

**AGUA LLUVIA COMO OPCIÓN PARA EL AHORRO EN EL CONSUMO DE AGUA
POTABLE EN EL JARDÍN BOTÁNICO DE LA UNIVERSIDAD DEL VALLE – SEDE
MELÉNDEZ**

Christian Alexander Villa López



UNIVERSIDAD DEL VALLE

Facultad de ingeniería

Instituto Cinara

Santiago de Cali

2019

**USO DEL AGUA LLUVIA COMO OPCIÓN PARA EL AHORRO EN EL CONSUMO
DE AGUA POTABLE EN EL JARDÍN BOTÁNICO DE LA UNIVERSIDAD DEL
VALLE – SEDE MELÉNDEZ**

Christian Alexander Villa López

Trabajo de grado

Director:

Luis Darío Sánchez Torres PhD.



UNIVERSIDAD DEL VALLE

Facultad de ingeniería

Instituto Cinara

Santiago de Cali

2019

Contenido

Resumen.....	1
1. Introducción	2
2. Antecedentes.....	3
3. Descripción del problema.....	6
4. Justificación.....	7
5. Objetivos	11
5.1. Objetivo general:.....	11
5.2. Objetivos específicos:.....	11
6. Marco teórico	12
6.1. Ciclo hidrológico	12
6.2. Agua lluvia.....	13
6.3. Elementos de un sistema de captación de agua lluvia.....	13
6.4. Diseño de un sistema de captación de agua lluvia.....	13
6.4.1. Determinación de la precipitación promedio mensual total.....	14
6.4.2. Demanda hídrica	14
6.4.3. Determinación del volumen de almacenamiento.....	14
6.4.4. Determinación de caudal de diseño para red pluvial.....	15
7. Metodología	17
7.1. Estimación de la oferta de agua lluvia a partir de los edificios de Facultad de Ciencias y biblioteca.....	18
7.1.1. Caracterización de edificaciones.....	18
7.1.2. Consulta, recolección, ordenamiento y selección de información.....	18
7.1.3. Estimación de la oferta, la demanda y volumen de almacenamiento	19
7.2. Aprovechamiento del agua lluvia	21
7.2.1. Caracterización de edificaciones.....	21
7.2.2. Consulta, recolección, ordenamiento y selección de información.....	22
7.2.3. Definición de los usos del agua lluvia en el jardín botánico	22
7.3. Propuesta de aprovechamiento del agua lluvia	22
7.3.1. Esquema de diseño de red de conducción y almacenamiento de agua lluvia	22
8. Resultados y discusión	24
8.1. Estimación de la oferta de agua lluvia a partir de los edificios de Facultad de Ciencias y biblioteca.....	24
8.1.1. Caracterización de las edificaciones.....	24

8.1.2.	Información climatológica.....	25
8.1.3.	Estimación de la oferta, la demanda y volumen de almacenamiento	27
8.2.	Usos del agua lluvia.....	34
8.2.1.	Caracterización de los edificios.....	34
8.2.2.	Información del jardín botánico	39
8.2.3.	Definición de los usos del agua lluvia en el jardín botánico	41
8.3.	Propuesta para aprovechamiento del agua lluvia	42
8.3.1.	Esquema de diseño de la red de conducción y almacenamiento de agua lluvia	42
9.	Conclusiones	53
9.1.	Estimación de la oferta de agua lluvia a partir de los edificios de Facultad de Ciencias y biblioteca.....	53
9.2.	Usos para aprovechamiento del agua lluvia	53
9.3.	Propuesta para aprovechamiento del agua lluvia	53
10.	Recomendaciones	54
11.	Referencias.....	55
12.	Anexos	58

Índice de tablas

Tabla 6.1. Valores de C1, X0 y C2	15
Tabla 8.1. Valores de precipitación anual para el periodo 1966-2015.....	25
Tabla 8.2. Valores de precipitación diaria (mm) para el año 1990	26
Tabla 8.3. Datos climatológicos de la estación hidrometeorológica Universidad del Valle para el año 1995	27
Tabla 8.4. Oferta de agua lluvia en los edificios 318 y 320	29
Tabla 8.5. Valores mensuales de evapotranspiración de referencia para el periodo 1995-2009.....	30
Tabla 8.6. Variables estadísticas para evapotranspiración de referencia	30
Tabla 8.7. Escenarios de coeficientes de jardín, densidad y microclima	31
Tabla 8.8. Evapotranspiración (mm/día) en el jardín botánico de la Universidad del Valle sede Meléndez	31
Tabla 8.9. Balance hídrico para el jardín botánico.....	31
Tabla 8.10. Caudales ($\text{m}^3/\text{día}\cdot\text{m}^2$) de demanda hídrica para el jardín botánico de la Universidad del Valle sede Meléndez.....	32
Tabla 8.11. Valores de las principales variables halladas para un mes típico (enero – 1990)	34
Tabla 8.12. Opciones de uso del agua lluvia en el jardín botánico de Meléndez.....	41
Tabla 8.13. Caudales a transportar en periodo de menor precipitación edificio 318 (biblioteca).....	43
Tabla 8.14. Caudales a transportar en periodo de menor precipitación edificio 320 (ciencias).....	44
Tabla 8.15. Caudales de diseño para cada tubo bajante del edificio 318 (biblioteca).....	45
Tabla 8.16. Caudales de diseño para cada tubo bajante del edificio 320 (ciencias).....	45
Tabla 8.17. Variables de diseño de la red de drenaje de agua lluvia para el edificio 318 (biblioteca)	47
Tabla 8.18. Variables de diseño de la red de drenaje de agua lluvia para el edificio 320 (ciencias)	47
Tabla 12.1. Especies subxerofíticas, frutales y medicinales del jardín botánico especializado	64

Índice de figuras

Figura 4.1. Ubicación sede Meléndez de la Universidad del Valle	8
Figura 4.2. Redes de drenaje de aguas lluvias y aguas residuales (edificios 318 y 320)	9
Figura 6.1. Elementos y fenómenos involucrados en el ciclo hidrológico	12
Figura 6.2. Elementos de un sistema de captación de agua lluvia	13
Figura 7.1. Metodología empleada	17
Figura 8.1. Material de cubierta edificio 320 (Facultad de Ciencias)	24
Figura 8.2. Material de cubierta edificio 318 (Biblioteca)	25
Figura 8.3. Valores de volumen de oferta de agua lluvia para el edificio 318	28
Figura 8.4. Valores de volumen de oferta de agua lluvia para el edificio 320	28
Figura 8.5. Oferta de agua lluvia periodo 1990-1992	29
Figura 8.6. Valores de volumen de almacenamiento requerido	33
Figura 8.7. Material de bajantes edificio 320 (Facultad de Ciencias Naturales y exactas)	35
Figura 8.8. Material de bajantes edificio 318 (Biblioteca)	36
Figura 8.9. Ubicación de tubos bajantes en el edificio 318	37
Figura 8.10. Ubicación de tubos bajantes en el edificio 320	38
Figura 8.11. Propuesta de ampliación del jardín botánico	40
Figura 8.12. Volumen de almacenamiento respecto al área a regar (demandas entre 6 m ³ /día y 30 m ³ /día)	42
Figura 8.13. Esquema de red de conducción de agua lluvia	43
Figura 8.14. Red de drenaje pluvial planteado	49
Figura 8.15. Componentes de un sistema de riego presurizado	50
Figura 8.16. Esquema de riego	51
Figura 12.1. Caudal para un área de drenaje de 238 m ²	58
Figura 12.2. Caudal para un área de drenaje de 278 m ²	58
Figura 12.3. Caudal para un área de drenaje de 176 m ²	59
Figura 12.4. Caudal para un área de drenaje de 310 m ²	59
Figura 12.5. Caudal para un área de drenaje de 287 m ²	60
Figura 12.6. Caudal para un área de drenaje de 183 m ²	60
Figura 12.7. Caudal para un área de drenaje de 380 m ²	61
Figura 12.8. Caudal para un área de drenaje de 202 m ²	61
Figura 12.9. Caudal para un área de drenaje de 188 m ²	62
Figura 12.10. Caudal para un área de drenaje de 209 m ²	62
Figura 12.11. Caudal para un área de drenaje de 190 m ²	63
Figura 12.12. Caudal para un área de drenaje de 165 m ²	63
Figura 12.13. Caudal para un área de drenaje de 167 m ²	64

DEDICATORIA

A Dios por permitirme llegar hasta esta instancia en mi vida. A mis padres, Idalba López y Juan Carlos Villa, por su amor, apoyo y enseñanzas a lo largo de la vida. A mi hermano, Juan Camilo Villa L., por su compañía y aliento en los momentos que más lo necesité. A mi familia y amigos por sus consejos y apoyo durante toda mi carrera universitaria. Muchas gracias por estar presentes siempre.

AGRADECIMIENTOS

Al profesor Luis Darío Sánchez PhD, director de trabajo de grado, por acompañarme y guiarme en este proceso.

A la sección de mantenimiento de la Universidad del Valle, por brindarme la información necesaria para realizar este trabajo de grado.

A la Oficina de Planeación y Desarrollo Institucional de la Universidad del Valle, por su orientación y suministro de la información usada en el desarrollo de este proyecto.

Al señor Esaú Sánchez, por su colaboración y disposición.

Al ingeniero Camilo Ocampo, por su gran ayuda y aporte al momento de hallar la demanda hídrica de las especies vegetales del jardín botánico de la sede Meléndez.

Resumen

El agua lluvia es un recurso de gran importancia debido a que tiene numerosas aplicaciones y puede abastecer a comunidades enteras para sustentar la vida. En Colombia se distinguen diferentes ejemplos de uso en lugares como el pacífico colombiano, Puerto Carreño, El Vichada, La Guajira y otras regiones del país. Adicionalmente, se evidencia su empleo en sistemas comerciales e institucionales, mediante sistemas que permiten diferentes usos.

Este estudio se orientó a definir una aplicación de agua lluvia para su aprovechamiento en el jardín botánico de la Universidad del Valle sede Meléndez, estimando la oferta de agua lluvia que puede ser recolectada en los edificios biblioteca y ciencias e identificando los diferentes usos. El estudio, consideró la búsqueda de información existente sobre precipitación, áreas de captación y posibles localizaciones y remodelaciones para su aplicación. También, se revisó el estado de la infraestructura en las edificaciones, para proponer el esquema de diseño. Con este estudio se estimó una oferta de agua lluvia entre 13.1 m^3 y 18.6 m^3 , para un área de cubierta total de 12.686 m^2 para los edificios E19 (biblioteca Mario Carvajal) y E20 (facultad de ciencias naturales y exactas). Con esta cantidad de agua se contempla un uso en riego entre 0.2 – 1 Ha del jardín botánico para 2 horas de riego al día.

Palabras clave: agua lluvia, oferta, demanda, almacenamiento, uso de agua.

1. Introducción

El agua es uno de los recursos naturales más importantes en la tierra, debido a que sustenta la vida de los seres vivos en el planeta. Por su importancia, los seres humanos han estado obligados a buscar este recurso para abastecerse, para lo cual han desarrollado distintos métodos o tecnologías. En países como Alemania, se ha empleado el agua lluvia para el consumo. Estos sistemas son sostenibles, pues requieren pocas intervenciones de mantenimiento y las inversiones realizadas son recuperadas en periodos de tiempo relativamente cortos. En otros continentes y regiones del mundo como Asia, África, Australia y América, también es posible encontrar este tipo de sistemas, debido a que sus características climáticas permiten obtener un beneficio considerable del mismo. El agua lluvia, además de usarse como abastecimiento para comunidades, también tiene potencial uso en labores de limpieza y mantenimiento doméstico e institucional, riego, ganadería, entre otras, representando una alternativa económica accesible para todos.

En Colombia se distinguen distintos ejemplos de uso de sistemas de captación de agua lluvia en sistemas comerciales, como es el caso de del supermercado Alkosto, de las ciudades de Villavicencio y Bogotá. Adicionalmente se pueden encontrar este tipo de sistemas en lugares como el pacífico colombiano, Puerto Carreño, El Vichada, La Guajira y otras regiones del país, siendo el agua lluvia una importante fuente de abastecimiento. También se evidencia el uso de sistemas de captación de agua lluvia en diferentes universidades el país, como la Universidad Nacional en Bogotá, La Universidad Tecnológica de Pereira, La Universidad Autónoma de Occidente y la Universidad Javeriana.

En la Universidad del Valle, este tipo de sistema es relevante porque se presentan altos costos de consumo de agua potable debido a las diferentes actividades diarias, por ello, la implementación de un sistema de agua lluvia puede ser aprovechada debido a las grandes áreas de sus edificaciones. Este tipo de sistema, representa un ahorro para buena parte del consumo y costos. Este trabajo se orientó a establecer una propuesta de diseño para su aprovechamiento en el futuro jardín botánico. Se presentan los resultados de la investigación sobre demanda hídrica para el jardín botánico, además de la oferta de agua lluvia y sus posibles usos para suplir distintas posibles demandas y que actualmente se atienden con el suministro de agua potable brindado por la empresa de servicios públicos de la ciudad, EMCALI.

La metodología de este trabajo, consideró la búsqueda de información existente sobre precipitación, áreas de captación y posibles localizaciones y remodelaciones para su uso. Además, Se revisó el estado de la infraestructura en los edificios, a través de la observación y consulta en la sección de mantenimiento y las dependencias de planeación y desarrollo de la universidad. El documento se encuentra organizado con un apartado de antecedentes, descripción del problema central, la justificación del desarrollo del trabajo, los objetivos, un marco teórico, la metodología seguida para desarrollar la investigación, los resultados encontrados a lo largo del desarrollo del proyecto y por último las conclusiones y recomendaciones.

2. Antecedentes

El ser humano siempre ha buscado abastecerse de agua superficial por medio de almacenamientos naturales, muchos de los cuales se encontraban en valles de ríos donde las civilizaciones se asentaban. En estos asentamientos se desarrollaron las primeras actividades de cultivo, en donde el agua lluvia tuvo sus primeros usos. Cuando estas poblaciones empiezan a crecer, se ven obligadas a ocupar nuevos terrenos que no disponían de agua superficial en cantidad suficiente para su vivir, por lo cual el agua lluvia tuvo una importante ocupación para su uso doméstico y riego de cultivos (Ballén, et al., 2006).

A lo largo de la historia se han construido distintas estructuras que permitieron captar el agua lluvia a diferentes civilizaciones en todo el mundo. Algunas de estas datan desde hace casi 4000 años, como lo es el caso de Israel y Jordania, en donde se adecuaban terrenos con relieves suaves a terrenos más planos con el fin de aumentar el área superficial de captación de agua lluvia y posteriormente esta era conducida a los cultivos. En Roma, cerca de los siglos III y IV A.C., se instalaban tanques de recolección de agua lluvia en zonas a cielo abierto ubicadas dentro de las viviendas. Por otro lado, en Centroamérica, donde se encontraban ubicado el imperio Maya alrededor del siglo X a.C., fueron construidos sistemas de abastecimiento para riego y consumo de la población que consistían en grandes áreas de captación de 100 a 200 m² que recogían el agua lluvia para luego ser almacenada en cisternas de aproximadamente 5m de diámetro, las cuales eran excavadas en el suelo e impermeabilizadas con yeso (Ballén, et al., 2006).

Se han llevado a cabo diversos proyectos en distintas regiones y continentes del mundo, una síntesis se describe a continuación (Ballen, et al, 2006):

África: Aunque las precipitaciones son bajas, existe un número reducido de cubiertas impermeabilizadas y los costos frente a los ingresos familiares son altos, en esta región se adelantaron proyectos de aprovechamiento de agua lluvia en distintos países. El proyecto buscó suplir un porcentaje de la demanda en los hogares utilizando materiales locales.

Asia: Sistemas de abastecimiento por agua lluvia en varios países. En la India, se aprovecha el agua lluvia del Monzón para almacenar el agua que es usada durante el año. En Bangladesh, por medio de la ONG Forum for Drinking Supply & Sanitation se han instalado numerosos sistemas de recolección de agua lluvia que sirven como opción de abastecimiento principalmente en zonas donde las fuentes de agua superficial o subterránea se ven contaminadas por arsénico. En China, sobre la meseta de Loess de Ganzu, se llevó a cabo el proyecto denominado “121”, el cual apoyó económicamente a las familias para la construcción de su propio campo de recolección de agua lluvia, incluyendo riego.

Norteamérica: Sistemas de recolección de agua lluvia en 15 estados a lo largo del territorio estadounidense. De estos, el estado que cuenta con mayor número de sistemas de abastecimiento por agua lluvia es el de Texas, en donde las casas en promedio cuentan con áreas de captación de 200 m² y producen cerca de 150000 litros de agua al año. En esta nación, existen más de 50 compañías que se especializan en el diseño y construcción de sistemas de aprovechamiento de agua lluvia. En Toronto, Canadá. “Healty House” es una edificación autosuficiente, en la cual el

agua lluvia es captada y conducida por medio de un sistema de canales que dirigen el agua hacia un tanque de almacenamiento. El agua almacenada es tratada con cal para reducir la acidez del agua, luego pasa por un filtro de arena fina y carbón activado para posteriormente ser desinfectada con luz UV.

Europa: El sistema de aprovechamiento de agua lluvia en Berlín, Alemania se compone de 19 cubiertas de edificios que recogen el agua lluvia para almacenarla en un tanque subterráneo de 3500 m³, la cual es utilizada para las descargas de inodoros y el riego de zonas verdes.

Oceanía: En 1994, en Australia, se llevó a cabo un estudio y mostraba que el 30.4% de los hogares ubicados en zonas rurales y el 6.5% urbanas utilizaban sistemas de agua lluvia para hacer frente a los costos elevados que representaba el agua potable.

Suramérica: En Brasil, el agua lluvia es aprovechada para el suministro a 5 millones de personas con la construcción de 1 millón de tanques de recolección de agua lluvia.

Otras estadísticas de uso son las presentadas en Tokio – Japón, en donde estos sistemas son usados para mitigar la escasez de agua, controlar inundaciones y asegurar agua para situaciones de emergencia; En Alemania, se incorporan anualmente cerca de 50.000 sistemas de captación de agua lluvia, como parte de su política pública, debido a que el crecimiento urbano supera la oferta de agua (CONAMA, 2010).

América latina cuenta con diversas experiencias de uso de sistemas de captación y aprovechamiento de agua lluvia. Algunas de las más representativas son la de México, en donde, en conjunto con la comunidad indígena Cherán, la ONG Fundación Gonzalo Río Arronte y el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, se instalaron sistemas autogestionados de captación y aprovechamiento del agua lluvia, potabilizando una parte para consumo y generando ingresos para la comunidad a través equipos de lavado y reutilización de recipientes; en Brasil se promovió el programa “un millón de cisternas”, el cual consistió en la construcción masiva de sistemas de captación de agua lluvia y cisternas de almacenamiento, instalando cerca de 600.000 cisternas. Las cisternas contemplaban el abastecimiento de las comunidades que enfrentan sequías extremas en el país, para consumo humano y producción agrícola; En Chile, se instalaron sistemas de captación y aprovechamiento de agua lluvia en viviendas rurales, en donde los agricultores gozaban de estanques con capacidades entre 5 – 20 m³ para sus actividades diarias (PNUD, 2016).

En Colombia, se tienen varias experiencias de uso de sistemas de aprovechamiento de agua lluvia. Debido a que el país cuenta con numerosas fuentes hídricas superficiales, el uso de sistemas alternativos de abastecimiento de agua se evidencia principalmente en zonas donde existen problemas de suministro. Este es el caso de La Bocana - Buenaventura, en donde se tiene casi un 80% de la población abastecida por medio de sistemas de recolección de agua lluvia, con un volumen promedio de agua lluvia recolectada de 250 litros por vivienda (Sánchez y Caicedo, 2003). Por otro lado, la comunidad de Los Lagos en Buenaventura, debido a que no cuentan con suministro de agua potable constante, su principal forma de abastecimiento es el agua lluvia y superficial; esta comunidad logra captar alrededor de 1000 litros por vivienda a la semana para un consumo de 30 l/ persona-día aproximadamente (Arboleda, 2016). Algunos asentamientos de la isla de San Andrés, la vereda de Casuarito en Puerto Carreño, Vichada, también cuentan con

sistemas de captación y recolección de agua lluvia. En Bogotá, se adecuó la infraestructura de un edificio para la captación y almacenamiento del agua lluvia, con el objetivo de suministrar agua para consumo en usos que no requerían la calidad de agua potable, como lavaderos, lavamanos y sanitarios (Reyes y Rubio, 2014). A nivel institucional o comercial se encuentran el almacén Alkosto en Venecia (Bogotá), donde son aprovechados 6000 m² de cubierta para captar cerca de 4820 m³ de agua lluvia al año, satisfaciendo así el 75% de la demanda de agua en esta edificación. El almacén Alkosto de Villavicencio posee un área de captación de 1061 m² que capta el agua lluvia para almacenarla posteriormente en un tanque de 150 m³. En la universidad nacional de Bogotá se cuenta con un sistema de abastecimiento por agua lluvia ubicado en el edificio de postgrados de ciencias humanas; este sistema cuenta con una cubierta protegida con grava que capta el agua lluvia para luego ser almacenada en un tanque subterráneo desde donde se bombea para su uso en distintas labores (Ballén et al., 2006). En la Universidad del Valle, se llevó a cabo un proyecto de investigación que recogió distintos datos de consumo por riego de zonas verdes, descargas de aparatos sanitarios, lavado de fachadas y pisos de las edificaciones, los cuales, serían usos factibles para el aprovechamiento de agua lluvia en el campus de Meléndez de la universidad (Feijoo y Perea, 2014).

3. Descripción del problema

En Colombia, de acuerdo con el IDEAM (2015), cerca del 62% del agua lluvia pasa a ser agua superficial, lo que equivale a 2012 Km³ de agua superficial dulce. Teniendo en cuenta lo anterior y observando los comportamientos de consumo de las poblaciones, es de mucha importancia adaptar nuevas maneras de abastecimiento de agua dulce, ya sea como agua potable para consumo humano, o para las distintas actividades que se realizan diariamente en los distintos sectores productivos. Una clara y relevante opción se enmarca en el uso del agua lluvia para llevar a cabo dichas actividades.

En un estudio sobre consumos y demanda de agua en la sede Meléndez de la Universidad del Valle, realizado por López (2014), muestra que los costos por consumo facturados en el año 2013, ascendieron hasta los \$257'203,245.64 de pesos.

La implementación de sistemas de abastecimiento por agua lluvia puede ayudar en el ahorro de consumo de agua potable suministrada por las distintas empresas a zonas o instituciones que presentan altas demandas del recurso, como puede ser una universidad. El campus universitario de Meléndez, carece de algún tipo de tecnología que le permita abastecer de agua a sus áreas más grandes, como el jardín botánico, adicionalmente no cuenta con reservas de agua suficientes para regar la totalidad de dichas zonas. Debido a que es una zona bastante amplia y que su abastecimiento de agua no requiere de tratamiento de potabilización, se plantea estudiar y analizar cuál es el potencial del uso del agua lluvia en la zona del jardín botánico de la universidad del Valle sede Meléndez, usando como superficie de captación los edificios de la facultad de ciencias y la biblioteca debido al gran área disponible de techos.

4. Justificación

Garantizar el suministro de agua es quizás la necesidad más importante que debe ser solucionada en las distintas poblaciones humanas, ya que con ella se ven resueltas muchas otras necesidades primordiales de las personas. Es por ello que la búsqueda de nuevas tecnologías y métodos de abastecimiento, son investigadas y diseñadas alrededor del mundo, en donde las características socioeconómicas, políticas, ambientales y culturales son diferentes entre cada región, país o continente.

La importancia de la investigación e implementación de sistemas de abastecimiento alternativos a los convencionales (principalmente bocatomas en fuentes superficiales para tratamiento de potabilización), se basa en las condiciones locales del lugar donde se pretende llevar a cabo dicho proyecto. Así, si hablamos de la implementación de un sistema de captación, recolección y almacenamiento de agua lluvia, se debe tener en cuenta principalmente los factores socioeconómicos y ambientales de la comunidad local.

Un sistema de abastecimiento de agua lluvia, es una alternativa que permite de una manera práctica, suplir de agua una comunidad, vivienda o institución y de esta manera representa una disminución en el consumo de agua potable, que es suministrada en muchas ocasiones por empresas prestadoras de servicios públicos, lo que puede ser interpretado como un ahorro bastante significativo en los costos para los usuarios. Hay que tener muy en cuenta que el agua lluvia es un recurso abundante y poco aprovechado en la mayoría de las regiones y localidades del país, lo que representa pérdidas considerables, principalmente para aquellas personas que no poseen acceso a fuentes hídricas cercanas o tienen problemas en el transporte del recurso.

Contexto del proyecto

El lugar estudiado corresponde al jardín botánico de la sede Meléndez de la Universidad del Valle. Esta universidad se localiza en la ciudad de Cali, la cual se encuentra ubicada en los 3°27'26'' latitud norte y 76°31'42'' longitud oeste, a una altitud de 1079.5 m.s.n.m. Posee un área total de 56166.7 hectáreas y su temperatura promedio está cerca a los 24.7°C. La precipitación media anual se encuentra cerca de los 1130,4 mm (Departamento Administrativo de Planeación Municipal, 2016). Teniendo en cuenta sus características, se puede decir que en la zona de estudio es factible implementar sistemas de abastecimiento por agua lluvia.

La Universidad del Valle en la ciudad de Cali posee dos sedes, la sede San Fernando, en donde se encuentran ubicadas las facultades de salud y administración, y la sede principal ubicada en el barrio Meléndez, donde funcionan las facultades de ingeniería, ciencias naturales y exactas, ciencias sociales y económicas, humanidades, artes integradas, además de los institutos de educación y pedagogía, y psicología. La sede Meléndez posee un área de 100 Ha y un total de 52 edificios (ver Figura 4.1). Entre los edificios de mayor extensión, se cuentan 4 principalmente: edificio central, donde funciona la cafetería y el restaurante universitario, la torre de ingenierías, ubicado en la Facultad de Ingenierías, la biblioteca Mario Carvajal y el edificio de la Facultad de Ciencias Naturales y Exactas, ambos ubicados en las proximidades del jardín botánico del campus Meléndez (López, 2014). Particularmente, el edificio de la biblioteca Mario Carvajal y el edificio

de la Facultad de Ciencias Naturales y Exactas, cuentan con un área cubierta de 5237 m² y 7449 m², respectivamente (OPDI, 2015), dejando ver el potencial para la cosecha de agua lluvia con la que cuentan ambos edificios. Adicionalmente, respecto a los caudales de agua lluvia que pueden ofertar ambos edificios en periodos de menor precipitación, se estima un valor de 0,15 L/s y 0,21 L/s para el edificio de la biblioteca y la Facultad de Ciencias, respectivamente.

El campus de Meléndez realiza el drenaje de las aguas lluvias y aguas residuales de manera separada, la Figura 4.2 presenta las redes de drenaje de la zona comprendida por los edificios 318 (biblioteca) y 320 (Facultad de Ciencias).

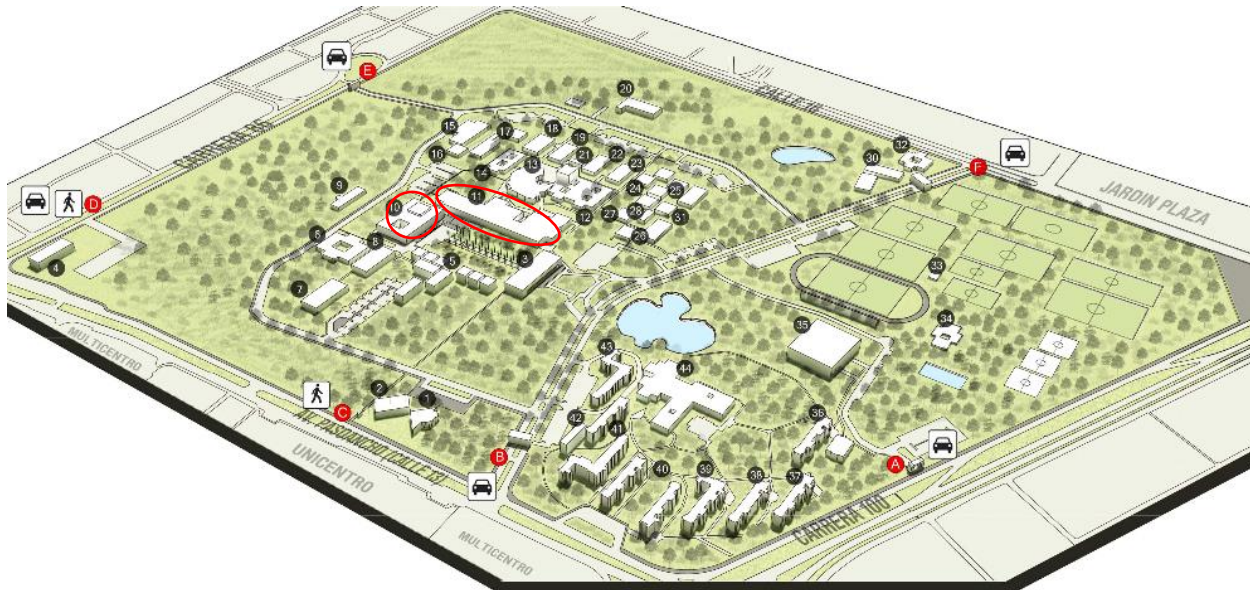


Figura 4.1. Ubicación sede Meléndez de la Universidad del Valle

Nota: se resalta en círculo rojo la ubicación de los edificios 318 (biblioteca) y 320 (Facultad de Ciencias). Fuente: Universidad del Valle (2015)

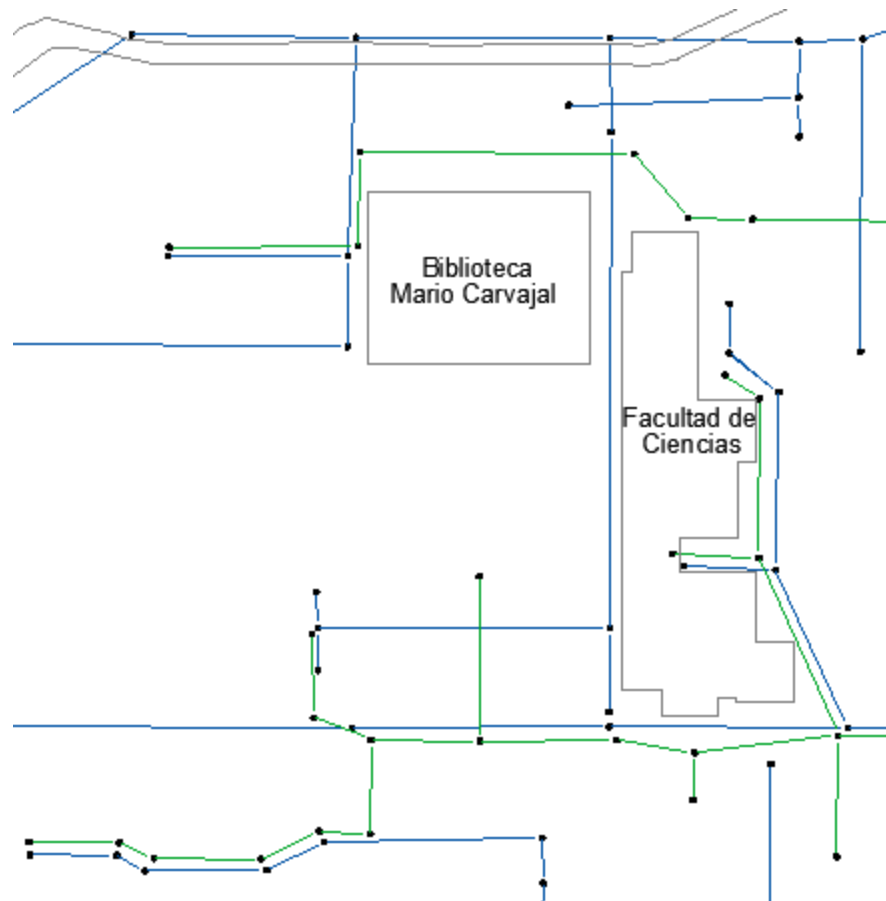


Figura 4.2. Redes de drenaje de aguas lluvias y aguas residuales (edificios 318 y 320)

Nota: en verde la red de desagüe de agua residual y de azul la red de desagüe de agua lluvia. Fuente: OPDI (2017)

La empresa prestadora de servicios públicos de la ciudad de Cali, EMCALI, suministra agua potable a la sede Meléndez constantemente. Esta cubre la demanda total del campus con un volumen de 194,252 m³ al año, según el reporte de consumo facturado por la empresa prestadora para el año 2013 (López, 2014). Considerando los factores mencionados, el presente proyecto puede contribuir a generar una alternativa que facilite la reducción en los consumos de agua del acueducto para suplir distintas necesidades en el campus, como el del jardín botánico, que no necesita de agua potable para el riego de las plantas.

El jardín botánico del campus Meléndez obtuvo su denominación recientemente, pues fue apenas a partir del Acuerdo 004 de marzo 26 de 2010 que se reconoció al campus Universitario sede Meléndez como Jardín Botánico Universitario. Este jardín cuenta con numerosas especies vegetales, principalmente árboles, con cerca de 5000 individuos que se encuentran distribuidos por todo el campus universitario, con una extensión de 80 Ha aproximadamente, conformando una cobertura vegetal importante en la sede Meléndez (OPDI, 2015).

El campus universitario de Meléndez cuenta con dos pozos profundos, un aljibe y las aguas superficiales del río Meléndez como recursos hídricos que pueden ser aprovechados en diversas actividades de limpieza, riego, mantenimiento y abastecimiento en las distintas zonas del campus,

sin embargo, estas fuentes superficiales y subterráneas no son utilizadas en esas actividades. El agua lluvia tiene potencial para múltiples usos en el campus, porque la precipitación promedio mensual es aproximadamente de 113 mm, de acuerdo con los datos registrados de precipitación en la estación Univalle, para los años 1965 - 2016 (IDEAM, 2017).

En la Universidad del Valle sede Meléndez, el agua lluvia no es aprovechada aún, a pesar de que se cuenta con grandes áreas de cubiertas en las edificaciones, lo que la hace factible para su aprovechamiento. Al no requerir de inversiones en área de captación representaría beneficios y oportunidades de investigación y desarrollo para otras zonas del campus.

5. Objetivos

5.1. Objetivo general:

- Evaluar el potencial de uso, en el jardín botánico de la Universidad del Valle – sede Meléndez, del agua lluvia que puede ser cosechada en el campus.

5.2. Objetivos específicos:

1. Estimar la oferta de agua lluvia que puede ser recolectada en los edificios biblioteca y ciencias.
2. Identificar los usos potenciales del agua lluvia en el jardín botánico de la Universidad del Valle.
3. Proponer el aprovechamiento a través de un esquema de diseño con el almacenamiento y distribución del agua lluvia.

6. Marco teórico

6.1. Ciclo hidrológico

De acuerdo con Maderey (2005), es el proceso o mecanismo natural por medio del cual el agua es transportada para el abastecimiento de plantas, animales y el ser humano. El concepto, como su nombre lo indica, involucra un ciclo cerrado, es decir, toda gota de agua desde el momento en que es lluvia debe recorrer dicho ciclo hasta volver a ser lluvia. Este recorrido puede tener distintas vías y parte de la nube como el elemento de origen, a partir de la cual existen distintas formas de precipitación (Maderey, 2005). Está basado en dos fenómenos principalmente: primero, la evaporación producida por la energía proporcionada por el sol; el segundo, ocasionado por la gravedad del planeta, permite que el agua condensada descienda. Este fenómeno es conocido como precipitación. Adicionalmente, el agua precipitada se desplaza sobre el suelo, lo cual se conoce como escurrimiento (Campos, 1998). La siguiente figura ilustra lo mencionado:

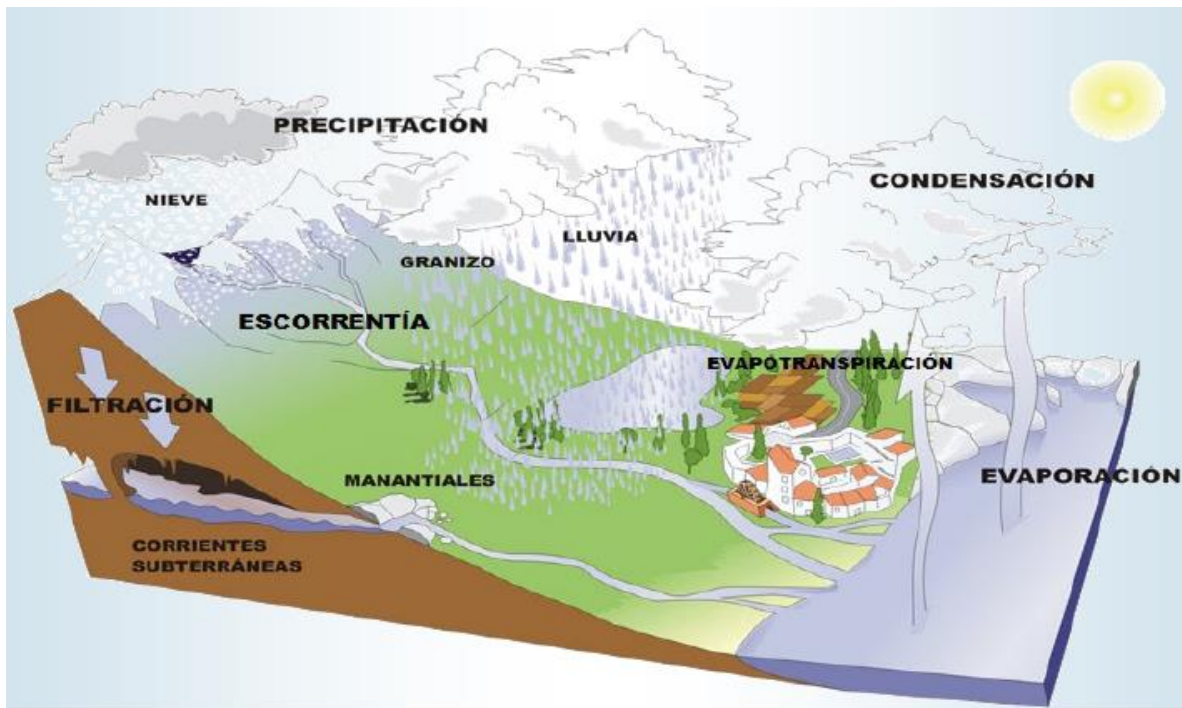


Figura 6.1. Elementos y fenómenos involucrados en el ciclo hidrológico

Fuente: Ordoñez (2011).

6.2. Agua lluvia

De acuerdo con la RAE (2016), se define el agua lluvia como el agua que proviene de las nubes. Mientras que el RAS (2016), explica el mismo concepto como el agua procedente de la precipitación pluvial.

6.3. Elementos de un sistema de captación de agua lluvia

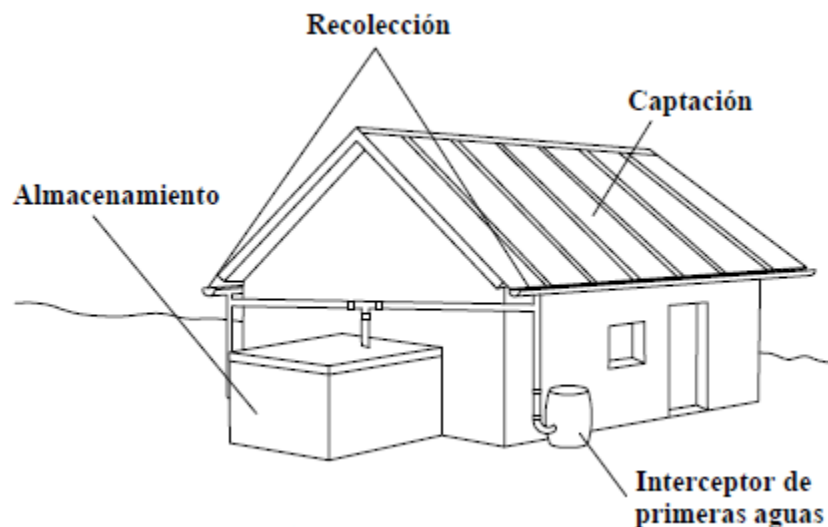


Figura 6.2. Elementos de un sistema de captación de agua lluvia

Fuente: OPS/OMS/CEPIS (2004)

6.4. Diseño de un sistema de captación de agua lluvia

El diseño de un sistema de captación de agua lluvia se basa, según la OPS/OMS/CEPIS (2004), en distintos datos y variables que deben ser recogidas antes de emprender dicho diseño. Estas son:

- La precipitación de la zona, para ello es necesario contar con los datos pluviométricos de por lo menos los últimos 10 años, idealmente con los datos de los últimos 15 años.
- El tipo de material del cual está construida o va a ser construida la superficie de captación.
- El número de personas que van a ser abastecidas por el sistema.
- La demanda de agua, es decir, la cantidad de agua que necesita para una actividad específica.
- El coeficiente de escorrentía, definido como la fracción del agua lluvia total precipitada que genera escorrentía superficial después de que la superficie de captación se ha saturado por completo (Ibáñez et al, 2011). Este depende del material de la superficie de captación.

6.4.1. Determinación de la precipitación promedio mensual total

Se obtiene a partir de los valores de precipitación promedio mensuales obtenidos durante los últimos 15 o 10 años. Este valor puede ser expresado en términos de mm/mes, litros/m²-mes. Puede ser calculado mediante la ecuación 1 (OPS/OMS/CEPIS, 2004):

$$Ppi = \frac{\sum_{i=1}^n Pi}{n} \quad \text{Ecuación 1.}$$

Donde:

n= número de años evaluados.

Pi= valor de precipitación mensual del mes “i” en mm.

Ppi= precipitación promedio mensual del mes “i” de todos los años evaluados en mm/mes.

6.4.2. Demanda hídrica

Representa la cantidad de agua que debe ser suministrada para suplir las necesidades hídricas del jardín. Se calcula siguiendo la ecuación 2 (Rodríguez et al, 2004):

$$ET = ETr * Cj \quad \text{Ecuación 2.}$$

Donde:

ET: evapotranspiración en mm/día

ETr: evapotranspiración de referencia en mm/día

Cj: coeficiente de jardín

6.4.3. Determinación del volumen de almacenamiento

De acuerdo con la OPS/OMS/CEPIS (2004), este volumen puede ser hallado para distintas áreas de captación y de manera mensual, si se tienen en cuenta los promedios mensuales de precipitación de todos los años evaluados, el material de la superficie de captación y el coeficiente de escorrentía de la misma. Sin embargo, el cálculo puede ser realizado para datos diarios de precipitación, por medio de las siguientes ecuaciones:

$$Ai = \frac{Ppi * Ce * Ac}{1000} \quad \text{Ecuación 3.}$$

Donde:

Ppi: precipitación diaria en L/m².

Ce: coeficiente de escurrimiento.

Ac: área de captación en m².

A_i: oferta de agua en el día “i” en m³.

$$V_i = A_i - D_i \quad \text{Ecuación 4.}$$

Donde:

V_i: Volumen de almacenamiento necesario para el día “i”.

A_i: Volumen de agua que se captó en el día “i”.

D_i: Volumen de agua demandado para el día “i”.

6.4.4. Determinación de caudal de diseño para red pluvial

Para calcular esta variable, es necesario conocer los valores del área de captación, intensidad de lluvia y el coeficiente de escurrimiento, el cual varía dependiendo del material de la cubierta que posee la edificación. Debido a que la intensidad de lluvia es un valor que puede variar en cada zona, se calcula usando una ecuación de intensidad, duración y frecuencia de la estación meteorológica que recoge datos de dicha zona. Por ello, se calcula la intensidad de lluvia siguiendo la ecuación IDF de la estación meteorológica de la Universidad del Valle (IDEAM, 2017):

$$I = \frac{C1}{(D+X0)^{C2}} \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde C1, X0 y C2 son coeficientes que varían dependiendo del tiempo de retorno, de acuerdo a lo presentado en la tabla 6.1 (IDEAM, 2017):

Tabla 6.1. Valores de C1, X0 y C2

TR (años)	C1	X0	C2
2	5727.629	45.495	1.061
3	11094.053	57.901	1.148
5	22423.996	71.651	1.242
10	51428.605	88.452	1.351
25	134754.785	108.571	1.477
50	232437.504	120.481	1.544
100	399570.060	132.323	1.612

Fuente: IDEAM (2017)

Por otro lado, la duración (D), representa el tiempo en minutos para un evento de lluvia.

Una vez hallada la intensidad de lluvia, es posible aplicar la siguiente ecuación para conocer el caudal de diseño de la red pluvial (Riccardi, 1997):

$$Q = \frac{C * I * A}{3600}$$

Ecuación 6

Donde:

Q= caudal (L/s)

C= coeficiente de escurrimiento

I= intensidad de lluvia (mm/hr) (equivalencia de unidades de precipitación en mm = L/m²)

A= área de captación (m²)

7. Metodología

Con el fin de ilustrar y facilitar la comprensión de lo realizado en este proyecto, se presenta en la Figura 7.1 los pasos desarrollados en el estudio:

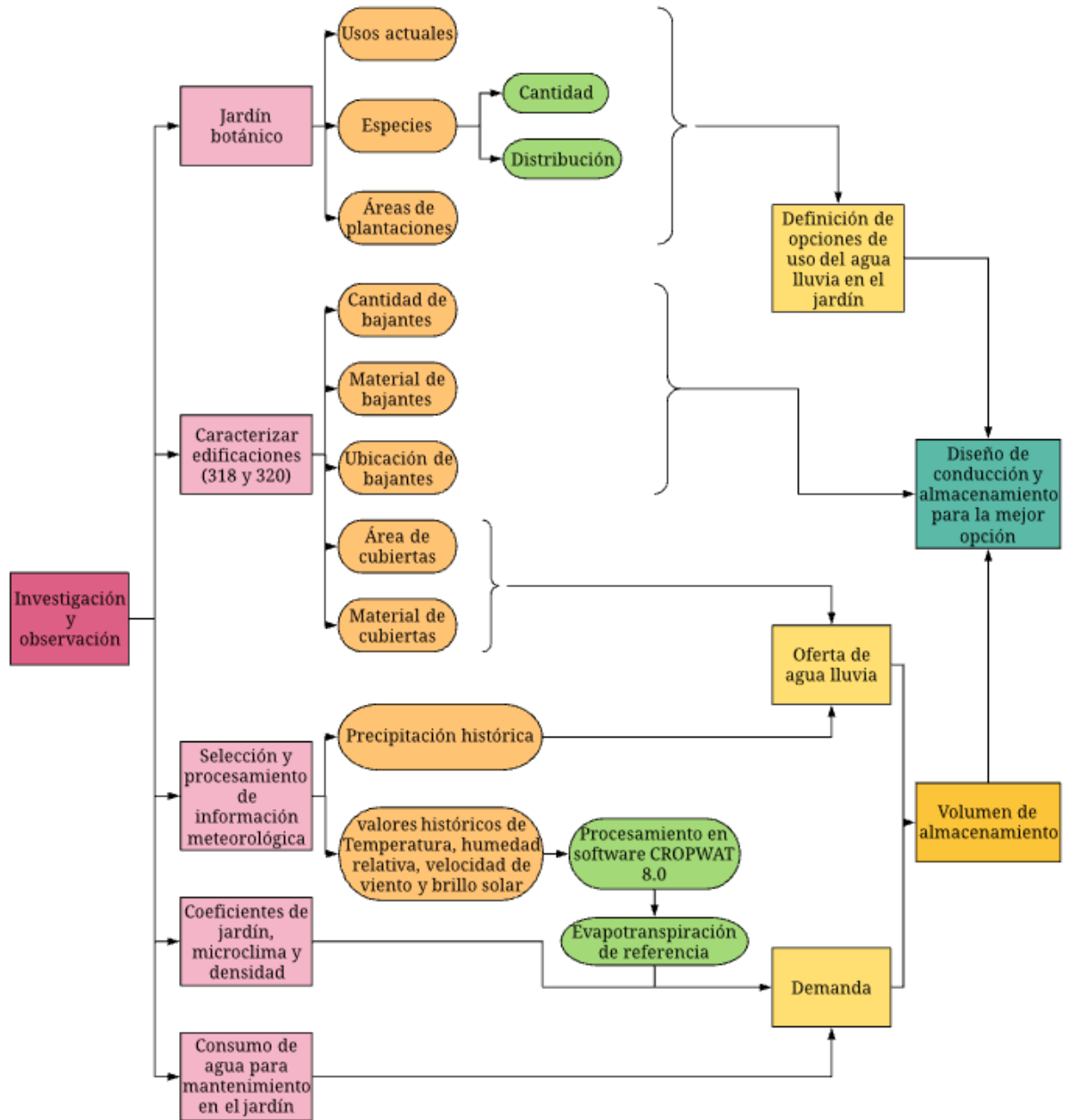


Figura 7.1. Metodología empleada

Fuente: elaboración propia

La metodología del trabajo se ha organizado por cada uno de los objetivos del proyecto tal como se describe a continuación.

7.1. Estimación de la oferta de agua lluvia a partir de los edificios de Facultad de Ciencias y biblioteca

7.1.1. Caracterización de edificaciones

Para la realización de este proyecto, se definieron a los edificios de la biblioteca y Facultad de Ciencias Naturales y Exactas como objeto de estudio, con el fin de evaluar sus condiciones actuales y conocer la oferta de agua lluvia que puede ser captada por medio de sus cubiertas. Los principales criterios de selección que determinaron estos edificios como los apropiados, fueron sus áreas de cubierta, siendo de las más extensas en el campus universitario de Meléndez, y su cercanía al jardín botánico del campus respecto a otras edificaciones. Estos edificios cuentan con gran potencial de captación de agua lluvia, en la perspectiva del suministro al jardín botánico de la sede Meléndez de la Universidad del Valle. Se realizó un diagnóstico y análisis de las condiciones físicas e infraestructura de estos edificios, para así conocer el área de captación con la que cuentan y el material de esta. Estos datos fueron obtenidos mediante visitas a los edificios mencionados, en las cuales, a través de la observación, fue posible recolectar la información necesaria. También se realizaron consultas en la Dirección de Infraestructura universitaria (DIU) y la sección de mantenimiento de la Universidad.

7.1.2. Consulta, recolección, ordenamiento y selección de información

Fue indispensable obtener información del historial de precipitaciones diarias e información climatológica en la sede Meléndez. Mediante la consulta de esta información en el IDEAM, se logró obtener los datos de precipitación diaria de 50 años seguidos, transcurridos entre el 1966 y el 2015, último año que cuenta con datos. Mientras que, para los datos climatológicos, específicamente temperatura mínima, temperatura máxima, humedad relativa, velocidad del viento y brillo solar, se tuvo variedad en cuanto al historial obtenido por medio del IDEAM, pues estos variaban en el periodo de inicio y fin de los registros, por lo que se definió un periodo de tiempo para posteriormente organizar la información y obtener una base de datos temporalmente similar, para su correcto análisis y uso en el desarrollo del proyecto. Dicho periodo transcurre entre los años 1995 y 2009, para un total de 15 años de registro, el cual corresponde al número mínimo de años de registro recomendado de acuerdo con la OPS/OMS/CEPIS (2004).

Posteriormente, se obtuvieron las precipitaciones diarias históricas de los 3 años consecutivos de menor precipitación durante los años consultados. El periodo de 3 años consecutivos fue definido en base a que presentaban la mayor cantidad de datos completos, registrados en la estación meteorológica de la Universidad del Valle, y su precipitación anual fue la menor en contraste con otros periodos. Los datos de precipitación permitieron conocer información relevante para el

desarrollo del proyecto, como la oferta de agua lluvia existente en la sede Meléndez y el cálculo del volumen de almacenamiento necesario para suplir la demanda de agua en los usos definidos para el jardín botánico de la sede. Igualmente, a través de la información climatológica obtenida, fue posible determinar la demanda aproximada de agua que requieren las especies vegetales del jardín botánico para su mantenimiento.

7.1.3. Estimación de la oferta, la demanda y volumen de almacenamiento

7.1.3.1. Oferta de agua lluvia

Se calculó haciendo uso de la información consultada sobre precipitación diaria, por un periodo de 3 años consecutivos. Este periodo, como se mencionó con anterioridad, corresponde a los 3 años de menor precipitación del historial de precipitación obtenido. También fue necesaria la información obtenida de las áreas de las cubiertas de los edificios de biblioteca y ciencias, además de los valores de coeficiente que poseen los materiales de estas. Debido a que el material de ambas cubiertas es loza de concreto, se definió un mismo valor de coeficiente de escurrimiento para el cálculo de la oferta de agua lluvia en ambos edificios. Siguiendo la ecuación 3, se obtuvo la oferta de agua lluvia a través del producto entre el área (m^2) de cubierta del edificio, el valor de precipitación diaria (mm), al cual se le realizó la conversión de unidades de mm a l/m^2 con el fin de que correspondiera con las dimensiones de las demás variables, y el coeficiente de escurrimiento del material de la cubierta del edificio. El valor obtenido mediante este procedimiento se convirtió a unidades de volumen de m^3 con el fin de acotar la dimensión de los resultados de los cálculos a números con menos dígitos y facilitar su uso en posteriores procedimientos. Este método fue aplicado para el cálculo de la oferta de agua lluvia en cada edificio (biblioteca y ciencias). Cabe resaltar que al igual que los valores de precipitación, los valores de oferta de agua lluvia fueron diarios, acordes al periodo de menor precipitación. Estos resultados fueron ordenados en una tabla con el fin de facilitar su lectura y uso en procedimientos posteriores.

7.1.3.2. Demanda

Esta estimación se realizó para las actividades desarrolladas en el jardín botánico y los consumos hídricos de las especies vegetales del mismo, pues a partir de estos valores fue posible definir los usos del agua lluvia en el jardín botánico.

La demanda hídrica de las actividades de mantenimiento se obtuvo por medio de la consulta de consumo de agua usualmente requerido para cumplir con dichas actividades, en la dependencia de la sección de mantenimiento del campus, con personal que normalmente realiza las labores de mantenimiento en el jardín botánico.

Para estimar la demanda hídrica de las especies vegetales presentes en el jardín botánico, se usó la información climatológica obtenida del IDEAM, específicamente temperatura mínima,

temperatura máxima, humedad relativa, velocidad del viento y brillo solar. Los datos recolectados fueron organizados para un mismo periodo, 1995 – 2009. Esta información posee gran relevancia debido a que es útil para hallar la evapotranspiración de referencia mensual del campus universitario para cada uno de los años del periodo definido, a través del uso del software CROPWAT 8.0, el cual representa mayor utilidad en el ámbito agrícola. Este software, además de la información climatológica expuesta, usó como datos de entrada la localización del campus en términos de longitud y latitud, la altura al nivel del mar y el nombre de la estación hidrometeorológica con la cual se obtuvieron los datos climatológicos. Estos datos fueron organizados en una matriz de 12 filas x 5 columnas, correspondientes a los meses de cada año del periodo definido y los 5 tipos de datos climatológicos obtenidos, con el fin de generar los valores de evapotranspiración de referencia mensuales al ingresarlos al software. Posteriormente, la información obtenida por medio de CROPWAT 8.0, se organizó en una matriz de 15 filas x 12 columnas, debido a los años del periodo de tiempo definido y los meses de cada año; así, se obtuvieron los valores de evapotranspiración de referencia mensual para cada uno de los años del periodo. Para el cálculo de la evapotranspiración de referencia, CROPWAT 8.0 implementa el método de FAO Penman-Monteith, propuesto por Smith (1993), el cual utiliza información mensual registrada en la estación climatológica (viento, humedad atmosférica, temperatura y radiación solar) para procesarla y arrojar los valores de evapotranspiración de referencia de la zona estudiada (FAO, 2006).

Una vez obtenidos los valores de cada mes a lo largo del periodo, estos fueron promediados para obtener un valor representativo de cada mes para todo el periodo. Adicionalmente, para el mismo grupo de datos se halló la desviación estándar y el coeficiente de variación, con el fin de saber si el valor de evapotranspiración de referencia representativo para cada mes podría ser usado en el cálculo de la demanda hídrica de las especies vegetales en el jardín botánico, y así minimizar el error.

La demanda hídrica de las especies vegetales fue hallada por medio de la ecuación de evapotranspiración (ET) (Rodríguez et al, 2004), la cual calcula la evapotranspiración de un sector, en este caso el jardín botánico, haciendo uso de distintas variables: la evapotranspiración de referencia obtenida por medio de CROPWAT 8.0 y los coeficientes de densidad de vegetación, de microclima y de jardín de la zona. Dependiendo de las características del jardín botánico, los coeficientes de densidad y microclima fueron definidos para un valor específico, sin embargo, el coeficiente de jardín fue una variable compleja de determinar debido a que en el jardín existen numerosas especies vegetales, adicionalmente, los datos de los que se tienen registro en la literatura arrojan valores para este coeficiente específicos para cada tipo de cultivo y no para cada especie vegetal, por lo cual se realizó el cálculo de la evapotranspiración del jardín botánico asumiendo o generando distintos escenarios, variando el valor de este último coeficiente. De esta manera, se obtuvieron los valores de evapotranspiración para cada mes y cada escenario planteado. Se revisaron 6 escenarios para un período de 12 meses, los datos hallados se organizaron en una matriz de 6 filas y 12 columnas.

Posteriormente, por medio de la matriz generada con los valores de evapotranspiración, se creó una matriz de dimensiones iguales, en la cual, los valores consignados fueron utilizados para

conocer el caudal que representa la demanda hídrica mensual para cada uno de los escenarios, a través de una conversión de unidades.

7.1.3.3. Volumen de almacenamiento

Conociendo la oferta de agua lluvia diaria y la cantidad de agua requerida para las actividades que se llevan a cabo en el jardín botánico, se calculó el volumen de almacenamiento precisado para suplir dichas demandas, haciendo uso de la ecuación 4. Para ello se definió la demanda hídrica para las especies del jardín botánico, sobre la base de 6 escenarios, los cuales variaron dependiendo del coeficiente de jardín para cada escenario. Este proceso se realizó mediante el análisis de los valores obtenidos de demanda hídrica por escenario, para luego comparar los grupos de valores y determinar el valor de demanda definitivo. El valor obtenido fue usado en el cálculo del volumen de almacenamiento diario.

Obtenido el volumen de almacenamiento diario requerido y las áreas de los dos edificios (ciencias y biblioteca), se procedió a sumar los valores positivos del volumen de almacenamiento diario obtenido para el periodo de los 3 años de menor precipitación del historial. El resultado de dicha sumatoria arrojó el valor del volumen de almacenamiento definitivo para suplir las demandas de las actividades definidas.

7.2. Aprovechamiento del agua lluvia

7.2.1. Caracterización de edificaciones

Partiendo de que los principales criterios de selección que determinaron a los edificios de biblioteca y ciencias como los apropiados, fueron sus áreas de cubierta, por ser de las más extensas en el campus de Meléndez, y su cercanía al jardín botánico respecto a otras edificaciones, se evaluaron las condiciones físicas e infraestructura de estos edificios, para así conocer el número de bajantes que poseen y sus características, además de los lugares de la estructura en donde se encuentran ubicados, y de esta manera identificar potencialidades para adaptar un sistema de recolección de agua lluvia. Es importante resaltar que se deben conocer los posibles cambios que puedan presentar los edificios, en cuanto a su estructura de captación y conducción de agua lluvia y los nuevos espacios o terrenos que puedan ser destinados a ampliar el jardín botánico de la sede Meléndez, con el objetivo de adaptar el estudio a periodos futuros. Estos datos fueron obtenidos por medio de visitas a los edificios mencionados, en las cuales, mediante la observación, fue posible recolectar la información necesaria. También se realizaron consultas en las distintas dependencias de la sede que brindan este tipo de información, como la Dirección de Infraestructura universitaria (DIU) y la sección de mantenimiento de la Universidad.

7.2.2. Consulta, recolección, ordenamiento y selección de información

Se revisó la información referente a proyectos realizados o planeados en el sector del jardín botánico, para de esta manera obtener datos relevantes como el área de plantaciones, las especies, su distribución en el campus, además de los usos que el agua tiene dentro del jardín botánico, con el objetivo de conocer cuáles pueden ser los consumos de agua y de esta manera definir los posibles usos que el agua lluvia podrá tener en este sector. Esta información se obtuvo indagando en las dependencias de administración de recursos, específicamente en la Dirección de Infraestructura Universitaria y en la sección de mantenimiento de la universidad.

Los datos consultados se ordenaron para facilitar la labor de selección de la información más relevante para el estudio y de esta manera proceder a analizar dicha información para el desarrollo del objetivo planteado.

7.2.3. Definición de los usos del agua lluvia en el jardín botánico

Se plantearon varias opciones de riego con sus demandas y áreas de irrigación, las cuales contemplaban el consumo de agua para mantenimiento del jardín. La selección de las áreas de irrigación se realizó a partir de la base de la demanda de agua y las dimensiones del tanque de almacenamiento de agua lluvia para 1 Ha de jardín botánico; a partir de esta base, se incluyeron otros posibles escenarios de riego, con demandas de agua y volúmenes de almacenamiento distintos, para posteriormente, analizar cuáles pueden ser suplidos por el sistema de captación de agua lluvia en su totalidad y si el sitio donde se propone instalar el tanque de almacenamiento posee el espacio suficiente para albergarlo. Se tuvieron como criterios para la definición de los usos, aquellas actividades que presentan los mayores consumos dentro del jardín botánico.

7.3. Propuesta de aprovechamiento del agua lluvia

7.3.1. Esquema de diseño de red de conducción y almacenamiento de agua lluvia

Para desarrollar esta propuesta se obtuvieron los caudales que serán conducidos desde los bajantes en las cubiertas de los edificios de ciencias y biblioteca, hasta las tuberías de la red de drenaje y por último al tanque de almacenamiento de agua lluvia. Para ello, fue necesario hacer uso de la ecuación 6, la cual tiene en cuenta variables como el coeficiente de escorrentía, la intensidad de lluvia, la cual fue calculada mediante la ecuación 5, y el área de captación del agua lluvia. El valor de esta última variable, al tratarse de cubiertas con numerosos bajantes que drenan el agua lluvia, se dividió para cada tubo bajante, es decir, el área total de las cubiertas de ambos edificios fue repartida entre los bajantes existentes en las mismas, dependiendo de la porción de cubierta que capta y drena el agua lluvia hacia cada bajante. En cuanto a la intensidad, se obtuvo mediante el uso de la curva IDF de la estación meteorológica del IDEAM ubicada en la Universidad del Valle.

Conociendo el caudal que recoge cada bajante, se procedió a calcular y diseñar la red de conducción del agua lluvia desde cada bajante hasta el tanque de almacenamiento. Para ello, se organizaron en una tabla los valores de caudal, longitud, diámetro, pendiente, velocidad, fuerza tractiva y la caída para cada tramo, de ambos edificios. Las variables como: diámetro, pendiente, velocidad y fuerza tractiva fueron calculadas por medio del método de relaciones hidráulicas consultadas en la literatura, respetando las recomendaciones planteadas en el reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico - RAS (2017).

Por otro lado, el sistema de riego se seleccionó teniendo en cuenta que el agua lluvia almacenada en el tanque debería ser bombeada, ya que el tanque estará enterrado, y consultando las características y ventajas de los sistemas de riego, evaluando cual o cuales de ellos podrían ajustarse mejor al riego del área de irrigación definida y las especies a regar en esta área.

Cabe indicar que esta propuesta busca replantear la red de drenaje de agua lluvia de los edificios de ciencias y biblioteca existente en el campus universitario de Meléndez para el aprovechamiento de la misma.

8. Resultados y discusión

8.1. Estimación de la oferta de agua lluvia a partir de los edificios de Facultad de Ciencias y biblioteca

8.1.1. Caracterización de las edificaciones

De acuerdo con las entrevistas realizadas en la Dirección de Infraestructura Universitaria y en la oficina de mantenimiento, el edificio 318, que corresponde a la biblioteca Mario Carvajal, posee un área de cubierta de aproximadamente 5237 m². El material de esta cubierta es predominantemente teja de asbesto cemento, el cual según Greenpeace y MASP (2017), es un mineral comúnmente usado en la elaboración de vestimenta, la construcción, en caucho y algunos electrodomésticos, debido a sus características de resistencia que permite aislar el calor y el ruido; sin embargo, es un material bastante peligroso para la salud humana primordialmente por su relación con la generación de cáncer de pulmón, laringe, ovario y mesotelioma.

El edificio 320, en el que se encuentra la Facultad de Ciencias Naturales y Exactas del campus Meléndez, cuenta con un área de cubierta cercana a los 7449 m², de acuerdo con información suministrada mediante entrevistas; esta superficie fue construida en concreto, sin embargo, posee canales que permiten que el agua lluvia sea conducida y drenada hacia los tubos bajantes. En las figuras 8.1 y 8.2 se presentan los materiales de ambas cubiertas.



Figura 8.1. Material de cubierta edificio 320 (Facultad de Ciencias)

Fuente: elaboración propia



Figura 8.2. Material de cubierta edificio 318 (Biblioteca)

8.1.2. Información climatológica

Mediante la consulta en el IDEAM (2017), fue posible obtener la información climatológica e hidrológica requerida para desarrollar el proyecto. Los datos de precipitación diaria proporcionados corresponden al periodo 1966-2015, para el cual fue necesario verificar los 3 años de menor precipitación consecutivos. Este período corresponde al presentado entre los años 1990 y 1992. En la tabla 8.1 se presentan los datos de precipitación para cada uno de los años del historial obtenido del IDEAM (2017):

Tabla 8.1. Valores de precipitación anual para el periodo 1966-2015

Año	Precipitación anual (mm)	Año	Precipitación anual (mm)	Año	Precipitación anual (mm)	Año	Precipitación anual (mm)	Año	Precipitación anual (mm)
1966	1477	1976	1261	1986	1693	1996	1176	2006	1358
1967	1481	1977	1179	1987	1441	1997	1456	2007	1586
1968	1382	1978	1451	1988	1487	1998	1432	2008	1945
1969	1408	1979	1436	1989	1381	1999	1887	2009	1233
1970	1503	1980	1098	1990	1284	2000	1501	2010	1886
1971	1748	1981	1323	1991	1108	2001	1054	2011	2113
1972	1426	1982	1767	1992	1023	2002	1375	2012	1288
1973	1602	1983	1302	1993	1728	2003	1223	2013	1443
1974	1365	1984	2031	1994	1785	2004	1241	2014	1266
1975	1990	1985	1261	1995	1459	2005	1466	2015	1014

Nota: los valores resaltados corresponden al periodo de menor precipitación y sus respectivos valores de precipitación anual. Fuente: elaboración propia

Se define el periodo 1990-1992 como el de menor precipitación del historial obtenido, debido a sus bajos valores de precipitación anual registrados, además de que cuenta con mayor cantidad de

datos de precipitación completos en comparación de otros periodos. Adicionalmente, posee el menor valor de precipitación promedio si se contrasta con los valores de otros periodos.

Es necesario resaltar que los datos de precipitación anual pueden no ser exactos debido a que las mediciones registradas en la estación hidrometeorológica de la Universidad del Valle presentaban valores incompletos o dudosos para varios días en distintos años del historial, de acuerdo con lo señalado por el IDEAM (2017).

Posteriormente, para cada uno de los años del periodo de menor precipitación del historial, se organizó la información de precipitación diaria, lo que permitió realizar los cálculos de oferta de agua lluvia y volumen de almacenamiento, en los cuales fue crucial esta información. Los valores fueron ordenados de la manera en la que se presenta en la tabla 8.2:

Tabla 8.2. Valores de precipitación diaria (mm) para el año 1990

AÑO	DÍA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1990	1	11.1	0	0	25	0.4	0	0	0	0	1.5	0	0
	2	2.3	0	0	0	0.2	0	0.2	0	0	3.5	0	11.6
	3	0	0	0	0	0	0	0.7	0	0	2.9	0	5.9
	4	6.3	48	0.2	0	2.2	0	1	0	0	3.4	0	50.6
	5	0.8	22.5	0	0	7.5	0	0.1	0	0	3.2	0.7	4.6
	6	6.2	0	0	0	0	0	0	0	0	11	0	0
	7	3	0	0	0	2.8	0	1.4	0	0	26	0.2	6.1
	8	0	7.6	0	0	0	0	0	0	4.6	17.1	0.1	5.9
	9	0	0.8	0	0	0	0	6.8	0	5.8	36.6	0	0
	10	0.6	0.6	0	0.1	0	20.5	1.3	0	6	3.4	0	0
	11	18.9	0.9	0.8	0	0	8.3	0.4	0	0.2	20.5	0	0
	12	1.7	0.1	0	6.8	0	0.3	5.2	0	0	0	0	0
	13	0	0	0.2	0.5	9	0.6	4.9	0	0	3.3	0	0
	14	0	0.5	0.3	21.3	0.2	1.1	0	0	0	3	2.7	0
	15	0	6.3	0	16.3	0	24	10.7	0	0	1.7	3.1	0
	16	0	0	0	2.8	0	0	0.5	0	0	2.9	6	0
	17	0	0.2	37.2	3.9	0	0	0.5	0	0	20.5	9.5	0
	18	0	31.5	2.9	0	0	0	0	0	2.1	0	0	0
	19	0	3	0	6.5	0	0	0	0	1.9	1.9	0	0
	20	0	0	0.9	2.6	0	0	0	0	0	8.3	53.3	0
	21	15.6	0	0.6	0.8	0	0	0	0	0.7	8.7	28.7	0
	22	0	8.6	0.1	14.2	7.9	0	0	0	0.3	21.5	0	0
	23	0	0	3.2	0.7	0	0	0	0	3.1	1.1	15.5	53.3
	24	0	0	0.6	0.3	0.1	0	0	0	0	2.3	1.7	29.1
	25	0	82	33.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	26	0	29.3	53	16.6	0	0	0	0	0	0	0	9.6
	27	0	0	0	5.7	0	0	0	6.9	0	0.2	2.7	0
	28	0	9.7	0	2.3	0	0	0	3.1	0	0.5	0	1.8
	29	1.8	0	0	0	0	0	0	1	0	15.1	0	1.7
	30	0	0	0	22.4	0	0	0	0	1.9	15	0	0
	31	0	0	21.2	0	0	0	0	0	0	0	0	38.4

Fuente: elaboración propia

El otro tipo de información climatológica consultada, corresponde a la temperatura mínima, temperatura máxima, humedad relativa, velocidad del viento y brillo solar, registrada en la misma estación hidrometeorológica de la Universidad del Valle. Fue ordenada para el periodo 1995-2009 debido a que muchas de las variables tenían registros de datos para distintos años respecto a las demás variables, por lo cual no se tuvo la misma cantidad de años de registro. Sin embargo, para el periodo definido todas las variables registraban datos en esta estación. De esta manera se logró crear un registro histórico de 15 años para la información climatológica de la estación. Los valores obtenidos fueron mensuales para cada variable durante cada uno de los años del periodo. En la tabla 8.3 se presentan los datos climatológicos, suministrados por el IDEAM (2017):

Tabla 8.3. Datos climatológicos de la estación hidrometeorológica Universidad del Valle para el año 1995

AÑO	MES	Temp Min. °C	Temp Máx. °C	Hum. Rel. %	Vel. Viento Km/día	Brillo Solar Hr/día
1995	Enero	18.6	29.5	74.1	53.7	6.2
	Febrero	19.1	28.8	76.2	63.6	3.9
	Marzo	19	29.2	76.9	53.6	4.1
	Abril	19.2	28.6	81.2	54.6	3.4
	Mayo	18.8	29	81.6	52.2	4
	Junio	18.5	29.8	72.8	52.8	5.2
	Julio	17.4	29.7	68.5	55.7	5.9
	Agosto	17.3	31.5	57.6	57	5.5
	Septiembre	18.2	31.5	72.7	55.4	6
	Octubre	18.7	28.5	76.9	49.2	3.7
	Noviembre	22.9	31.2	90.8	119.9	5.7
	Diciembre	18.7	29.5	80.6	47.2	5

Fuente: elaboración propia

8.1.3. Estimación de la oferta, la demanda y volumen de almacenamiento

8.1.3.1. Oferta de agua lluvia

A partir de la información pluviométrica para los 3 años de menor precipitación, fue posible calcular la oferta de agua lluvia para cada día usando además los valores del área de cubierta de los edificios objeto de estudio, 318 (biblioteca) y 320 (ciencias naturales y exactas), y el valor del coeficiente de escorrentía o escurrimiento que poseen ambas cubiertas. El valor de este coeficiente varía dependiendo del material de la cubierta, debido a que las cubiertas de ambos edificios son del mismo material, se usó un mismo valor en el cálculo de la oferta de agua lluvia para los dos edificios. El valor de coeficiente de escorrentía para cubierta con asfalto es de 0.8 (basado en Masis y Vargas, 2014).

En las figuras 8.3 y 8.4, se presenta la oferta estimada en volumen para cada edificio. En la figura 8.5 se presenta la oferta calculada para los dos edificios para el periodo de análisis de 1990-1992, tomando como área de captación la suma de las áreas de cubierta de ambos edificios:

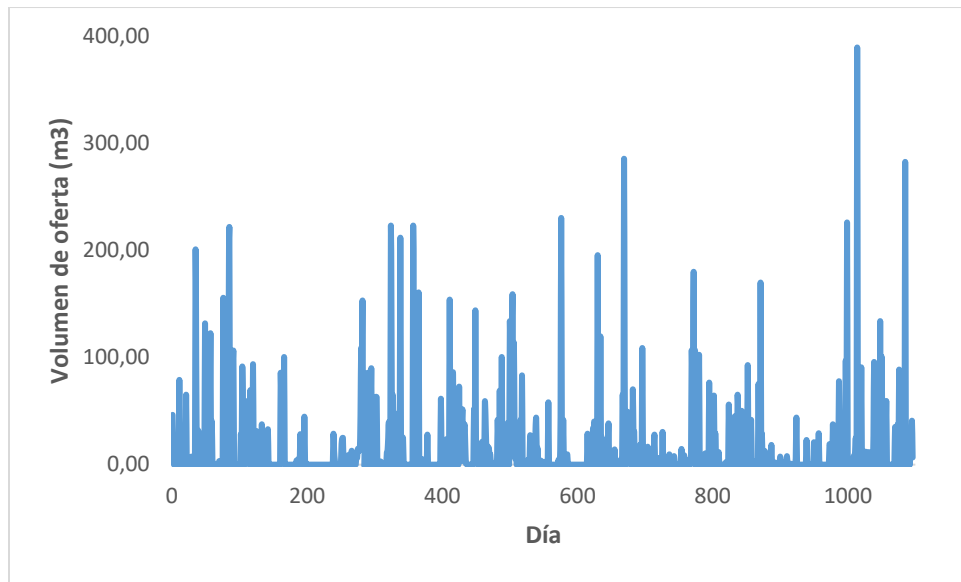


Figura 8.3. Valores de volumen de oferta de agua lluvia para el edificio 318

Fuente: elaboración propia

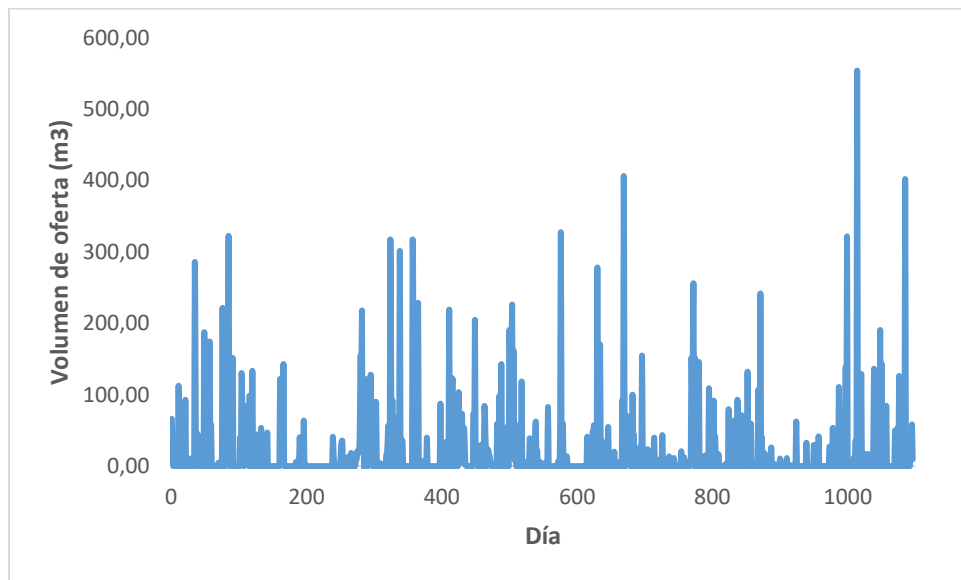


Figura 8.4. Valores de volumen de oferta de agua lluvia para el edificio 320

Fuente: elaboración propia

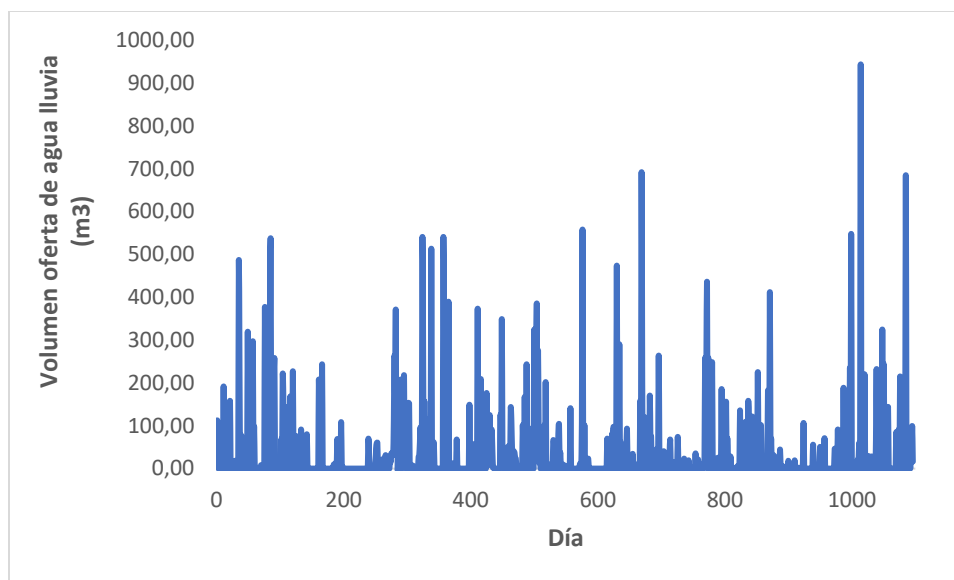


Figura 8.5. Oferta de agua lluvia periodo 1990-1992

Fuente: elaboración propia

La Figura 8.5 muestra la variabilidad que presentaron los valores de volumen de oferta de agua lluvia, ligada a la precipitación ocurrida a lo largo del periodo evaluado. Se evidencia un valor pico de volumen de oferta de agua lluvia cercano a los 900 m³, presentado casi al final del periodo. El valor promedio de volumen de oferta de agua lluvia fue cercano a 32 m³.

En la tabla 8.4 se evidencia la información respectiva a la oferta de agua lluvia obtenida para ambos edificios:

Tabla 8.4. Oferta de agua lluvia en los edificios 318 y 320

Edificio	Área (m ²)	Coefficiente de escurrimiento	Oferta de agua lluvia (m ³)*
318	5237	0.8	13.1
320	7449	0.8	18.6

**la estimación de la oferta se realizó a partir de los datos de precipitación diaria para los tres años de menor precipitación. En el ítem 8.1.3.3 se calcula el volumen de almacenamiento. Fuente: elaboración propia*

Los valores de oferta de agua lluvia presentados, corresponden al promedio de los productos entre cada área de captación con la precipitación diaria del periodo definido y el coeficiente de escurrimiento. En la tabla 8.10, expuesta en la sección de volumen de almacenamiento, se presenta la manera en que los valores fueron ordenados para el primer mes del periodo de menor precipitación, teniendo en cuenta que en total son 36 meses.

8.1.3.2. Demanda

El valor de la evapotranspiración de referencia mensual en el campus universitario de Meléndez se calculó para cada año del periodo definido, a través del uso del software CROPWAT 8.0 (Smith, 1993). Los resultados se presentan en la Tabla 8.5, los cuales son aplicados en los procedimientos de cálculo posteriores. Es importante aclarar que el periodo definido para los cálculos de evapotranspiración no corresponde con el de precipitación, debido a que no se obtuvieron valores de datos climatológicos o se encontraban incompletos, para el periodo de los 3 años de menor precipitación:

Tabla 8.5. Valores mensuales de evapotranspiración de referencia para el periodo 1995-2009

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1995	3.64	3.26	3.38	3.11	3.11	3.37	3.56	3.76	3.96	3.09	3.66	3.30
1996	3.86	3.89	3.54	3.63	3.16	3.36	3.29	3.74	3.69	3.81	3.04	3.33
1997	3.56	3.40	3.89	3.47	3.17	3.59	3.42	3.70	3.66	3.46	3.27	3.32
1998	3.59	3.49	3.37	3.27	2.94	3.25	3.52	4.12	3.60	3.50	3.19	3.36
1999	3.32	3.23	3.38	3.46	3.35	3.27	3.47	3.78	3.74	3.46	3.47	3.44
2000	3.67	4.07	3.75	3.51	3.34	3.02	3.18	3.62	3.89	3.30	3.30	3.08
2001	3.35	3.20	3.30	3.05	3.08	2.80	3.29	3.48	3.70	3.02	3.18	3.13
2002	3.11	3.20	3.58	3.25	3.17	3.10	3.47	3.77	3.69	3.47	3.36	3.60
2003	3.78	3.68	3.40	3.23	2.97	3.27	3.21	3.31	3.45	3.60	2.99	3.22
2004	3.17	3.30	3.45	3.13	3.24	3.10	3.50	3.69	3.22	3.08	2.94	2.95
2005	3.31	3.26	3.36	3.19	2.84	2.97	3.29	3.69	3.29	3.44	3.12	2.98
2006	3.50	3.68	3.40	3.41	3.01	2.88	3.31	3.85	3.46	3.33	3.08	3.05
2007	3.43	3.39	3.41	3.16	3.05	2.97	3.24	3.62	3.52	3.35	3.15	3.20
2008	3.66	3.59	3.53	3.37	3.18	3.13	3.36	3.67	3.56	3.39	3.26	3.22
2009	3.64	3.61	3.63	3.41	3.18	3.18	3.42	3.90	3.70	3.48	3.34	3.34

Fuente: elaboración propia

El valor promedio mensual usado en el cálculo de la demanda hídrica de las especies vegetales en el jardín botánico se presenta en la Tabla 8.6, para analizar e interpretar si el promedio podría ser usado como un valor representativo para cada mes.

Tabla 8.6. Variables estadísticas para evapotranspiración de referencia

Variable estadística	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Promedio	3.51	3.48	3.49	3.31	3.12	3.15	3.37	3.71	3.61	3.39	3.22	3.23
Desviación estándar	0.22	0.27	0.16	0.17	0.14	0.21	0.12	0.18	0.20	0.21	0.19	0.18
Coeficiente de variación	0.06	0.08	0.05	0.05	0.05	0.07	0.04	0.05	0.06	0.06	0.06	0.05

Fuente: elaboración propia

A partir de los datos de la Tabla 8.6, se puede evidenciar que el valor promedio para la mayoría de los meses posee baja variación para la desviaciones estándar y coeficientes de variación, por lo cual utilizar el valor promedio mensual de los datos para el cálculo de la demanda hídrica de las especies vegetales no presenta un error considerable que afecte los resultados.

De acuerdo con Rodríguez et al (2004), la demanda hídrica de un jardín se afecta por la evapotranspiración que posee el mismo, por lo cual, fue necesario conocer dicho valor, siguiendo la ecuación y el método expuesto por estos autores, expuesta en el ítem 6.4.2, siendo relevante conocer los valores de los coeficientes de densidad, microclima, jardín, además de la evapotranspiración de referencia calculada.

Debido a que en el jardín botánico de Meléndez existe gran variedad de especies, no fue posible definir un valor único para un coeficiente de especie, por lo cual fue necesario suponer varios valores para el coeficiente de jardín y crear escenarios en los que se obtuvieran distintos resultados de evapotranspiración, para analizarlos y definir la demanda hídrica del jardín botánico. Estos escenarios se describen en la tabla 8.7. Para los coeficientes de densidad y microclima se definió un solo valor para cada uno, el cual dependía de las características del jardín botánico, tales como clima, evapotranspiración, tipos y densidad de especies. En la tabla 8.8 se presentan los valores de evapotranspiración para cada escenario de coeficiente de jardín y mes. Es necesario aclarar que el coeficiente de jardín es un valor usado para calcular, de manera aproximada, las necesidades hídricas de un cultivo o jardín. Adicionalmente, se realizó el balance hídrico del jardín botánico para cada uno de los meses, de cada escenario (ver tabla 8.9). El balance hídrico para consumo vegetal, se estima mediante la diferencia entre la precipitación y la evapotranspiración de las especies vegetales de la zona, considerando que existe déficit de agua cuando el volumen de agua lluvia precipitada en la zona del cultivo es menor que su evapotranspiración (FAO, 2013).

Tabla 8.7. Escenarios de coeficientes de jardín, densidad y microclima

Escenario	Coeficiente de jardín	Coeficiente de densidad	Coeficiente de microclima
1	0.75		
2	0.80		
3	0.85		
4	0.90	1.1	1.0
5	0.95		
6	1.00		

Fuente: elaboración propia

Tabla 8.8. Evapotranspiración (mm/día) en el jardín botánico de la Universidad del Valle sede Meléndez

Escenario	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1	2.89	2.87	2.88	2.73	2.57	2.60	2.78	3.06	2.98	2.79	2.66	2.67
2	3.09	3.07	3.07	2.91	2.75	2.77	2.96	3.27	3.18	2.98	2.84	2.85
3	3.28	3.26	3.26	3.09	2.92	2.95	3.15	3.47	3.37	3.17	3.01	3.02
4	3.47	3.45	3.46	3.28	3.09	3.12	3.33	3.68	3.57	3.35	3.19	3.20
5	3.66	3.64	3.65	3.46	3.26	3.29	3.52	3.88	3.77	3.54	3.37	3.38
6	3.86	3.83	3.84	3.64	3.43	3.47	3.71	4.08	3.97	3.72	3.55	3.56

Fuente: elaboración propia

Tabla 8.9. Balance hídrico para el jardín botánico

Escenario	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1	-1.90	2.56	0.77	0.68	-1.35	-1.20	-1.25	-2.60	0.14	2.48	1.86	1.51
2	-2.10	2.36	0.58	0.50	-1.53	-1.37	-1.43	-2.81	-0.06	2.29	1.68	1.33
3	-2.29	2.17	0.39	0.32	-1.70	-1.55	-1.62	-3.01	-0.25	2.10	1.51	1.16
4	-2.48	1.98	0.19	0.13	-1.87	-1.72	-1.80	-3.22	-0.45	1.92	1.33	0.98
5	-2.67	1.79	0.00	-0.05	-2.04	-1.89	-1.99	-3.42	-0.65	1.73	1.15	0.80
6	-2.87	1.60	-0.19	-0.23	-2.21	-2.07	-2.18	-3.62	-0.85	1.55	0.97	0.62

Fuente: elaboración propia

Según lo expresado en la tabla 8.9, para la mayoría de los escenarios existe déficit de agua en 6 de los 12 meses, representado por valores negativos, lo cual permite deducir que el jardín botánico podría ser regado con el agua lluvia almacenada por un periodo de 6 meses al año, principalmente los meses enero, mayo, junio, julio, agosto y septiembre.

Los valores asumidos para el coeficiente de jardín se definieron teniendo en cuenta como criterio el microclima tropical del campus universitario de Meléndez, en donde normalmente se presentan altas temperaturas y alta evapotranspiración, por lo cual se precisaron valores cercanos a 1. El valor de 1 representa mayores requerimientos de agua para las especies vegetales y corresponde a 4 grandes grupos principalmente: arbóreas, arbustivas, palmas y herbáceas.

Para los coeficientes de densidad y microclima del jardín botánico, se consideró en función del tipo de vegetación que predomina en el jardín y el entorno en el que se encuentra, es decir, edificaciones, parqueaderos, etc., el valor del coeficiente de densidad sería de 1.1 y el del coeficiente de microclima de 1.0, pues en el jardín botánico predominan especies vegetales arbóreas y se encuentra rodeado por numerosas edificaciones, carreteras, parqueaderos, lo que incrementa la temperatura que impacta en el jardín y disminuye la humedad, generando mayor evapotranspiración. (Rodríguez et al, 2014).

Teniendo en cuenta que la evapotranspiración posee dimensiones de mm/día, fue necesario realizar la conversión de estas unidades a $m^3/día-m^2$ y así obtener los valores de demanda hídrica de las especies del jardín botánico en términos de caudal por metro cuadrado. En la tabla 8.10, se presentan los caudales obtenidos mediante dicha conversión:

Tabla 8.10. Caudales ($m^3/día-m^2$) de demanda hídrica para el jardín botánico de la Universidad del Valle sede Meléndez

Escenario	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003
2	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003
3	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003
4	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.004	0.004	0.003	0.003	0.003
5	0.004	0.004	0.004	0.003	0.003	0.003	0.003	0.004	0.004	0.003	0.003	0.003
6	0.003	0.004	0.004	0.004	0.003	0.003	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004

Fuente: elaboración propia

La Tabla 8.10 presenta los caudales de demanda hídrica para las especies del jardín botánico. El valor de caudal que mayor frecuencia tiene para cada uno de los escenarios es $0.003 m^3/día-m^2$, ya que representa el 78% de los datos, por lo cual, se definió como valor de demanda hídrica del jardín botánico.

Para el mantenimiento y lavado de las herramientas de jardinería, se estimó una demanda de 50 litros por semana aproximadamente, según lo expresado por personal de la sección de mantenimiento del campus Meléndez de la Universidad del Valle.

8.1.3.3. Volumen de almacenamiento

Definido el valor de demanda hídrica requerida para el riego del jardín botánico y limpieza de herramientas para labores de mantenimiento, fue posible calcular el volumen de almacenamiento de agua lluvia para suplir las actividades mencionadas. El volumen de almacenamiento se determinó por Ha de jardín botánico. Este cálculo se efectuó para un área total de cubierta para los edificios de ciencias y biblioteca de la sede Meléndez.

En la Figura 8.6 se presentan los resultados del cálculo del volumen de almacenamiento, para precipitación diaria, de los tres años de menor precipitación analizados. Las estimaciones indican que es necesario un tanque de almacenamiento de aproximadamente 1200 m³ para suplir la demanda hídrica de riego y labores de mantenimiento en 1 Ha de jardín para un periodo de 6 meses por año:

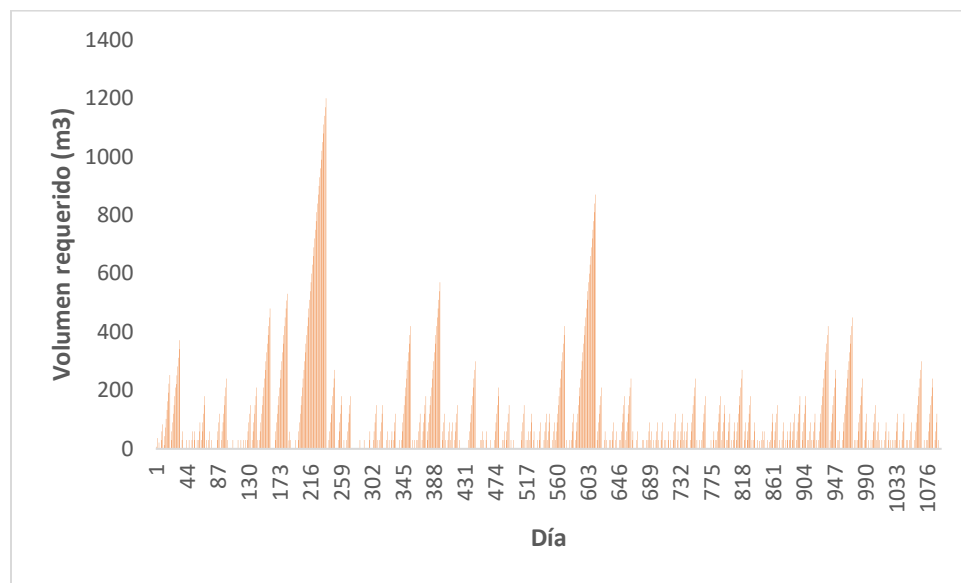


Figura 8.6. Valores de volumen de almacenamiento requerido

Fuente: elaboración propia

Los valores presentados en la figura 8.6 corresponden al período definido para los 3 años de menor precipitación, por ende, el resultado final de volumen de almacenamiento requerido, es de 1200 m³ para 1 Ha de jardín botánico, el cual corresponde al máximo valor alcanzado en la sumatoria de los valores positivos de volumen diario requerido. La tabla 8.11 presenta el procedimiento de cálculo del volumen requerido:

Tabla 8.11. Valores de las principales variables halladas para un mes típico (enero – 1990)

Año	Mes	Día	P (mm)	C	Área (m ²)	Volumen oferta (m ³)	Demanda (m ³ /día)	Demanda – oferta (m ³)	Volumen requerido (m ³)
1990	Ene	1	11.1	0.8	12686	112.65	30	-82.65	
		2	2.3	0.8	12686	23.34	30	6.66	6.66
		3	0	0.8	12686	0.00	30	30.00	36.66
		4	6.3	0.8	12686	63.94	30	-33.94	
		5	0.8	0.8	12686	8.12	30	21.88	21.88
		6	6.2	0.8	12686	62.92	30	-32.92	
		7	3	0.8	12686	30.45	30	-0.45	
		8	0	0.8	12686	0.00	30	30.00	30.00
		9	0	0.8	12686	0.00	30	30.00	60.00
		10	0.6	0.8	12686	6.09	30	23.91	83.91
		11	18.9	0.8	12686	191.81	30	-161.81	
		12	1.7	0.8	12686	17.25	30	12.75	12.75
		13	0	0.8	12686	0.00	30	30.00	42.75
		14	0	0.8	12686	0.00	30	30.00	72.75
		15	0	0.8	12686	0.00	30	30.00	102.75
		16	0	0.8	12686	0.00	30	30.00	132.75
		17	0	0.8	12686	0.00	30	30.00	162.75
		18	0	0.8	12686	0.00	30	30.00	192.75
		19	0	0.8	12686	0.00	30	30.00	222.75
		20	0	0.8	12686	0.00	30	30.00	252.75
		21	15.6	0.8	12686	158.32	30	-128.32	
		22	0	0.8	12686	0.00	30	30.00	30.00
		23	0	0.8	12686	0.00	30	30.00	60.00
		24	0	0.8	12686	0.00	30	30.00	90.00
		25	0	0.8	12686	0.00	30	30.00	120.00
		26	0	0.8	12686	0.00	30	30.00	150.00
		27	0	0.8	12686	0.00	30	30.00	180.00
		28	0	0.8	12686	0.00	30	30.00	210.00
		29	1.8	0.8	12686	18.27	30	11.73	221.73
		30	0	0.8	12686	0.00	30	30.00	251.73
		31	0	0.8	12686	0.00	30	30.00	281.73

Nota: se toma enero como mes típico debido a que, de acuerdo con el balance hídrico realizado, es uno de los meses del año que presenta deficiencias hídricas en el jardín botánico del campus. Fuente: elaboración propia

Los resultados muestran que, el campus Meléndez cuenta con una oferta de agua lluvia, la cual puede ser captada por medio de las cubiertas tales como los edificios de biblioteca y Facultad de Ciencias, siendo de las más extensas del campus, suficiente para suplir demandas de agua de 3 l/día-m² y que puede ser replicado en otras zonas de la universidad.

8.2. Usos del agua lluvia

8.2.1. Caracterización de los edificios

En esta sección se presenta la información obtenida correspondiente a la cantidad, ubicación, material y diámetro de los tubos bajantes que recogen el agua lluvia de las cubiertas de los edificios biblioteca y ciencias, para luego drenarla a la red de alcantarillado de agua lluvia existente en el campus.

El edificio 318 (biblioteca) cuenta con un total de 17 tubos bajantes de 6 pulgadas de diámetro cada uno, los cuales fueron fabricados en gres. Este es un material ampliamente usado como recubrimiento cerámico y se caracteriza principalmente por su baja porosidad y pobre capacidad de absorción, además de poseer una masa impermeable que no retiene líquidos, vapores u olores (Cuellar, 2000). Por otro lado, el edificio 320 (ciencias) posee una cantidad total de 35 tubos bajantes, los cuales miden 4 pulgadas de diámetro y su material de fabricación es el P.V.C (policloruro de vinilo). En las figuras 8.7 y 8.8 se presentan los materiales de la tubería para ambos edificios.

Para el edificio 320, la ubicación de los tubos bajantes fue definida, al igual que el edificio 318, gracias a información suministrada por la OPDI y por medio de la observación durante las visitas realizadas en conjunto con el personal de mantenimiento de la universidad. Para ambos edificios, la ubicación de los tubos bajantes se presentan en las figuras 8.9 y 8.10.



Figura 8.7. Material de bajantes edificio 320 (Facultad de Ciencias Naturales y exactas)

Fuente: elaboración propia



Figura 8.8. Material de bajantes edificio 318 (Biblioteca)

Fuente: elaboración propia

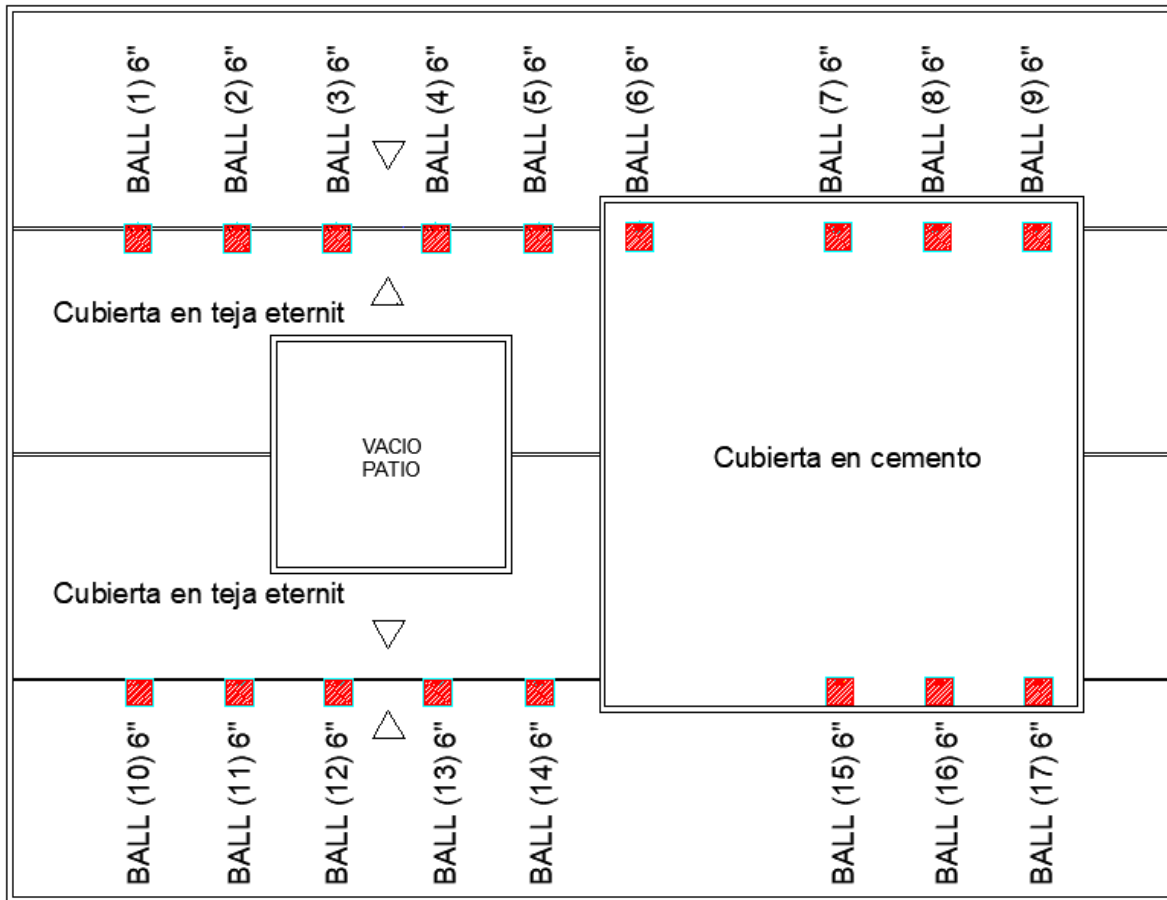


Figura 8.9. Ubicación de tubos bajantes en el edificio 318

Fuente: elaboración propia

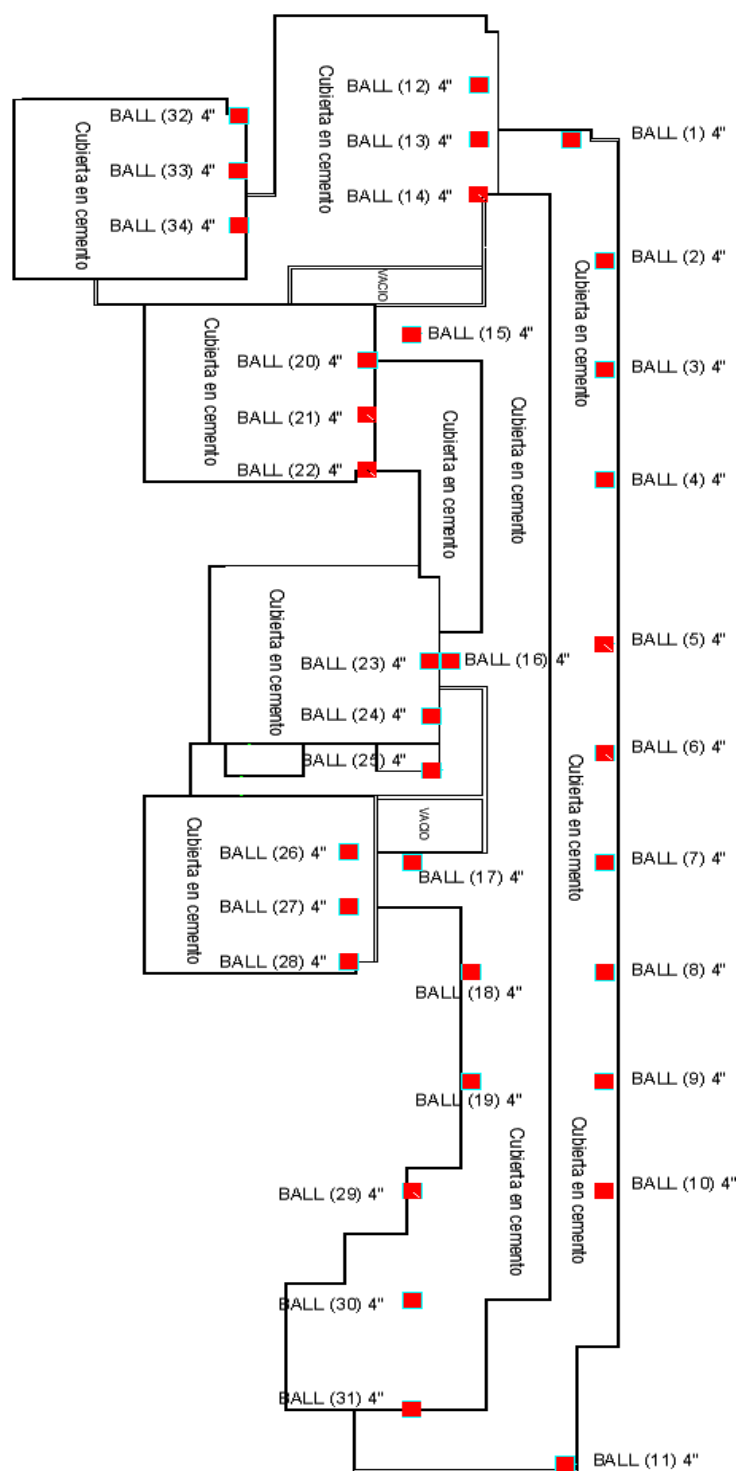


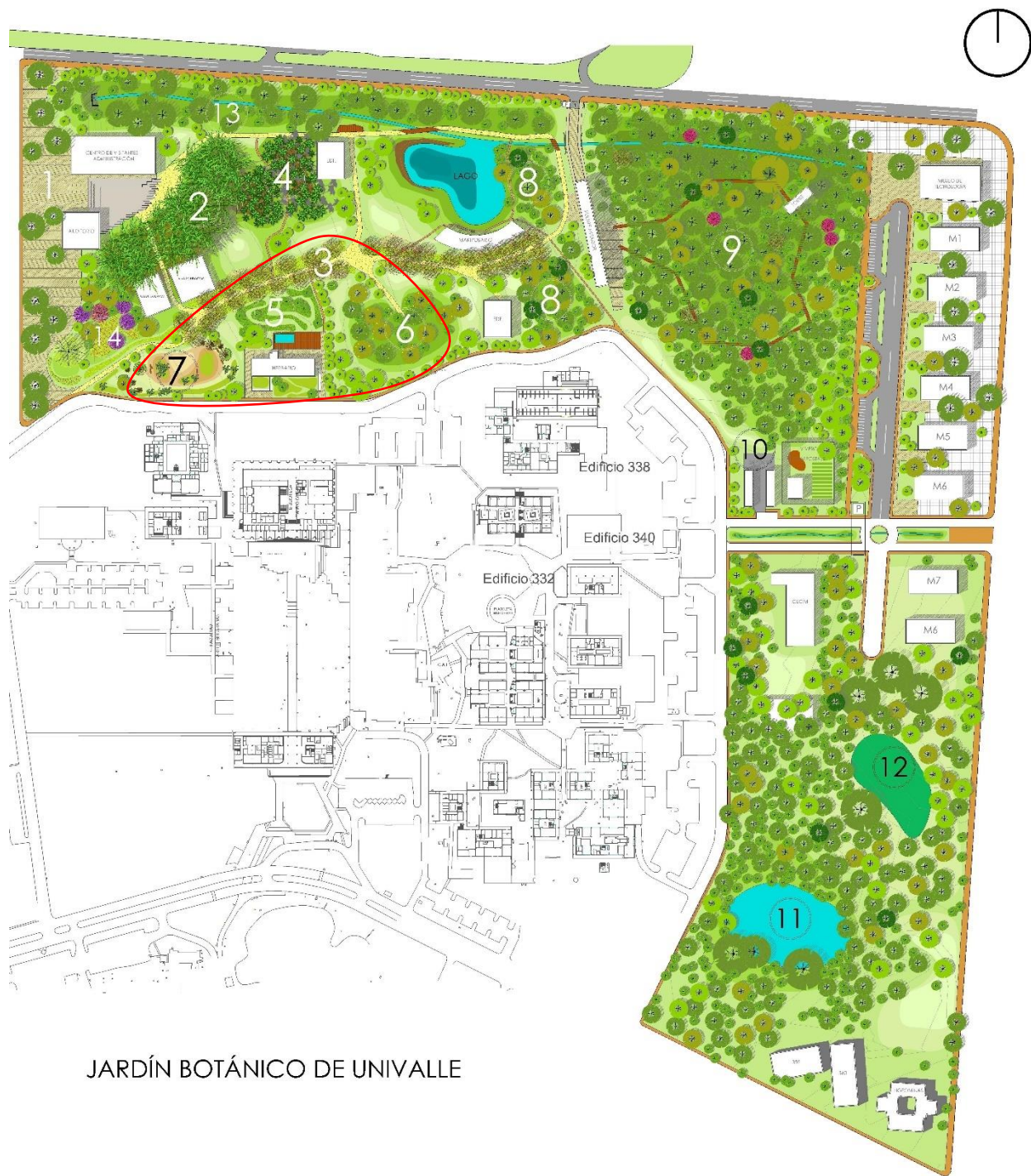
Figura 8.10. Ubicación de tubos bajantes en el edificio 320

Fuente: elaboración propia

La Universidad del Valle tiene contemplados para la sede Meléndez, la construcción de una cafetería en la zona adyacente al edificio de ciencias naturales y exactas, proyecto que actualmente se encuentra en ejecución, por lo cual, fue necesario tener en cuenta dicha obra para la elaboración de la propuesta de diseño de conducción y almacenamiento de agua lluvia que tiene como destino el aprovechamiento en el jardín botánico del campus y labores de mantenimiento del mismo.

8.2.2. Información del jardín botánico

Se encontró que se consumen cerca de 100 l/día en el riego de la zona del jardín correspondiente a la Avenida Garcés, por medio de un tanque móvil (Feijoo y Perea, 2014). El campus universitario de Meléndez posee una extensión de 100 Ha, en total, en el jardín botánico de Meléndez pueden encontrarse alrededor de 185 especies vegetales representadas en cerca de 4250 individuos. Sin embargo, se tiene planeado extender este jardín hasta 25 Ha más, mediante el denominado “jardín específico”, en las que se pretende plantar numerosas especies vegetales pertenecientes al bosque seco tropical para preservar especies en peligro o amenaza. La cantidad total de especies que se proyecta incluir es de 208, las cuales se encuentran clasificadas en 4 grandes grupos: arbóreas, arbustivas, palmas y herbáceas (OPDI, 2015). En la figura 8.11 se muestra el área de aprovechamiento para el jardín botánico específico (ver círculo rojo):



JARDÍN BOTÁNICO DE UNIVALLE

Figura 8.11. Propuesta de ampliación del jardín botánico. (1) acceso centro de visitantes y parqueadero; (2) guadal; (3) avenida Warszewiczia; (4) palmeto; (5) plantas medicinales y herbario; (6) frutales; (7) bosque subxerofítico; (8) arboretum bosque seco; (9) bosque seco especies nativas; (10) centro de compostaje y vivero; (11) estación experimental; (12) humedal área protegida; (13) bosque de galería; (14) plantas ornamentales. Fuente: Universidad Tecnológica de Pereira (UTP) (2016).

En la imagen se resaltan las áreas con mayor potencial para ser regadas mediante un sistema de agua lluvia, debido a la cercanía con los edificios de captación, que corresponden a las zonas numeradas con 7, 6, 5 y 3, en las cuales estarían ubicadas especies de bosque subxerofítico, frutales y plantas medicinales. En el anexo 3, se presentan las principales especies pertenecientes a estos grupos y que harán parte del jardín botánico especializado del campus Meléndez.

Para el riego, la sección de servicios usa un carro tanque con capacidad de 382 Gal de agua, la cual es tomada del lago central. Adicionalmente, se usa el agua captada del pozo profundo con el que cuenta la sede (OPDI, 2015).

8.2.3. Definición de los usos del agua lluvia en el jardín botánico

Se pudieron establecer varias opciones de uso del agua lluvia en el jardín botánico del campus universitario de Meléndez, adoptando como elemento principal el riego de las especies vegetales existentes en el mismo. Estas opciones abarcan distintas áreas de riego en el jardín botánico. Teniendo en cuenta que el volumen de almacenamiento de agua lluvia se encuentra ligado con la cantidad de agua necesaria para suplir determinado uso, se hallaron distintos valores para el volumen del tanque según la demanda (ver Figura 8.12).

Se plantearon 5 opciones de uso del agua lluvia en el jardín botánico, las cuales demandan entre 6 m³ y 30 m³ de agua al día. Los resultados muestran que, conociendo el área en la zona de los edificios biblioteca y ciencias, las opciones de uso con agua lluvia de mayor factibilidad para implementarse son las correspondientes al riego de 0.2-1 Ha. En la tabla 8.12 se presentan las opciones de uso contempladas.

Tabla 8.12. Opciones de uso del agua lluvia en el jardín botánico de Meléndez

Opción de uso	Demanda (m ³ /día)	Volumen de almacenamiento requerido (m ³)
Riego de 0.2 Ha	6	240
Riego de 0.4 Ha	12	480
Riego de 0.6 Ha	18	720
Riego de 0.8 Ha	24	960
Riego de 1 Ha	30	1200

Nota: El volumen estimado incluye el consumo de agua para mantenimiento y limpieza de herramientas de jardinería.

Fuente: elaboración propia

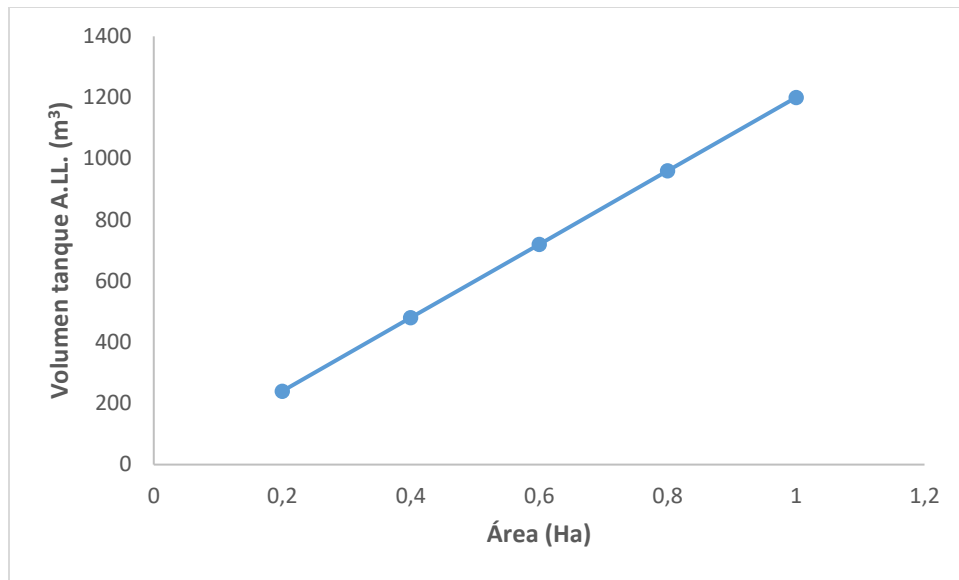


Figura 8.12. Volumen de almacenamiento respecto al área a regar (demandas entre 6 m³/día y 30 m³/día)

Nota: Se definieron como parámetros para el cálculo del volumen del tanque de almacenamiento las épocas de precipitación más bajas del periodo 1990-1992, las cuales varían cada 3 meses debido al comportamiento bimodal del país. Fuente: elaboración propia

8.3. Propuesta para aprovechamiento del agua lluvia

8.3.1. Esquema de diseño de la red de conducción y almacenamiento de agua lluvia

Con el fin de profundizar y acoplar la opción de uso de agua lluvia, la propuesta de diseño corresponde al volumen 240 m³ (ver figura 8.13), la cual sería captada mediante el área de las edificaciones asignando el área de captación correspondiente para cada uno de los bajantes de ambos edificios (ciencias y biblioteca) y con ello estimar el caudal que conducirá cada bajante y así configurar la red de conducción de ambos edificios hasta el tanque de almacenamiento de agua lluvia propuesto. En las tablas 8.13 y 8.14 se presentan los valores de área correspondiente a cada bajante para ambos edificios.

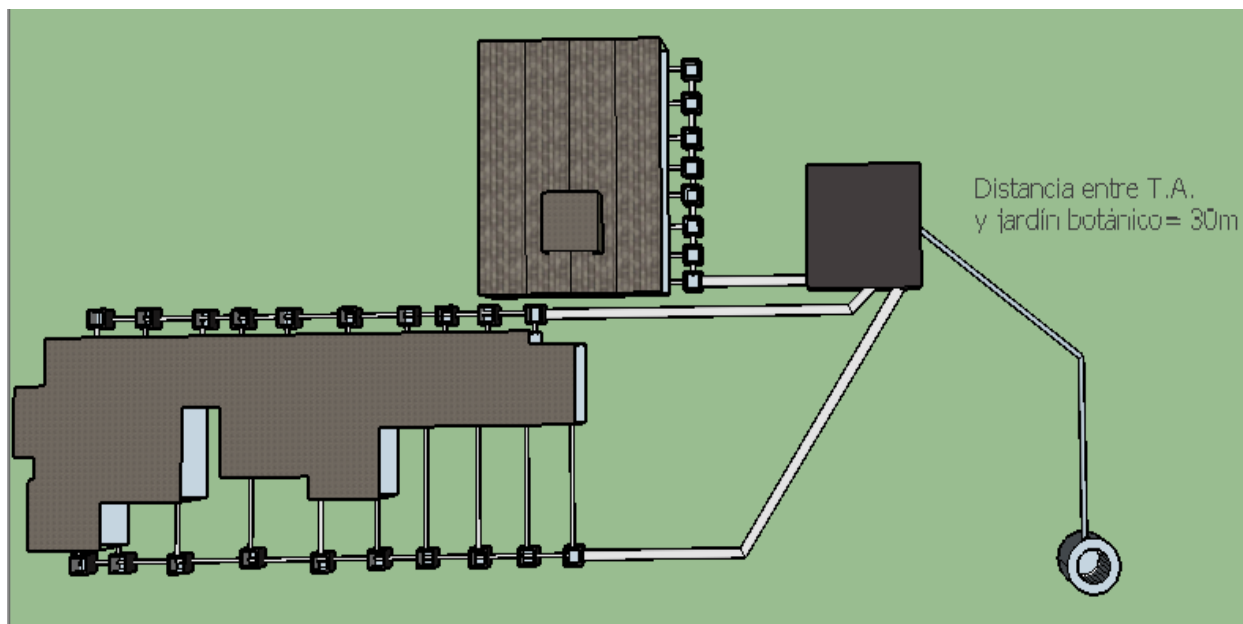


Figura 8.13. Esquema de red de conducción de agua lluvia

Fuente: elaboración propia

Existen varios tubos bajantes que drenan áreas de cubierta similares, tanto para el edificio de la biblioteca como el de ciencias, por lo cual, al calcular los caudales que captarán y conducirán en condiciones de precipitación similares a la ocurrida durante el periodo 1990-1992, se encontraron valores iguales para estos bajantes, pues tanto el coeficiente de escorrentía como la precipitación y el área de captación son similares. El resultado de los caudales para cada bajante de ambos edificios se presenta en las gráficas de los anexos 1 y 2. Un resumen de los caudales definidos para cada tubo bajante se presentan en las Tablas 8.13 y 8.14.

Tabla 8.13. Caudales a transportar en periodo de menor precipitación edificio 318 (biblioteca)

Tubo bajante	Área correspondiente de drenaje (m ²)	Caudal de diseño (l/s)
1	238	0.007
2	238	0.007
3	238	0.007
4	238	0.007
5	238	0.007
6	238	0.007
7	238	0.007
8	238	0.007
9	238	0.007
10	278	0.008
11	278	0.008
12	278	0.008
13	278	0.008

Tubo bajante	Área correspondiente de drenaje (m²)	Caudal de diseño (l/s)
14	278	0.008
15	278	0.008
16	278	0.008
17	278	0.008

Fuente: elaboración propia

Tabla 8.14. Caudales a transportar en periodo de menor precipitación edificio 320 (ciencias)

Tubo bajante	Área correspondiente de drenaje (m²)	Caudal de diseño (l/s)
1	176	0.005
2	176	0.005
3	176	0.005
4	176	0.005
5	176	0.005
6	176	0.005
7	176	0.005
8	176	0.005
9	176	0.005
10	176	0.005
11	310	0.009
12	287	0.008
13	287	0.008
14	287	0.008
15	183	0.005
16	380	0.011
17	202	0.006
18	188	0.005
19	188	0.005
20	188	0.005
21	188	0.005
22	188	0.005
23	188	0.005
24	209	0.006
25	209	0.006
26	209	0.006
27	190	0.005
28	190	0.005
29	190	0.005
30	165	0.005
31	165	0.005
32	165	0.005
33	167	0.005
34	167	0.005
35	167	0.005

Fuente: elaboración propia

Para el diseño de la red de drenaje y conducción de agua lluvia hasta su almacenamiento, se partió del uso de la curva IDF de la estación hidrometeorológica de la Universidad del Valle (IDEAM,

2017), para la cual, se obtuvo un valor de intensidad de lluvia de 87.8 mm/hr determinada para 5 años de retorno y 15 minutos de duración de lluvia, siguiendo las recomendaciones dictadas en el RAS, por el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio (2017). De acuerdo con este reglamento, para áreas tributarias entre 2 – 10 Ha, se debe diseñar para un periodo de retorno de 5 años; por otro lado, para tiempos de duración de lluvia cortos, se genera mayor escorrentía (FAO, 2013). A partir de este valor de intensidad, las áreas de drenaje correspondientes para cada tubo bajante y el coeficiente de escurrimiento, se obtuvieron los valores de caudal para cada tubo bajante y se diseñó la red de conducción hasta el tanque de almacenamiento. Los valores de caudal se presentan en las tablas 8.15 y 8.16:

Tabla 8.15. Caudales de diseño para cada tubo bajante del edificio 318 (biblioteca)

Tubo bajante	Área correspondiente de drenaje (m²)	Caudal (l/s)
1	238	4.39
2	238	4.39
3	238	4.39
4	238	4.39
5	238	4.39
6	238	4.39
7	238	4.39
8	238	4.39
9	238	4.39
10	278	5.13
11	278	5.13
12	278	5.13
13	278	5.13
14	278	5.13
15	278	5.13
16	278	5.13
17	278	5.13

Fuente: elaboración propia

Tabla 8.16. Caudales de diseño para cada tubo bajante del edificio 320 (ciencias)

Tubo bajante	Área correspondiente de drenaje (m²)	Caudales de diseño (l/s)
1	176	3.25
2	176	3.25
3	176	3.25
4	176	3.25
5	176	3.25
6	176	3.25
7	176	3.25
8	176	3.25
9	176	3.25

Tubo bajante	Área correspondiente de drenaje (m²)	Caudales de diseño (l/s)
10	176	3.25
11	310	5.72
12	287	5.30
13	287	5.30
14	287	5.30
15	183	3.38
16	380	7.02
17	202	3.73
18	188	3.47
19	188	3.47
20	188	3.47
21	188	3.47
22	188	3.47
23	188	3.47
24	209	3.86
25	209	3.86
26	209	3.86
27	190	3.51
28	190	3.51
29	190	3.51
30	165	3.05
31	165	3.05
32	165	3.05
33	167	3.08
34	167	3.08
35	167	3.08

Fuente: elaboración propia

Los caudales a transportar en cada bajante permitieron definir las distintas variables para el diseño de la red de drenaje y conducción de agua lluvia hasta el tanque de almacenamiento, como la pendiente, velocidad, fuerza tractiva y caída en el tramo de tubería. Para llevar a cabo este procedimiento fue necesario el uso de las relaciones hidráulicas, planteadas mediante la ecuación de Manning para tuberías (Pérez, 2011). Los valores obtenidos para estas variables se muestran en las tablas 8.17 y 8.18:

Tabla 8.17. Variables de diseño de la red de drenaje de agua lluvia para el edificio 318 (biblioteca)

Tramo		Long	Caudal diseño (q)	Φ	So	Sección plena			v real	t	d/D	Caída tramo	q/Q
		m	m ³ /s	“	%	Q	V	T	m/s	kg/m ²		m	
Inicio	Fin												
B10	B1	31.5	0.005	6	1.0	0.0159	0.871	0.381	0.67	0.36	0.46	0.32	0.34
B11	B2	31.5	0.005	6	1.0	0.0159	0.871	0.381	0.67	0.36	0.46	0.32	0.34
B12	B3	31.5	0.005	6	1.0	0.0159	0.871	0.381	0.67	0.36	0.46	0.32	0.34
B13	B4	31.5	0.005	6	1.0	0.0159	0.871	0.381	0.67	0.36	0.46	0.32	0.34
B14	B5	31.5	0.005	6	1.0	0.0159	0.871	0.381	0.67	0.36	0.46	0.32	0.34
B6	Caja6	17.3	0.004	6	1.0	0.0159	0.871	0.381	0.64	0.34	0.42	0.17	0.29
B15	B7	31.2	0.005	6	1.0	0.0159	0.871	0.381	0.67	0.36	0.46	0.31	0.34
B16	B8	31.2	0.005	6	1.0	0.0159	0.871	0.381	0.64	0.34	0.42	0.31	0.29
B17	B9	31.2	0.005	6	1.0	0.0159	0.871	0.381	0.64	0.34	0.42	0.31	0.29
B1	Caja1	17.3	0.004	6	1.0	0.0159	0.871	0.381	0.64	0.34	0.42	0.17	0.29
B2	Caja2	17.3	0.004	6	1.0	0.0159	0.871	0.381	0.64	0.34	0.42	0.17	0.29
B3	Caja3	17.3	0.004	6	1.0	0.0159	0.871	0.381	0.64	0.34	0.42	0.17	0.29
B4	Caja4	17.3	0.004	6	1.0	0.0159	0.871	0.381	0.64	0.34	0.42	0.17	0.29
B5	Caja5	17.3	0.004	6	1.0	0.0159	0.871	0.381	0.64	0.34	0.42	0.17	0.29
B7	Caja7	18.00	0.004	6	1.0	0.0159	0.871	0.381	0.64	0.34	0.42	0.18	0.29
B8	Caja8	18.00	0.004	6	1.0	0.0159	0.871	0.381	0.64	0.34	0.42	0.18	0.29
B9	Caja9	18.00	0.004	6	1.0	0.0159	0.871	0.381	0.79	0.43	0.62	0.18	0.59
Caja1	Caja2	6.60	0.004	6	1.0	0.0159	0.871	0.381	0.88	0.46	0.81	0.07	0.88
Caja2	Caja3	6.60	0.009	8	1.0	0.0159	0.871	0.381	1.00	0.65	0.56	0.07	0.50
Caja3	Caja4	6.60	0.013	8	1.0	0.0159	0.871	0.381	1.21	0.99	0.57	0.07	0.51
Caja4	Caja5	6.90	0.018	8	1.2	0.0174	0.954	0.457	1.05	0.62	0.77	0.08	0.82
Caja5	Caja6	6.70	0.022	10	1.8	0.0213	1.168	0.686	1.07	0.69	0.58	0.12	0.52
Caja6	Caja7	13.8	0.026	10	1.0	0.0342	1.055	0.508	1.11	0.72	0.63	0.14	0.60
Caja7	Caja8	6.6	0.031	10	1.0	0.0342	1.055	0.508	1.26	0.93	0.62	0.07	0.59
Caja8	Caja9	6.6	0.035	6	1.0	0.0342	1.055	0.508	0.67	0.36	0.46	0.07	0.34
Caja9	Tanque	5.6	0.04	6	1.0	0.0342	1.203	0.660	0.67	0.36	0.46	0.07	0.34

Fuente: elaboración propia

Tabla 8.18. Variables de diseño de la red de drenaje de agua lluvia para el edificio 320 (ciencias)

Tramo		Long	Caudal diseño (q)	Φ	So	Sección plena			v real	t	d/D	Caída tramo	q/Q
		m	m ³ /s	“	%	Q	V	T	m/s	kg/m ²		m	
Inicio	Fin												
B12	Caja1	15.3	0.0056	6	1.0	0.005	0.66	0.25	0.68	0.36	0.46	0.15	0.35
B33	Caja2	44	0.0033	4	1.0	0.005	0.66	0.25	0.61	0.29	0.63	0.44	0.61
B13	B1	7.5	0.0056	6	1.0	0.005	0.66	0.25	0.68	0.36	0.46	0.08	0.35
B1	Caja3	7.7	0.0090	6	1.0	0.016	0.87	0.38	0.78	0.43	0.61	0.08	0.57
B34	Caja4	44	0.0033	4	1.0	0.005	0.66	0.25	0.61	0.29	0.63	0.44	0.61
B14	Caja5	15	0.0056	6	1.0	0.005	0.66	0.25	0.68	0.36	0.46	0.15	0.35
B35	Caja6	44	0.0033	4	1.0	0.005	0.66	0.25	0.61	0.29	0.63	0.44	0.61
B2	Caja7	7.4	0.0034	4	1.0	0.005	0.66	0.25	0.61	0.29	0.65	0.08	0.64
B27	B15	7.6	0.0037	4	1.0	0.005	0.66	0.25	0.63	0.30	0.69	0.08	0.69
B15	B3	14.4	0.0073	6	1.6	0.007	0.84	0.41	0.86	0.58	0.47	0.23	0.36
B3	Caja8	7.7	0.0103	6	1.0	0.016	0.87	0.38	0.81	0.44	0.66	0.08	0.65
B28	Caja9	30	0.0037	4	1.0	0.005	0.66	0.25	0.63	0.30	0.69	0.30	0.69
B29	B4	22	0.0037	4	1.0	0.005	0.66	0.25	0.63	0.30	0.69	0.22	0.69
B4	Caja10	7.7	0.0071	6	1.5	0.007	0.81	0.38	0.84	0.55	0.48	0.12	0.37

Tramo		Long	Caudal diseño (q)	Φ	So	Sección plena			v real	t	d/D	Caída tramo	q/Q
						Q	V	T					
B24	B16	0.5	0.0041	4	1.0	0.005	0.66	0.25	0.64	0.30	0.73	0.01	0.76
B16	B5	14.4	0.0111	6	1.0	0.016	0.87	0.38	0.83	0.45	0.69	0.14	0.70
B5	Caja11	7.7	0.0143	6	1.0	0.016	0.87	0.38	0.89	0.46	0.83	0.08	0.90
B25	Caja12	22.7	0.0041	4	1.0	0.005	0.66	0.25	0.64	0.30	0.73	0.23	0.76
B26	B17	0.5	0.0041	4	1.0	0.005	0.66	0.25	0.64	0.30	0.73	0.01	0.76
B17	B6	14.4	0.0080	6	1.9	0.007	0.92	0.48	0.95	0.70	0.48	0.27	0.37
B6	Caja13	7.7	0.0110	6	1.0	0.016	0.87	0.38	0.82	0.45	0.69	0.08	0.69
B30	B18	7.7	0.0032	4	1.0	0.005	0.66	0.25	0.60	0.29	0.63	0.08	0.60
B18	B7	14.4	0.0069	6	1.4	0.006	0.79	0.36	0.81	0.52	0.48	0.20	0.37
B7	Caja14	7.7	0.0100	6	1.0	0.016	0.87	0.38	0.87	0.46	0.78	0.08	0.63
B31	Caja15	29.9	0.0032	4	1.0	0.005	0.66	0.25	0.60	0.29	0.63	0.30	0.60
B32	B19	7.7	0.0032	4	1.0	0.005	0.66	0.25	0.60	0.29	0.63	0.08	0.60
B19	B8	14.4	0.0069	6	1.4	0.006	0.79	0.36	0.81	0.52	0.48	0.20	0.37
B8	Caja16	7.7	0.0100	6	1.0	0.016	0.87	0.38	0.87	0.46	0.78	0.08	0.63
B20	B9	14	0.0037	4	1.0	0.005	0.66	0.25	0.63	0.30	0.68	0.14	0.68
B9	Caja17	8	0.0071	6	1.5	0.007	0.81	0.38	0.84	0.55	0.48	0.12	0.37
B21	B10	14	0.0037	4	1.0	0.005	0.66	0.25	0.63	0.30	0.68	0.14	0.68
B10	Caja18	8	0.0071	6	1.5	0.007	0.81	0.38	0.84	0.55	0.48	0.12	0.37
B22	Caja19	22.2	0.0037	4	1.0	0.005	0.66	0.25	0.63	0.30	0.68	0.22	0.68
B23	Caja20	22.5	0.0037	4	1.0	0.005	0.66	0.25	0.63	0.30	0.68	0.23	0.68
B11	Caja21	7.7	0.0061	6	1.1	0.006	0.70	0.28	0.71	0.40	0.47	0.08	0.36
Caja1	Caja2	2.8	0.0056	6	1.0	0.005	0.66	0.25	0.68	0.36	0.46	0.03	0.35
Caja2	Caja3	2.8	0.0089	6	1.0	0.016	0.87	0.38	0.78	0.42	0.60	0.03	0.56
Caja3	Caja4	2.8	0.0179	8	1.1	0.017	0.91	0.42	0.95	0.60	0.56	0.03	0.50
Caja4	Caja5	2.6	0.0212	8	1.5	0.019	1.07	0.57	1.11	0.82	0.57	0.04	0.51
Caja5	Caja6	3	0.0268	8	1.0	0.034	1.06	0.51	1.03	0.61	0.74	0.03	0.78
Caja6	Caja7	2.8	0.0300	8	1.0	0.034	1.06	0.51	1.07	0.62	0.81	0.03	0.88
Caja7	Caja8	13.6	0.0335	10	1.0	0.034	1.06	0.51	1.08	0.70	0.59	0.14	0.54
Caja8	Caja9	6.5	0.0438	10	1.4	0.040	1.25	0.71	1.32	1.01	0.63	0.09	0.60
Caja9	Caja0	6.3	0.0475	10	1.7	0.045	1.38	0.86	1.44	1.22	0.62	0.11	0.59
Caja10	Caja1	20.8	0.0547	10	1.0	0.062	1.22	0.64	1.24	0.77	0.81	0.21	0.88
Caja11	Caja12	6.4	0.0690	12	1.1	0.065	1.28	0.70	1.35	0.97	0.66	0.07	0.65
Caja12	Caja13	6.4	0.0731	12	1.2	0.068	1.34	0.76	1.41	1.06	0.67	0.08	0.66
Caja13	Caja14	13.6	0.0841	12	1.6	0.078	1.55	1.02	1.63	1.42	0.67	0.22	0.66
Caja14	Caja15	6.4	0.0940	14	1.0	0.101	1.38	0.76	1.41	1.02	0.64	0.06	0.62
Caja15	Caja16	6.4	0.0973	14	1.0	0.101	1.38	0.76	1.42	1.03	0.65	0.06	0.64
Caja16	Caja17	13.6	0.1072	14	1.0	0.101	1.38	0.76	1.45	1.05	0.69	0.14	0.70
Caja17	Caja18	13.6	0.1143	14	1.2	0.111	1.51	0.91	1.58	1.26	0.69	0.16	0.69
Caja18	Caja19	13.6	0.1214	14	1.4	0.119	1.64	1.07	1.70	1.45	0.67	0.19	0.67
Caja19	Caja20	13.4	0.1251	14	1.5	0.124	1.69	1.14	1.76	1.56	0.67	0.20	0.67
Caja20	Caja21	6.7	0.1288	14	1.6	0.128	1.75	1.22	1.82	1.66	0.67	0.11	0.67
Caja21	Tanque	26	0.1348	14	1.7	0.132	1.80	1.30	1.88	1.77	0.68	0.44	0.68

Fuente: elaboración propia

Las variables de sección plena hacen referencia al caudal, velocidad de flujo y fuerza tractiva del agua lluvia para una condición a tubo lleno, mediante las cuales se realizan las relaciones hidráulicas para conocer los valores reales de caudal, velocidad de flujo y fuerza tractiva para tubo parcialmente lleno, lo cual se presenta normalmente en una red de desagüe. Además, se denota el cambio de unidades a los valores hallados anteriormente con el fin de facilitar el cálculo de otras variables necesarias en el diseño.

Entre los parámetros que deben respetar cierto valor límite al momento de realizar cualquier diseño de redes sanitarias, se encuentran la pendiente del tramo de tubería, la fuerza tractiva que presenta el flujo en la tubería y la relación de profundidad de flujo respecto al diámetro interno de la tubería. De acuerdo con Pérez (2011), la pendiente mínima en tuberías de desagüe debe ser del 1%, mientras que la fuerza tractiva no debe ser inferior a 0.15 Kg/m^2 y el valor máximo de profundidad de flujo para el caudal de diseño es del 93% del diámetro interno del tubo (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2017). Esto con el fin de garantizar el arrastre de las partículas presentes en el agua, en este caso, principalmente arenas que se encuentran en la superficie de las cubiertas de los edificios que captan y drenan el agua lluvia por las tuberías.

Por otro lado, en cuanto a las dimensiones del tanque de almacenamiento, para un tanque de almacenamiento de 240 m^3 de volumen, la mejor configuración corresponde a un tanque rectangular que considera 2 metros de altura útil de almacenamiento y 30 centímetros de altura libre, en la cual se debe tener un escape para excesos. El largo y el ancho del tanque se calcularon a partir de la altura dada, obteniendo que, para una base cuadrada, tanto el largo como el ancho tendrán 11 metros. Estas dos últimas dimensiones se establecieron teniendo en cuenta el área disponible en la zona que se pretende ubicar el tanque, pues existe una vía vehicular y zona de parqueo que podrían interceptarse con el tanque. Por otro lado, el fondo del tanque debe poseer una pendiente que permita la fácil limpieza de arenas durante labores de mantenimiento. En la figura 8.14 se esquematiza el planteamiento de diseño de conducción hasta el tanque de almacenamiento:

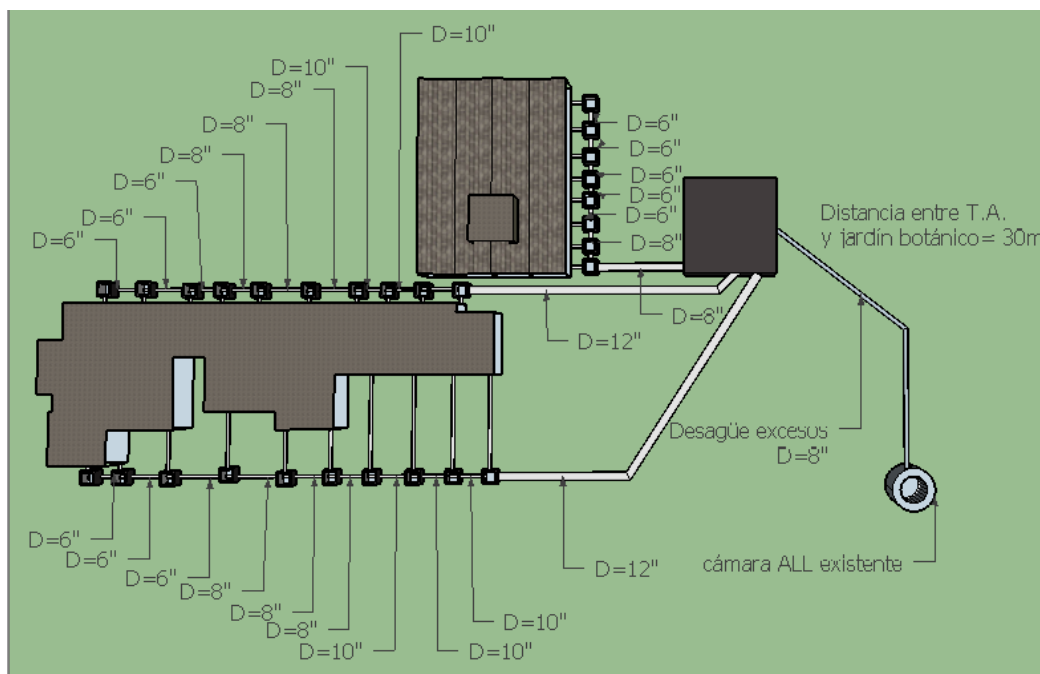


Figura 8.14. Red de drenaje pluvial planteado

Fuente: elaboración propia

El tanque de almacenamiento deberá estar enterrado, para así alcanzar la cota batea de la salida de la última caja de la red de drenaje pluvial, tanto para el edificio de biblioteca como para el edificio de ciencias. Adicionalmente, el tubo de excesos estará conectado a la cámara de drenaje pluvial existente.

Existen diversos sistemas de riego, principalmente presurizados, los cuales conducen el agua mediante una red de tuberías y la aplican en las plantas a través de emisores que entregan agua de manera periódica. Estos sistemas se componen de una fuente de abastecimiento de agua, un cabezal principal (proveen presión y caudal al sistema), tuberías de conducción principales, cabezales de campo (controlan la salida del agua), tuberías terciarias y laterales de riego con emisores (Liotta et al, 2015). En la figura 8.15 se presenta un esquema con las principales partes de un sistema de riego presurizado:



Figura 8.15. Componentes de un sistema de riego presurizado

Fuente: Liotta et al (2015)

Entre los sistemas presurizados más comúnmente usados se encuentra el riego localizado de alta frecuencia que genera un mayor ahorro del agua usada, posee uniformidad en la aplicación del agua, aumento de la superficie bajo riego, menor presencia de malezas, compatible con otras

labores al permitir la presencia de áreas secas, ahorro en mano de obra (un operador por cada 80 – 100 Ha) y automatización (Liotta et al, 2015).

En la figura 8.16 se esquematiza la red de riego propuesta, la cual transportará un caudal de 0.83 l/s para 2 horas de riego por día en el área definida:



Figura 8.16. Esquema de riego

Fuente: adaptado de Universidad Tecnológica de Pereira (UTP) (2016)

Para este proyecto se propone implementar un sistema de riego localizado, debido a sus características y facilidad de implementación. El sistema se alimentará del agua lluvia almacenada en el tanque, el cual estará enterrado, y mediante bombeo proporcionará un caudal de 0.83 l/s a la red de riego, supliendo una demanda de 6 m³/día en dos horas de riego por día, para 0.2 Ha de jardín botánico, durante los 6 meses de menor precipitación del año, teniendo en cuenta el comportamiento bimodal de la precipitación en el país. Debido a que este es un sistema automatizado, se empleará una persona del área de mantenimiento por día para que realice las tareas correspondientes en esta zona.

En cuanto a la calidad del agua para riego, en este estudio no se realizaron pruebas de laboratorio para analizar las características fisicoquímicas del agua lluvia que se capta en los edificios biblioteca y ciencias, sin embargo, se sabe que los principales aspectos a tener en cuenta para definir si la calidad del agua es apta para riego, son la conductividad eléctrica, pH, aniones y cationes presentes en el agua (FAGRO, 2013). Aunque los límites para los valores de estos parámetros pueden variar dependiendo del tipo de cultivo, se aceptan como valores permisibles,

de manera general, los siguientes: conductividad eléctrica (CE) entre 0,7 – 3,0 mS/cm; sodio (Na) entre 3,0 – 9,0 meq/l; cloruro (Cl) entre 4,0 – 10,0 meq/l; boro (B) entre 0,7 – 3,0 meq/l; óxido de nitrógeno (N_2O_3) entre 5,0 – 30,0 meq/l; bicarbonato (HCO_3) entre 1,5 – 8,5 meq/l; potencial de hidrógeno (pH) entre 6,5 – 8,4 (Quintero y Vivas, 2017).

Teniendo en consideración la demanda de agua propuesta (6 m³/día) y actividades de mantenimiento (7.1 L/día), en total se tienen 2.193 m³/año aproximadamente, además, conociendo el costo de \$2149,96 /m³ (EMCALI, 2018), el ahorro en consumo de agua estimado es de \$4'713.984 /año.

El presente estudio muestra que, en cuanto a la infraestructura de drenaje y conducción de agua lluvia, acoplada a las edificaciones, el agua lluvia puede ser aprovechada y es una oportunidad de ahorro de agua y costos para sus múltiples usos. Esto podría ser aplicado no solo para uso en el jardín botánico, sino también para otras grandes áreas del campus Meléndez, inclusive para el uso interno en los edificios y contribuiría al uso sustentable de recursos naturales en Univalle.

9. Conclusiones

El presente estudio se llevó a cabo en predios de la Universidad del Valle, analizando el potencial de uso de agua lluvia para el jardín botánico a partir de los edificios 318 (biblioteca – actual E19) y 320 (facultad de ciencias – actual E20), con el objetivo de estimar la oferta de agua lluvia, identificar los usos potenciales y su aprovechamiento mediante una propuesta de diseño para aprovechar el agua lluvia. Las principales conclusiones del trabajo fueron las siguientes:

9.1. Estimación de la oferta de agua lluvia a partir de los edificios de Facultad de Ciencias y biblioteca

- La oferta potencial de agua lluvia estimada fue de 13.1 m³ y 18.6 m³, para los edificios E19 (biblioteca Mario Carvajal) y el edificio E20 (facultad de ciencias naturales y exactas), respectivamente.
- El volumen de almacenamiento calculado a partir de las áreas de las cubiertas de los edificios E19 y E20 fue de 1200 m³, para suplir labores de mantenimiento y riego de 1 Ha de jardín botánico durante un periodo de 6 meses por año.

9.2. Usos para aprovechamiento del agua lluvia

- A partir del volumen de oferta encontrado, se identificó que el agua puede ser usada para el mantenimiento y riego de zonas verdes, limpieza de zonas comunes, lavado de herramientas empleadas por el área de mantenimiento y riego del jardín botánico.
- El abanico de opciones propuesto contempla la posibilidad de riego de 0.2 – 1 Ha de jardín botánico, para demandas de 6 – 30 m³/día de agua lluvia.
- Las especies vegetales del jardín botánico para las cuales fue estimada la oferta corresponden a plantas medicinales, árboles frutales y bosque subxerofítico.

9.3. Propuesta para aprovechamiento del agua lluvia

- A partir del estudio se calculó la red de drenaje pluvial, para la conducción del agua lluvia captada hasta el tanque de almacenamiento y posterior uso en el riego del jardín botánico y corresponde a un caudal de 0.83 l/s para suplir una demanda de 6 m³/día en 0.2 Ha de jardín botánico en 2 horas de riego.
- La implementación de la propuesta de diseño para el aprovechamiento del agua lluvia, requiere el replanteo y acondicionamiento de las redes de drenaje aledañas a los edificios E19 y E20.

10. Recomendaciones

- Puesto que el método de riego en el jardín botánico deberá considerar el bombeo del agua almacenada, debido a que el tanque de almacenamiento estará enterrado, se recomienda implementar un sistema de riego localizado de alta frecuencia ya que genera un mayor ahorro del agua usada, posee uniformidad en la aplicación del agua, aumento de la superficie bajo riego, menor presencia de malezas, compatible con otras labores al permitir la presencia de áreas secas, ahorro en mano de obra y posibilidades de automatización.
- Ampliar trabajos de investigación y planteamiento de propuestas respecto a la implementación de alternativas para el consumo de agua lluvia en otras áreas de la universidad.

11. Referencias

- Arboleda, Nixon. (2016). Diagnóstico del sistema de aprovechamiento del agua lluvia en el concejo comunitario de la comunidad negra de Los Lagos, Buenaventura, Colombia. Recuperado de: <http://www.scielo.org.co/pdf/luaz/n43/n43a03.pdf>
- Ballén, José; Galarza, Miguel; Ortiz, Rafael. (2006). Historia de los sistemas de aprovechamiento de agua lluvia. Brasil.
- Campos, D.F. (1998). Procesos del ciclo hidrológico. Universidad autónoma de San Luis Potosí, México.
- Congreso Nacional del Medio Ambiente – CONAMA. (2010). Captación de agua lluvia, alternativa sustentable. España. Recuperado de: <http://www.conama10.conama.org/conama10/download/files/CT%202010/41008.pdf>
- Cuellar, Javier. (2000). Desarrollo y caracterización de un gres porcelánico. Méjico.
- Departamento administrativo de planeación municipal. (2016). Cali en cifras. Cali, Colombia.
- EMCALI. (2018). Tarifas a partir de 1 de julio de 2018. Colombia. Recuperado de: <https://www.emcali.com.co/web/acueducto/tarifas>
- FAGRO. (2013). Calidad de aguas para riego. Uruguay. Recuperado de: <http://www.fagro.edu.uy/%7Ehidrologia/riego/calidad%20de%20aguas%20para%20riego%202013.pdf>
- FAO. (2006). Evapotranspiración del cultivo, guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Roma. Recuperado de: <http://www.fao.org/3/a-x0490s.pdf>
- FAO. (2013). Captación y almacenamiento de agua lluvia – opciones técnicas para la agricultura familiar en América Latina y el Caribe. Chile. Recuperado de: <http://www.fao.org/3/i3247s/i3247s.pdf>
- Feijoo, Valentina; Moreno, Andrés. (2014). Aprovechamiento de agua lluvia como alternativa para el ahorro de agua potable en la Universidad del Valle sede Meléndez. Colombia.
- Ferretería progreseemos. (2013). Teja ondulada. Colombia. Recuperado de: <http://www.ferreteriaprogreseemos.com/producto.php?id=189>
- Greenpeace; Clínica Jurídica de Medio Ambiente y Salud Pública (MASP). (2017). El asbesto sigue enfermando a Colombia. Colombia. Recuperado de: <https://www.greenpeace.org/colombia/PageFiles/326280/2017/6/informe-ASBESTO.pdf>
- Ibáñez, Sara; Moreno, Héctor; Gisbert, Juan. (2011). Métodos para la determinación del coeficiente de escorrentía (c). Universidad politécnica de Valencia.
- IDEAM. (2015). Estudio nacional del agua: información para la toma de decisiones. Bogotá, Colombia.

IDEAM. (2017). Historial de precipitación anual, mensual y diaria para la estación hidrometeorológica Univalle. Colombia.

IDEAM. (2017). Historial de datos climatológicos mensuales para la estación hidrometeorológica Univalle. Colombia.

IDEAM. (2017). Curvas intensidad, duración, frecuencia – IDF. Estación Universidad del Valle. Cali, Colombia.

Liotta, Mario; Carrión, Rolando; Ciancaglini, Nicolás; Olguín, Alfredo. (2015). Riego por goteo. Argentina. Recuperado de:
https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_manual_riego_por_goteo.pdf

López Moreno, Natalia. (2014). Programa de uso racional y eficiente del agua en la universidad del valle – Meléndez. Cali, Colombia.

Maderey, Laura. (2005). Principios de hidrogeografía: Estudio del ciclo hidrológico. Universidad nacional autónoma de México.

Masis, Ramón; Vargas, Hubert. (2014). Incremento de áreas impermeables por cambios de usos de la tierra en la microcuenca del río Burío. Costa Rica.

Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2017). Resolución 0330. Colombia. Recuperado de:
<http://www.minvivienda.gov.co/ResolucionesAgua/0330%20-%202017.pdf>

Oficina de Planeación y Desarrollo Institucional (OPDI). (2015). Jardín botánico Universidad del Valle – Campus sede Meléndez. Cali, Colombia.

Oficina de Planeación y Desarrollo Institucional (OPDI). (2017). Redes de alcantarillado – Meléndez. Colombia

OPS, OMS, CEPIS. (2004). Guía de diseño para captación del agua de lluvia. Lima.

Ordoñez, Juan. (2011). Cartilla técnica: ciclo hidrológico. Lima, Perú.

Pérez, Rafael. (2011). Instalaciones hidrosanitarias y de gas para edificaciones. Sexta edición. Bogotá, Colombia.

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo – PNUD. 2016. Captación y aprovechamiento del agua lluvia en América Latina, experiencias y conclusiones de un debate. Chile. Recuperado de:
https://www.undp.org/content/dam/chile/docs/medambiente/undp_cl_medioambiente_Captacion-agua-lluvia-AL.pdf

Puppo, Lucía. (2015). Necesidades de agua en parques y jardines. Uruguay. Recuperado de:
<http://www.fagro.edu.uy/hidrologia/paisajismo/NECESIDADES%20DE%20AGUA%20DE%20LOS%20CULTIVOS%20paisajismo.pdf>

Quintero, Juan; Vivas, Jhon. (2017). Análisis del agua de riego y cambios en parámetros de un suelo salino para el cultivo de caña de azúcar en el municipio de Cerrito (Valle del Cauca). Colombia.

Real academia española (RAE). (2016). Lluvia. Madrid, España. Recuperado de:
<http://dle.rae.es/?id=NWgRXUA>

Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico (RAS). (2016). Título D, sistemas de recolección y evacuación de aguas residuales domésticas y aguas lluvias. Colombia.

Reyes, María; Rubio, John. (2014). Descripción de los sistemas de recolección y aprovechamiento de aguas lluvias. Colombia. Recuperado de:
<https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/2089/1/Recoleccion-aguas.pdf>

Riccardi, G. (1997). La transformación lluvia-caudal en ambientes rurales y urbanos. Los procesos hidrológicos y el modelado. Argentina. Recuperado de:
https://www.fceia.unr.edu.ar/curiham/Publicaciones/1997%20Riccardi%20%20Cuad%20CURI%20_1997.pdf

Rodríguez, Antonio; Ávila, Ricardo; Yruela, María del Carmen; Plaza, Rafael; Navas, Ángel; Fernández, Rafael. (2004) Manual de riego de jardines. España.

Sánchez, L.; Caicedo, E. (2003). Uso del agua lluvia en La Bocana – Buenaventura. Colombia.

Smith, M. (1993). Cropwat: programa de ordenador para planificar y manejar el riego. Italia.

Universidad del Valle. (2015). Mapa de la Ciudad Universitaria – Universidad del Valle. Colombia. Recuperado de: http://religionyutopias.univalle.edu.co/images/mapa_pdf.pdf

Universidad Tecnológica de Pereira (UTP). (2016). Gestión de la planta física de la Universidad del Valle. Colombia. Recuperado de:
<http://media.utp.edu.co/sue/archivos/V%20ENCUENTRO%20PRESENTACIONES%20PONENCIAS/SALA%201%20BLOQUE%20Y/Ponencia%2011%20Universidad%20del%20Valle%20Gesti%C3%B3n%20de%20la%20Planta%20F%C3%ADsica.pdf>

12. Anexos

Anexo 1: caudales para las áreas de drenaje del edificio 318 (biblioteca)

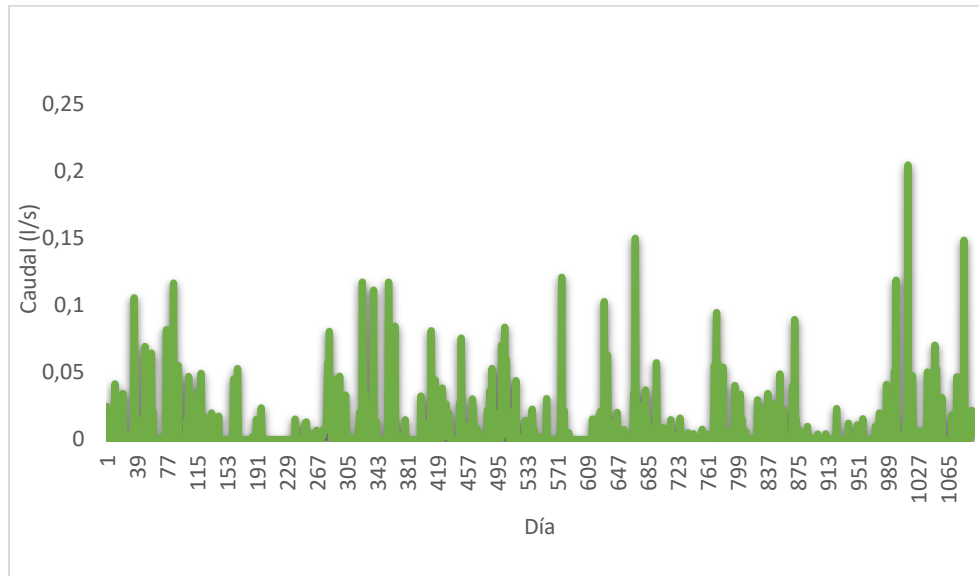


Figura 12.1. Caudal para un área de drenaje de 238 m²

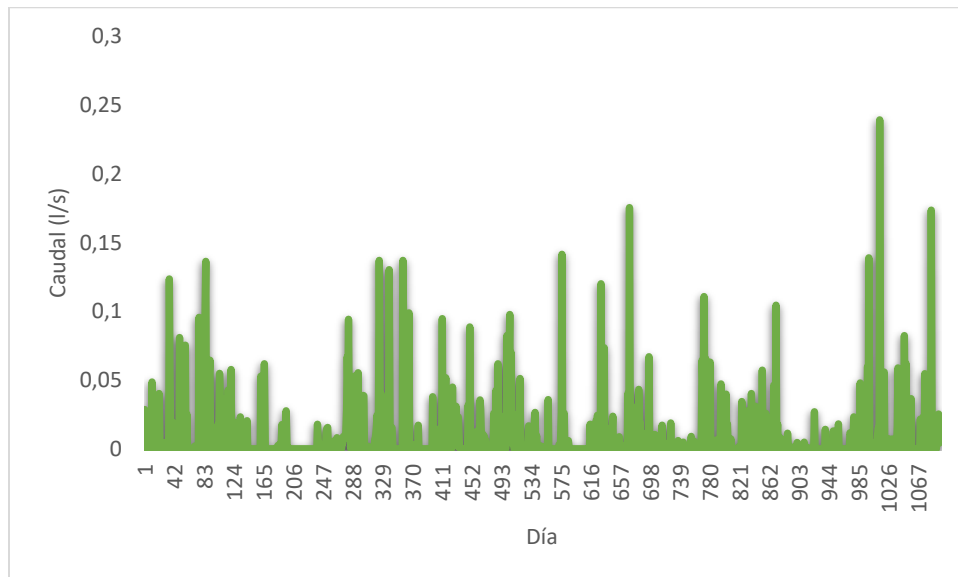


Figura 12.2. Caudal para un área de drenaje de 278 m²

Anexo 2: caudales para las áreas de drenaje del edificio 320 (ciencias)

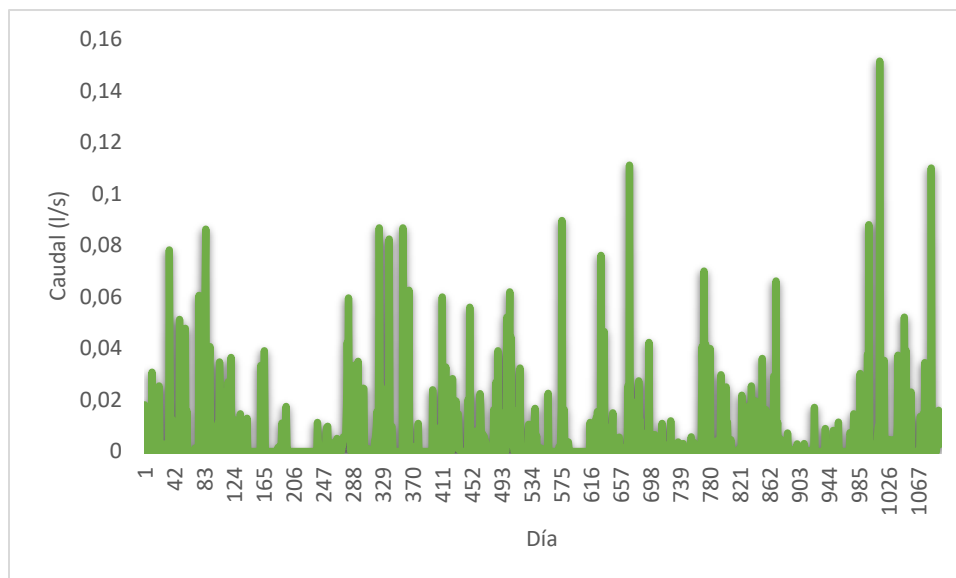


Figura 12.3. Caudal para un área de drenaje de 176 m²

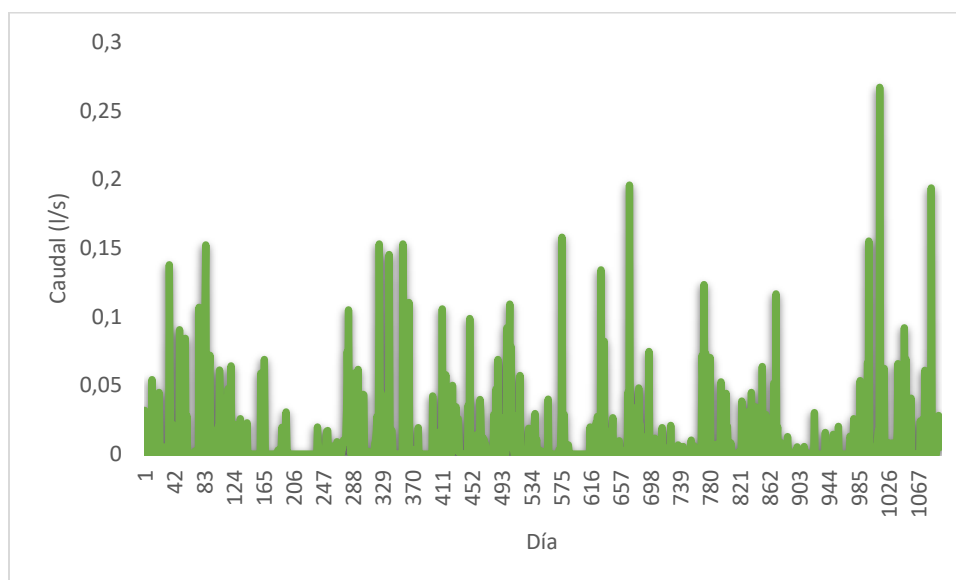


Figura 12.4. Caudal para un área de drenaje de 310 m²

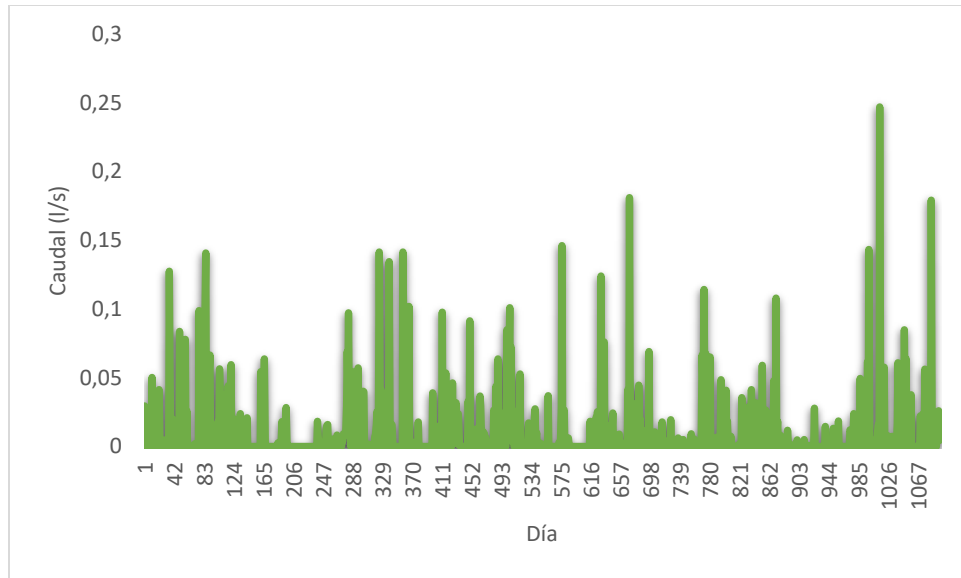


Figura 12.5. Caudal para un área de drenaje de 287 m²

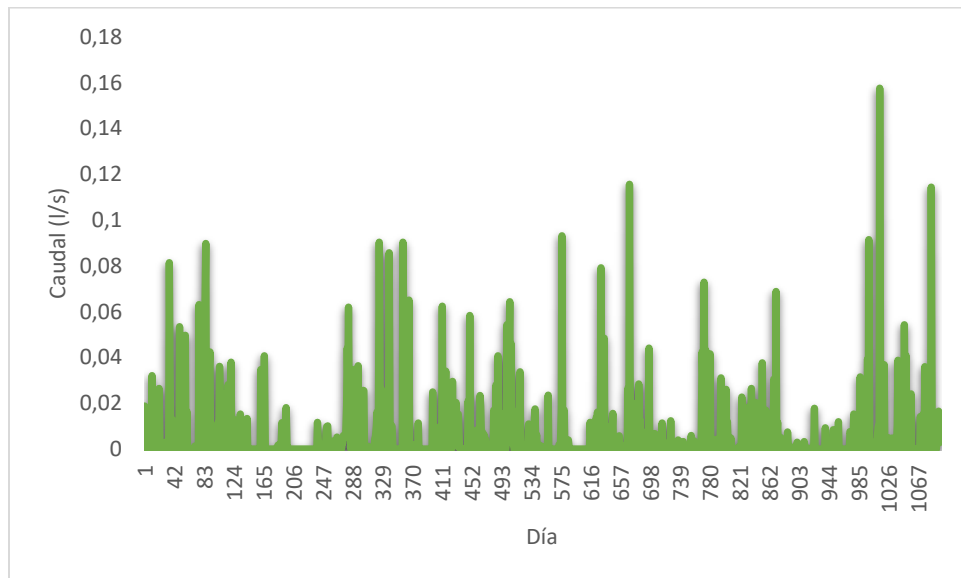


Figura 12.6. Caudal para un área de drenaje de 183 m²

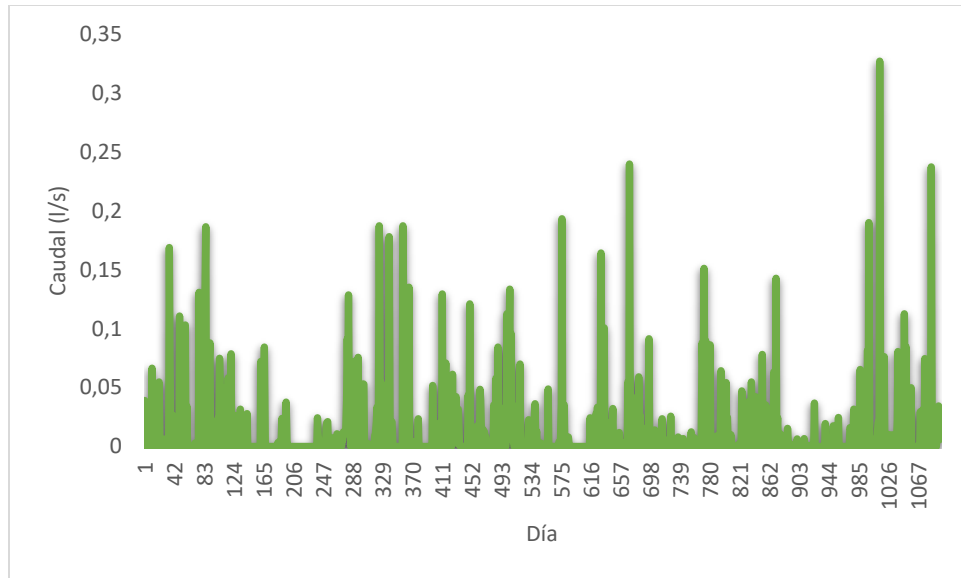


Figura 12.7. Caudal para un área de drenaje de 380 m²

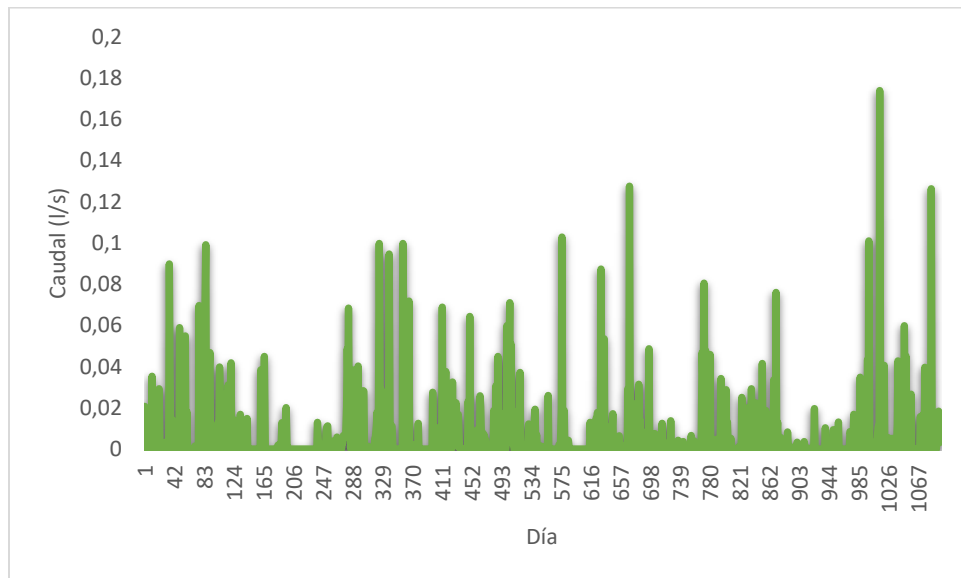


Figura 12.8. Caudal para un área de drenaje de 202 m²

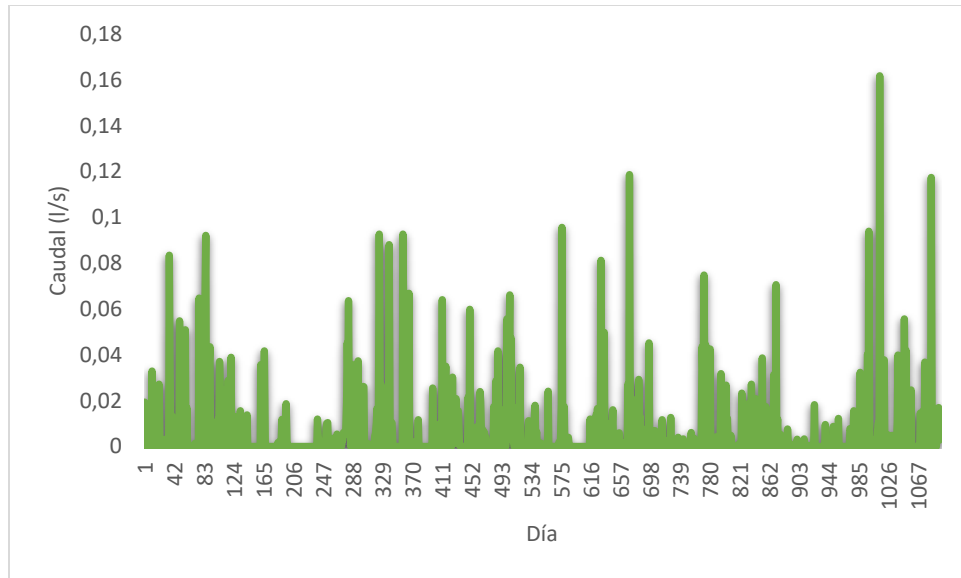


Figura 12.9. Caudal para un área de drenaje de 188 m²

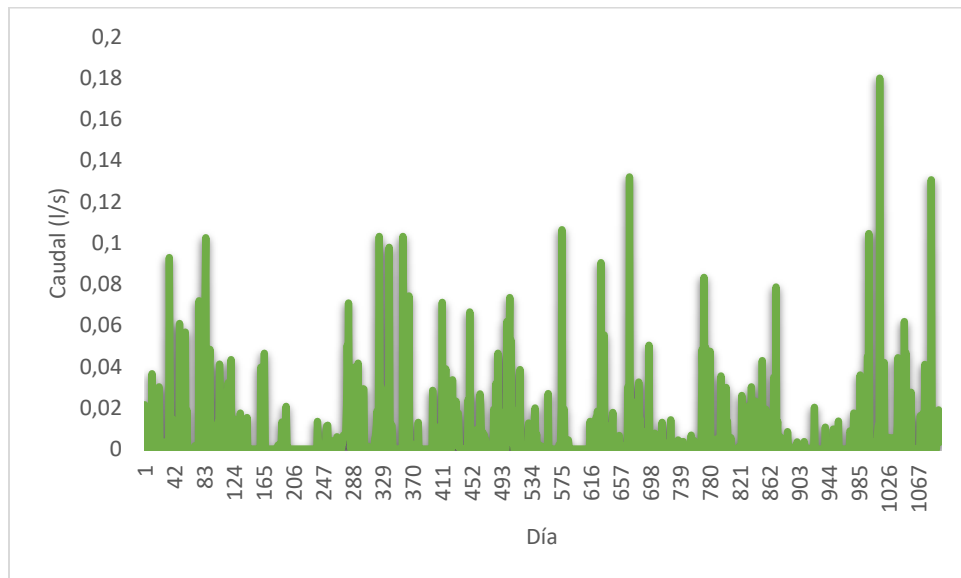


Figura 12.10. Caudal para un área de drenaje de 209 m²

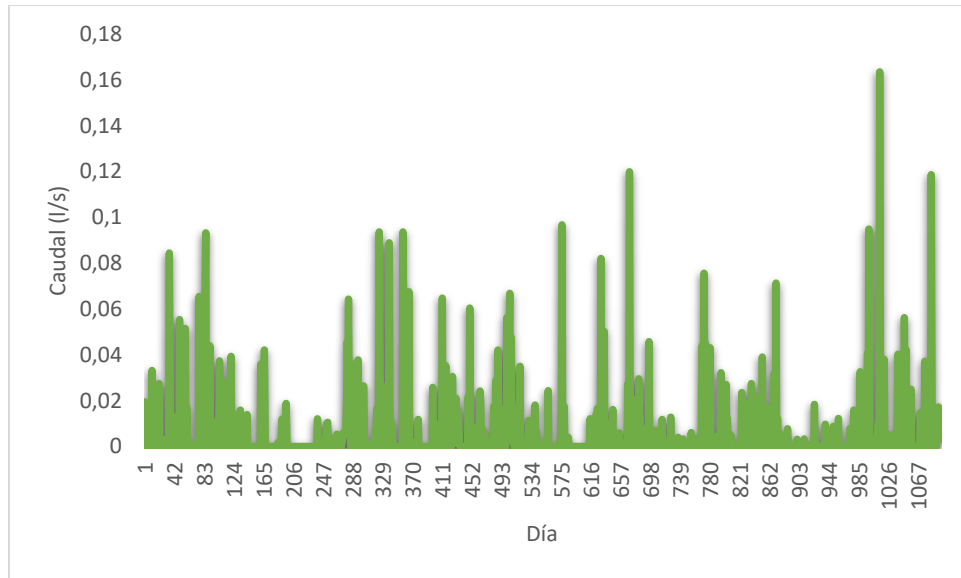


Figura 12.11. Caudal para un área de drenaje de 190 m²

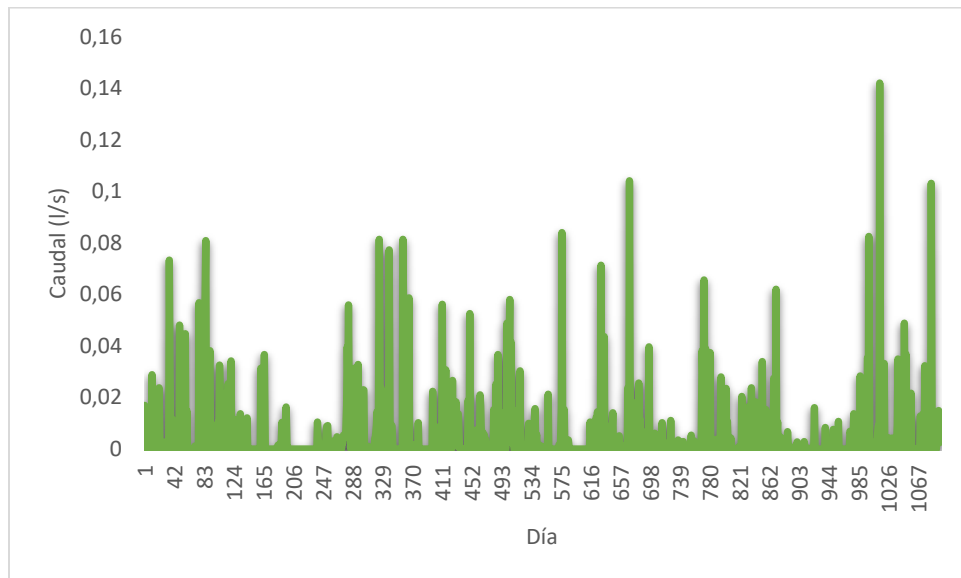


Figura 12.12. Caudal para un área de drenaje de 165 m²

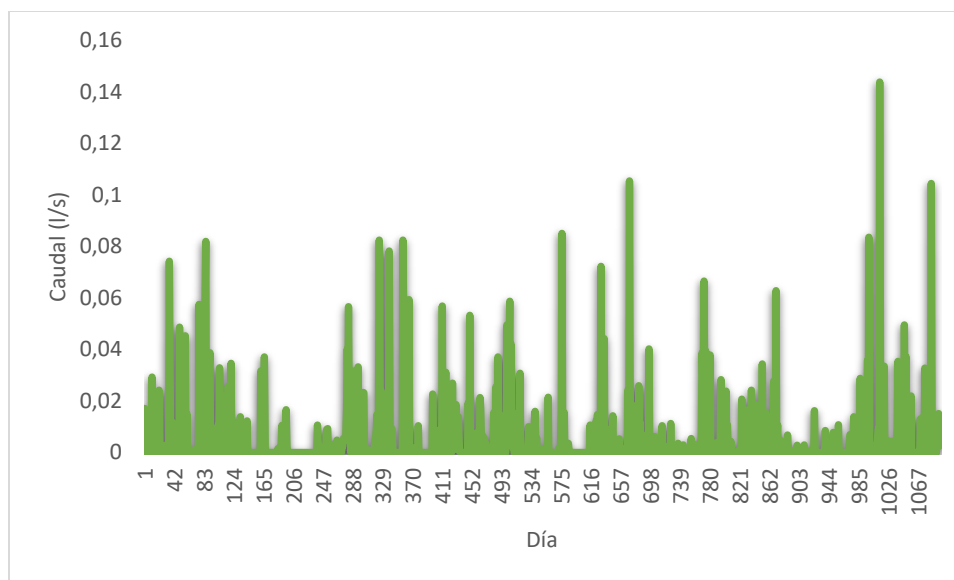


Figura 12.13. Caudal para un área de drenaje de 167 m²

Anexo 3: Especies subxerofíticas, frutales y medicinales a insertar en el jardín botánico especializado del campus Meléndez

Tabla 12.1. Especies subxerofíticas, frutales y medicinales del jardín botánico especializado

Grupo	Especie	Categoría de amenaza*	Coefficiente de especie (Ke)**
Medicinales	Leonotis nepetaefolia	No reporta	0.7 – 0.8
	Ocimum campechianum	No reporta	
	Drymonia serrulata	No reporta	
	Ipomoea alba	No reporta	
	Ipomoea hederifolia	No reporta	
	Evolvulus sericeus	No reporta	
	Evolvulus tenuis	No reporta	
	Jacquemontia corymbulosa	No reporta	
	Jacquemontia sphaerostigma	No reporta	
	Centratherum punctatum	No reporta	
	Pterocaulon virgatum	No reporta	
	Bidens pilosa	No reporta	
	Lycoseris mexicana	No reporta	
	Vallesia glabra	No reporta	

	Schaefferia frutescens	No reporta	
	Petiveria alliacea	No reporta	
	Piper tuberculatum	No reporta	
	Piper cornifolium	No reporta	
	Peperomia sp	No reporta	
	Renealmia aromatica	No reporta	
	Smilax aff. febrífuga	No reporta	
	Solanum americanum	No reporta	
	Pseudogynoxys bogotensis	No reporta	
	Merremia umbellata	No reporta	
	Dioclea guianensis	LC	
	Dioclea sericea	LC	
	Mucuna mutisiana	No reporta	
	Mucuna holtonii	No reporta	
frutales	Annona quinduensis	VU/EN	
	Annona restoniana	No reporta	
	Annona mucosa	No reporta	
	Annona muricata	No reporta	
	Psidium guajava	No reporta	
	Manilkara zapota	No reporta	
	Carica papaya	No reporta	
	Vasconcellea cauliflora	No reporta	
	Vasconcellea goudotiana	No reporta	
	Malpighia glabra	No reporta	0.6 – 0.7
	Bactris gasipaes var. chichagui	No reporta	
	Attalea butyracea	No reporta	
	Aiphanes horrida	No reporta	
	Passiflora edulis	No reporta	
	Passiflora quadrangularis	No reporta	
	Hylocereus undatus	No reporta	
	Selenicereus megalanthus	No reporta	
subxerofíticas	Armatocereus humilis	EN	
	Cephalocereus colombianus	No reporta	
	Disocactus ramulosus	LC	0.2 – 0.3
	Opuntia bella	No reporta	
	actus curvispinus subsp. loboguerreroi	VU	

Opuntia pittieri	DD
Pereskia guamacho	No reporta
Hippobroma longiflora	No reporta

Fuente: (OPDI, 2015)

*En peligro: EN; Especies vulnerables: VU; Datos insuficientes: DD; Preocupación menor: LC.

** Se reporta el valor de coeficiente de especie para las especies subxerofíticas, frutales y medicinales en sus conjuntos debido a que no existe una lista normalizada de Ke. Los valores presentados para este coeficiente son valores mínimos para mantener una apariencia aceptable, salud y crecimiento razonable para la especie, basados en observación y experiencias de campo y no en datos científicos (Puppo, 2015).