

$D_i$  = Demanda mensual de agua potable [ $m^3$  /mes].

## **7.10. Componentes del sistema**

### ***7.10.1. Cálculo de la capacidad del tanque de almacenamiento***

Para conocer el volumen necesario de almacenamiento se debe encontrar la diferencia entre la oferta acumulada y la demanda acumulada para cada mes, de esta manera el mayor valor de diferencia será el volumen del tanque adoptado. Si las diferencias dan valores negativos, quiere decir que las áreas de captación no son suficientes para satisfacer la demanda. (Palacio Castañeda, 2010).

### ***7.10.2. Tanque interceptor de primeras lluvias***

Este es el componente del sistema que se encarga de recolectar las impurezas que se producen por el lavado del área de captación en las primeras precipitaciones (Gonzaga Barreto, 2015). El diseño del interceptor consta de un tanque, en el cual se almacenará un litro de agua por cada metro cuadrado del techo, cuyo elemento debe de constar con una válvula de flotador que permita su llenado, para posteriormente dirigir el recurso captado hacia el tanque de almacenamiento. Adicionalmente contará con una válvula de purga en la parte inferior del tanque para hacer el mantenimiento después de cada lluvia, cuya capacidad fue estimada a partir de la siguiente expresión (Aranda Huari, 2015; Palacio Castañeda, 2010).

$$\text{Volumen requerido (l)} = \text{superficie de captación (m}^2\text{)} \times 1 \text{ (mm)}$$

### 7.10.3. Canaletas

Dadas las condiciones en las que se encuentran los techos de los edificios 3 y 4, se omite el cálculo de la sección de las canaletas, ya que dicho techo cuenta con pretil, el cual cumple la función de las canaletas al dirigir el agua captada hacia las bajantes (Figura 28).

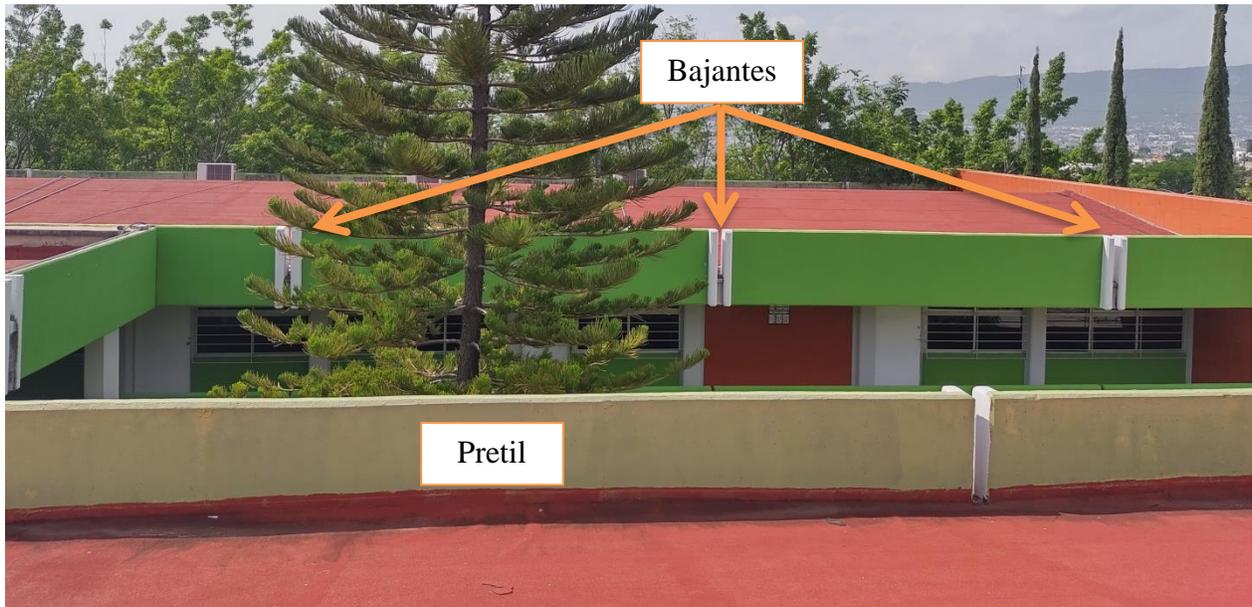


Figura 28. Pretil y bajantes de los edificios 3 y 4 (Fotografía: E. Victorio Ocaña).

Para estimar el gasto que atraviesa en cada una de las bajantes, se dividió la superficie del techo de acuerdo a la cantidad de bajantes para estimar el gasto que atraviesa en cada una de ellas en función de la superficie que le aporta escurrimiento. Para ello se utilizó la fórmula racional (Aparicio Mijares, 1999).

$$Q = \frac{C \cdot I \cdot A}{3,600,000}$$

Dónde:

Q = Gasto que atraviesa en la bajante [m<sup>3</sup>/s].

C = Coeficiente de escurrimiento del techo [adimensional].

I = Intensidad de lluvia [mm/h].

A = Área de captación [m<sup>2</sup>].

La intensidad máxima de diseño se obtuvo de las isoyetas generadas por la Secretaría de Comunicaciones y Transporte (2015) con un periodo de retorno de 5 años y una duración de 5 minutos, como es recomendado por los autores Celis Lugo (2017) y Lara Villegas y Mora Campana (2014) dado el tipo de obra que se está diseñando.

#### **7.10.4. Bajantes y conducción**

La bajante es la tubería principal, vertical, de un sistema de desagüe de aguas de lluvias, para el cálculo de las bajantes se emplea el caudal máximo u óptimo con respecto a la sección del tubo (Lara Villegas y Mora Campana, 2014). Para ello se tomó en consideración el caudal obtenido con el método racional y a partir de la fórmula de Manning y la ecuación de la continuidad (Aparicio Mijares, 1999) se estimaron las dimensiones del tubo que cumplió con las capacidades necesarias para transportar el gasto generado por la intensidad máxima.

$$Q = AV$$

$$v = \frac{1}{n} R^{2/3} S_f^{1/2}$$

$$R = \frac{A}{P_m}$$

Dónde:

Q = Gasto [m<sup>3</sup>/s].

V = la velocidad del flujo [m/s].

R = Radio hidráulico [m].

N = Coeficiente de rugosidad [0.009 (CONAGUA, 2007; Meadows et al., 2002)].

S<sub>f</sub> = pendiente del tubo [adimensional].

$A = \text{Área hidráulica [m}^2\text{]}.$

Por último se determinó el diámetro de los bajantes y de la tubería de conducción de acuerdo a Rea Zafra (2013) mediante la sustitución del área de la sección circular en la ecuación de continuidad.

$$Q = A \cdot V$$

$$A = \frac{\pi \cdot D^2}{4}$$

$$Q = \frac{\pi \cdot \phi^2 \cdot V}{4}$$

$$\phi = \sqrt{\frac{4Q}{\pi \cdot V}}$$

Dónde:

$Q = \text{Gasto [m}^3\text{]}.$

$V = \text{Velocidad [m/s]}.$

$\phi = \text{Diámetro de la tubería [m]}.$

Se tomó en cuenta que en pendientes de 2-4% se considera una velocidad de 0.9 m/s y en inclinaciones de 4-6% de 1.2 m/s, ya que de acuerdo con Celis Lugo (2017) la velocidad máxima de diseño no debe exceder los 2 m/s. Para la rectificación de los elementos de cada uno de los cálculos se utilizó el programa HCANALES, V3.0 (Villón Béjar, 2007) para la determinación del gasto real y la velocidad del mismo de acuerdo al diámetro propuesto y el caudal obtenido.

## 8. Resultados

### 8.1. Análisis pluviométrico

Como se mencionó en la metodología de trabajo, dicho análisis fue realizado a partir de los datos obtenidos de Daymet, cuyo punto de interés fue:  $16.775509^\circ$  latitud y  $-93.121899^\circ$  longitud, los cuales corresponden a las coordenadas geográficas de un punto estratégico en los edificios 3 y 4 de CU; UNICACH (Figura 29).

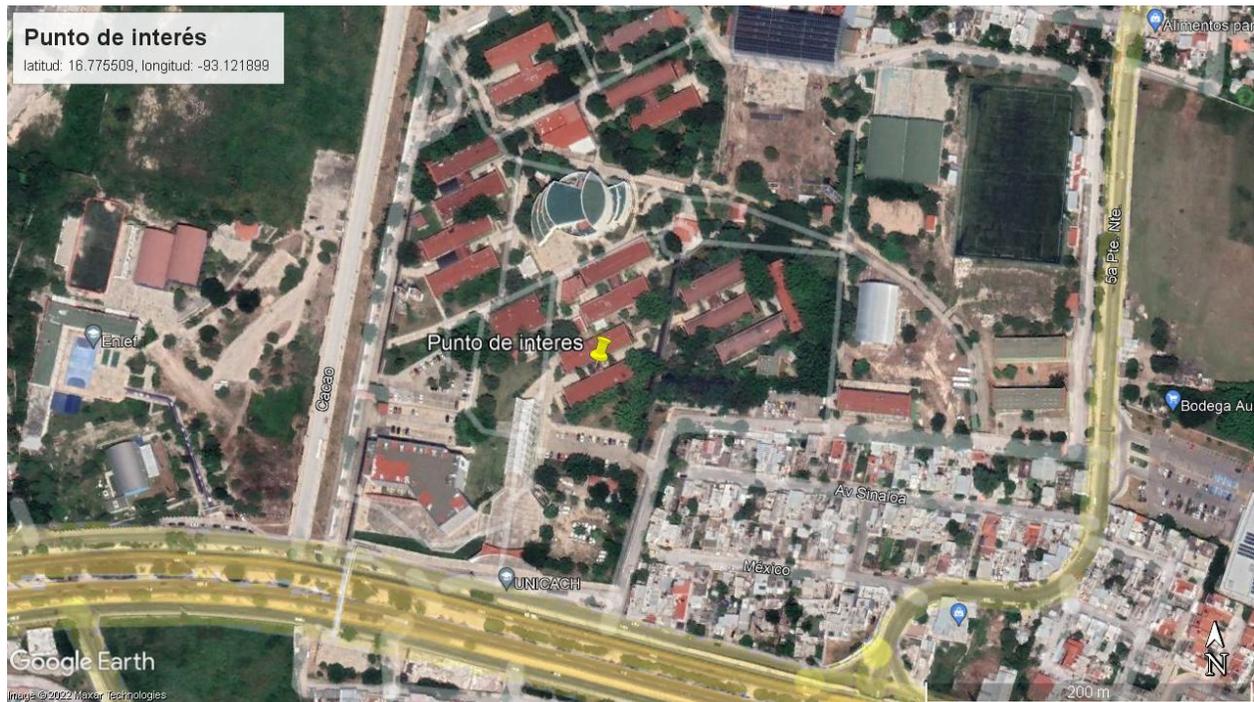


Figura 29. Punto de descarga de datos de Daymet (Google Earth Pro, 2022).

Con dicha información se realizó una base de datos de la recopilación histórica de las precipitaciones acumuladas mensuales de 1980 a 2021, en donde se obtuvo la precipitación en promedio mensual para el conjunto de años en estudio como se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4. Precipitación acumulada mensual

Año	Mes												Acumulado Anual	Promedio Anual
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre		
1980	4.04	0.00	0.00	28.97	112.14	136.59	197.76	152.43	181.75	20.84	0.00	0.00	834.52	69.54
1981	0.00	0.00	0.63	13.71	175.88	290.66	234.50	183.19	218.84	63.09	0.00	0.00	1180.50	98.38
1982	0.00	0.00	0.00	34.07	112.45	156.43	145.27	87.09	188.76	185.31	20.04	6.58	936.00	78.00
1983	0.00	37.01	40.46	0.00	22.43	183.48	126.84	229.47	220.34	17.91	2.75	0.00	880.69	73.39
1984	0.00	0.00	6.58	0.00	97.15	266.85	101.64	148.79	405.29	6.93	0.00	1.21	1034.44	86.20
1985	0.00	0.00	0.00	0.59	26.93	303.25	182.37	135.05	81.83	14.36	22.39	0.00	766.77	63.90
1986	0.00	0.00	0.00	0.00	224.24	117.07	137.45	184.60	149.96	67.06	3.60	5.14	889.12	74.09
1987	0.00	0.00	10.01	0.00	20.36	204.59	156.50	98.66	183.17	6.59	0.00	0.00	679.88	56.66
1988	0.66	0.00	0.00	0.00	0.00	268.88	158.18	332.86	140.40	74.50	0.00	0.00	975.48	81.29
1989	0.00	0.00	0.00	0.00	65.41	181.92	99.61	201.52	352.01	34.13	0.00	0.00	934.60	77.88
1990	0.00	11.31	0.00	0.00	53.52	228.08	232.19	63.31	123.93	5.44	16.33	15.56	749.67	62.47
1991	0.00	0.00	0.00	0.00	32.26	230.78	103.50	104.18	139.09	125.51	0.00	1.20	736.52	61.38
1992	0.00	0.00	0.00	3.69	53.35	241.82	172.88	147.92	124.18	30.19	24.20	8.85	807.08	67.26

1993	0.00	0.00	0.00	2.60	33.86	310.56	120.76	209.96	189.98	39.01	0.00	0.00	906.73	75.56
1994	0.00	3.60	0.00	0.00	73.19	143.55	128.13	255.58	18.29	48.45	0.00	0.00	670.79	55.90
1995	0.00	0.00	0.00	24.13	76.81	201.01	165.60	414.44	187.50	126.84	0.00	8.15	1204.48	100.37
1996	0.00	0.00	0.00	58.66	103.35	432.51	194.06	274.25	228.12	31.91	16.75	0.00	1339.61	111.63
1997	0.00	0.00	0.00	46.69	125.58	228.44	92.83	85.08	188.60	107.96	58.13	6.97	940.28	78.36
1998	0.00	5.57	0.00	0.00	0.00	230.53	228.09	160.23	375.31	127.60	84.68	0.00	1212.01	101.00
1999	0.00	0.00	0.00	0.00	100.24	314.57	225.29	377.59	283.66	59.89	4.81	14.43	1380.48	115.04
2000	0.00	0.00	0.00	0.00	243.18	269.91	99.01	197.88	197.96	82.91	0.00	0.00	1090.85	90.90
2001	0.00	0.00	0.00	0.00	150.42	121.18	133.84	207.81	249.84	58.00	0.00	5.33	926.42	77.20
2002	0.00	0.00	5.64	0.00	16.21	358.17	146.22	82.97	276.66	93.27	27.39	6.40	1012.93	84.41
2003	0.00	0.00	0.00	0.00	112.37	188.50	135.56	165.70	282.51	141.81	42.98	0.00	1069.43	89.12
2004	0.00	0.00	0.00	0.00	83.22	147.72	147.49	54.73	177.37	53.00	0.00	0.00	663.53	55.29
2005	0.00	0.00	0.00	0.00	63.77	156.68	239.17	227.08	59.52	120.18	0.00	0.00	866.40	72.20
2006	0.00	0.00	0.00	8.93	236.23	170.61	188.41	200.48	211.77	85.89	0.00	0.00	1102.32	91.86
2007	5.29	0.00	0.00	0.00	54.43	117.02	117.89	338.24	167.64	321.56	0.00	0.00	1122.07	93.51
2008	0.00	0.00	0.00	0.00	74.98	244.28	302.96	224.70	158.05	24.04	0.00	5.02	1034.03	86.17
2009	0.00	0.00	0.00	3.02	30.82	181.69	110.65	93.85	103.99	167.65	25.19	16.50	733.36	61.11

2010	2.32	1.00	0.00	62.72	19.34	289.65	332.37	456.45	310.44	12.59	34.55	12.98	1534.41	127.87
2011	0.00	0.00	0.00	2.63	10.51	141.87	262.44	391.14	294.07	126.02	9.84	0.00	1238.52	103.21
2012	0.00	3.13	11.55	11.37	44.74	175.73	233.67	295.53	220.97	45.68	0.00	0.00	1042.37	86.86
2013	0.00	5.96	0.00	0.00	106.64	259.22	264.97	195.71	408.43	236.16	144.73	80.26	1702.08	141.84
2014	0.00	0.00	0.00	12.93	59.14	290.84	101.79	126.96	452.77	236.27	133.41	0.00	1414.11	117.84
2015	11.49	0.00	0.00	42.33	81.88	203.93	102.32	96.23	253.73	295.04	82.34	1.34	1170.63	97.55
2016	12.12	0.00	3.08	0.00	63.54	210.19	172.46	239.10	278.55	80.81	30.78	0.00	1090.63	90.89
2017	7.59	0.00	0.00	5.88	43.79	332.06	122.01	183.27	290.90	211.98	0.00	0.00	1197.48	99.79
2018	12.10	0.00	0.00	6.53	15.46	230.56	59.01	174.21	131.86	155.36	123.85	0.00	908.94	75.75
2019	0.00	0.00	0.00	0.00	25.26	188.94	70.98	171.84	237.86	269.46	0.00	0.00	964.34	80.36
2020	0.00	4.73	0.00	16.58	27.24	396.07	160.88	277.70	220.30	296.51	176.76	0.00	1576.77	131.40
2021	0.00	6.37	17.74	4.23	57.44	241.48	99.84	187.57	206.45	108.10	0.00	3.68	932.90	77.74
<b>Max</b>	12.12	37.01	40.46	62.72	243.18	432.51	332.37	456.45	452.77	321.56	176.76	80.26	1702.08	141.84
<b>Min</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	117.02	59.01	54.73	18.29	5.44	0.00	0.00	663.53	55.29
<b>Medio</b>	<b>1.32</b>	<b>1.87</b>	<b>2.28</b>	<b>9.29</b>	<b>74.52</b>	<b>228.28</b>	<b>162.08</b>	<b>200.84</b>	<b>218.40</b>	<b>105.14</b>	<b>25.85</b>	<b>4.75</b>	<b>1034.62</b>	<b>86.22</b>
<b>Des Est</b>	3.35	6.06	7.08	16.58	60.51	74.77	63.57	97.22	93.70	87.77	44.76	12.84	247.87	20.66

Fuente: Adaptado de Thornton et al. (2020).

Como se puede observar en la Figura 30, los meses con mayor precipitación son de junio a septiembre, con una lámina de lluvia anual de 1,034.62 mm.

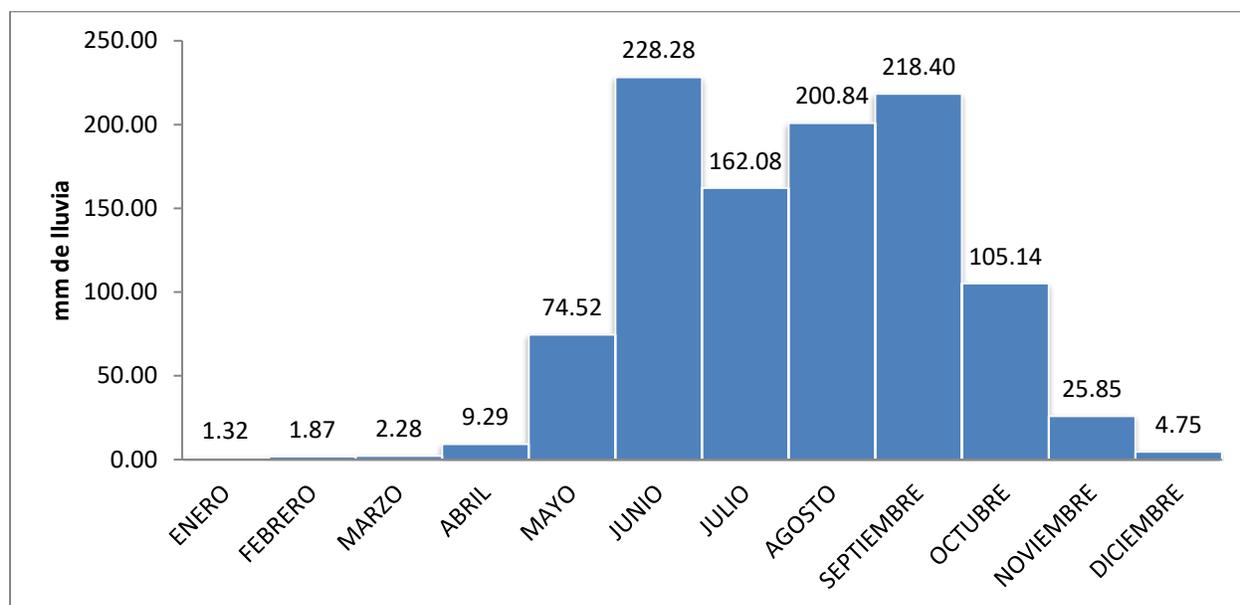


Figura 30. Precipitación promedio mensual (Adaptado de Thornton et al., 2020).

## 8.2. Días hábiles en los edificios 3 y 4

De acuerdo con los calendarios escolares, las actividades están comprendidos de lunes a sábado, con clases de los programas educativos de ITH e IG, así como las actividades administrativas correspondientes a dichos programas educativos de lunes a viernes; los días sábados están dispuestos para ciertas actividades académicas y las clases sabatinas del PICHIPESIC.

En el mes de enero para el año del 2018 (Figura 21) se tuvo a principios del mes parte del periodo vacacional, siendo el día 3 el inicio de las actividades académicas y administrativas, en donde solo labora el personal administrativo y docente de la institución, con un total de 25 días laborales. Para el año 2019 (Figura 22) se tuvo el inicio de las actividades académicas y administrativas en el día 3, así como el inicio de clases para el día 21 (día en el que se comienzan

las actividades del alumnado); teniendo un total de 22 días hábiles En el 2020 (Figura 23) el inicio de las actividades académicas y administrativas fue el día 6, siendo 23 los días hábiles en este mes para este año. En el 2021 (Figura 24) el inicio de las actividades académicas y administrativas fue también el día 6, teniendo de esa forma un total de 22 días hábiles. Para el año 2022 (Figura 25) se tuvieron 23 días hábiles en el mes, siendo el 5 el inicio de las actividades académicas y administrativas.

Para el mes de febrero del 2018 (Figura 21) se tuvieron en total 22 días hábiles, siendo el 6 el inicio de clases, y los días 5 y 23 días inhábiles. Por su parte en el 2019 (Figura 22) se consideraron la misma cantidad de días inhábiles (4 y 23) siendo 22 los días hábiles. En el 2020 (Figura 23) se tuvieron 24 días hábiles, teniendo como inicio de clases el día 4 e inhábil solamente el día 3. Para el 2021 (Figura 24) se tuvo el 2 como inicio de clases y los días 1 y 23 como inhábiles, siendo en total 22 los días hábiles y por último en el 2022 (Figura 25) también se contó con 2 días inhábiles (1 y 23) teniendo en total 22 días hábiles.

En el mes de marzo para el año 2018 (Figura 21) se tuvo en los días 26 al 31 suspensión de actividades por el periodo vacacional de semana santa, además de que el 19 fue día inhábil por ley federal del trabajo, dando de esa manera un total de 20 días hábiles. Para el 2019 (Figura 22) se marcó suspensión únicamente el día 18, resultando 25 los días hábiles; de igual manera en el 2020 (Figura 23) se tuvo solo un día de suspensión (16) dando un total de 25 días hábiles, por su parte en el 2021 (Figura 24) se tuvo inhábil el día 15 y además se marcó como suspensión por periodo de semana santa del 29 al 31 de este mes, en donde se tuvieron 23 días hábiles. En el 2022 (Figura 25) se tuvieron 26 días hábiles siendo únicamente el 21 inhábil.

En abril del 2018 (Figura 21) se marcó suspensión debido al periodo vacacional correspondiente a semana santa del 2 al 6, dando como hábiles 20 días. En el 2019 (Figura 22) dicho periodo vacacional fue marcado del 15 al 27, dado un total de 14 días hábiles. En el 2020

(Figura 23) son 14 los días hábiles en donde se marcó como inhábil del 6 al 18 por semana santa. En el 2021 (Figura 24) se suspendieron actividades del 1 al 10 siendo 17 los días hábiles y por último en el 2022 (Figura 25) se tuvieron inhábiles del 11 al 23 resultando 14 los días hábiles.

Para el mes de mayo, en el 2018 (Figura 21) se tuvieron tres días de suspensión (1,10, 15) siendo 24 los días hábiles. Para el 2019 (Figura 22) se suspendieron los días 1, 10, 15 y el día 24 como fin de las clases en donde se tuvieron 24 días laborales, en el 2020 (Figura 23) se marcó suspensión al igual que los años anteriores en los mismos días dando un total de 24 días hábiles. En el 2021 (Figura 24) se tuvieron 23 días hábiles con las mismas suspensiones a años anteriores. En el 2022 (Figura 25) fueron 24 los días hábiles en donde se marcaron 2 suspensiones (5 y 10).

En junio del 2018 (Figura 21) se marcó el final de las clases el día 9, sin embargo posterior a ello se realizan las evaluaciones ordinarias lo que hace que del 11 al 15 sea una semana con actividades normales para el personal docente y académico, pero de medio tiempo para el alumnado, ya que solo se presentan una limitada cantidad de horas a la institución, posterior a ello únicamente quedan en labores el personal administrativo y docente, de igual manera se marcó suspensión los días 20,21 y 22 únicamente para personal docente, dejando de esta manera actividades en todo el mes por parte del personal administrativo con 26 días hábiles. Para el año 2019 (Figura 22) no se marcó suspensiones, teniendo en total 25 días hábiles. En el 2020 (Figura 23) se marcaron varias actividades, sin embargo, ninguna de ellas tiene que ver con suspensiones, por lo que se tuvieron 26 días hábiles. En el 2021 (Figura 24) se indicó el día 4 como fin de las clases, con un periodo de ordinarios del 7 al 11, lo que resultó de 26 días hábiles. En el 2022 (Figura 25) se tuvieron 26 días hábiles con suspensiones marcadas. En promedio se obtuvieron 26 días hábiles.

En el mes de julio, en el 2018 (Figura 21) se marcó el periodo vacacional del 19 al 31 de este mes dando como hábiles 15 días. En el 2019 (Figura 22) se marcaron suspensiones del 8 al

27, siendo el 29 el inicio de las labores administrativas, en donde se tuvieron 9 días hábiles. Para el 2020 (Figura 23) se tuvieron 15 días hábiles con suspensiones del 16 al 29 debido al periodo vacacional. En el 2021 (Figura 24), el periodo vacacional fue marcado del 15 al 28, dejando un total de 15 días hábiles y por último en el 2022 (Figura 25) se contó con 14 días hábiles, siendo inhábiles del 14 al 27.

En agosto del 2018 (Figura 21) se marcó el día 2 como el inicio de las actividades administrativas y docente, sin suspensiones, teniendo un total de 26 días hábiles. Para los años 2019 (Figura 22), 2020 (Figura 23), 2021 (Figura 24) y 2022 (Figura 25) no hubo suspensiones marcadas, por lo que el mes completo fue hábil con 27, 26, 25 y 27 días hábiles respectivamente.

Para septiembre, los días inhábiles fueron del 14 al 16 marcado en todos los años evaluados, siendo el resto de ello hábiles con un total de 23 días.

El mes de octubre no tuvo ninguna suspensión en ningún año, por lo que todo el mes fue hábil con 27 días del 2018 (Figura 21), al 2020 (Figura 23) y 26 el 2021 (Figura 24) y 2022(Figura 25).

Los días inhábiles para el mes de noviembre fueron 3 en donde se tuvieron 23 días hábiles en cada uno de los años.

En diciembre, en cada uno de los calendarios se marcó la suspensión de actividades las últimas dos semanas del mes además del día 12, en donde se tuvieron 15, 14, 15, 16, y 14 días hábiles respectivamente para los años evaluados.

A partir del promedio de los días hábiles del año 2018 al 2022 se obtuvieron los datos mostrados en la Tabla 5, sin embargo al hacer uso de la fórmula para el cálculo de la demanda de los edificios 3 y 4 se observó, que dadas las actividades programadas en cada mes para los edificios en estudio; la cantidad de usuarios al mes no son las mismas para todo el año, por lo que se optó en hacer uso del calendario del 2021 para estimar al mes la cantidad de usuarios de

acuerdo a las actividades programadas en dicho calendario, siendo la cantidad de días hábiles los marcados en la Tabla 5 para el año 2021.

Tabla 5. Resumen de días hábiles al año en los edificios 3 y 4 de CU, UNICACH

Año	Mes												Total
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	
2018	30	22	20	20	24	26	15	26	23	27	23	15	271
2019	22	22	25	14	24	25	9	27	23	27	23	14	255
2020	23	24	25	14	24	26	15	26	23	27	23	15	265
<b>2021</b>	<b>22</b>	<b>22</b>	<b>23</b>	<b>17</b>	<b>23</b>	<b>26</b>	<b>15</b>	<b>25</b>	<b>23</b>	<b>26</b>	<b>23</b>	<b>16</b>	<b>262</b>
2022	23	22	26	14	24	26	14	27	23	26	23	14	262
<b>Promedio</b>	<b>24</b>	<b>22</b>	<b>24</b>	<b>16</b>	<b>24</b>	<b>26</b>	<b>14</b>	<b>26</b>	<b>23</b>	<b>27</b>	<b>23</b>	<b>15</b>	<b>264</b>

*Fuente:* Adaptado de UNICACH (2018, 2019, 2020, 2021, 2022).

### 8.3. Usuarios al mes en los edificios 3 y 4

Dicha información fue obtenida a partir del análisis mensual de las actividades académicas y administrativas de los edificios en estudio de acuerdo al tipo de usuario y a las actividades que requieren del uso de agua. Entre los usuarios se encuentra el alumnado, personal administrativo, los Profesores Investigadores de Tiempo Completo (PITC) y personal de servicio quienes cumplen con una jornada laboral de 8 horas por día, por otro lado están los profesores de asignatura, quienes laboran un máximo de 20 horas a la semana, siendo 4 horas por día, sin embargo, se les consideró una jornada laboral completa, ya que normalmente las horas de clases no son conjuntas, lo que hace que los docentes se encuentren una mayor cantidad de horas al día en las instalaciones. Dicha cuantificación se ve reflejada en la Tabla 6. Cabe mencionar que la cantidad exacta de personal y alumnado puede variar ligeramente por causas propias de la

administración del centro educativo, sin embargo, dichas variaciones no se consideran significativas para efecto de estos cálculos.

Tabla 6. Cantidad de usuarios aproximados de los edificios 3 y 4 en CU, UNICACH

<b>Tipo de usuario</b>	<b>Cantidad de usuarios</b>
Alumnado matriculado al programa educativo en Ingeniería Topográfica e Hidrología (ITH)	184
Alumnado matriculado al programa educativo en Ingeniería en Geomática (IG)	75
Personal docente (PITC y docentes de asignatura)	18
Personal administrativo	18
Personal de servicio	2
Alumnos PICHI-PESIC	90
Docentes PICHI-PESIC	3

*Fuente:* Adaptado de ANUIES (2017, 2018, 2019, 2020, 2021); CELE (2022); Facultad de ingeniería (2022).

La cantidad de alumnos de los programas educativos de ITH e IG fueron obtenidos a partir de la matrícula por ciclo escolar del 2016 al 2020 conforme a la información estadística de Educación Superior publicada por La Asociación Nacional de Universidades e Instituciones de Educación Superior de donde se obtuvieron los siguientes datos (Tabla 7).

Tabla 7. Alumnos matriculados por ciclo escolar en Ingeniería Topográfica e Higrología e Ingeniería en Geomática

<b>Ciclo escolar</b>	<b>ITH</b>	<b>IG</b>	<b>Total</b>
2016-2017	225	107	332
2017-2018	239	86	325
2018-2019	176	64	240
2019-2020	141	56	197
2020-2021	141	60	201
<b>Promedio</b>	<b>184</b>	<b>75</b>	<b>259</b>

*Fuente:* Adaptado de ANUIES (2017, 2018, 2019, 2020, 2021).

Los días sábados se llevan a cabo ciertas actividades académicas en donde solo se encuentran presentes dos personas administrativas, además de las clases sabatinas del PICHI-PESIC, cuyas actividades duran 5 horas, dicha información fue obtenida directamente de la coordinación del CELE (2022) en donde también se obtuvo la cantidad de alumnos y docentes.

Dado que tanto para los trabajadores como para los alumnos se considera una dotación distinta (40 l/trabajador/día y 25 l/ alumno/ turno), se realizó el conteo de manera mensual de acuerdo al tipo de usuario.

Las actividades de los trabajadores (docentes, administrativos y personal de servicio de los programas educativos de ITH e IG) en el mes de enero dieron comienzo el día 6 y las actividades del PICHI-PESIC el día 16, en donde se contabilizó un total de 701 trabajadores distribuidos en el mes como se muestra en la Tabla 8. Durante este mes no hubo presencia de alumnos de los programas ITH e IG, solamente de los programas PICHI-PESIC, siendo un total de 270 alumnos en el mes.

Tabla 8. Cantidad de alumnos y trabajadores por día para el mes de enero

<b>D</b>	<b>L</b>	<b>M</b>	<b>M</b>	<b>J</b>	<b>V</b>	<b>S</b>	<b>D</b>	<b>L</b>	<b>M</b>	<b>M</b>	<b>J</b>	<b>V</b>	<b>S</b>
-	-	-	-	-	0	0	-	-	-	-	-	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	38	38	38	2
0	0	0	0	0	0	90	0	38	38	38	38	38	5
0	0	0	0	0	0	90	0	38	38	38	38	38	5
0	0	0	0	0	0	90	0	38	38	38	38	38	5
0	-	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-

Fuente: Autor (2022).

En mes de febrero (Tabla 9) se presentó el alumnado de ITH e IG a partir del primer día hábil del mes (día dos) en donde se contabilizó un total de 5022 alumnos en el mes (ITH, IG y PICHI-PESIC), por otro lado, hubo un total de 704 trabajadores en el mes.

Tabla 9. Cantidad de alumnos y trabajadores al día para el mes de febrero

D	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S
-	0	259	259	259	259	90	-	0	38	38	38	38	5
0	259	259	259	259	259	90	0	38	38	38	38	38	5
0	259	259	259	259	259	90	0	38	38	38	38	38	5
0	259	0	259	259	259	90	0	38	0	38	38	38	5
0	-	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-

Fuente: Autor (2022).

En marzo se consideraron 23 días hábiles, de los cuales 19 son entre semana y 4 días sábados, lo que dio como resultado 5281 alumnos y 742 trabajadores (Tabla 10).

Tabla 10. Cantidad de alumnos y trabajadores por día para el mes de marzo

D	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S
-	259	259	259	259	259	90	-	38	38	38	38	38	5
0	259	259	259	259	259	90	0	38	38	38	38	38	5
0	0	259	259	259	259	90	0	0	38	38	38	38	5
0	259	259	259	259	259	90	0	38	38	38	38	38	5
0	0	0	0	-	-	-	0	0	0	0	-	-	-

Fuente: Autor (2022).

Para el mes de abril se registró un total de 4065 alumnos y 580 trabajadores durante el mes, distribuidos en 17 días como se observa en la Tabla 11.

Tabla 11. Cantidad de alumnos y trabajadores por día para el mes de abril

D	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S
-	-	-	-	0	0	0	-	-	-	-	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	259	259	259	259	259	90	0	38	38	38	38	38	5
0	259	259	259	259	259	90	0	38	38	38	38	38	5
0	259	259	259	259	259	-	0	38	38	38	38	38	-

Fuente: Autor (2022).

En el mes de mayo se contabilizó en total 5450 alumnos y 775 trabajadores distribuidos como se observa en la Tabla 12.

Tabla 12. Cantidad de alumnos y trabajadores por día para el mes de mayo

D	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S
-	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-	0
0	259	259	259	259	259	90	0	38	38	38	38	38	5
0	0	259	259	259	259	0	0	0	38	38	38	38	0
0	259	259	259	259	259	90	0	38	38	38	38	38	5
0	259	259	259	259	259	90	0	38	38	38	38	38	5
0	259	-	-	-	-	-	0	38	-	-	-	-	-

Fuente: Autor (2022).

Para el mes de junio se tuvo marcado el final de clases el cuarto día hábil (día 4), la semana posterior a ello se llevaron a cabo las evaluaciones ordinarias en donde el alumnado asiste únicamente dos horas al día, Por lo que se consideró únicamente como medio turno a cada alumno. El alumnado correspondiente al PICHI-PESIC terminó sus actividades el último sábado del mes (día 26), siendo un total de 2044 alumnos durante el mes. Por su parte los trabajadores continuaron con sus actividades de forma cotidiana, con lo que contabilizó un total de 856 trabajadores (Tabla 13).

Tabla 13. Cantidad de alumnos y trabajadores por día para el mes de junio

D	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S
-	-	259	259	259	259	90	-	-	38	38	38	38	5
0	130	130	130	130	130	90	0	38	38	38	38	38	5
0	0	0	0	0	0	90	0	38	38	38	38	38	5
0	0	0	0	0	0	90	0	38	38	38	38	38	5
0	0	0	0	-	-	-	0	38	38	38	-	-	-

Fuente: Autor (2022).

En el mes de julio no hubo presencia de alumnos de ITH e IG, solamente de los programas sabatinos hasta el último sábado del mes, con lo que se tuvieron 90 alumnos para este mes; los trabajadores tuvieron dos semanas de descanso debido al periodo vacacional, lo que dio como resultado 461 trabajadores en el mes (Tabla 14).

Tabla 14. Cantidad de alumnos y trabajadores por día para el mes de julio

D	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S
-	-	-	-	0	0	0	-	-	-	-	38	38	0
0	0	0	0	0	0	0	0	38	38	38	38	38	0
0	0	0	0	0	0	0	0	38	38	38	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	90	0	0	0	0	38	38	5

Fuente: Autor (2022).

Para agosto se tuvo el regreso a clases en el segundo día hábil, con lo que se obtuvo un total de 5,540 estudiantes y 818 trabajadores (Tabla15).

Tabla 15. Cantidad de alumnos y trabajadores por día para el mes de agosto

D	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S
0	0	259	259	259	259	90	0	38	38	38	38	38	5
0	259	259	259	259	259	90	0	38	38	38	38	38	5
0	259	259	259	259	259	90	0	38	38	38	38	38	5
0	259	259	259	259	259	90	0	38	38	38	38	38	5
0	259		-	-	-	-	0	38		-	-	-	-

Fuente: Autor (2022).

En septiembre se tuvo 3 días inhábiles, dando como resultado 5,281 alumnos y 742 trabajadores distribuidos durante este mes como se observa en la Tabla 16.

Tabla 16. Cantidad de alumnos y trabajadores por día para el mes de septiembre

D	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S
-	-	-	259	259	259	90	-	-	-	38	38	38	5
0	259	259	259	259	259	90	0	38	38	38	38	38	5
0	259	0	0	0	259	90	0	38	0	0	0	38	5
0	259	259	259	259	259	90	0	38	38	38	38	38	5
0	259	259	259	259	-	-	0	38	38	38	38	-	-

Fuente: Autor (2022).

En el mes de octubre no se marcó ninguna suspensión, por lo que todos los días del mes fueron hábiles de lunes a sábado con un total de 5,889 alumnos y 823 trabajadores (Tabla 17).

Tabla 17. Cantidad de alumnos y trabajadores por día para el mes de octubre

D	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S
-	-	-	-	-	259	90	-	-	-	-	-	38	5
0	259	259	259	259	259	90	0	38	38	38	38	38	5
0	259	259	259	259	259	90	0	38	38	38	38	38	5
0	259	259	259	259	259	90	0	38	38	38	38	38	5
0	259	259	259	259	259	90	0	38	38	38	38	38	5
0	-	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-

Fuente: Autor (2022).

En noviembre se marcaron dos días inhábiles, así como el final de las clases de ITH e IG el último viernes del mes, posterior a ellos los últimos dos días del mes son de periodos de ordinarios por lo que se consideró medio turno por cada alumno, las actividades sabatinas no tuvieron novedades, por lo cual se contabilizaron 5,022 alumnos y 742 trabajadores (Tabla18).

Tabla 18. Cantidad de alumnos y trabajadores por día para el mes de noviembre

D	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S
-	0	0	259	259	259	90	-	0	0	38	38	38	5
0	259	259	259	259	259	90	0	38	38	38	38	38	5
0	0	259	259	259	259	90	0	0	38	38	38	38	5

0	259	259	259	259	259	90	0	38	38	38	38	38	5
0	130	130	-	-	-	-	0	38	38	-	-	-	-

Fuente: Autor (2022).

Para diciembre (Tabla 19) debido al periodo vacacional hubo poca actividad por parte del alumnado de ITH e IG, por su parte las actividades sabatinas concluyeron el día 18 de este mes, con lo que se contabilizaron 659 alumnos. Por otro lado, las actividades académicas y administrativas culminaron hasta el día 17, con lo que se obtuvieron 509 trabajadores distribuidos en los días hábiles de este mes.

Tabla 19. Cantidad de alumnos y trabajadores por día para el mes de diciembre

D	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S
-	-	-	130	130	130	90	-	-	-	38	38	38	5
0	0	0	0	0	0	90	0	38	38	38	38	38	5
0	0	0	0	0	0	90	0	38	38	38	38	38	5
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	-	0	0	0	0	0	0	-

Fuente: Autor (2022).

#### 8.4. Demanda mensual de estudiantes y trabajadores de la Facultad de Ingeniería

Con base a los datos previamente descritos; el cálculo de la demanda se estimó a partir de la cantidad de usuarios al mes y la dotación para cada tipo de usuario como se observa en la Tabla 20 y Tabla 21.

Tabla 20. Demanda mensual para los alumnos de los edificios 3 y 4

Mes	Cantidad de alumnos	Dot alumnos (l/alumno /turno)	Demanda alumnos (m <sup>3</sup> )
Enero	270	25	6.75
Febrero	5022	25	125.55

Marzo	5281	25	132.03
Abril	4065	25	101.63
Mayo	5450	25	136.25
Junio	2044	25	51.09
Julio	90	25	2.25
Agosto	5540	25	138.50
Septiembre	5281	25	132.03
Octubre	5889	25	147.23
Noviembre	5022	25	125.55
Diciembre	659	25	16.46

*Fuente:* Autor (2022).

Tabla 21. Demanda mensual para los trabajadores de los edificios 3 y 4

<b>Mes</b>	<b>Cantidad de trabajadores</b>	<b>Dot trabajadores (l/trabajador/día)</b>	<b>Demanda trabajadores (m<sup>3</sup>)</b>
Enero	701	40	28.04
Febrero	704	40	28.16
Marzo	742	40	29.68
Abril	580	40	23.20
Mayo	775	40	31.00
Junio	856	40	34.24
Julio	461	40	18.44
Agosto	818	40	32.72
Septiembre	742	40	29.68
Octubre	823	40	32.92
Noviembre	742	40	29.68
Diciembre	509	40	20.36

*Fuente:* Autor (2022).

### 8.5. Demanda para la limpieza de las instalaciones

Las actividades en las que se hace uso de agua en la limpieza, es en el lavado de los baños de hombres, de mujeres y en el trapeado de salones y oficinas. Dichas actividades constan de una limpieza general matutina de las instalaciones en las que se hace uso de 8 cubetas de 10 litros para la limpieza de salones, oficinas y baños de los edificios 3 y 4. Además de la limpieza general de las instalaciones, se realiza una limpieza profunda de los baños de estudiantes a la semana, en la que se hace uso de 20 cubetas para la limpieza de ambos baños. Las actividades de limpieza son realizadas de lunes a viernes, ya que son los días laborales del personal de servicio, en un horario de 6:00 AM a 2:00 PM.

Tomando en consideración la cantidad de cubetas diarias necesarias para la limpieza y para los lavados profundos de una vez a la semana, se calculó un gasto de 120 litros al día. A partir de dicho dato se estimó la demanda mensual para la limpieza de las instalaciones como se muestra en la Tabla 22.

Tabla 22. Demanda mensual para la limpieza de los edificios 3 y 4

Mes	N° de días de limpieza al mes	Dot para limpieza (l/día)	Demanda para limpieza de las instalaciones (m <sup>3</sup> )
Enero	18	120	2.16
Febrero	18	120	2.16
Marzo	19	120	2.28
Abril	15	120	1.8
Mayo	20	120	2.4
Junio	22	120	2.64
Julio	12	120	1.44
Agosto	21	120	2.52
Septiembre	19	120	2.28

Octubre	21	120	2.52
Noviembre	19	120	2.28
Diciembre	13	120	1.56

Fuente: Autor (2022).

### 8.6. Demanda para riego de jardines

La Facultad de Ingeniería consta de un jardín con una superficie de  $785.75 \text{ m}^2$ , así como dos jardineras entre los edificios 3 y 4, cuya superficie constan de  $25.24 \text{ m}^2$  y  $24.20 \text{ m}^2$  (Figura 31). El riego de dichos jardines se lleva a cabo en la temporada de sequías (noviembre-abril) una vez por día, de lunes a viernes.

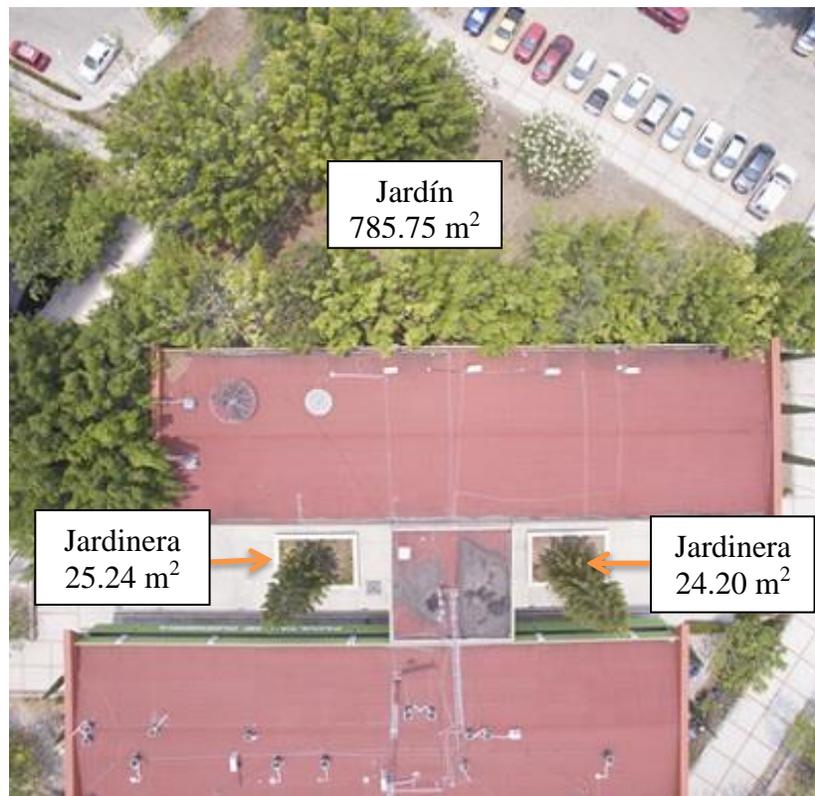


Figura 31. Jardines y jardineras de la facultad de ingeniería (Fotografía: E. Victorio Ocaña).

Para fines de cálculo se usó una dotación de 5 l/m<sup>2</sup>/día de acuerdo con la Norma técnica complementaria para el proyecto arquitectónico (2011), a partir del cual se estimó la demanda mensual de los meses en los que se realizan riegos, donde se obtuvieron los siguientes resultados (Tabla 23).

Tabla 23. Demanda mensual para riego de jardines de los edificios 3 y 4

Mes	N° de días de riego al mes	Dot Jardines (l/m <sup>2</sup> /día)	Demanda de jardines (m <sup>3</sup> )
Noviembre	20	5	83.52
Diciembre	13	5	54.29
Enero	18	5	75.16
Febrero	18	5	75.16
Marzo	19	5	79.34
Abril	15	5	62.64

Fuente: Autor (2022).

### 8.7. Demanda total de la Facultad de Ingeniería

La demanda total de la Facultad de Ingeniería fue calculada a partir de las demandas de los trabajadores, alumnos, demanda para riego y para la limpieza de las instalaciones (Tabla 24), donde se observa una demanda predominante por parte de los alumnos, con las demandas máximas totales en los meses de febrero, marzo y noviembre como se observa en la Figura 32.

Tabla 24. Demanda total de la Facultad de Ingeniería

Mes	Demanda alumnos (m <sup>3</sup> )	Demanda trabajadores (m <sup>3</sup> )	Demanda de jardines (m <sup>3</sup> )	Demanda para limpieza de las instalaciones (m <sup>3</sup> )	Demanda total (m <sup>3</sup> )
Enero	6.75	28.04	75.16	2.16	112.11
Febrero	125.55	28.16	75.16	2.16	231.03

Marzo	132.03	29.68	79.34	2.28	243.33
Abril	101.63	23.20	62.64	1.80	189.26
Mayo	136.25	31.00	0.00	2.40	169.65
Junio	51.09	34.24	0.00	2.64	87.97
Julio	2.25	18.44	0.00	1.44	22.13
Agosto	138.50	32.72	0.00	2.52	173.74
Septiembre	132.03	29.68	0.00	2.28	163.99
Octubre	147.23	32.92	0.00	2.52	182.67
Noviembre	125.55	29.68	83.52	2.28	241.03
Diciembre	16.46	20.36	54.29	1.56	92.67

Fuente: Autor (2022).

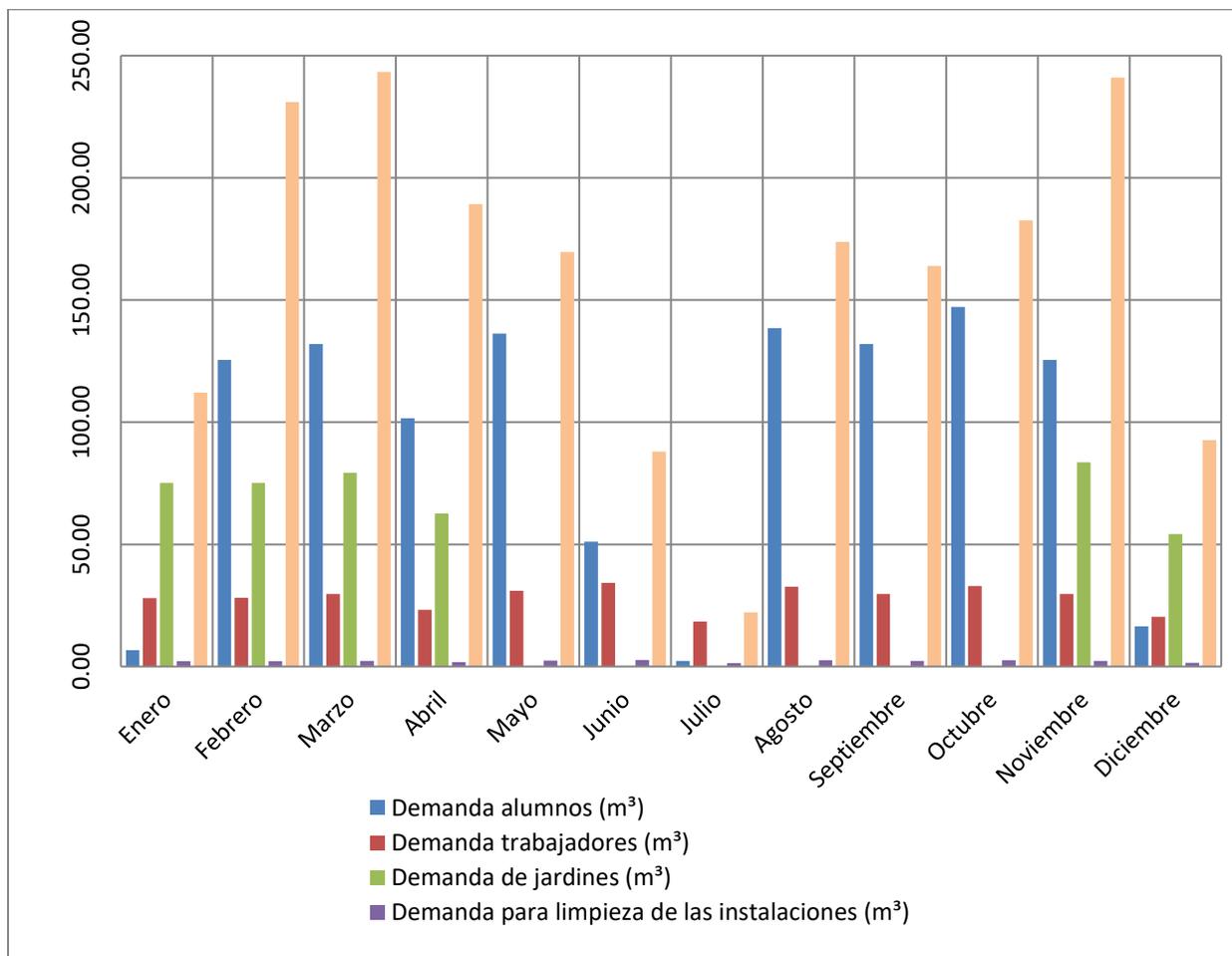


Figura 32. Demanda de la Facultad de Ingeniería (Autor, 2022).

## **8.8. Área de captación y coeficiente de escurrimiento**

Se calculó una superficie de 504.00 m<sup>2</sup> en el edificio 3, de 504.00 m<sup>2</sup> en el edificio 4 y de 67.24 m<sup>2</sup> en la zona de escaleras; teniendo un total de 1,075.24 m<sup>2</sup> para fungir como área de captación (Figura 33).

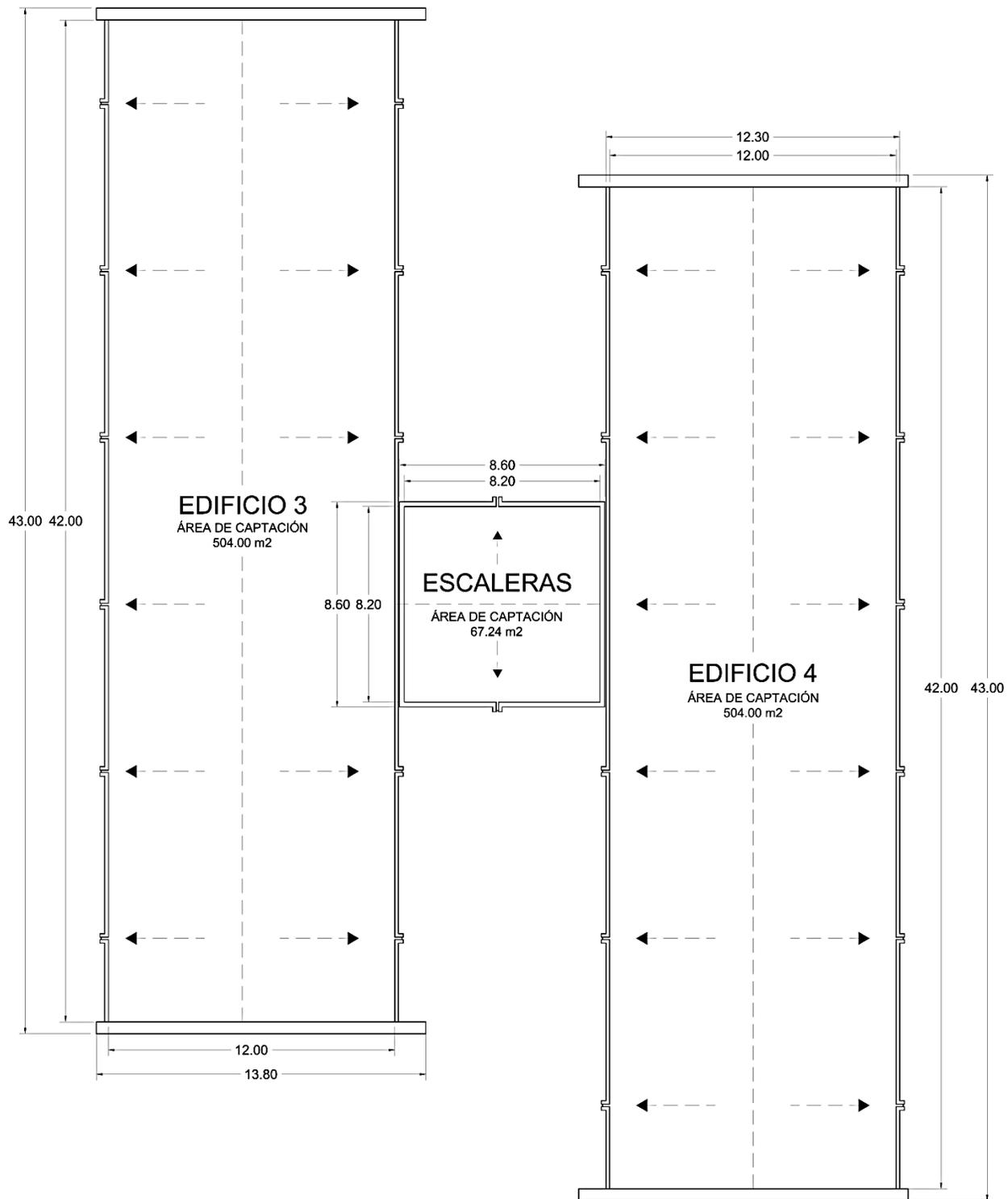


Figura 33. Planta de azotea de los edificios 3 y 4 (Autor, 2022).

Dadas las condiciones en las que se encontró el área de captación seleccionada (Figura 34 y 35), se optó por asignar un coeficiente de escurrimiento del 0.85 dadas las buenas condiciones del techo de los edificios 3 y 4.

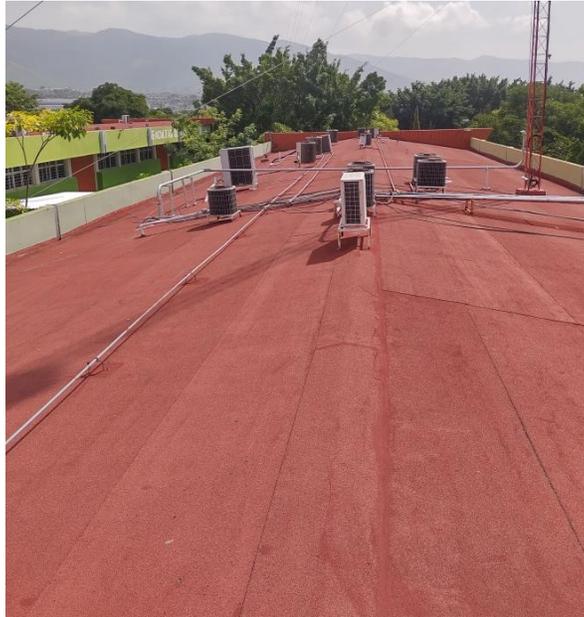


Figura 34. Techo del edificio 3 (Fotografía: E. Victorio Ocaña).



Figura 35. Techo del edificio 4 (Fotografía: E. Victorio Ocaña).

### 8.9. Eficiencia de captación

A partir del coeficiente previamente descrito, se determinó la eficiencia de escurrimiento en donde se obtuvo la lámina de lluvia que escurre de manera superficial (Figura 36).

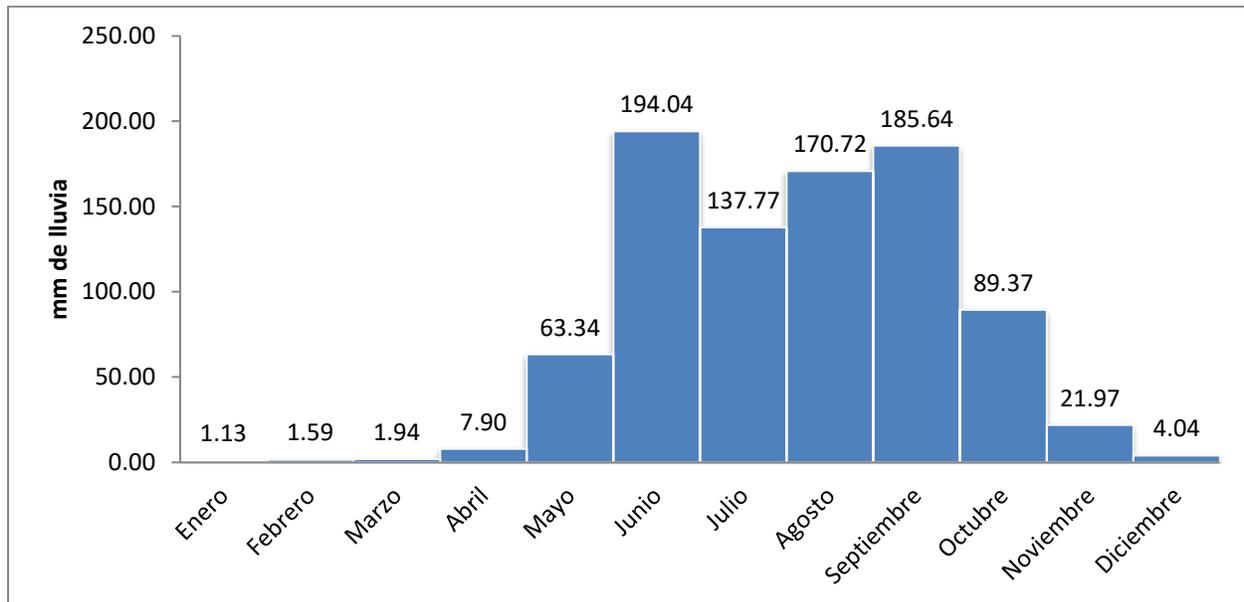


Figura 36. Precipitación aprovechable (Autor, 2022).

### 8.10. Volumen de captación mensual y volumen de captación mensual considerando pérdidas (oferta)

Tomando en consideración la precipitación aprovechable, el área de captación (1,075.24 m<sup>2</sup>) se obtuvieron los siguientes volúmenes de captación mensual (Figura 37) así como las pérdidas respectivas (Figura 38).

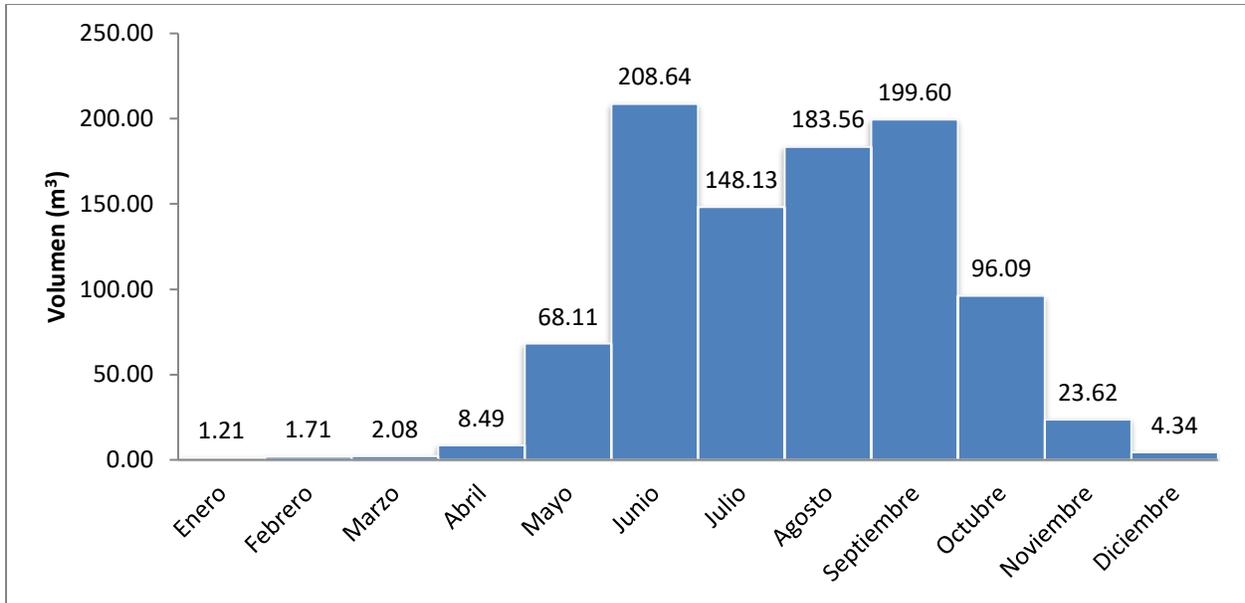


Figura 37. Volumen de captación mensual (Autor, 2022).

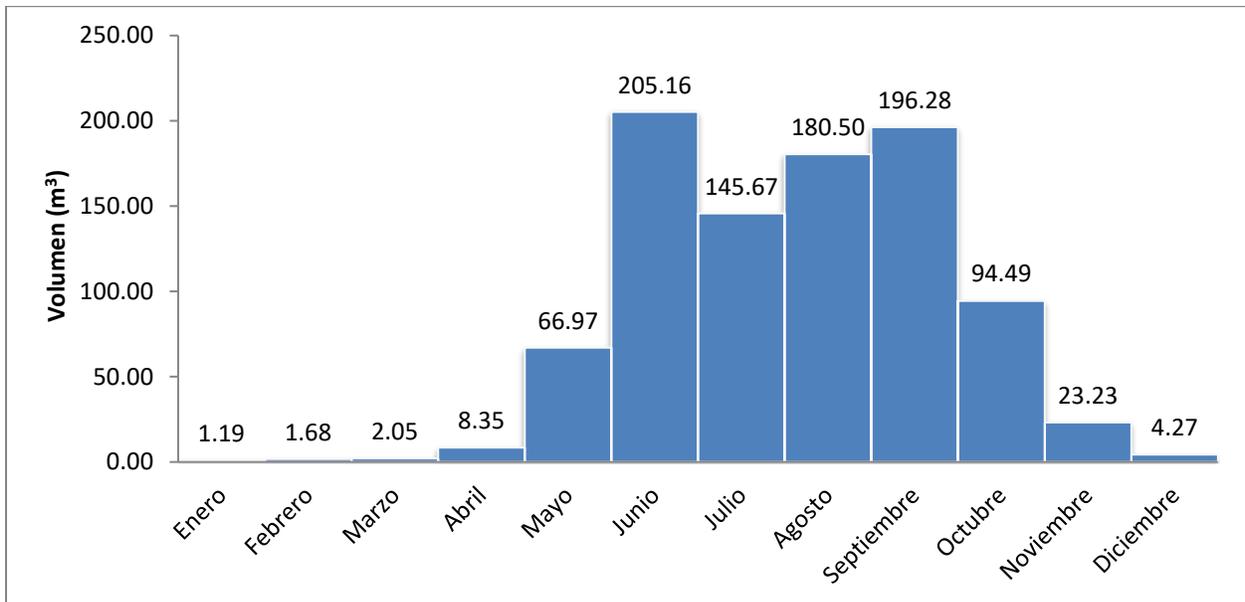


Figura 38. Volumen de captación mensual considerando pérdidas (oferta) (Autor, 2022).

### 8.11. Oferta acumulada, demanda acumulada y potencial de ahorro de agua potable

De acuerdo la información obtenida en el apartado 10.7 y 10.10 se registraron las ofertas y demandas mensuales acumuladas, con lo cual se estimó el potencial de ahorro de agua potable como el cociente de dichos datos (Tabla 25).

Tabla 25. Potencial de ahorro de agua potable mensual

Mes	Demanda del mes (m <sup>3</sup> )	Oferta del mes (m <sup>3</sup> )	Demanda acumulada (m <sup>3</sup> )	Oferta acumulada (m <sup>3</sup> )	Almacenamiento mensual (m <sup>3</sup> )	Porcentaje de ahorro mensual
Junio	87.97	205.16	87.97	205.16	117.19	233.23%
Julio	22.13	145.67	110.10	350.83	240.73	318.65%
Agosto	173.74	180.50	283.84	531.33	247.49	187.19%
Septiembre	163.99	196.28	447.82	727.61	279.78	162.48%
Octubre	182.67	94.49	630.49	822.10	191.61	130.39%
Noviembre	241.03	23.23	871.51	845.32	-26.19	96.99%
Diciembre	92.67	4.27	964.18	849.59	-114.59	88.12%
Enero	112.11	1.19	1076.30	850.78	-225.51	79.05%
Febrero	231.03	1.68	1307.33	852.47	-454.86	65.21%
Marzo	243.33	2.05	1550.66	854.52	-696.14	55.11%
Abril	189.26	8.35	1739.92	862.87	-877.05	49.59%
Mayo	169.65	66.97	1909.57	929.84	-979.73	48.69%

Fuente: Autor (2022).

A partir de la utilización del agua de lluvia se es posible suplir la demanda en un 48.69% anual, siendo los meses comprendidos entre junio y octubre en donde se satisface la demanda total de dichos meses.

## 8.12. Dimensiones y ubicación del tanque de almacenamiento

Para el dimensionamiento del tanque de almacenamiento se tomó en consideración el almacenamiento mensual de mayor capacidad, el cual correspondió al mes de septiembre con  $279.78 \text{ m}^3$ , dicha capacidad fue distribuida para ser almacenada en dos reservorios, dadas las condiciones del área de estudio en donde se contó con los espacios marcados en la Figura 39 para fungir como zona de almacenamiento.



Figura 39. Áreas potenciales para el tanque de almacenamiento (Fotografía: E. Victorio Ocaña).

Dichos reservorios se dimensionaron a partir de los espacios disponibles en el área de estudio, para lo cual se tomó en consideración las recomendaciones de Téllez Quintanar et al. (2022), quienes recomiendan un sitio en el que no se obstruya la circulación de vehículos o

personas, además de estar cerca del área de captación y de considerar un espacio de maniobra para su operación y mantenimiento de 1 metro a cada lado del almacenamiento, es por ello que las zonas elegidas para la disposición del tanque de almacenamiento fueron las jardineras.

Para ello la Facultad de Ingeniería cuenta con los espacios dimensionados como se muestra en la Figura 40, en donde se propuso un reservorio rectangular de 6.50 de largo por 6.50 de ancho y 3.50 de alto dados los espacios mostrados en la Figura 40, para lo cual se consideró dejar 1.50 m en superficie y 2 m subterráneos para distribuir la altura como se ilustra en la Figura 41, con la capacidad de almacenar  $147.875 \text{ m}^3$ .

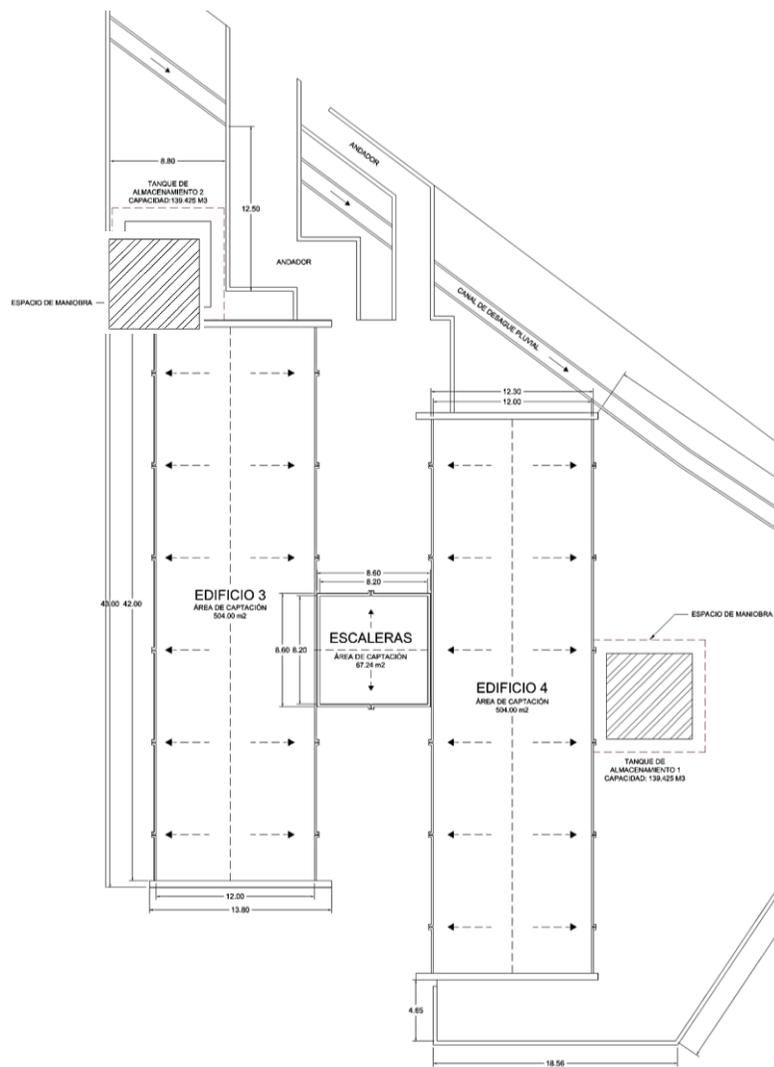


Figura 40. Ubicación de los tanques de almacenamiento (Autor, 2023).

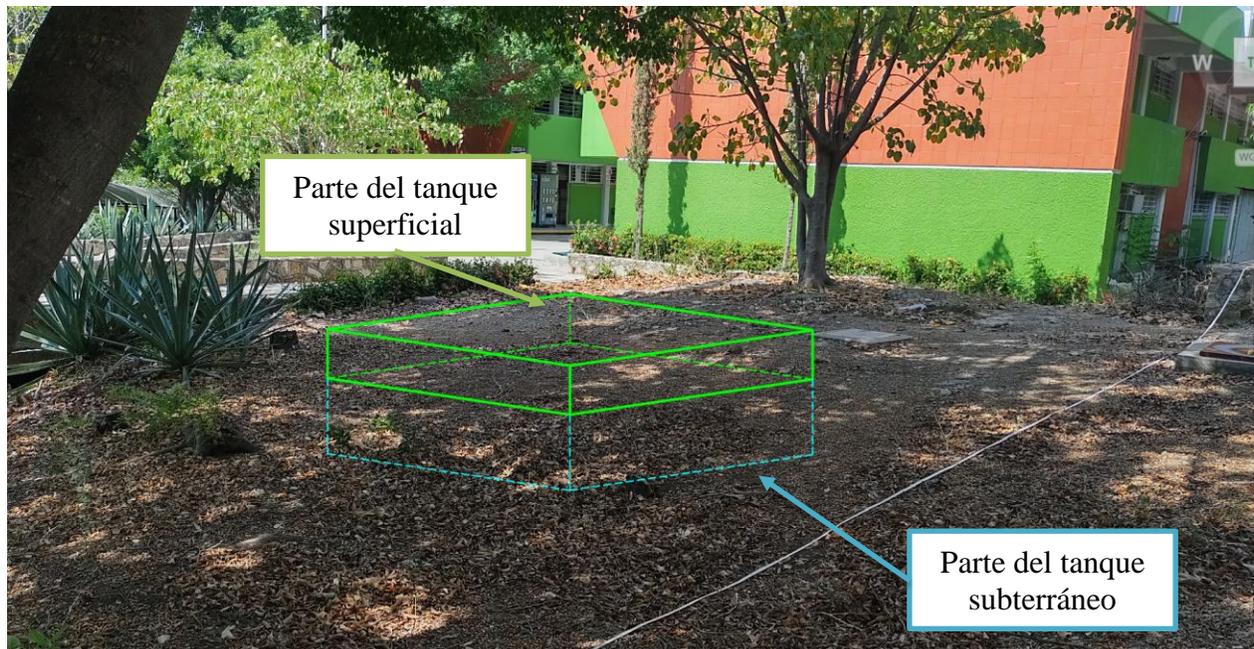


Figura 41. Tanque de almacenamiento 2 (Fotografía: E. Victorio Ocaña).

### 8.13. Dimensión de las bajantes

Para el dimensionamiento de este elemento del sistema se dividió el techo de acuerdo con las características del mismo, ya que el edificio 3 y 4 están contruidos a dos aguas, con una pendiente de 16.67%. Tiene hacia el lado interior del inmueble 5 bajantes y hacia el lado posterior cuenta con 6 bajantes, las cuales fueron denominadas como se muestra en la Figura 42.

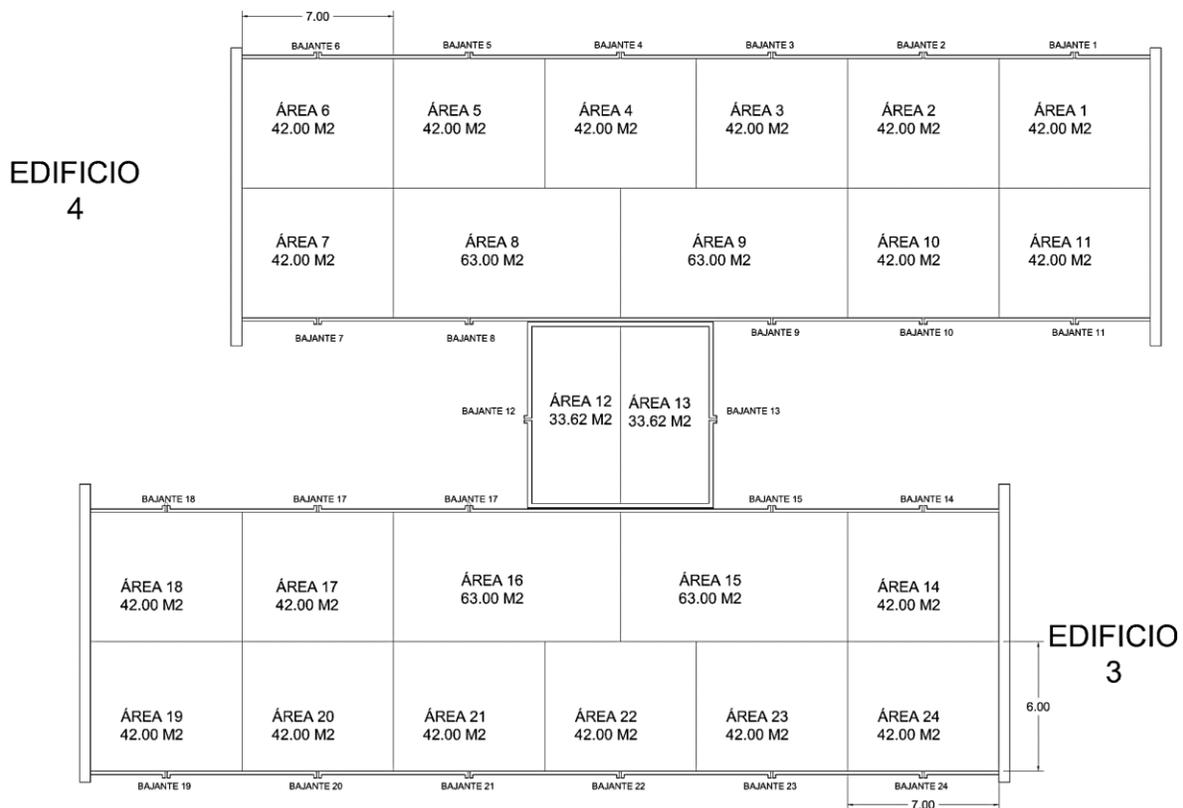


Figura 42. Bajantes de los edificios 3 y 4 (Autor, 2023).

El dimensionamiento de las bajantes se realizó con base a la fórmula de Manning y la fórmula de continuidad, en donde se determinó el diámetro de tubería necesario a instalar en cada bajante, los cuales fueron divididos, de acuerdo a la Figura 41; en 24 áreas de captación como se observa en la Tabla 26.

Tabla 26. Áreas de captación de acuerdo a las bajantes de los edificios 3 y 4

Área de captación	Superficie (m2)	Área de captación	Superficie (m2)
Área 1	42.00	Área 13	33.62
Área 2	42.00	Área 14	42.00
Área 3	42.00	Área 15	63.00
Área 4	42.00	Área 16	63.00

Área 5	42.00	Área 17	42.00
Área 6	42.00	Área 18	42.00
Área 7	42.00	Área 19	42.00
Área 8	63.00	Área 20	42.00
Área 9	63.00	Área 21	42.00
Área 10	42.00	Área 22	42.00
Área 11	42.00	Área 23	42.00
Área 12	33.62	Área 24	42.00

*Fuente:* Autor (2023).

Tomando en consideración la superficie que aporta escurrimiento a cada bajante, se aplicó la fórmula del método racional para determinar el gasto que atraviesa en cada una de las bajantes. Cabe aclarar que la intensidad fue obtenida de las isoyetas de Intensidad de Lluvia de la SCT (2015) para una duración de 5 minutos y un periodo de retorno de 5 años cuyo valor fue de 148 mm/h para la ciudad de Tuxtla Gutiérrez. El factor de escurrimiento utilizado fue de 0.85 y el valor de 3,600,000 corresponde al factor de conversión de las unidades, en donde se obtuvieron los siguientes resultados (Tabla 27).

Tabla 27. Gasto de las bajantes de los edificios 3 y 4

<b>Área de captación</b>	<b>Superficie (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Gasto (m<sup>3</sup>/s)</b>
Área 1	42.00	0.0015
Área 2	42.00	0.0015
Área 3	42.00	0.0015
Área 4	42.00	0.0015
Área 5	42.00	0.0015
Área 6	42.00	0.0015
Área 7	42.00	0.0015
Área 8	63.00	0.0022

Área 9	63.00	0.0022
Área 10	42.00	0.0015
Área 11	42.00	0.0015
Área 12	33.62	0.0012
Área 13	33.62	0.0012
Área 14	42.00	0.0015
Área 15	63.00	0.0022
Área 16	63.00	0.0022
Área 17	42.00	0.0015
Área 18	42.00	0.0015
Área 19	42.00	0.0015
Área 20	42.00	0.0015
Área 21	42.00	0.0015
Área 22	42.00	0.0015
Área 23	42.00	0.0015
Área 24	42.00	0.0015

---

*Fuente:* Autor (2023).

Se puede observar que, dadas las condiciones de las áreas, los gastos son los mismos a excepción de la zona de escaleras (áreas 12 y 13) y los espacios junto a dicha zona de escaleras (áreas 8, 9, 15 y 16).

Con base al gasto que atraviesa en cada una de las bajantes se realizó el cálculo del diámetro necesario para cada bajante en donde se aplicó la adecuación de la fórmula de continuidad en función del gasto de cada bajante y al área de la sección (circular). Para ello se propuso una pendiente del 2% y una velocidad máxima de 0.9 m/s (conducciones horizontales) en donde se obtuvieron los siguientes resultados (Tabla 28).

$$\phi = \sqrt{\frac{4Q}{\pi \cdot V}}$$

Tabla 28. Diámetro mínimo de bajantes calculado

<b>Bajante</b>	<b>Superficie (m2)</b>	<b>Gasto (m3/s)</b>	<b>Ø (m)</b>	<b>Ø (in)</b>
Bajante 1	42.00	0.0015	0.046	1.79
Bajante 2	42.00	0.0015	0.046	1.79
Bajante 3	42.00	0.0015	0.046	1.79
Bajante 4	42.00	0.0015	0.046	1.79
Bajante 5	42.00	0.0015	0.046	1.79
Bajante 6	42.00	0.0015	0.046	1.79
Bajante 7	42.00	0.0015	0.046	1.79
Bajante 8	63.00	0.0022	0.056	2.20
Bajante 9	63.00	0.0022	0.056	2.20
Bajante 10	42.00	0.0015	0.046	1.79
Bajante 11	42.00	0.0015	0.046	1.79
Bajante 12	33.62	0.0012	0.041	1.61
Bajante 13	33.62	0.0012	0.041	1.61
Bajante 14	42.00	0.0015	0.046	1.79
Bajante 15	63.00	0.0022	0.056	2.20
Bajante 16	63.00	0.0022	0.056	2.20
Bajante 17	42.00	0.0015	0.046	1.79
Bajante 18	42.00	0.0015	0.046	1.79
Bajante 19	42.00	0.0015	0.046	1.79
Bajante 20	42.00	0.0015	0.046	1.79
Bajante 21	42.00	0.0015	0.046	1.79
Bajante 22	42.00	0.0015	0.046	1.79
Bajante 23	42.00	0.0015	0.046	1.79
Bajante 24	42.00	0.0015	0.046	1.79

*Fuente:* Autor (2023).

En la Tabla 28 se pueden observar los diámetros mínimos necesarios para drenar el gasto aportado por cada área a los bajantes, sin embargo, dichas dimensiones no son comerciales, por

lo que se adecuaron para hacerlos coincidir con los existentes en el mercado (Tabla 30), quedando de la siguiente manera (Tabla 29).

Tabla 29. Adecuación del diámetro calculado de bajantes en base a los diámetros comerciales

<b>N° de bajante</b>	<b>Ø calculado (in)</b>	<b>Ø comercial (in)</b>	<b>N° de bajante</b>	<b>Ø calculado (in)</b>	<b>Ø comercial (in)</b>
Bajante 1	1.79	2.00	Bajante 13	1.61	2.0
Bajante 2	1.79	2.00	Bajante 14	1.61	2.0
Bajante 3	1.79	2.00	Bajante 15	1.79	2.0
Bajante 4	1.79	2.00	Bajante 16	2.20	3.0
Bajante 5	1.79	2.00	Bajante 17	2.20	3.0
Bajante 6	1.79	2.00	Bajante 18	1.79	2.0
Bajante 7	1.79	2.00	Bajante 19	1.79	2.0
Bajante 8	2.20	3.00	Bajante 20	1.79	2.0
Bajante 9	2.20	3.00	Bajante 21	1.79	2.0
Bajante 10	1.79	2.00	Bajante 22	1.79	2.0
Bajante 11	1.79	2.00	Bajante 23	1.79	2.0
Bajante 12	1.61	2.00	Bajante 24	1.79	2.0

Fuente: Autor (2023).

Tabla 30. Diámetro interno y externo de tubería de PVC sanitario

<b>Diámetro nominal (In)</b>	<b>Diámetro exterior (In)</b>	<b>Diámetro exterior (mm)</b>	<b>Diámetro interior (In)</b>	<b>Diámetro interior (mm)</b>	<b>e (mm)</b>
1.5	1.57	40	1.43	36.40	1.8
2	1.97	50	1.83	46.40	1.8
3	2.95	75	2.81	71.40	1.8
4	4.33	110	4.15	105.40	2.30
6	6.30	160	6.04	153.40	3.30
8	7.87	200	7.56	192.00	4.00

Fuente: EMMSA (s. f.).

Tomando en consideración la tubería a utilizar (PVC sanitario) se procedió a verificar, que de acuerdo al diámetro interno del tubo; efectivamente atravesara el gasto necesario calculado en cada bajante, para ello se hizo uso del programa HCANALES, versión 3.0, en donde se determinaron los elementos de cada bajante y se verificó dicho dato.

### 8.13.1. Bajante 1

Tabla 31. Datos de diseño del bajante 1

Superficie de captación (m <sup>2</sup> )	Gasto (m <sup>3</sup> /s)	Ø calculado (m)	Ø calculado (in)	Ø nominal comercial (in)	Ø interno comercial (m)
42.00	0.0015	0.046	1.79	2.00	0.046

Fuente: Autor (2023).

Bajo condiciones de tubo llenos se obtuvieron los datos de la Figura 43.

The screenshot shows the HCANALES software interface with the following data:

- Lugar:** Facultad de Ingeniería
- Proyecto:** SCALL
- Tramo:** Bajante1
- Revestimiento:** PVC

**Datos:**

- Tirante (y): 0.0464 m
- Diámetro (d): 0.0464 m
- Rugosidad (n): 0.009
- Pendiente (S): 0.02 m/m

**Resultados:**

- Caudal (Q): 0.0014 m<sup>3</sup>/s
- Area hidráulica (A): 0.0017 m<sup>2</sup>
- Radio hidráulico (R): 0.0116 m
- Número de Froude (F): 0.1977
- Tipo de flujo: Subcrítico
- Velocidad (v): 0.0052 m/s
- Perímetro mojado (p): 0.1458 m
- Espejo de agua (T): 0.0000 m
- Energía específica (E): 0.0794 m-Kg/Kg

The interface also includes a diagram of a circular pipe with a water level indicated by a horizontal line, with labels for diameter (d), water depth (y), and water surface elevation (T).

Figura 43. Cálculo del caudal a tubo lleno en la sección circular del bajante 1 (HCanales, 2023).

Se observa un caudal máximo de 0.0014 m<sup>3</sup>/s y en el diseño se tiene un gasto de 0.0015 m<sup>3</sup>/s, lo cual es insuficiente para conducir el caudal producido en una precipitación máxima, por lo que se optó por hacer uso del siguiente diámetro comercial (3 pulgadas) con lo

que se asegura que el diámetro propuesto es el adecuado, el cual bajo las condiciones del diseño se obtuvieron los datos mostrados en la Figura 44.

Lugar:	Facultad de Ingeniería	Proyecto:	SCALL
Tramo:	Bajante 1	Revestimiento:	PVC

<b>Datos:</b>			
Caudal (Q):	0.0015	m <sup>3</sup> /s	
Diámetro (d):	0.071	m	
Rugosidad (n):	0.009		
Pendiente (S):	0.02	m/m	

<b>Resultados:</b>			
Tirante normal (y):	0.0292	m	
Área hidráulica (A):	0.0015	m <sup>2</sup>	
Espejo de agua (T):	0.0699	m	
Número de Froude (F):	2.1067		
Tipo de flujo:	Supercrítico		
Perímetro mojado (p):	0.0988	m	
Radio hidráulico (R):	0.0155	m	
Velocidad (v):	0.9777	m/s	
Energía específica (E):	0.0779	m-Kg/Kg	

Figura 44. Cálculo del tirante normal en la sección circular del bajante 1 (HCanales, 2023).

Se obtuvo una velocidad distinta a la propuesta en el cálculo previo (0.9 m/s), sin embargo, aun con dicha modificación, los diámetros siguen siendo los adecuados para conducir los caudales generados, ya que se obtuvo un diámetro mínimo de 1.79 pulgadas para un caudal de 0.0015 m<sup>3</sup>/s y con el diámetro propuesto (3 pulgadas) se obtuvo una velocidad de 0.9777 m/s, cuyo tubo trabaja al 35.71% de su capacidad. Dichas condiciones se consideran iguales para los bajantes 1 a 7, 10, 11, 14 y del 17 al 24, ya que los caudales de dichos bajantes son los mismos.

Cabe aclarar que las dimensiones y las velocidades fueron consideradas con una pendiente del 2%, sin embargo, al ser dicha tubería para las bajantes (tubería vertical), tiene una inclinación de 90° con respecto a la horizontal y medida que la pendiente se aproxima a la vertical (90°), la pendiente en porcentaje se aproxima al infinito, por lo que las velocidades serán mayores a las mostradas en los cálculos de diseño. Dichas condiciones fueron consideradas para el diseño de todos los bajantes.

### 8.13.2. Bajante 8, 9, 15 y 16

Tabla 32. Datos de diseño para los bajantes 8, 9, 15 y 16.

N° de bajante	Superficie de captación (m <sup>2</sup> )	Gasto (m <sup>3</sup> /s)	Ø calculado (m)	Ø calculado (in)	Ø nominal comercial (in)	Ø interno comercial (m)
Bajante 8	63.00	0.0022	0.056	2.20	3.00	0.071
Bajante 9	63.00	0.0022	0.056	2.20	3.00	0.071
Bajante 15	63.00	0.0022	0.056	2.20	3.00	0.071
Bajante 16	63.00	0.0022	0.056	2.20	3.00	0.071

Fuente: Autor (2023).

Bajo condiciones de tubo lleno se obtuvieron los datos mostrados en la Figura 45 a partir de los datos mostrados en la Tabla 32.

**Lugar:**

**Tramo:**

**Proyecto:**

**Revestimiento:**

**Datos:**

Tirante (y) :  m

Diámetro (d) :  m

Rugosidad (n) :

Pendiente (S) :  m/m



**Resultados:**

Caudal (Q) : <input type="text" value="0.0042"/> m <sup>3</sup> /s	Velocidad (v) : <input type="text" value="1.0692"/> m/s
Area hidráulica (A) : <input type="text" value="0.0040"/> m <sup>2</sup>	Perímetro mojado (p) : <input type="text" value="0.2231"/> m
Radio hidráulico (R) : <input type="text" value="0.0178"/> m	Espejo de agua (T) : <input type="text" value="0.0000"/> m
Número de Froude (F) : <input type="text" value="0.1716"/>	Energía específica (E) : <input type="text" value="0.1293"/> m-Kg/Kg
Tipo de flujo : <input type="text" value="Subcrítico"/>	

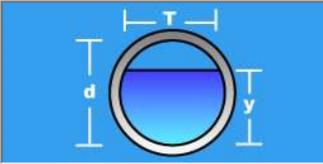
Figura 45. Cálculo del caudal a tubo lleno en la sección circular de los bajantes 8, 9, 15 y 16 (HCanales, 2023).

Se obtuvo un caudal de 0.0042 m<sup>3</sup>/s para un diseño de 0.0022 m<sup>3</sup>/s, lo cual garantiza la conducción del caudal con el diámetro propuesto. Bajo las condiciones de diseño de obtuvieron los siguientes datos (Figura 46).

Lugar:	Facultad de Ingeniería	Proyecto:	SCALL
Tramo:	Bajantes 8, 9, 15 y 16	Revestimiento:	PVC

<b>Datos:</b>			
Caudal (Q):	0.0022	m <sup>3</sup> /s	
Diámetro (d):	0.071	m	
Rugosidad (n):	0.009		
Pendiente (S):	0.02	m/m	

<b>Resultados:</b>					
Tirante normal (y):	0.0363	m	Perímetro mojado (p):	0.1132	m
Area hidráulica (A):	0.0020	m <sup>2</sup>	Radio hidráulico (R):	0.0180	m
Espejo de agua (T):	0.0710	m	Velocidad (v):	1.0795	m/s
Número de Froude (F):	2.0342		Energía específica (E):	0.0957	m-Kg/Kg
Tipo de flujo:	Supercrítico				

Figura 46. Cálculo del tirante normal en la sección circular de los bajantes 8, 9, 15 y 16.

En el resultado se obtuvo una velocidad de 1.0795 m/s, y con dicha modificación se obtuvo un diámetro de 2.01 pulgadas para un caudal de 0.002202 m<sup>3</sup>/s, siendo un diámetro menor al propuesto (3 pulgadas) por lo cual se consideró un cálculo adecuado.

### 8.13.3. Bajante 12 y 13

Tabla 33. Datos de diseño para los bajantes 12 Y 13.

N° de bajante	Superficie de captación (m <sup>2</sup> )	Gasto (m <sup>3</sup> /s)	Ø calculado (m)	Ø calculado (in)	Ø nominal comercial (in)	Ø interno comercial (m)
Bajante 12	33.62	0.0012	0.041	1.61	2.00	0.046
Bajante 13	33.62	0.0012	0.041	1.61	2.00	0.046

Fuente: Autor (2023).

Dichos bajantes (Tabla 33) en condiciones de tubo lleno tuvieron los siguientes resultados (Figura 47).

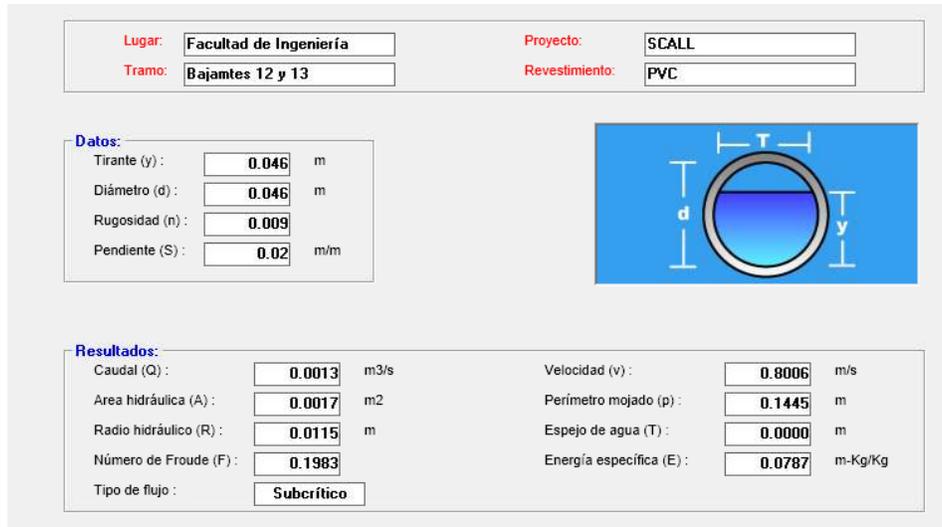


Figura 47. Cálculo del caudal a tubo lleno en la sección circular de los bajantes 12 y 13 (HCanales, 2023).

En dichos resultados se observó que a una capacidad del tubo del 100%, se es capaz de conducir un caudal de  $0.0013 \text{ m}^3/\text{s}$  a una velocidad de  $0.8006 \text{ m/s}$ , siendo este un caudal mayor al de diseño ( $0.0012 \text{ m}^3/\text{s}$ ) con lo que se garantizó que el diámetro propuesto es capaz de satisfacer las necesidades de conducción de dichas áreas de captación. Bajo las condiciones de diseño se obtuvieron los siguientes datos (Figura 48).

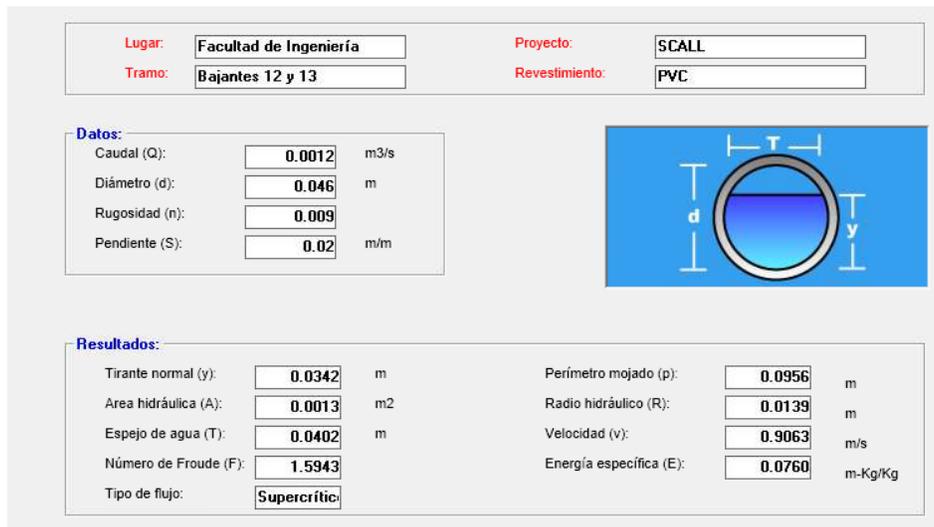


Figura 48. Cálculo del tirante normal en la sección circular de los bajantes 12 y 13 (HCanales, 2023).

Se observó que el tubo trabajaría al 92.31% de su capacidad, con una velocidad de  $0.9063 \text{ m/s}$  en donde se aseguran las condiciones de diseño para los diámetros de las bajantes propuestas.

#### 8.14. Conducción al tanque de almacenamiento

Para la conducción desde los bajantes hasta los almacenamientos se tomó en consideración el caudal proporcionado por cada bajante en su recorrido, ajustando de esa manera los diámetros para asegurar la conducción del caudal resultante de dos o más bajantes de acuerdo con los diámetros de tubería comerciales y la pendiente propuesta del 2%, en donde se encontraron los siguientes diámetros de tubería.

Cabe destacar que para tener una mejor capacidad de captación por parte de los bajantes se consideró una reducción excéntrica en cada bajante con un diámetro de entrada de 6 pulgadas y una salida variante de acuerdo a cada bajante, posterior a ello se realiza la conducción hacia el separador de primeras lluvias.

Para la determinación de los diámetros de tubería a instalar entre cada una de las bajantes se calculó la capacidad máxima de cada diámetro de tubería comercial con el apoyo del Hcanales cuyos datos obtenidos se tabularon en la siguiente tabla (Tabla 34).

Tabla 34. caudal máximo trasportado por diámetro comercial.

<b>Diámetro comercial</b> <b>(in)</b>	<b>Diámetro interno</b>		<b>Caudal máximo</b> <b>trasportado (m<sup>3</sup>/s)</b>
	<b>in</b>	<b>m</b>	
2	1.83	0.0464	0.0014
3	2.81	0.0714	0.0043
4	4.15	0.1054	0.0121
6	6.04	0.1534	0.0330

*Fuente:* Autor (2023).

Para la conducción hacia cada uno de los tanques de almacenamiento se consideraron dos líneas de conducción con aportaciones de acuerdo a la figura 49.

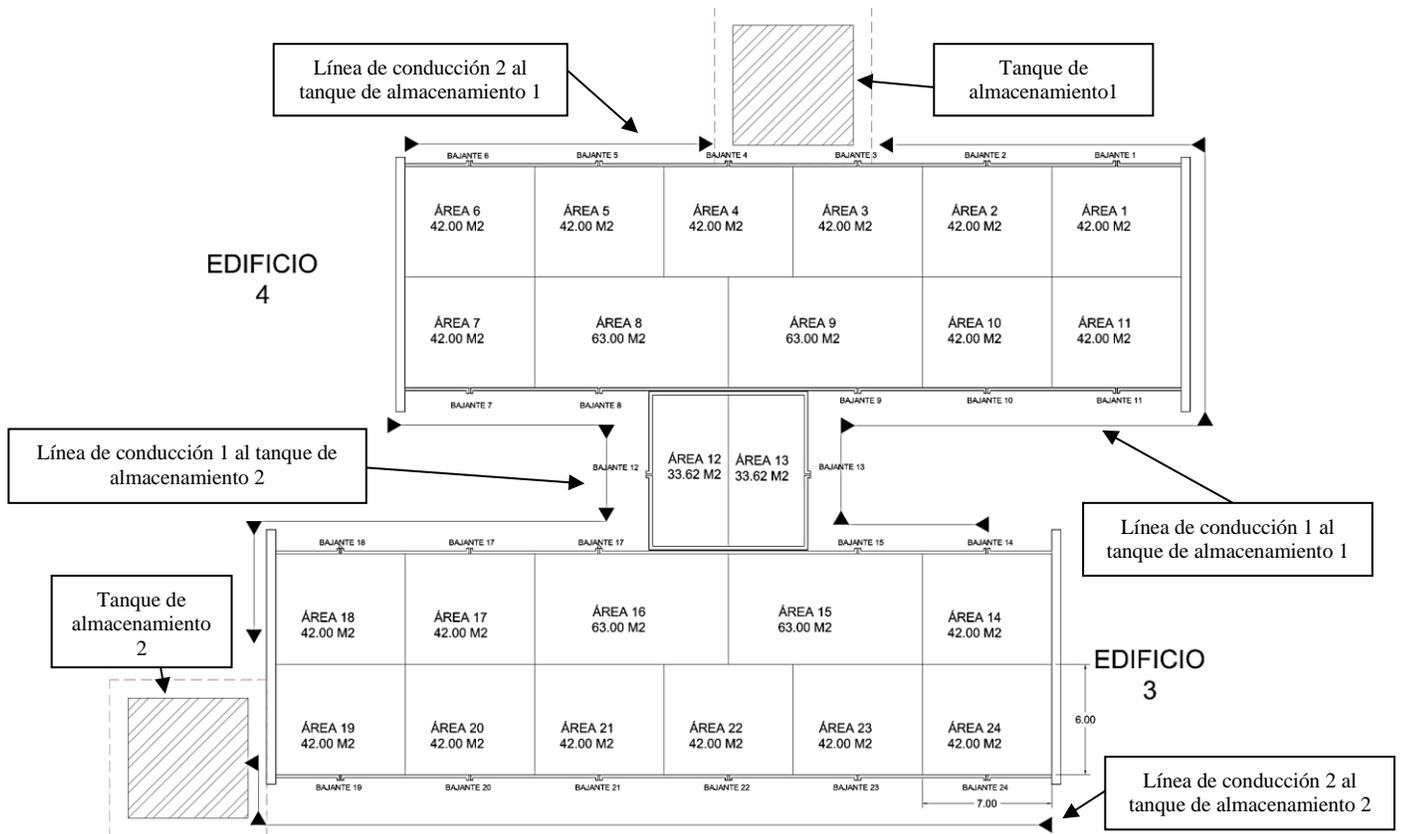


Figura 49. Recorrido de las líneas de conducción (Autor, 2023).

Como se observa en la Figura 49, se dispone de dos líneas de conducción para cada tanque de almacenamiento, cuyos recorridos se tabularon en la Tabla 35 a la Tabla 38, en donde se observa el diámetro de tubería necesario para la aportación acumulada de cada una de las bajantes.

Tabla 35. Conducción 1 al tanque del almacenamiento 1.

N° de bajante	Gasto (m <sup>3</sup> /s)	Diámetro de bajante (in)	Gasto acumulado (m <sup>3</sup> /s)	Diámetro acumulado (in)
14	0.00147	3	0.0015	3
15	0.00220	3	0.0037	3
13	0.00117	2	0.0048	4
9	0.00220	3	0.0070	4
10	0.00147	3	0.0085	4

11	0.00147	3	0.0100	4
1	0.00147	3	0.0114	4
2	0.00147	3	0.0129	6
3	0.00147	3	0.0144	6

*Fuente:* Autor (2023).

Tabla 36. Conducción 2 al tanque de almacenamiento 1.

<b>N° de bajante</b>	<b>Gasto (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Diámetro de bajante (in)</b>	<b>Gasto acumulado (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Diámetro acumulado (in)</b>
6	0.00147	3	0.0015	3
5	0.00147	3	0.0029	3
4	0.00147	3	0.0044	4

*Fuente:* Autor (2023).

Tabla 37. Conducción 1 al tanque de almacenamiento 2.

<b>N° de bajante</b>	<b>Gasto (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Diámetro de bajante (in)</b>	<b>Gasto acumulado (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Diámetro acumulado (in)</b>
7	0.00147	3	0.0015	3
8	0.00220	3	0.0037	3
12	0.00117	2	0.0048	4
16	0.00220	3	0.0070	4
17	0.00147	3	0.0085	4
18	0.00147	3	0.0100	4

*Fuente:* Autor (2023).

Tabla 38. Conducción 2 al tanque del almacenamiento 2.

<b>N° de bajante</b>	<b>Gasto (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Diámetro de bajante (in)</b>	<b>Gasto acumulado (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Diámetro acumulado (in)</b>
24	0.00147	3	0.0015	3
23	0.00147	3	0.0029	3
22	0.00147	3	0.0044	4
21	0.00147	3	0.0059	4
20	0.00147	3	0.0073	4

Fuente: autor (2023).

Dicha distribución vista en la planta de los edificios 3 y 4 se observan en la Figura 50.

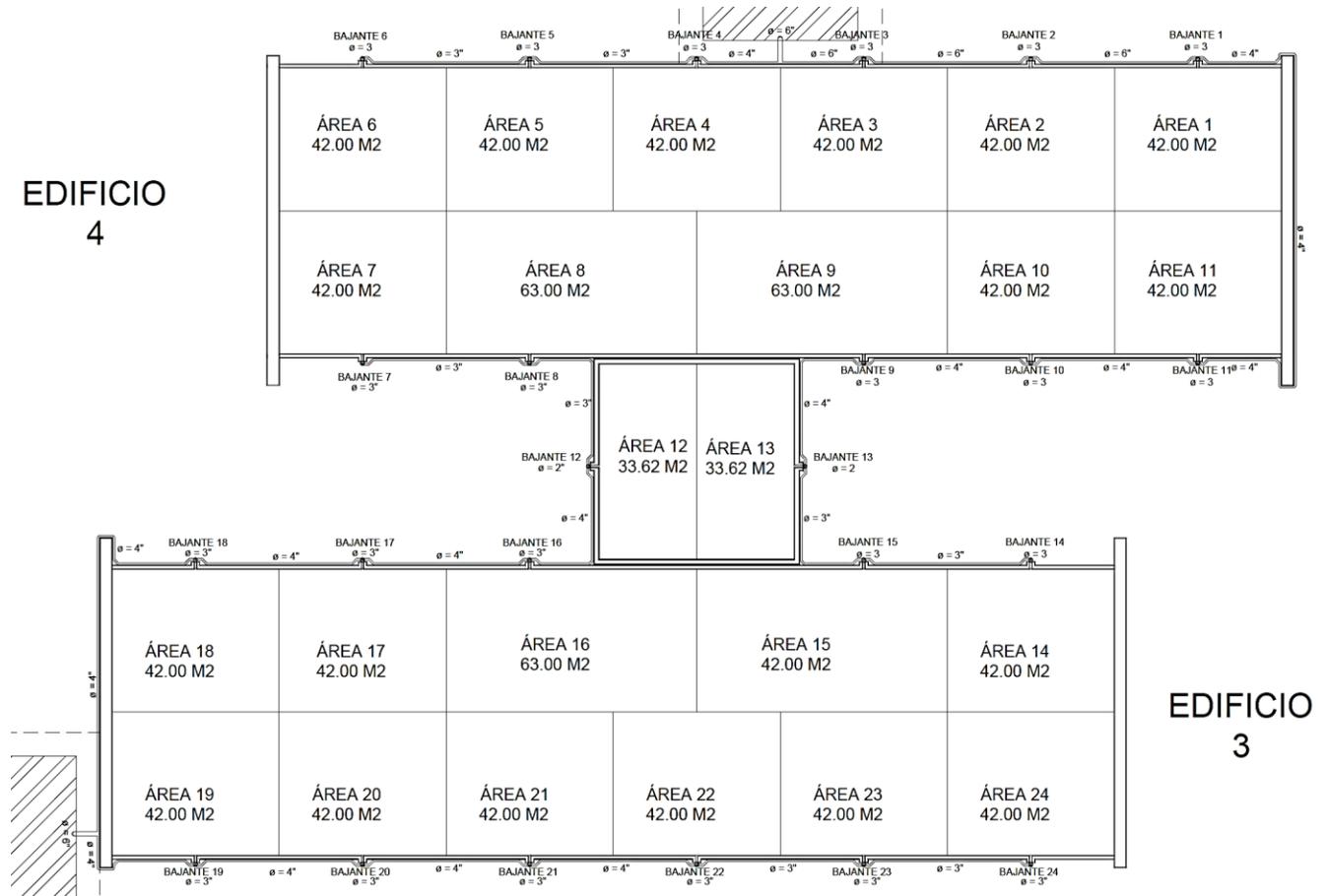


Figura 50. Distribución de las líneas de conducción.

Es importante mencionar que entre los objetivos del presente documento se especificó el dimensionamiento de los elementos que componen el sistema de captación, para lo cual se determinaron los diámetros de tubería necesarios para conducir el volumen de agua posible a captar, pero sin tomar en consideración las longitudes y cantidad de material necesarios para la implementación del sistema. Es por ello que a partir de los cálculos previos se obtuvo un diámetro de tubería de 6 pulgadas para la entrada en cada uno de los tanques de almacenamiento.

### 8.15. Tanque interceptor de primeras lluvias

El interceptor de primeras lluvias se calculó de acuerdo con el área de captación y el volumen necesario para el lavado de cada metro cuadrado del techo, es por ello que para el lavado de la superficie de captación de la zona de estudio se requieren 1,075.25 litros, lo que equivale a dos tanques de almacenamiento de 600 litros cada uno, los cuales constarán de una válvula flotante que permitirá el llenado del tanque de almacenamiento cuando este llegue a su capacidad máxima. Este interceptor debe ser ubicado en la entrada de cada tanque de almacenamiento.

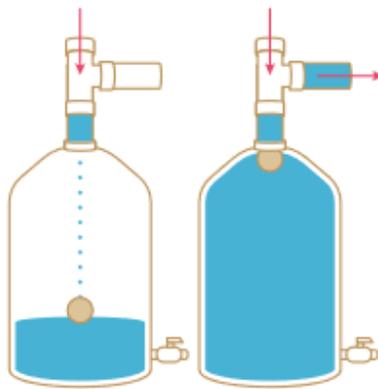


Figura 51. Interceptor de primeras lluvias. (Téllez Quintanar et al., 2022).

### 8.16. Desinfección

Tomando en consideración las recomendaciones de la Organización Panamericana de la Salud, se seleccionó la presentación líquida del cloro (*hipoclorito de sodio*) para ser aplicada en la desinfección del agua captada. Para su dosificación se consideró una gota (0.05 ml) por cada litro de agua de lluvia almacenada, siendo 7.394 litros los necesarios para tratar cada tanque de almacenamiento a su máxima capacidad. Dicha dosificación se propone ya que el uso del agua también será de contacto humano, con lo que se garantiza la eliminación de ciertos microorganismos, a fin de garantizar la seguridad de los usuarios.

## 9. Discusiones

En los resultados del estudio se pudo apreciar que a partir del uso de los techos de los edificios 3 y 4 de la facultad de ingeniería es posible aprovechar 929.84 m<sup>3</sup> de agua de lluvia como medida alternativa de suministro anual, lo que resulta en un ahorro del 48.69% de la demanda del personal en estos edificios, siendo este un ahorro económico de \$28,211.35 al año de acuerdo con el tabulador del SMAPA (2021) para uso oficial de clase única.

Con respecto a la recolección de agua, no se obtuvo el recurso necesario para suplir completamente la demanda de la facultad de ingeniería debido a la falta de áreas de captación, sin embargo, con los resultados obtenidos se aprecia la viabilidad de implementación de un SCALL en la zona de estudio. Dichos resultados coinciden con los estudios realizados por Palacio Castañeda (2010), Andrade Espinosa y Martínez Porras (2014), Correa Sastoque (2014) y Alcides Ruíz (2017). A pesar de ello, algo importante que no se tomó en consideración en el presente análisis fue el costo de implementación del sistema, el cual; de acuerdo con los autores previamente mencionados, es un factor fundamental para determinar la viabilidad de implementación de un SCALL. Dichos autores le dieron mayor importancia a los resultados económicos para determinar la viabilidad de la implementación del SCALL, pero autores como Picos Benítez (2010), López-Hernández et al. (2017), Jalife Acosta et al. (2018), De la Cruz Guzmán y Gleason Espíndola, (2018) denotan la importancia de la implementación de este tipo de alternativas de abastecimiento desde la perspectiva del beneficio ambiental y desde la búsqueda de la sostenibilidad para las zonas de estudio de cada autor en particular, concluyendo en la importancia por adoptar nuevos valores ambientales y coadyuvar con la sostenibilidad a pesar de lo mínimo que puedan ser los costes económicos suplidos por estas alternativas de abasto.

La comparación de resultados de estudios similares al presente realizado es un poco complicada, ya que cada autor da un enfoque diferente para evaluar la implementación de un sistema de captación, a pesar de que la mayoría de ellos comparten metodologías y similitudes en resultados. Lo que los hace únicos es la perspectiva del autor para la determinación de la viabilidad de implementación, ya que como se mencionó anteriormente, se distinguen claramente los autores que dan mayor relevancia a los costos económicos y en contra parte están los que dan más importancia a los beneficios ambientales y muchos otros que únicamente generan información relevante a la cantidad de recursos posible a suplir, como los estudios realizados por Galicia Aguilar (2018), Parada-Molina y Cervantes (2017), Cruz Rosas et al. (2017) quienes perseguían objetivos diferentes a los de la presente investigación, por lo que los resultados fueron enfocados de manera distinta.

La viabilidad de la implementación del sistema de captación en la Facultad de Ingeniería fue basado no únicamente en los resultados obtenidos en el presente estudio, sino que se tomó en consideración el estudio de Torres González (2023), quien entre sus resultados encontró que la implementación de un sistema de captación de agua de lluvia es viable desde las perspectiva de la calidad del recurso captado, además de que Solís López (2016) propuso un modelo para impulsar la sustentabilidad de CU, UNICACH en donde se recomienda un medio alternativo de suministro como lo es un SCALL, asimismo Altamirano Farro (2019) determinó que la ciudad de Tuxtla Gutiérrez cuenta con el escenario ideal para la implementación de este tipo de sistemas en donde evaluó la densidad de población y la precipitación de la zona, lo que le da mayor seguridad a los resultados aquí obtenidos.

## 10. Conclusiones y recomendaciones

Luego de un minucioso análisis y una investigación detallada del tema tratado en este estudio, se puede concluir que los resultados indican un panorama positivo en cuanto al potencial que representa la adopción de un SCALL como una alternativa viable para el suministro de agua en las instalaciones de la Facultad de Ingeniería de CU, UNICACH.

En este sentido, los resultados obtenidos permiten tener un ahorro considerable del 48.69% de la demanda anual, lo que se ve reflejado en un ahorro económico de \$28,211.35, cumpliendo con la demanda total de los meses comprendidos entre junio y octubre para lo cual se requiere de un reservorio con una capacidad mínima de 279.78 m<sup>3</sup>. Estos hallazgos tienen implicaciones importantes para el plan de desarrollo sustentable de la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas ya que contribuyen a una comprensión más profunda del uso y manejo del recurso hídrico y de alternativas de abasto, además que ofrecen posibles aplicaciones prácticas no solo en la facultad de ingeniería, sino que con los resultados obtenidos en la precipitación promedio mensual, es posible generar un cálculo para cualquiera de las facultades dentro de las instalaciones de CU, con ciertas adecuaciones de acuerdo a las condiciones de cada área de captación y demanda.

Además, es importante reconocer las limitaciones inherentes a este estudio, las cuales abren oportunidades para futuras investigaciones que podrían ampliar y mejorar el conocimiento existente sobre el diseño del SCALL para la Facultad de Ingeniería. Es importante aclarar que esta investigación estuvo limitada a la ingeniería conceptual de un sistema de aprovechamiento de aguas de lluvias en función de la cantidad de agua que es posible captar y utilizar como abastecimiento alternativo al sistema de abastecimiento municipal, a partir de lo cual, se dimensionaron los elementos del sistema sin generar un diseño concreto. Es importante tener en cuenta que para lograr el éxito en la implementación del sistema de captación, se requiere de un

estudio económico más amplio en el que se vea involucrado el diseño adecuado de cada uno de los elementos que componen el sistema, en donde se profundice no solo en el diseño de captación, sino que también se recomienda considerar la distribución del mismo ahondando en las adecuaciones necesarias a realizar al sistema de distribución ya existente, además de determinar el costo de implementación, operación y mantenimiento contra el ahorro potencial del agua captada, aunado a ello, la caracterización físico-química del recurso a captar también será de gran relevancia para determinar adecuadamente el tipo de tratamiento a implementar, ya que ello también conlleva un costo de operación; además, así se asegura que el recurso captado puede ser usado para contacto humano.

En conclusión, la Facultad de ingeniería cuenta con aproximadamente 1,896.42 m<sup>2</sup> de área impermeabilizada, de los cuales 1075.24 m<sup>2</sup> corresponden a los techos seleccionados como áreas potenciales de captación. Con la totalidad del área impermeable se es posible captar aproximadamente 1639.97 m<sup>3</sup> en un año y con los techos únicamente se logra captar aproximadamente 929.84 m<sup>3</sup>, por lo que se rechaza la hipótesis 1 y la hipótesis 2. Sin embargo, la hipótesis 2 es muy aproximada a los resultados arrojados, por ende se acepta la hipótesis 3 dada la posibilidad de ahorro que representa, junto con los principios teóricos que respaldan la importancia de incorporar nuevas tecnologías para lograr un desarrollo sostenible, independientemente de lo poco significativos que puedan parecer los ahorros económicos.

## 11. Literatura citada

- Acosta, S. J., Herrera, J. A. Q., y Solís, J. V. (2018). Captación de agua de lluvia: Tipos, componentes y antecedentes en zonas áridas de México, como estrategia de uso sustentable del agua. *Vivienda y Comunidades Sustentables*, 3, 63-86.  
<https://doi.org/10.32870/rvcs.v0i3.32>
- Acosta Vadillo, M. A. (2013). *Desarrollo de un Sistema de Captación de Agua Pluvial para uso Industrial* [Tesis de pregrado, Universidad Autónoma del Estado de México].  
<http://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/58602>
- Aguilar Ramírez, M., y Carreón Barrientos, J. J. (2018). Análisis de viabilidad de un Sistema de Captación de Agua de Lluvia en la Enmsgto. *Jóvenes de la Ciencia*, 4(1), 3144-3148.
- Aguilar Rodríguez, J. J., y Delgado Galván, X. V. (2017). Diseño de un Sistema de Captación de Agua de Lluvia para una industria cerámica en Dolores Hidalgo, Guanajuato. *Jóvenes de la Ciencia*, 2(1), 1245-1249.
- Alcides Ruíz, J. (2017). *Sistema de captación y aprovechamiento de agua de lluvia impulsado por gravedad*. Universidad La Gran Colombia.  
<http://repository.ugc.edu.co/handle/11396/3472>
- Altamirano Farro, A. (2019). *Análisis para la implementación de sistemas de captación de agua de lluvia (SCALL) en la región metropolitana y frailesca de Chiapas* [Tesis de pregrado]. Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas.
- Anaya, M. (1998). *Sistema de captación de agua de lluvia para uso doméstico en América Latina y el Caribe*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura.
- Andrade Espinosa, C. H., y Martínez Porras, O. F. (2014). *Modelo costo-beneficio de la posible implantación de un sistema de captación de aguas de lluvia en la institución educativa*

- Fundación Universitaria Los Libertadores* [Tesis de pregrado, Fundación Universitaria los Libertadores]. <http://repository.libertadores.edu.co/handle/11371/2989>
- ANUIES. (2017). *Anuarios Estadísticos de Educación Superior. Ciclo escolar 2016-2017*.  
<http://www.anui.es.mx/informacion-y-servicios/informacion-estadistica-de-educacion-superior/anuario-estadistico-de-educacion-superior>
- ANUIES. (2018). *Anuarios Estadísticos de Educación Superior. Ciclo escolar 2017-2018*.  
<http://www.anui.es.mx/informacion-y-servicios/informacion-estadistica-de-educacion-superior/anuario-estadistico-de-educacion-superior>
- ANUIES. (2019). *Anuarios Estadísticos de Educación Superior. Ciclo escolar 2018-2019*.  
<http://www.anui.es.mx/informacion-y-servicios/informacion-estadistica-de-educacion-superior/anuario-estadistico-de-educacion-superior>
- ANUIES. (2020). *Anuarios Estadísticos de Educación Superior. Ciclo escolar 2019-2020*.  
<http://www.anui.es.mx/informacion-y-servicios/informacion-estadistica-de-educacion-superior/anuario-estadistico-de-educacion-superior>
- ANUIES. (2021). *Anuarios Estadísticos de Educación Superior. Ciclo escolar 2020-2021*.  
<http://www.anui.es.mx/informacion-y-servicios/informacion-estadistica-de-educacion-superior/anuario-estadistico-de-educacion-superior>
- Aparicio Mijares, F. J. (1999). *Fundamentos de hidrología de superficie* (8. reimpr). Limusa Noriega.
- Aranda Huari, L. E. (2015). *Diseño del sistema de captación de agua pluvial en techos como alternativa para el ahorro de agua potable en la ciudad de Huancayo 2014* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Centro de Perú].  
<http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/UNCP/396>

Arboleda Montaña, N. (2016). Diagnóstico del sistema de aprovechamiento del agua de lluvia en el consejo comunitario de la comunidad negra de Los Lagos, Buenaventura. *Luna Azul*, 43, 29-55. <https://doi.org/10.17151/luaz.2016.43.3>

ArcelorMittal. (s. f.). *Cerramientos metálicos, remates y complementos*.

[https://www.academia.edu/34948685/Cerramientos\\_Met%C3%A1licos\\_Remates\\_y\\_Complementos](https://www.academia.edu/34948685/Cerramientos_Met%C3%A1licos_Remates_y_Complementos)

Arévalo, M., Martínez, O., Rosales, A., Pérez, M., y Barria, N. (2020). Evaluación del ahorro de agua potable que se podrían percibir en los viveros al implementar un sistema de captación de agua de lluvia en la ciudad de Panamá. *Revista de Iniciación Científica*, 6(1), 59-64. <https://doi.org/10.33412/rev-ric.v6.1.2614>

Arriaga, P. (2015). *La medida de la precipitación* [Text]. iAgua; iAgua.

<https://www.iagua.es/blogs/pedro-arriaga/medida-precipitacion>

Arroyave Rojas, J. A. (2019). *Evaluación de la cantidad, calidad fisicoquímica y microbiológica del agua de lluvia para los potenciales usos domésticos. Caso de estudio: Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia*. [Tesis de maestría, Instituto Tecnológico Metropolitano].

[https://repositorio.itm.edu.co/bitstream/handle/20.500.12622/4548/JoanAmir\\_ArroyaveRojas\\_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.itm.edu.co/bitstream/handle/20.500.12622/4548/JoanAmir_ArroyaveRojas_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Arroyave Rojas, J. A., Díaz Vélez, J. C., Vergara, D. M., y Macías, N. D. (2011). Evaluación económica de la captación de agua de lluvia como fuente alternativa de recurso hídrico en la Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia. *Producción + Limpia*, 6(1), 76-84.

Ávila, P. Z. (2018). La sustentabilidad o sostenibilidad: Un concepto poderoso para la humanidad. *Tabula Rasa*, 28, 409-423.

- Belelli, E., y Vázquez, L. (2018). *Captación de agua de lluvia* (1a ed). Ediciones INTA.
- Benavides Alfonso, A., y Arévalo, D. F. (2017). *Sistema alternativo de recolección y aprovechamiento de agua de lluvia, para una vivienda de interés social en el barrio La Victoria de la localidad de San Cristóbal* [Tesis de pregrado, Universidad Católica de Colombia].  
<https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/14536/2/sistema%20alternativo%20de%20recoleccion%20de%20aguas%20lluvias%20en%20san%20cris.pdf>
- Bonnet, J.-F., Devel, C., Faucher, P., y Roturier, J. (2002). Analysis of electricity and water end-uses in university campuses: Case-study of the University of Bordeaux in the framework of the Ecocampus European Collaboration. *Journal of Cleaner Production*, 10(1), 13-24.  
[https://doi.org/10.1016/S0959-6526\(01\)00018-X](https://doi.org/10.1016/S0959-6526(01)00018-X)
- Cadena Garavito, F. D., y Gómez Cárdenas, Y. C. (2018). *Diseño de un sistema de recolección y reciclaje de aguas de lluvias en la ciudad de Bogotá D.C.* [Tesis de pregrado, Fundación Universitaria los Libertadores].  
[https://repository.libertadores.edu.co/bitstream/handle/11371/2543/Cadena\\_Freddy\\_G%C3%B3mez\\_Yurley\\_2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repository.libertadores.edu.co/bitstream/handle/11371/2543/Cadena_Freddy_G%C3%B3mez_Yurley_2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Camacho-Cardona, M. (2019). Procesos sustentables en casa habitación. *Revista Legado de Arquitectura y Diseño*, 25. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=477958274017>
- Camargo González, L. D., y Fuentes-Galván, M. L. (2017). Análisis de diseño de un Sistema de Captación del Agua de Lluvia. *Jóvenes de la Ciencia*, 2(1), 1308-1312.
- Campos, D. F. (1998). *Procesos del ciclo hidrológico*. Universidad Potosina.
- Canseco Arteaga, E. A. (2019). *Sistema de captación de agua pluvial para casa habitación en la zona de Iztapalapa, Ciudad de México* [Tesis de pregrado, Instituto Politécnico Nacional].  
<http://tesis.ipn.mx:8080/xmlui/handle/123456789/26655>

- Casas-Matiz, E. I., y Malagón-Micán, M. L. (2019). Manejo del agua de lluvia en el campus de la Universidad de América. *Gestión y Ambiente*, 22(1), 1-18.  
<https://doi.org/10.15446/ga.v22n1.75334>
- Castillo-Rodríguez, J., Andrés-Doménech, I., Peidro, J. M., García, C., y Perales-Momparler, S. (s. f.). *Gestión sostenible del agua de lluvia como motor de renovación urbana: La experiencia del municipio de Benicàssim (Castellón)*. 11.
- CELE. (2022). *Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas*. Centro de Lenguas.  
<https://cele.unicach.mx>
- Celis Lugo, D. L. (2017). *Evaluación técnica y económica de la factibilidad del uso de agua de lluvia en el sector hospitalario* [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia].  
[https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/63762/TM\\_DenniseLCelisLugo%20%20dlcelisl.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/63762/TM_DenniseLCelisLugo%20%20dlcelisl.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Cheng, C. L., y Hong, Y. T. (2004). Evaluating water utilization in primary schools. *Building and Environment*, 39(7), 837-845. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2004.01.006>
- Chiu, Y. R., Llaw, C. H., y Cheng, L. C. (2009). Optimizing rainwater harvesting systems as an innovative approach to saving energy in hilly communities. *Renewable Energy*, 34, 492-498.
- Chiu, Y.-R., Liaw, C.-H., y Chen, L.-C. (2009). Optimizing rainwater harvesting systems as an innovative approach to saving energy in hilly communities. *Renewable Energy*, 34(3), 492-498. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2008.06.016>
- Chow, V. T., David, R. M., y Larry, W. M. (1993). *Hidrología aplicada*. McGRAW HILL.
- Comisión de Planeación para el Desarrollo de la LXVII Legislatura del H. Congreso del Estado de Chiapas. (2019). *Plan municipal de desarrollo. Administración 2018—2021*.

- Comisión Nacional del Agua. (1992). *Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento* (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Ed.).
- Comisión Nacional del Agua. (2016). *Lineamientos Técnicos: Sistema de captación de agua de lluvia con fines de abasto de agua potable a nivel vivienda*.
- Comisión Nacional del Agua, y Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2016). *Lineamientos técnicos: Sistemas de Captación de Agua de Lluvia con fines de abasto de agua potable a nivel vivienda*.
- CONAGUA. (2007). *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento MAPAS*.  
CONAGUA SEMARNAT.
- Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos. (1917). *Artículo 27*.  
<https://www.juridicas.unam.mx/legislacion/ordenamiento/constitucion-politica-de-los-estados-unidos-mexicanos#10562>
- Correa Sastoque, A. H. (2014). *Diseño de un sistema de captación y aprovechamiento de aguas de lluvias como alternativa de ahorro de agua potable en la Universidad Libre de Colombia, sede Bosque Popular, bloque P y cafetería* [Tesis de pregrado]. Universidad Libre de Colombia.
- Cossio, J. R. D. (1995). Constitutional Framework for Water Regulation in Mexico. *Natural Resources Journal*, 35(3), 12.
- Cruz Gutiérrez, F. V. (2011). *Evaluación socioeconómica de infraestructura de agua potable en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas*. 10.
- Cruz Rosas, R. A., Escobedo González, V. M., Bravo Esquivel, C. A., y Elizondo Álvarez, C. Y. (2017). *Sistema de captación y filtrado de agua pluvial para uso doméstico en la Ciudad de México* [Tesis de pregrado, Instituto Politécnico Nacional].  
<http://tesis.ipn.mx:8080/xmlui/handle/123456789/20502>

- De la Cruz Guzmán, U. O., y Gleason Espíndola, J. A. (2018). Beneficios económicos de implementar un sistema de captación de agua de lluvia en la Universidad de Guadalajara. *Vivienda y Comunidades Sustentables*, 2(4), 11-20. <https://doi.org/10.32870/rvcs.v0i4.63>
- Demartini, J. I., Piga, L., y Bertoni, G. A. (2019). Recolección y reutilización de las aguas de lluvia en edificios como beneficio para las ciudades. *Arquitecto*, 13, 35-46. <https://doi.org/10.30972/arq.0134160>
- Díaz Guevara, Y. G. (2020). *Sistema de captación de agua pluvial para abastecer el consumo familiar de agua potable, distrito de Moyobamba – 2018* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto]. <http://repositorio.unsm.edu.pe/handle/11458/3916>
- DTU. (2004). *Development Technology Unit*. University of Warwick. <http://www.eng.warwick.ac.uk/DTU/rwh/components4.html>
- Duran Juárez, J. M., y Torres Rodríguez, A. (2006). Los problemas del abastecimiento de agua potable en una ciudad media. *Espiral (Guadalajara)*, 12(36), 129-162.
- Durán, P., Herrera, L., y Guido, P. (s. f.). *Captación de agua de lluvia, alternativa sustentable*. Congreso Nacional del Medio Ambiente.
- El Heraldo de Chiapas. (2019, octubre 30) “*Ciudad del Agua*” suspende suministro a Tuxtla Gutiérrez. <https://www.elheraldodechiapas.com.mx/local/ciudad-del-agua-suspende-suministro-a-tuxtla-gutierrez-bombeo-agua-potable-rio-grijalva-smapa-4387470.html>
- EMMSA. (s. f.). *Tubería de PVC sanitaria de norma*. Empresa Mexicana de Manufacturas. <https://www.emmsa.com/admin/img/servicio-cliente/ft-tuberia-sanitaria.pdf>
- Espinoza Correa, J. E., Solano de la Sala Monteros, C. A., Espinoza Urgilés, F. L., y Gonzaga Barreto, F. G. (2017). Sistema de captación de agua de lluvia para uso doméstico en la Isla Jambelí, cantón Santa Rosa. *Cumbres*, 3(1), 151-159.
- Estudio Topohidráulico e Hidrológico sobre el Río Altar*. (s. f.).

- Facultad de ingeniería. (2022). *Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas*. Facultad de ingeniería. <https://www.unicach.mx/>
- Fewkes, A. (2012). A review of rainwater harvesting in the UK. *Structural Survey*, 30(2), 174-194. <https://doi.org/10.1108/02630801211228761>
- Flores Fuentes, R. A. (2018). *Estudio de factibilidad de un sistema de captación de agua pluvial* [Tesis de pregrado, Universidad de San Carlos de Guatemala]. <http://biblioteca.ingenieria.usac.edu.gt/>
- Fondo Para el Logro de los ODM, ONU HABITAD, y Organización Panamericana de la Salud. (2012). *Escuelas saludables y la educación sobre agua, saneamiento e higiene basada en valores humanos* (Primera edición).
- Fuerte, D. J. (2019). Sustentabilidad y la gestión del recurso agua en México: *Economía y Sociedad*, 40, 13-27.
- Galicia Aguilar, A. V. (2018). *Diseño de tanque de almacenamiento de agua de lluvia para una vivienda unifamiliar de la zona metropolitana del Valle de Toluca* [Tesis de pregrado, Universidad Autónoma del Estado de México]. <http://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/99461>
- García Velázquez, J. H. (2012). *Sistema de captación y aprovechamiento pluvial para un ecobarrio de la CD. de México* [Tesis de maestría]. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Gleason, J. A., Gleason, M. P., Lozano, F. J., y Ramírez, I. (2019). *Manual de aprovechamiento de agua pluvial en centros urbanos*. Universidad de Guadalajara. <https://riudg.udg.mx/handle/20.500.12104/73693>
- Gobierno del Estado de Chiapas. (s. f.). *Región I-Metropolitana*.

- Gogiel Salvi, G. L. (2011). *Conciencia social y ahorro de agua doméstica según las diferentes tipologías urbanas* [Tesis de maestría]. Universidad Politécnica de Catalunya.
- Gómez, G. C., y Santos, R. G. (2012). Riesgos de escasez de agua en la ciudad de Huancayo al año 2030. *Apuntes de Ciencia y Sociedad*, 2(1), Article 1.  
<https://doi.org/10.18259/acs.2012003>
- Gonzaga Barreto, F. G. (2015). *Diseño de un Sistema de Captación de Agua de Lluvia para uso doméstico en la isla de Jambelí, Cantón Santa Rosa, Provincia de el Oro*. [Tesis de pregrado]. Universidad Técnica de Machala.
- Guidelines for Rainwater Harvesting in Pacific Island Countries. (2004). *Harvesting the Heavens; guidelines for rainwater harvesting in Pacific Island Countries, 2004*. Agencia Sueca de Desarrollo Internacional (SIDA).
- Gutiérrez Neri, J. P. (2014). *Captación de agua de lluvia en la Escuela La Puerta de Santiago del Municipio de Tonalico, Estado de México*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Autónoma de México]. <https://docplayer.es/88523745-Captacion-de-agua-de-lluvia-en-la-escuela-la-puerta-de-santiago-del-municipio-de-tonatico-estado-de-mexico-universidad-nacional-autonoma-de-mexico.html>
- Helmreich, B., y Horn, H. (2009). Opportunities in rainwater harvesting. *Desalination*, 248(1), 118-124. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2008.05.046>
- Herrera, L. A. (2010). *Estudio de alternativas, para el uso sustentable del agua de lluvia* [Tesis de maestría, Instituto Politécnico Nacional].  
<http://tesis.ipn.mx:8080/xmlui/handle/123456789/7945>
- Herrera Monroy, L. A. (2010). *Estudio de alternativas, para el uso sustentable del agua de lluvia* [Tesis de maestría, Instituto Politécnico Nacional].  
<http://tesis.ipn.mx:8080/xmlui/handle/123456789/7945>

- Higuera, A., Victoria, R., Rivera, E., Utrilla, S. A., y Santamaría, A. (2015). *Diseño estratégico sostenible: Fundamentos teóricos y aplicaciones éticas para el comercio justo y las comunidades autopoieticas* (México).
- Horton, R. E. (1933). *The role of infiltration in the hydrologic cycle* (Vol. 14). Trans. Am. Geophys Union.
- INEGI. (2021, marzo 16). Censo de Población y Vivienda 2020. Subsistema de Información Demográfica y Social. <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/>
- IMTA. (2019, julio 12). ¿Qué es la canícula? gob.mx. <http://www.gob.mx/imta/articulos/que-es-la-canicula>
- IMTA. (2018). Sistema de Captación de Agua de Lluvia SCALL. Manual de instalación. [https://agua.org.mx/wpcontent/uploads/2021/06/Sistema\\_de\\_Captacion\\_de\\_Agua\\_de\\_Lluvia\\_SCALL\\_2.pdf](https://agua.org.mx/wpcontent/uploads/2021/06/Sistema_de_Captacion_de_Agua_de_Lluvia_SCALL_2.pdf)
- Instituto Ciudadano de Planeación Municipal. (2012). *Tuxtla 2030. La Agenda Estratégica de Nuestra Ciudad*. Comunicarte.
- Isla urbana. (s. f.). *La función de separación de primeras lluvias*.
- Jalife Acosta, S., Quiroa Herrera, J. A., y Villanueva Solís, J. (2018). Captación de agua de lluvia: Tipos, componentes y antecedentes en zonas áridas de México, como estrategia de uso sustentable del agua. *Vivienda y Comunidades Sustentables*, 3, 63-86. <https://doi.org/10.32870/rvcs.v0i3.32>
- Jiménez-Pérez, J. G. (2018). *Lineamientos técnicos para el diseño de sistemas de captación de agua de lluvia para las edificaciones del Área Metropolitana de Guadalajara* [Tesis de maestría, Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente]. <https://rei.iteso.mx/handle/11117/5610>

- Jiménez Pérez, S. (2020). El fenómeno de la Canícula asociado a eventos convectivos [Tesis de Maestría, Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnología].  
<https://repositorio.ipicyt.edu.mx/handle/11627/5470>
- Jones, M. (2022). *Google Earth Pro* (7.3.4.8573) [Microsoft Windows (6.2.9200.0)].
- Karim, Md. R., Bashar, M. Z. I., y Imteaz, M. A. (2015). Reliability and economic analysis of urban rainwater harvesting in a megacity in Bangladesh. *Resources, Conservation and Recycling*, 104, 61-67. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2015.09.010>
- Kinkade, H. (2007). *Design for Water: Rainwater Harvesting, Stormwater Catchment, and Alternate Water Reuse*. New Society Publishers.
- Lara Villegas, S. P., y Mora Campana, M. J. (2014). *Diseño e implementación de un sistema de captación para el tratamiento de agua de lluvia mediante ósmosis inversa para los Laboratorios de Biotecnología y Bromatología—ESPOCH*. [Tesis de pregrado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo].  
<http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/3643>
- Lee, K. E., Mokhtar, M., Mohd Hanafiah, M., Abdul Halim, A., y Badusah, J. (2016). Rainwater harvesting as an alternative water resource in Malaysia: Potential, policies and development. *Journal of Cleaner Production*, 126, 218-222.  
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.03.060>
- León Agatón, A., Córdoba Ruiz, J. C., y Carreño Sayago, U. F. (2016). Revisión del estado de arte en captación y aprovechamiento de aguas de lluvias en zonas urbanas y aeropuertos. *Revista Tecnura*, 20(50), 141-153.  
<http://dx.doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2016.4.a10>
- León, E. (2008). *Agua, guía de agua y construcción sustentable*. Fondo para la Comunicación y la Educación Ambiental AC.

León Romero, L. M. (2016). *Aprovechamiento sostenible de recursos hídricos pluviales en zonas residenciales* [Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Católica del Perú].

<https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/7603>

Lizárraga-Mendiola, L., Bigurra-Alzati, C. A., Lagarda-García, F. O., Montiel-Palma, S., y

González-Sandoval, M. del R. (2018). Las tecnologías de bajo impacto como alternativa para aprovechar el agua de lluvia en viviendas unifamiliares. *Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI*, 5(10), 42-45.

<https://doi.org/10.29057/icbi.v5i10.2933>

López, C. D., López, E. S., y Ancona, I. (2005). Desarrollo sustentable o sostenible: Una definición conceptual. *Horizonte sanitario*, 4(2).

<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=457845044002>

López-Hernández, N. A., Palacios-Vélez, O. L., Anaya-Garduño, M., Chávez-Morales, J.,

Rubiños-Panta, J. E., García-Carrillo, M., López-Hernández, N. A., Palacios-Vélez, O. L., Anaya-Garduño, M., Chávez-Morales, J., Rubiños-Panta, J. E., y García-Carrillo, M.

(2017). Diseño de sistemas de captación del agua de lluvia: Alternativa de abastecimiento hídrico. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 8(6), 1433-1439.

Luna Espinosa, K. E., Ordoñez López, I. G., y Romero Aguilar, M. M. (2015). *Diagnóstico de la calidad de agua pluvial y de la red de abastecimiento municipal. Diseño de un Sistema de Captación de Agua de Lluvia y su aceptación en la comunidad de la Facultad de*

*Planeación Urbana y Regional de la UAEMéx* [Tesis de pregrado, Universidad Autónoma del Estado de México]. <http://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/23992>

Maderey, L. E. (2005). *Principios de Hidrogeografía. Estudio Del Ciclo Hidrológico* (Vol. 1).

UNAM.

- Manco-Silva, D., Guerrero-Erazo, J., Universidad del Valle, Morales-Pinzón, T., Universidad Autónoma de Barcelona, y Universidad Tecnológica de Pereira. (2017). Estimación de la demanda de agua en centros educativos: Caso de estudio Facultad de Ciencias Ambientales de la Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia. *Luna Azul*, 44, 153-164. <https://doi.org/10.17151/luaz.2017.44.9>
- Meadows, M. E., Walski, T. M., Barnard, T. E., y Durrans, S. R. (2002). *Computer Applications in Hydraulic Engineering, Fifth Edition*.
- Mejía, U., y Díaz, V. M. (2014). *Aprovechamiento del agua atmosférica* [Tesis de pregrado]. Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas.
- Mejía Zelaya, A. M. (2020). *Espacios comunitarios recolectores de aguas de lluvias para la vivienda social, en el clima cálido lluvioso: Caso de estudio : La Ceiba, Honduras* [Tesis de maestría, Pontificia Universidad Católica de Chile]. <https://repositorio.uc.cl/handle/11534/30521>
- Melo Niño, J. A. (2018). *Evaluación del sistema de captación y aprovechamiento del agua de lluvia implementado en el aeropuerto internacional El Dorado de Bogotá*. [Tesis de pregrado]. Universidad de La Salle.
- Mendoza, J. A. S.-P. (2006). *Problemática del Agua y Crecimiento Urbano en Ciudad Juárez, Chihuahua*. 14, 14.
- Mihelcic, J. R., Zimmerman, J. B., y Ramaswami, A. (2007). Integrating Developed and Developing World Knowledge into Global Discussions and Strategies for Sustainability. 1. Science and Technology. *Environmental Science y Technology*, 41(10), 3415-3421. <https://doi.org/10.1021/es060303e>
- Mohammed, T. A., Megat, M. J., y Halim, A. (s. f.). *Study on potential uses of rainwater harvesting in urban*. 14.

- Monografias.com, D. M. (s. f.). *Cosecha de agua—Monografias.com*. Recuperado 12 de septiembre de 2020, de <https://www.monografias.com/trabajos96/cosecha-agua/cosecha-agua.shtml>
- Montero Martínez, M. J., y Andrade Velázquez, M. (2015). Cambio climático y su relevancia para el cambio climático regional futuro. En Reporte Mexicano de Cambio Climático. <https://www.kerwa.ucr.ac.cr:8443/bitstream/handle/10669/89613/FENOMENOS%20CLIMATICOS.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Mundo Molina, M. D. (2016). Aspectos ontológicos de la tecnología y método de transferencia, casos de estudio: El colector de agua de lluvia y la casa sustentable para comunidades indígenas. *Revista Espacio I+D Innovación más Desarrollo*, 5(10), 10–36. <https://doi.org/10.31644/IMASD.10.2016.a01>
- Mural Chiapas. (2019). *Por mucha agua, suspenden suministro de agua en la Capital de Chiapas*. <https://muralchiapas.com/noticias/local/19301-por-mucha-agua-suspenden-suministro-de-agua-en-la-capital-de-chiapas>
- Náfate, E. (2020, mayo 4). Por turbiedad, suspenden servicio de agua en Tuxtla Gutiérrez. *El Heraldo de Chiapas | Noticias Locales, Policiacas, Sobre México, Chiapas y El Mundo*. <https://www.elheraldodechiapas.com.mx/local/por-turbiedad-suspenden-servicio-de-agua-en-tuxtla-gutierrez-colonias-fraccionamiento-lluvias-5320296.html>
- Nissen, E. (1999). *Rainwater Catchment Systems for Domestic Supply: Design, Construction and Implementation* (J. Gould, Ed.). Practical Action. <https://www.amazon.com.mx/Rainwater-Catchment-Systems-Domestic-Supply/dp/1853394564>
- Norma técnica complementaria para el proyecto arquitectónico*. (2011).
- ONU. (1987). *Informe Brundland*.

- OPS. (2007). *Guía para la selección de sistema de desinfección*. Organización Municipal de la Salud. [https://sswm.info/sites/default/files/reference\\_attachments/OPS-COSUDE%202007.%20Gu%C3%ADa%20selecci%C3%B3n%20del%20sistema%20de%20desinfecci%C3%B3n.pdf](https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/OPS-COSUDE%202007.%20Gu%C3%ADa%20selecci%C3%B3n%20del%20sistema%20de%20desinfecci%C3%B3n.pdf)
- OPS, OMS, y CEPIS. (2004). *Guía de diseño para captación de agua de lluvia*. <https://www.itacanet.org/esp/agua/Seccion%204%20Lluvia/Guia%20de%20dise%C3%B1o%20para%20captaci%C3%B3n%20del%20agua%20de%20lluvia.pdf>
- Ordóñez, J. J. (2011). *Cartilla técnica: Balance hídrico superficial*. Sociedad Geográfica de Lima : Foro Peruano para el Agua.
- Ordoñez, J. J. (2011). *Ciclo hidrológico* (Z. Novoa, Ed.; Primera). Sociedad Geográfica de Lima.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2000). *Manual de captación y aprovechamiento del agua de lluvia, experiencias en América Latina*. Oficina regional de la FAO para América latina y el Caribe.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2013). *Captación y almacenamiento de agua de lluvia, Opciones técnicas para la agricultura familiar en América Latina y el Caribe*. FAO.
- ORNL DAAC. (2020). *Daymet*. Daily Surface Weather and Climatological Summaries. <https://daymet.ornl.gov/>
- Ospina, O., y Moyano, Y. (2015). Evaluación del aprovechamiento para consumo humano del agua de lluvia en una microcuenca urbana de Ibagué, Tolima, Colombia. *Ingenium*, 9(24), 11. <https://doi.org/10.21774/ing.v9i24.517>
- Pacheco, M. (s. f.). *La Gestión del Agua de lluvia y la Reducción de Riesgos Urbanos*.

- Pacheco Montes, M. (2008). *Avances en la Gestión Integral del Agua de lluvia (GIALL): contribuciones al consumo sostenible del agua, el caso de «Lluviatl» en México*.  
<https://upcommons.upc.edu/handle/2099/7060>
- Palacio Castañeda, N. (2010). Propuesta de un sistema de aprovechamiento de agua de lluvia como alternativa para el ahorro de agua potable, en la Institución educativa María Auxiliadora de caldas, Antioquia. *Gestión y Ambiente*, 13(2), 25-39.
- Palacios Hernández, G. de J., y Vásquez Otero, Y. J. (2014). *Evaluación de los Sistemas de captación de agua de lluvia en el casco urbano de Matagalpa, 2013* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua]. <https://repositorio.unan.edu.ni/6996/>
- Parada-Molina, P., y Cervantes, J. (2017). Captación de agua de lluvia y niebla en la época de secas en la ciudad de Xalapa, Veracruz, México. *Ingeniería del agua*, 21(3), 153-163.  
<https://doi.org/10.4995/ia.2017.5661>
- Pastorelli, G. (2009, junio 12). *New York High Line abre al público*. ArchDaily México.  
<https://www.archdaily.mx/mx/02-20735/new-york-city-high-line-abre-al-publico>
- Paz Rosales, R. A. (2011). *Sistema de captación de agua pluvial dentro de la ESIME Culhuacán* [Tesis de pregrado, Instituto Politécnico Nacional].  
<http://tesis.ipn.mx:8080/xmlui/handle/123456789/12785>
- Pérez Hernández, A., Palacios Vélez, Ó. L., Anaya Garduño, M., y Tovar Salinas, J. L. (2017). Agua de lluvia para consumo humano y uso doméstico en San Miguel Tulancingo, Oaxaca. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 8(6), 1427-1432.
- Picos Benítez, A. R. (2010). *Estudio para la reducción del consumo de agua en la zona universitaria poniente de la UASLP mediante sustitución de muebles sanitarios, captación de agua de lluvia, cambio de jardinería y reutilización de agua tratada* [Tesis

- de maestría, Universidad Autónoma de San Luis Potosí].  
<https://repositorioinstitucional.uaslp.mx/xmlui/handle/i/3728>
- Ramírez Rivera, H., Alcocer Yamanaka, V. H., y Tzatchkov, V. (2012). *Esquema Gerencial de la infraestructura hidráulica del Sistema Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas*. 10.
- Rea Zafra, I. (2013). *Sistema de captación y aprovechamiento de agua pluvial en la unidad territorial Paraje San Juan, Delegación Iztapalapa*. [Tesis de pregrado, Instituto Politécnico Nacional]. <http://tesis.ipn.mx:8080/xmlui/handle/123456789/17047>
- Requejo Salazar, J. M. (2019). *Sistema de Captación de Agua Pluvial en una Vivienda Unifamiliar para Fines Sanitarios y Uso Doméstico en la Ciudad De Jaén – Perú* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Jaén]. <http://repositorio.unj.edu.pe/handle/UNJ/188>
- Ricardo Calzadilla, M. P., Méndez Fernández, M., Bonet Pérez, C., Sierra, L. O., y Cutié, V. (2015). Evaluación de la eficiencia de la captación de agua de lluvia en casas de cultivos. *Revista Ingeniería Agrícola*, 5(4), 3-9.
- Riechmann, J. (1995). *De la economía a la ecología*. Editorial Trotta.
- Rojas León, C. (2016). *La captación de agua de lluvia, como alternativa de abastecimiento, en vivienda popular, Caso de estudio Colonia Plan de Ayala, en Chilpancingo, Gro* [Tesis de maestría, Universidad Autónoma De Guerrero]. <http://ri.uagro.mx/handle/uagro/432>
- Rojas-Valencia, M. N., Gallardo-Bolaños, J. R., y Martínez-Coto, A. (2012). Implementación Y Caracterización De Un Sistema De Captación Y Aprovechamiento De Agua De Lluvia. *Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 15(1), 16-23.
- Rolland, L., y Vega, Y. (2010). La gestión del agua en México. *Polis*, 6(2), 155-188.

RotoplasMx. (2018, junio 25). ¿Cómo funciona un sistema de captación de agua de lluvia?

*Rotoplas MX*. <https://rotoplas.com.mx/como-funciona-un-sistema-de-captacion-de-agua-de-lluvia/>

Ruales Fonseca, C. F., y Toro Escobar, J. L. (2019). *Diseño y construcción de un sistema de captación y acondicionamiento de agua de lluvia, a ser calentada por un colector solar plano con efecto termosifón, para uso doméstico sanitario* [Tesis de pregrado, Escuela Politécnica Nacional]. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/20145>

Ruvalcaba Saucedo, F. B., y Ramírez Quintana, A. I. (2012). Sustentabilidad Hídrica y Sistemas de Captación de Agua de Lluvia en Parques del Municipio de Guadalajara. *Segunda Sección – Sustentabilidad Económica*, 47-55.

Salazar Contreras, L. M. (2017). *Estudio de factibilidad para la implementación de un sistema de manejo y aprovechamiento del agua de lluvia en el campus universitario sede claustro* [Tesis de pregrado, Universidad Católica De Colombia].

<https://repository.ucatolica.edu.co/handle/10983/22936>

Salinas López, J. C. (2015). *Evaluación de un sistema de captación de agua de lluvia en la zona metropolitana de Monterrey, para su aprovechamiento como recurso alternativo* [Tesis de maestría]. Universidad Autónoma de Nuevo León.

Salinas López, J. C., Cavazos González, R. A., y Vera Herrera, J. A. (2016). Evaluación de un sistema de captación de agua de lluvia en la zona metropolitana de Monterrey, para su aprovechamiento como medio alternativo. *Ingeniería*, 20(1), 1-13.

SCT. (2015). *Isoyetas de Intensidad de Lluvia 2015 (mm/hr) Período de Retorno 5 años*.

<https://www.sct.gob.mx/carreteras/direccion-general-de-servicios-tecnicos/isoyetas/chiapas/>

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. (s. f.). *Ollas de Agua, Jagüeyes, Cajas de Agua o Aljibes*. Colegio de Postgraduados.

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (s. f.). *Técnicas de cosecha de agua*. gob.mx.

Recuperado 10 de septiembre de 2020, de

<http://www.gob.mx/agricultura/es/articulos/tecnicas-de-cosecha-de-agua>

Secretaría de Turismo. (s. f.). *Chiapas*.

<http://www.turismochiapas.gob.mx/sectur/media/descargables/omt/acciones>

Siller, D., y Barrera, A. (2011). Sistema de captación de agua de lluvia. *Universidad Veracruzana*, 14-19.

Solís López, M. (2016). *Modelo para impulsar la sustentabilidad en las instituciones de educación superior (IES) caso Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas: Propuesta Integral* [Tesis Doctoral]. Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas.

Solórzano-Villarreal, J. O., Gómez-Núñez, J., y Peñaranda-Osorio, C. V. (2019). Metodología para estimar la relación de consumo y captación de agua de lluvia en un edificio en la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco, México. *Tecnología y ciencias del agua*, 10(6), 178-196. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2019-06-07>

Springall, R. (s. f.). *Hidrología*. Facultad de ingeniería de la UNAM.

Tellman, E. (2019). *Captación de lluvia en la CDMX: Un análisis de las desigualdades espaciales*.

<https://www.oxfamMexico.org/sites/default/files/Captacion%20de%20agua%20en%20la%20CDMX.pdf>

Téllez Quintanar, C., Mocva Kurek, R. K., González Correa, C., y Centeno Álvarez, J. C. (2022). *¿CÓMO HACER UN SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA (SCALL)*

EN MI ESCUELA? Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.

<http://doi.org/10.24850/b-imta-2022-06>

Thornton, M. M., Shrestha, R., Wei, Y., Thornton, P. E., Kao, S.-C., y Wilson, B. E. (2020).

Daymet: Daily Surface Weather Data on a 1-km Grid for North America, Version 4.

ORNL DAAC. <https://doi.org/10.3334/ORNLDAAC/1840>

Tobías Ramírez, S., y Hernández-Pérez, J. G. (2019). El techo escudo como captador pluvial en

Ciudad Juárez, México. *Revista hábitat sustentable*, 9(1), 32-45.

<https://doi.org/10.22320/07190700.2019.09.01.03>

Tolentino Cristóbal, M. Á. (2018). *Propuesta de plan para la captación de agua de lluvia en*

*techumbres de la Ciudad de México y recomendaciones técnicas* [Tesis de pregrado,

Universidad Nacional Autónoma de México]. [https://agua.org.mx/wp-](https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2019/09/Propuesta-de-plan-para-la-captaci%C3%B3n-de-agua-de-lluvia-en-techumbres-de-la-Ciudad-de-M%C3%A9xico-y-recomendaciones-t%C3%A9nicas.pdf)

[content/uploads/2019/09/Propuesta-de-plan-para-la-captaci%C3%B3n-de-agua-de-lluvia-](https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2019/09/Propuesta-de-plan-para-la-captaci%C3%B3n-de-agua-de-lluvia-en-techumbres-de-la-Ciudad-de-M%C3%A9xico-y-recomendaciones-t%C3%A9nicas.pdf)

[en-techumbres-de-la-Ciudad-de-M%C3%A9xico-y-recomendaciones-](https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2019/09/Propuesta-de-plan-para-la-captaci%C3%B3n-de-agua-de-lluvia-en-techumbres-de-la-Ciudad-de-M%C3%A9xico-y-recomendaciones-t%C3%A9nicas.pdf)

[t%C3%A9nicas.pdf](https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2019/09/Propuesta-de-plan-para-la-captaci%C3%B3n-de-agua-de-lluvia-en-techumbres-de-la-Ciudad-de-M%C3%A9xico-y-recomendaciones-t%C3%A9nicas.pdf)

Torres González, P. G. (2023). Caracterización físico-química del agua de lluvia, en la ciudad de

Tuxtla Gutiérrez [Tesis de pregrado, Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas].

[https://repositorio.unicach.mx/bitstream/handle/20.500.12753/4765/Paola%20Torres.pdf?](https://repositorio.unicach.mx/bitstream/handle/20.500.12753/4765/Paola%20Torres.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

[sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.unicach.mx/bitstream/handle/20.500.12753/4765/Paola%20Torres.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Torres Hugues, C. R., y Fresquet Blanco, A. L. (2020). Caracterización de la captación de las

aguas de lluvia para tipologías de viviendas. *Rainwater harvesting characterization for*

*different house types.*, 41(1), 100-114.

Torres, O. L. (2016). *Concepciones sobre Educación para el Desarrollo Sostenible de los*

*docentes de pregrado y posgrado de Administración de Empresas de la Universitaria*

*Agustiniana de Bogotá.* [Tesis de maestría]. Universidad de Manizales.

- Torres-Hugues, R., y Fresquet-Blanco, A. L. (2019). Captación de lluvia para descarga de inodoros en edificio alto en el Vedado, La Habana. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 40(1), 122-135.
- Ulacia, R. (2014). Sistemas de Captación de Agua de Lluvia. *Periódico digital de divulgación de la Red del Agua UNAM*, 1.
- UNESCO. (2006). *Balance hídrico superficial del Perú a nivel multianual*. Programa Hidrológico Internacional (PHI) de la Oficina Regional de Ciencia para América Latina y el Caribe de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO). <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000228136>
- UNICACH. (s. f.). *Deportes*. Recuperado 5 de mayo de 2021, de <https://deportes.unicach.mx%2Findex.php%3Fp%3Dpage%26v%3DMjI%3D>
- UNICACH. (2018). *Curriculum, Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas*. <https://www.unicach.mx/?tag=9accd4fca049d37780248024f4d2f156LTE4OA==>
- Universidad De Ciencias Y Artes De Chiapas: Situación estudiantil, matrículas y graduaciones*. (2020). Data México. <https://datamexico.org/es/profile/institution/universidad-de-ciencias-y-artes-de-chiapas>
- Ureña González, M. A., y Ardila Barreto, P. A. (2018). *Propuesta y evaluación de un sistema de aprovechamiento de agua de lluvia en la universidad distrital francisco José de Caldas, sede Bosa Porvenir, como alternativa para el ahorro de agua potable*. [Tesis de pregrado]. Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Valenzuela, C. (2019). Diseño de un Sistema de Aprovechamiento de Agua de lluvia bajo criterios de Eficiencia Hídrica en Edificios. Caso de estudio: Edificio de Clases y Laboratorio de Hidráulica de la Facultad de Ingeniería, Ciencias Físicas y Matemática de

la Universidad Central. *INGENIO*, 2(2), 25-37.

<https://doi.org/10.29166/ingenio.v2i2.1700>

Villavicencio, Á. (s. f.). *Tuxtla Gutiérrez*. Enciclopedia de los municipios y delegaciones de México, estado de Chiapas. Recuperado 30 de abril de 2021, de

<http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM07chiapas/municipios/07101a.html>

Villón Béjar, M. (2007). *HCANALES* (3.0) [Computer software]. Max Soft.

Villón, M. (2004). *Hidrología*. Instituto Tecnológico de Costa Rica.