

Incidencia de una cubierta verde en la calidad del agua lluvia con fines de reutilización.

Daniela Parra Montoya

Universidad de Pamplona
Facultad de Ingenierías y Arquitectura
Programa de Ingeniería Ambiental
Pamplona
2021

Incidencia de una cubierta verde en la calidad del agua lluvia con fines de reutilización.

Daniela Parra Montoya
1120385756

Trabajo de grado presentado como requisito para optar el título Ingeniera Ambiental

Directores
María Esther Rivera
PhD. Hidrología, Lic. Matemáticas y Física

Roberto Sánchez Montaña
MSc. Ciencias

Universidad de Pamplona
Facultad de Ingenierías y Arquitectura
Programa de Ingeniería Ambiental
Pamplona
2021

Nota de Aceptación

Presidente del Jurado

Jurado 1

Jurado 2

Dedicatoria

Quiero dedicar esta tesis a mis padres Mónica Montoya y Arnulfo Parra, porque ellos han dado razón a mi vida, con sus consejos, con su amor, su apoyo incondicional y su paciencia, todo lo que hoy soy es gracias a ellos, porque me han enseñado a lo largo de mi crianza a ser una mujer decidida, dedicada, con convicciones y carácter, porque me formaron con reglas y libertades pero en todo momento motivándome a alcanzar todos mis anhelos.

A mi Abuela Margarita por cada día a mi lado, por estar siempre pendiente de mí colaborándome en lo posible, por ser mi segunda mamá y por alegrarse de cada uno de mis triunfos, A mi Hermana Nataly por su colaboración y confianza en mí. A mi hermano Yeison que siempre lo llevare en mi corazón y sé que siempre me acompaña en cada paso que doy.

Esto es por ustedes y para ustedes.

Agradecimientos

En primer lugar, a Dios por cuidarme en cada instante del camino y por fortalecerme para luchar siempre por mi objetivo, a mi familia por su apoyo económico y moral, por su inmenso esfuerzo y amor.

A la Universidad de Pamplona y a todo su cuerpo de docentes que a lo largo de los 5 años de carrera tuve la oportunidad de conocer y que me ayudaron a construir las bases de mi vida profesional.

A mis directores PhD. María Esther Rivera & MSc. Roberto Sánchez Montaña por acompañarme en el desarrollo del proyecto, asesorándome en cada uno de los pasos que debía dar para lograr el objetivo, por exigirme fuertemente en el desarrollo correcto de cada una de las actividades para buscar obtener siempre los mejores resultados, por compartir conmigo su conocimiento y por alentarme siempre a ser una buena profesional, una gran persona y dar lo mejor de mí en cada cosa que realice.

Tabla de Contenido

	Pág.
Resumen	11
Capítulo I	12
1. Introducción	12
2. Planteamiento del problema	14
3. Justificación	16
4. Objetivos	18
4.1 General	18
4.2 Específicos	18
Capitulo II	19
5. Marco Referencial	19
5.1 Marco contextual	19
5.1.1. Meteorología del lugar	20
5.2 Antecedentes	23
5.3 Marco teórico	29
5.3.1 Beneficios de los techos verdes	29
5.3.2 Desventajas de los techos verdes	34
5.3.3 Aspectos técnicos para la implantación de estructuras verdes	34
5.3.4 Componentes de la cubierta verde	41
5.3.5 Tipos de cubiertas	41
5.3.6 Importancia hidrológica de una cubierta VERDE	44
5.4 Marco Legal	46
Capitulo III	47
6. Metodología	47
6.1. Establecimiento de la respuesta de ciertas especies de plantas a las condiciones de cobertura en techos de edificaciones y las características estructurales de los mismos.	47
6.2 Determinación de la calidad del agua lluvia mediante el análisis de su composición fisicoquímica y microbiológica.	48
6.3 Determinación el uso óptimo del agua lluvia captada por la cubierta verde. .	48
Capitulo IV	50
7. Resultados y discusión	50

7.1. Establecimiento de la respuesta de ciertas especies de plantas a las condiciones de cobertura en techos de edificaciones y las características estructurales de los mismos.....	50
7.3 Determinación de la calidad del agua lluvia mediante el análisis de su composición fisicoquímica y microbiológica.....	67
7.4 Determinación del uso óptimo del agua lluvia captada por la cubierta verde	74
8. Conclusiones.....	81
9. Recomendaciones	83
10. Referencias Bibliográficas.....	84

Lista de tablas

Tabla 1. Especies utilizadas en cubiertas verdes a nivel nacional.	50
Tabla 2 Especies utilizadas para cubiertas verdes a nivel internacional.....	53
Tabla 3. Estructuras verdes ejecutadas en diversos proyectos.....	55
Tabla 4. Características de la cubierta establecida.	65
Tabla 5. Datos de precipitaciones registrados por el pluviómetro.....	68
Tabla 6. Volúmenes de agua captados.....	69
Tabla 7. Evaluación de resultados obtenidos para uso potable del agua lluvia sin cubierta verde.	75
Tabla 8. Evaluación de los resultados obtenidos para uso de recreación en contacto primario y secundario.	78
Tabla 9. Evaluación de los resultados obtenidos para uso doméstico.	79

Lista de figuras

Figura 1. Ubicación de la zona en estudio	19
Figura 2. Temperaturas máximas en Granada Meta suministradas por la estación meteorológica aguas claras del IDEAM para los años comprendidos desde 1998 hasta 2012.	20
Figura 3. Temperaturas mínimas en Granada Meta suministradas por la estación meteorológica Aguas Claras para los años comprendidos desde 1998 hasta 2012.	21
Figura 4. Precipitaciones mensuales suministradas por el IDEAM para la zona de estudio en el tiempo comprendido desde 1998 hasta el 2020.....	22
Figura 5. Velocidades máximas y mínimas del viento en el municipio de Granada Meta suministradas por Meteoblue para los años comprendidos entre 1998 y 2020.	23
Figura 6. <i>Chorophytum comosum</i>	60
Figura 7. <i>Tradescantia spathacea</i>	61
Figura 8. Proceso de reproducción y estructuras de soporte	62
Figura 9. Plantas establecidas en la cubierta	62
Figura 10. Componentes del sustrato.....	63
Figura 11. Área en estudio y canal de recolección.	64
Figura 12. Cubierta verde recién establecida.....	66
Figura 13. Cubierta verde con 1 mes de adaptación	66
Figura 14. Pluviómetro establecido en la zona de estudio.....	67
Figura 15. Eventos de precipitaciones filtrados por la cubierta.....	69
Figura 16. Muestras de aguas lluvias enviadas para análisis	70
Figura 17. Características del agua lluvia sin cubierta verde.	71
Figura 18. Características del agua lluvia con cubierta vegetal y sustrato compuesto 100% por materia orgánica.....	72
Figura 19. Características del agua lluvia con cubierta vegetal y sustrato compuesto 80% materia inorgánica y 20% Materia orgánica.	73

Lista de anexos

Anexo I. Normatividad aplicable Para uso Potable	92
Anexo II. Normatividad aplicable para Uso de recreación.....	93
Anexo III. Normatividad aplicable para Uso domestico	94
Anexo IV. Calidad del agua de la fuente y grado de tratamiento.....	95

Resumen

Las energías alternativas son innovaciones tecnológicas diseñadas para preservar y establecer un equilibrio entre el medio ambiente y la actividad humana, de igual manera son mecanismos para enfrentar el problema de sostenibilidad y cambio climático dentro de cualquier comunidad. Estos mecanismos pueden ser aplicados en lugares con diferentes condiciones atmosféricas, climáticas y topográficas para el aprovechamiento de diversos recursos naturales. Dependiendo de las necesidades de la comunidad se establecerá el tipo de estructura más adecuado, dentro de estas alternativas para el aprovechamiento de las aguas lluvias encontramos las cubiertas verdes o techos verdes, los cuales son estructuras que han tenido su auge debido a que son fácilmente adaptables a cualquier superficie o estructura.

Diferentes estudios han demostrado que las cubiertas verdes brindan grandes beneficios, en esta investigación se realizó el montaje de una cubierta verde de tipo extensiva expuesta a dos tipos diferentes de sustrato (Orgánico y mixto) para observar las alteraciones que presentaba el agua lluvia captada en cada caso, el análisis de parámetros como color, conductividad, pH, alcalinidad, turbiedad, dureza total, nitratos y coliformes totales hacen parte de las características muestreadas y presentan variaciones en los valores obtenidos dejando en evidencia que el uso del recurso hídrico captado no puede hacerse desde el momento directo de la toma, si no debe encontrarse precedido por un tratamiento que permita retirar las concentraciones elevadas de componentes en la muestra.

Palabras claves: Energías alternativas, cubierta verde, precipitaciones, especies nativas.

Capítulo I

1. Introducción

De acuerdo con Cubiertas vegetales (2018), una de las principales ventajas que traen las cubiertas verdes es el impacto en el medio ambiente, además de servir como elemento diferenciador en proyectos de Bio-construcción urbana. De los mismos modos estos permiten el aprovechamiento de superficies como terrazas o cubiertas que ayudan a mejorar los niveles de contaminación, malgasto de recursos energéticos y emisiones de dióxido de carbono. El sector de la construcción es uno de los más contaminantes, pues se estima que es responsable, a nivel mundial, de un tercio del gasto de agua y energía, y también de un tercio de las emisiones de gases contaminantes, que influyen negativamente en la capa de ozono. Las cubiertas vegetales son una gran herramienta para que las construcciones dejen de ser parte del problema y formen parte de la solución ya que promueven la Biodiversidad y el respeto por la fauna autóctona ya que las plantas y flores instaladas en cubiertas verdes sirven como hábitat para distintas especies de insectos y aves y del mismo modo retienen el agua lluvia y la reutilizan, de forma natural gracias a las plantas y a sistemas concretos de drenaje.

Por otra parte, es necesario considerar los Objetivos del Desarrollo Sostenible (ODS) establecidos por la Asamblea General de las Naciones Unidas 2015, ya que dentro de estos se encuentra el objetivo número 13 que textualmente enuncia “ se deben tomar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos”, el cual guarda directa relación con el tema la presente investigación, debido a que esta alternativa además de ayudar a mitigar efectos producidos por el desbalance atmosférico, ofrece a

las comunidades una fuente externa de abastecimiento del recurso hídrico y se encuentra entrelazado de igual manera con el objetivo número 7 que indica que “se debe garantizar energías asequibles, fiables, sostenibles y modernas para todos”.

Este trabajo se encuentra distribuido por capítulos, dentro del capítulo I se cobija todo lo relacionado con la información general del tema de estudio, el análisis de la problemática, la justificación de la misma y los objetivos establecidos para el desarrollo de esta investigación; El capítulo II abarca toda la información necesaria para conocer por completo esta energía alternativa, normatividad aplicable, estudios realizados concernientes a la temática y el contexto donde se planea desarrollar la investigación. Por último, el capítulo III abarca la metodología que se llevó a cabo durante el trabajo, los resultados obtenidos, las conclusiones, recomendaciones y bibliografía del proyecto.

2. Planteamiento del problema

Frente a los problemas de escasez hídrica como consecuencia del consumo insostenible, la contaminación y el cambio climático, el aprovechamiento de las aguas lluvias puede convertirse en una práctica de mitigación muy interesante desde el punto de vista económico y ambiental. Se evidencia la necesidad de crear construcciones que renueven y optimicen los recursos naturales (Ayala, 2014), y dentro de los sistemas de energías renovables se encuentra las cubiertas verdes que permiten la disminución de la temperatura en los espacios reducidos, siendo utilizadas por varias regiones del mundo para climatizar de forma eficiente y amigable con el medio ambiente, siendo una climatización pasiva que permite la reducción del calor al interior de las edificaciones y captura el CO₂ liberando oxígeno, teniendo como una segunda función el embellecimiento del entorno y el mantenimiento de la diversidad biológica local (Castro, 2018).

A algunas estrategias que se pueden implementar en Colombia para fomentar la construcción de techos verdes, son el uso de incentivos y la construcción de techos verdes demostrativos, y algunos estudios como la adaptación de los métodos de cálculo de capacidad hidráulica, el análisis del comportamiento térmico de los techos verdes mediante un estudio de transferencia de calor, cuyos resultados deben ser validados para las condiciones climáticas del país con el fin de evaluar comportamiento del techo verde en nuestro entorno (Marchena, 2012).

Es allí donde surgió el interés por estudiar el potencial de aprovechamiento del agua lluvia en el Municipio de Granada Meta como fuente alternativa para diversos usos a partir de la determinación de sus condiciones al encontrarse filtradas por un medio como lo es una cubierta verde con el fin de analizar su funcionalidad. Teniendo como principal interrogante ¿Que tanta incidencia tiene el paso del agua lluvia por una cubierta verde en las propiedades físico-químicas y microbiológicas que favorezcan su uso en diversas actividades o potabilidad para consumo humano?

3. Justificación

La transformación de los ecosistemas ocasionados por la urbanización ha generado la inestabilidad del ciclo hidrológico, lo cual ha llevado a diseñar y construir infraestructuras con capacidad de retener un evento natural como la precipitación en superficies impermeables como techos y paredes, conocidos también como cubiertas verdes que consisten en cultivar plantas o tener cobertura vegetal en los techos de las viviendas sin afectar el inmueble. El uso de techos verdes reintegrará la cubierta vegetal que el ser humano ha desplazado por cemento en las ciudades. Esta cobertura viva puede contribuir a mitigar las consecuencias del calentamiento global capturando GEI como el CO₂ y generando oxígeno por el proceso de la fotosíntesis (Rhodesv, 2012). Ayuda a regular la escorrentía, contribuye al confort térmico en las casas al actuar como un termostato verde; también contribuye en la economía del hogar al ahorrar consumo de energía en el uso de aire acondicionado y establece pequeños espacios para mantenimiento de la diversidad regional.

Mediante la implementación de techos verdes, la precipitación se retiene en el sustrato de la cubierta y se filtra paulatinamente (Bejarano, 2016). La presencia de una cubierta verde genera un cambio significativo en las poblaciones desde el ámbito visual principalmente, además es una tecnología que mejora las condiciones de habitabilidad de los sectores tanto urbanos como rurales generando beneficios sociales, económicos y ambientales. Se hace necesario resaltar que mediante la instalación de cubiertas verdes se pueden adquirir grandes beneficios para el medio ambiente, la flora y la fauna, la planificación urbana y la mejora de la calidad de vida de la población, brindándoles

espacios verdes que progresivamente han sido eliminados debido a las necesidades y el creciente aumento de los habitantes en las zonas urbanas, los techos verdes podrían ayudar a que problemáticas como la producción del CO₂ reduzcan y de igual manera son fuente principal de oxígeno, sin mencionar otros beneficios como la reducción de temperaturas, el confort térmico de las viviendas, el manejo y reutilización de aguas lluvias, la regulación de la escorrentía, así como la prolongación de la vida útil de los techos gracias a la protección que brindan estas a la radiación solar.

4. Objetivos

4.1 General

Evaluar la incidencia que tiene una cubierta verde sobre la calidad del agua lluvia con fines de reutilización.

4.2 Específicos

Establecer la respuesta de ciertas especies de plantas a las condiciones de cobertura en techos de edificaciones y las características estructurales de los mismos.

Determinar la calidad del agua lluvia mediante el análisis de su composición fisicoquímica y biológica.

Determinar el uso óptimo del agua lluvia captada por la cubierta verde

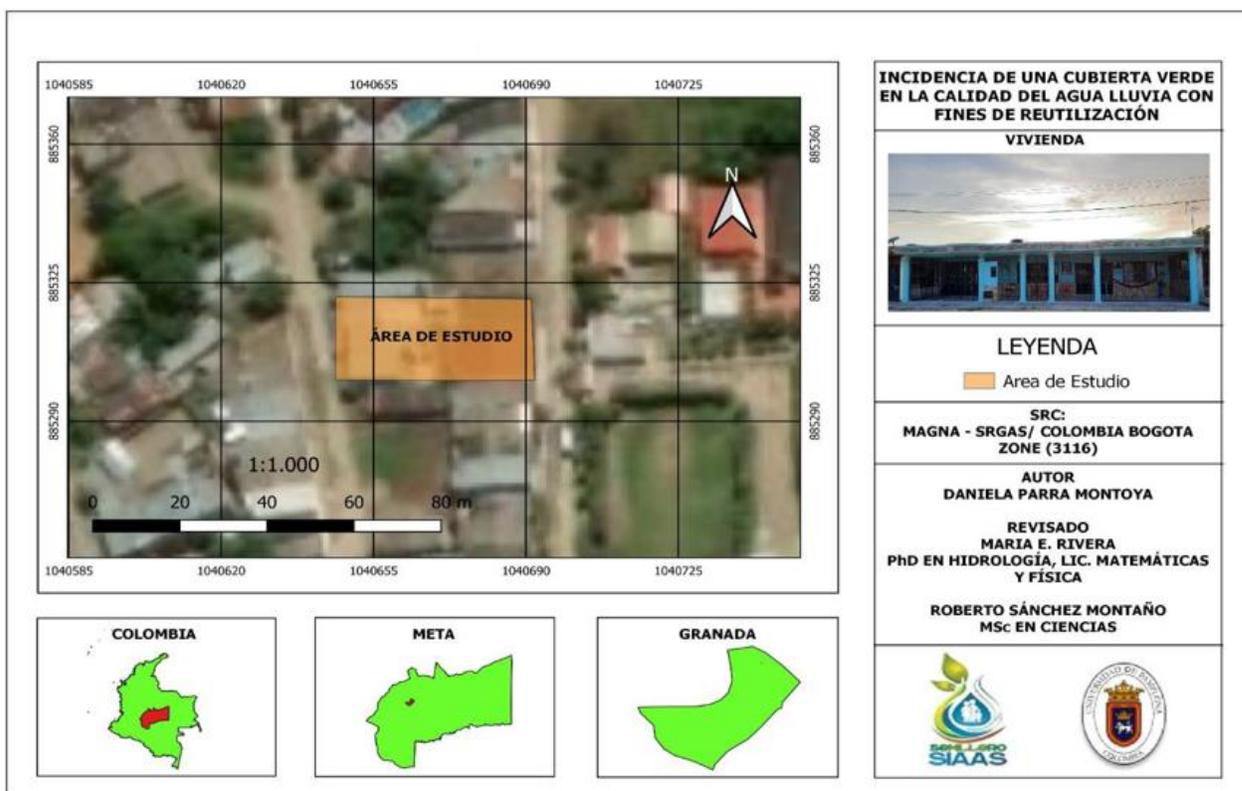
Capitulo II

5. Marco Referencial

5.1 Marco contextual

Granada es un municipio ubicado en el departamento del Meta, a una latitud de $3^{\circ} 26''$ N y a una longitud $73^{\circ} 43''$ O. Presenta una variación de alturas desde 372 a 410 m.s.n.m. La zona de estudio es una vivienda familiar que se encuentra localizada a una latitud de $3^{\circ} 33' 31,15''$ N y una longitud $73^{\circ} 42' 40,56''$ O, en la dirección residencial Carrera 8 #32-61 Barrio Inmaculada.

Figura 1. Ubicación de la zona en estudio



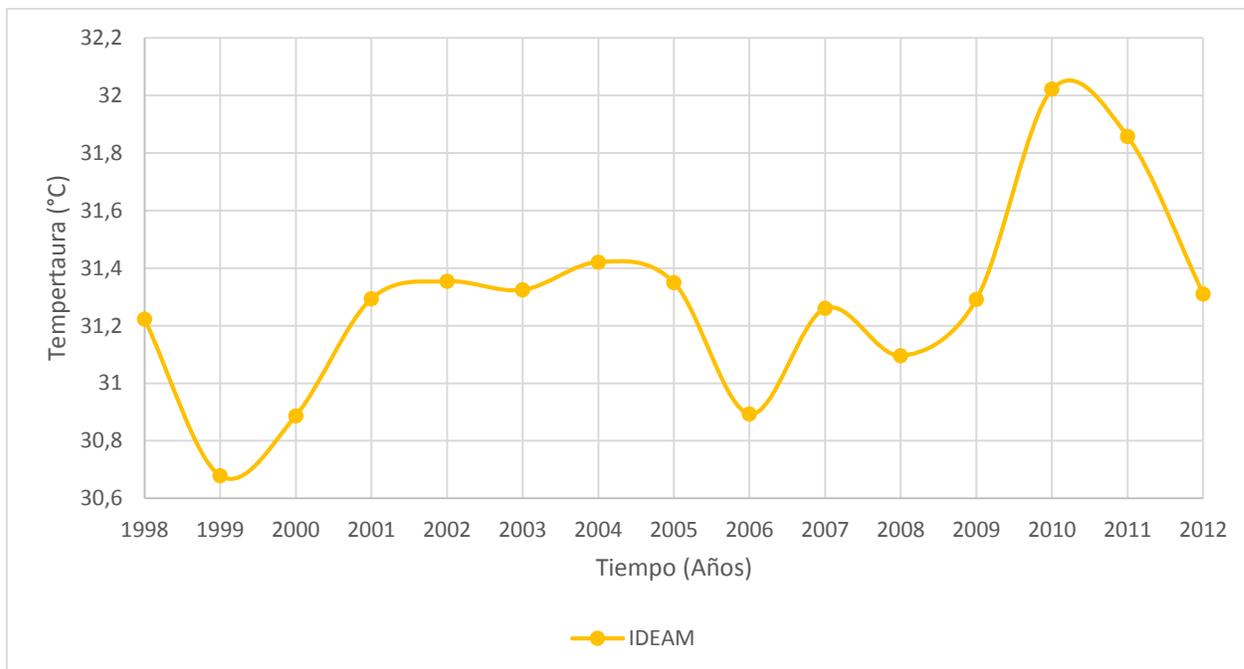
Fuente: Elaborado en Qgis 3.14 por Parra M 2020.

5.1.1. Meteorología del lugar

Basado en servidores como estaciones meteorológicas del IDEAM y Meteoblue en la zona, se estableció la meteorología del lugar.

En la Figura 2. Se muestra el comportamiento de las temperaturas máximas registradas por el IDEAM en la zona de estudio, la cual evidencia que la temperatura más alta de 32,02°C se presenta en el año 2010. Por otra parte, la temperatura mínima registrada de 30,67°C en el año 1999. Cabe resaltar que los lapsos de temperaturas del servidor oscilan entre los 30°C y 32°C.

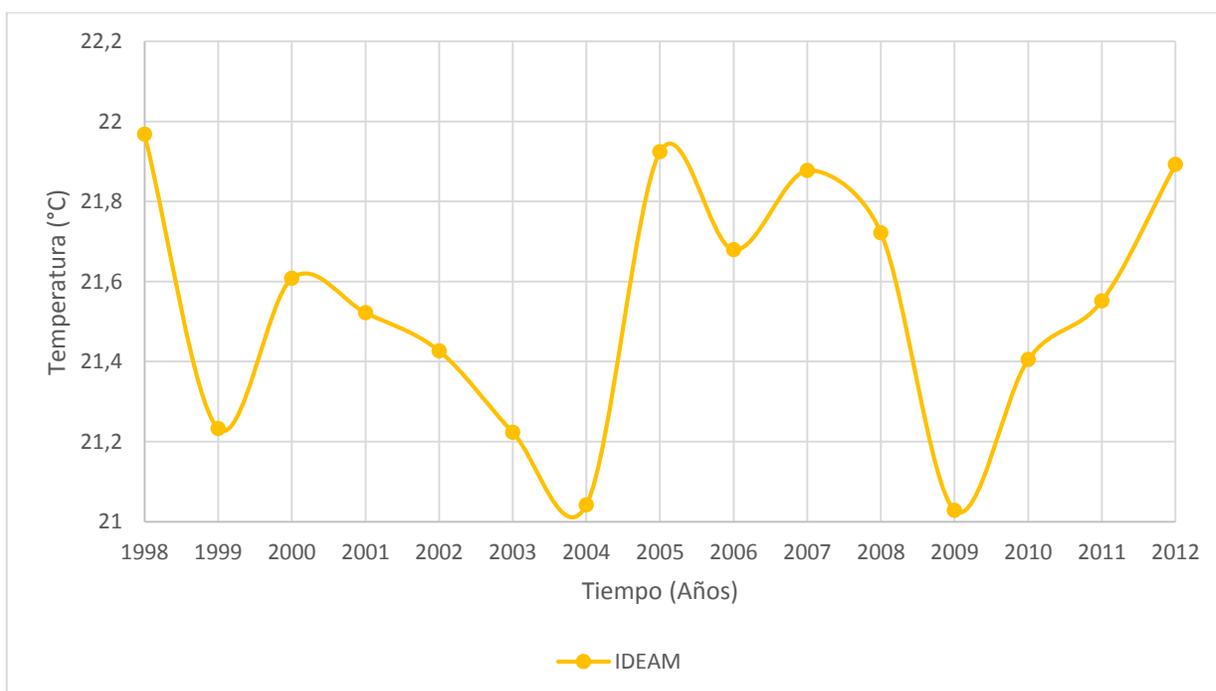
Figura 2. Temperaturas máximas en Granada Meta suministradas por la estación meteorológica aguas claras del IDEAM para los años comprendidos desde 1998 hasta 2012.



Fuente. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM)

Las temperaturas mínimas de la zona de estudio se observan en la Figura 3, estableciendo que los rangos de temperatura oscilan entre 21-22°C, sin embargo, en los años 1999, 2004 y 2009 se registraron las temperaturas más bajas de la serie de datos siendo 21,23°C , 21,04°C y 21,02°C respectivamente.

Figura 3. Temperaturas mínimas en Granada Meta suministradas por la estación meteorológica Aguas Claras para los años comprendidos desde 1998 hasta 2012.

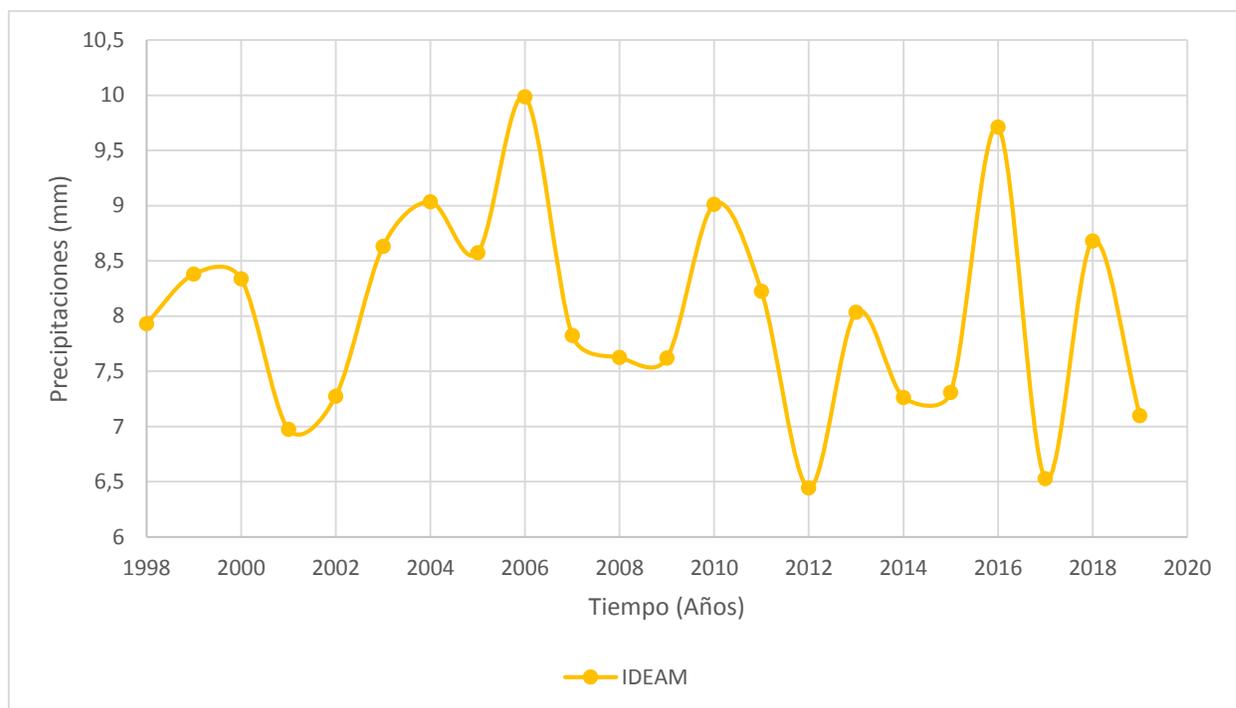


Fuente. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM, 2020)

Al analizar el registro de precipitaciones suministrado por el IDEAM en la zona de estudio se encontró que en los años 2006 y 2016 se presentaron eventos de lluvias moderadas siendo 9,98mm y 9,71mm los valores registrados para los años mencionados. Continuando con los años 2004, 2010 y 2018 que presentaron precipitaciones de 9,03 mm, 9,01mm y 8,68mm respectivamente. Por otra parte las precipitaciones con valores

más bajos se presentaron en los años 2012, 2017 y 2001 siendo 6,44mm, 6,52mm y 6,97mm los valores registrados (ver Figura 4).

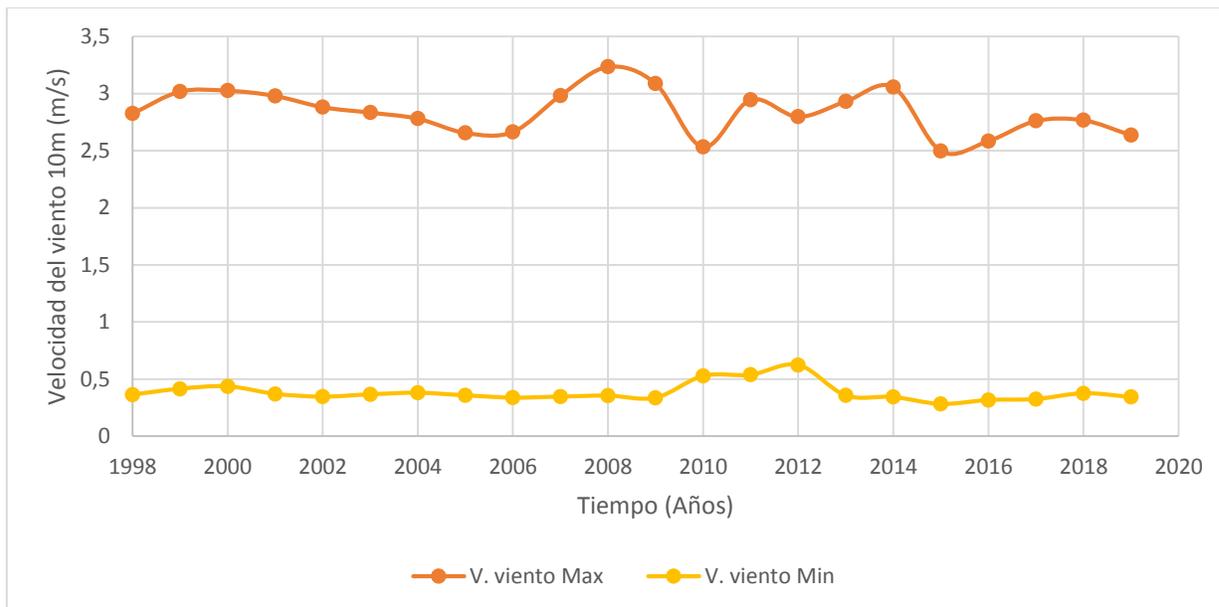
Figura 4. Precipitaciones mensuales suministradas por el IDEAM para la zona de estudio en el tiempo comprendido desde 1998 hasta el 2020



Fuente. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM)

Uno de los parámetros que inciden en el comportamiento de las masas del aire es la velocidad del viento. En la figura 5 se observa el comportamiento de los vientos máximos y mínimos de la zona de estudio, donde se determinó que las velocidades máximas se presentan en los años 2007, 2008, 2009 y 2014 oscilando entre 3- 3,2 m/s. mientras que en el año 2015 se registró la velocidad de viento más baja con un valor de 0,28 m/s.

Figura 5. Velocidades máximas y mínimas del viento en el municipio de Granada Meta suministradas por Meteoblue para los años comprendidos entre 1998 y 2020.



Fuente. Meteoblue

5.2 Antecedentes

De acuerdo con Ospina et al., (2014), es necesario estudiar el potencial de aprovechamiento del agua de lluvia como fuente alternativa para uso doméstico a partir de la determinación de sus condiciones fisicoquímicas y microbiológicas, teniendo en cuenta la medición de turbidez, color aparente, pH, conductividad, temperatura, nitratos, alcalinidad total, cloruros, aluminio, dureza total, hierro total, sulfatos y coliformes totales, obteniendo como resultado que la composición físico química es susceptible de potabilización al no encontrar niveles temibles de contaminación, permitiendo definir así su potencial aprovechamiento previo proceso de tratamiento convencional que permita remover algunos contaminantes detectados, como coliformes totales, reducción de

turbiedad y neutralización del pH por presentar valores bajos como evidencia de agua ligeramente ácida.

Así mismo, Beltrán et al., (2014) considera que los techos verdes han tomado auge debido a los múltiples beneficios que brindan, entre ellos la mitigación térmica de los edificios, y la mejora del confort térmico (CT). Aunque es una tecnología deseable en zonas cálidas y tropicales, se requiere aligerar su diseño convencional, a fin de adaptarlos a la vivienda rural tropical.

De igual modo, Redondo (2014) considera que las constantes emisiones atmosféricas generadas por los vehículos que diariamente circulan por la ciudad de Bucaramanga, generan contaminación del aire a través de la combustión de combustible fósil, estas emisiones afectan directamente a la salud de su población y contribuyen significativamente al conocido fenómeno del efecto invernadero. Con las infraestructuras verdes urbanas como son los techos verdes, jardines verticales, parques lineales entre otros, se fomenta el uso y la conservación de los espacios verdes en la ciudad. A través de su capa vegetal, los espacios verdes generan diversos beneficios tales como: la regulación del confort térmico en la zona y la recepción de gases contaminantes presentes en la atmosfera, a su vez propician un valor estético visual en la zona estableciendo un soporte para la biodiversidad presente en el sector el cual se convierte en un instrumento para la estimulación e interacción social de sus habitantes. Es allí donde se hace necesario analizar los beneficios socio ambientales de las infraestructuras verdes aplicables al plano urbano en los métodos de construcción y planificación urbanística en la ciudad de Bucaramanga, como herramienta para hacer

frente a los efectos del cambio climático y mejorar las condiciones de vida de la población, identificando los problemas y dificultades por la cual atraviesa la ciudad y referenciando experiencias positivas en otras urbes del mundo, esto para generar conclusiones que acrediten que la aplicación de este tipo de infraestructuras al plano urbanístico efectivamente traerán beneficios tanto como a la salud de la población como al medio ambiente de la ciudad.

Además, Aguirre et al., (2014) argumenta que dado el crecimiento exponencial de las ciudades, y la preponderancia de superficies impermeables en éstas, los problemas de manejo del agua, como son las inundaciones, inestabilidad de taludes, deslizamientos, así como problemas relacionados con el desabastecimiento de productos de consumo masivo (agrícolas), han mostrado un incremento considerable en los últimos años. Por lo tanto ha sido necesario implementar nuevas técnicas que permitan solucionar dichos problemas como lo son las trincheras de retención, los humedales artificiales, los jardines verticales entre otros, las cuales buscan mitigar problemas como exceso de escorrentía, disminución de los contaminantes en las fuentes hídricas y el mejoramiento de la calidad del aire. Hoy en día se reconoce que los techos verdes son una alternativa viable en el desarrollo sostenible de las futuras edificaciones y altamente aplicable en las ya edificadas, sin importar el uso que presten puesto que pueden mitigar los efectos causados por el exceso de la escorrentía y proporcionar a su vez un sinnúmero de insumos de tipo medicinal, ornamental o de consumo alimenticio.

También, Estupiñan et al., (2010) analiza que frente a los problemas de sobrepresión y escasez hídrica como consecuencia del consumo insostenible, la

contaminación y el cambio climático, el aprovechamiento de las aguas lluvias puede convertirse en una práctica de mitigación muy interesante desde el punto de vista económico y ambiental. Así mismo, podría mitigar los problemas relacionados con la acumulación de caudales pico durante periodos de altas precipitaciones.

De igual modo Rodriguez et al., (2004) agrega que el estudio del volumen, composición química del agua de lluvia y su distribución espacio-temporal constituye una de las líneas de investigación en los estudios del ciclo hidrológico y los estudio de impacto ambiental. Su importancia está marcada por el hecho de que son las precipitaciones atmosféricas la principal fuente de alimentación de las corrientes de agua superficial, la recarga de las aguas subterráneas y de aporte de sales solubles al suelo.

Por otro lado, Castro (2018) indica que entre los sistemas de energías renovables se encuentra las cubiertas verdes permitiendo la disminución de la temperatura en los espacios reducidos, siendo utilizadas por varias regiones del mundo para climatizar de forma eficiente y amigable con el medio ambiente, siendo una climatización pasiva que permite la reducción del calor al interior de las edificaciones y captura el CO₂ liberando oxígeno, teniendo como una segunda función el embellecimiento del entorno.

De este modo, Trujillo (2014) analiza que la caracterización de la calidad del agua que escurre a través de un techo verde es vital para tener información relevante y avanzar en el desarrollo de esta nueva tecnología. En cuanto a los beneficios que tiene la construcción en gran escala este tipo de sistema de drenaje urbano o SUD estos nuevos desarrollos podrían significar la disminución de caudales picos, inundaciones e

incremento de la infiltración entre otros, que harían parte de las razones para tener en cuenta en el diseño de una ciudad auto sostenible.

De igual manera Ramírez et al., (2012) plantea que mediante una revisión de las publicaciones científicas relacionadas con los techos verdes, se logró encontrar información de 50 artículos relacionados, siendo Norteamérica y Asia las regiones con mayor producción en ese campo de conocimiento. El mayor número de publicaciones está relacionado con los efectos térmicos de las cubiertas verdes en las edificaciones; en menor porcentaje, se analizan los beneficios urbano-ambientales de los techos verdes; y finalmente, en unos cuantos, se discute la capacidad de absorción de CO₂ en techos verdes, a partir de la poca información publicada. A partir de la revisión se propone llenar el vacío importante en investigaciones relacionadas con el efecto de techos verdes en ciudades del neotrópico, y de investigaciones dirigidas a evaluar el secuestro de carbono por parte de éstas cubiertas.

Del mismo modo, Puentes (2014), plantea que debido al aumento de la urbanización en todo el mundo, se ha visto un cambio significativo durante las últimas décadas pasando de considerar los sistemas de drenaje urbano como elementos (típicamente destinados a reducir inundaciones) a múltiples objetivos y se han propuesto una serie de techos verdes para evitar la inundación de grandes proyectos de construcción.

Desde otro punto de vista, Ortiz et al., (2017) consideran que a partir de un modelo físico de recolección de agua, se realiza la captación y el almacenamiento de la

misma al estar directamente a la intemperie, proporcionando datos reales día a día. Teniendo en cuenta que el agua lluvia se puede emplear como una alternativa para abastecer la demanda de agua, en alguna de las actividades cotidianas.

Así mismo, Castellano et al., (2015), con el fin de aprovechar el recurso hídrico obtenido por medio de precipitaciones, se planteó la opción de creación de un sistema de recolección de aguas lluvias para que este sea reutilizado en labores domésticas y que con la implementación de un filtro, el agua obtenida tuviera una calidad similar a la del agua procesada en plantas de tratamiento de agua potable.

Por otra parte, Zielinski (2012) analiza que el acelerado desarrollo urbano genera una serie de problemas no sólo sociales y económicos, sino también ambientales. Los techos verdes son unas de las nuevas tecnologías que pueden ser utilizadas como herramientas para la gestión ambiental en los edificios. Sin embargo, existen muchas barreras que impiden su implementación a gran escala. Con el fin de investigar todos los parámetros relacionados a esta alternativa se hace una revisión profunda de las experiencias y resultados de numerosas investigaciones en el tema, destacando los beneficios de los techos verdes y mostrando las barreras para la implementación de esta tecnología.

De igual modo, Valbuena (2012) menciona que las actividades antrópicas han generado el desarrollo de las ciudades y a la vez contribuido en el progresivo deterioro del medio ambiente. El ser humano ha remplazado y desplazado la cubierta vegetal por una capa de asfalto, ladrillo y cemento. Esto ha ocasionado varios problemas en las

ciudades (inundaciones, desastres naturales, aumento de la temperatura, pérdida de biodiversidad, contaminación de aire, suelo, agua, visual, malos olores), a los que se le adicionan las consecuencias generadas por el fenómeno del cambio climático.

5.3 Marco teórico

Una cubierta verde es un sistema constructivo que tiene un acabado vegetal sobre grosor de tierra o sustrato y es concebido especialmente para obtener beneficios ambientales. En este sistema, la cobertura de vegetación puede ser total o parcial, y no hace referencia a tecnologías de construcción para mejorar el hábitat o ahorrar consumo de energía, es decir, tecnologías que cumplen una función ecológica. Las cubiertas verdes son un buen ejemplo de diseño urbano multifuncional. Las azoteas vivas y las cubiertas verdes son un activo importante para la recuperación de espacios en desuso en la ciudad, así como una oportunidad para el desarrollo de una Barcelona más sostenible. (Urbana, 2015)

5.3.1 Beneficios de los techos verdes

Según Castaño (2014), las azoteas vivas y las cubiertas verdes aportan un valor añadido a la finca o predio, ya que crean edificios más sostenibles y atractivos. La recuperación de las azoteas y la incorporación de nuevos usos mejoran la percepción que se tiene de los inmuebles y favorecen la revalorización económica, es por esto que se enumeran las siguientes ventajas de la implantación de un sistema de este tipo.

A continuación se presentan los beneficios del uso de las cubiertas verdes o techos verdes desde el punto de vista de Castaño (2014):

Incremento del precio del edificio Las azoteas vivas y las cubiertas verdes aportan un valor añadido al predio, ya que crean edificios más sostenibles y atractivos. La recuperación de las azoteas y la incorporación de nuevos usos mejoran la percepción que se tiene de los inmuebles y favorecen la revalorización económica. Si se hace una buena gestión y uso de las azoteas, se pueden utilizar como espacios versátiles de ocio, como huertos urbanos o espacios comerciales (bares, restaurantes, gimnasios...), así como para aumentar la superficie habitable para escuelas, locales sociales, hospitales, residencias y para los propios vecinos del edificio.

Incremento de la vida de la impermeabilización Una cubierta verde añade una capa de aislamiento adicional a la cubierta. Las diferencias de temperatura de más de 100 °C a lo largo de un año o las de 60 °C en 24 horas de un techo tradicional o de gravas en verano, así como la incidencia directa de la radiación UV, aceleran el envejecimiento de la membrana impermeabilizante, facilitan la aparición de grietas y, finalmente, aparecen goteras. Tanto la vegetación como el sustrato protegen la membrana impermeabilizante mediante la amortiguación de las fluctuaciones de temperatura (Castaño, 2014).

Aislamiento acústico: El ruido en las ciudades es una de las causas de estrés y trastorno del sueño de una parte de la población. Una cubierta verde reduce la reflexión del sonido hasta 3 dB y mejora el aislamiento acústico hasta 8 dB. Eso puede ofrecer una

mejora de la calidad de vida a las personas que viven cerca de espacios ruidosos (Castaño, 2014).

Aislamiento térmico: Uno de los beneficios más importantes de las cubiertas verdes es la reducción de los costes de calefacción y refrigeración, que dependerá del tipo de cubierta que se construya y del grosor de tierra que incorpore. Una azotea sin protección y con un aislamiento deficiente tendrá como consecuencia el sobrecalentamiento de las viviendas situadas justo debajo. El aislamiento adicional que proporciona la cubierta verde reduce la transferencia de temperatura entre el interior y el exterior del edificio. En verano, se reduce el calor excesivo y, durante el invierno, se minimizan las pérdidas de calor del edificio (Castaño, 2014).

Reducción del efecto isla de calor: El calentamiento global, el aumento de superficies impermeables, el exceso de calor de los edificios residenciales, la industria y el tráfico producen un aumento de la temperatura dentro de las ciudades. La diferencia de temperatura entre la ciudad y el campo o espacio periurbano que lo rodea se conoce como efecto isla de calor. En verano, esta diferencia térmica puede llegar casi a 10 °C y provocar una disminución de la calidad de vida y de la salud de los habitantes de la ciudad. En las zonas densamente pobladas, donde los espacios verdes son escasos, las cubiertas ajardinadas pueden ser una buena solución, pues reducen el efecto isla de calor a través del proceso de la transpiración y la humidificación del aire seco, que mejora el clima y aumenta la sensación de bienestar (Castaño, 2014).

Captación y almacenaje de agua: Las cubiertas verdes sirven como depósito de acumulación del agua de las precipitaciones. Por medio de la tecnología de aljibes, el agua de la lluvia se puede reutilizar para regar la misma cubierta o para otros usos (lavabo, limpieza, enfriamiento de aparatos). Las cubiertas verdes son instrumentos muy importantes en la prevención de inundaciones locales, ya que, según el sistema de cubierta verde y la profundidad del medio de cultivo, el agua de lluvia que se vierte directamente en el alcantarillado se puede reducir entre un 50 y un 90%. Este efecto permite reducir el estrés en la red de alcantarillado durante el año y en los periodos de máxima precipitación. Además, las precipitaciones arrastran nutrientes, sedimentos, hidrocarburos, compuestos orgánicos clorados y metales pesados de las superficies de los edificios y calles. Cuando esto ocurre sobre una cubierta ajardinada, la vegetación filtra y absorbe una parte de esta contaminación (Castaño, 2014).

Reducción de los niveles de Contaminación: La vegetación es capaz de mejorar la calidad del aire. Se ha demostrado que es efectiva a la hora de reducir la contaminación atmosférica por la capacidad que tiene de filtrar partículas y de absorber gases contaminantes. Un metro cuadrado de cubierta verde puede filtrar 0,2 kg de polvo en aerosol y partículas de esmog en un año. Además, los nitratos y otros materiales peligrosos en el aire y la lluvia se depositan en el medio de cultivo (Castaño, 2014).

Creación de nuevos hábitats para la fauna: Las cubiertas verdes pueden compensar parte de las áreas verdes perdidas en la construcción de edificios y crear espacios propios para la fauna en nuestras ciudades. Muchos insectos, pájaros y plantas pueden encontrar refugio en estos espacios recuperados para la naturaleza. Los nuevos

hábitats integrados en los edificios sirven para crear conexiones de la fauna entre la ciudad y el bosque más próximo, y facilitar el movimiento y la dispersión de la vida silvestre (Castaño, 2014).

Mejora del paisaje urbano y de la calidad de vida: Las cubiertas ajardinadas son una buena solución para combatir la alta densidad de edificación de la mayor parte de nuestras ciudades. El paisaje urbano podría cambiar de manera sustancial si una parte de las cubiertas actuales con acabado de gravas se transformaran en cubiertas verdes. La inclusión de zonas verdes dentro del tejido urbano se relaciona con la reducción del estrés y el tiempo de recuperación de los pacientes, del mismo modo que se relaciona con la mejora de la productividad en el trabajo (Castaño, 2014).

Potenciación de la agricultura urbana: Las azoteas vivas y las cubiertas verdes se pueden utilizar como espacios para la producción de alimentos para la distribución local y complementar la cocina de un restaurante o, incluso, para la venta a escala comercial. La agricultura urbana permite maximizar la producción de hortalizas y frutas frescas en espacios hasta ahora infrautilizados en las ciudades.

Eso puede ayudar a disminuir la huella ecológica y reducir la pobreza (generando recursos y empleo), y contribuir a la seguridad alimentaria y nutricional y a reciclar desperdicios. Asimismo, permite reducir la distancia entre productores y consumidores y, consiguientemente, a bajar precios y solucionar problemas de desabastecimiento (Castaño, 2014).

5.3.2 Desventajas de los techos verdes

Según Construye (2020) las principales desventajas de estas estructuras se encuentran enumeradas a continuación:

1. Se añade peso al techo
2. En algunas ocasiones su instalación resulta demasiado costosa
3. Los techos verdes requieren de mantenimiento constante
4. Algunos edificios existentes no se pueden adaptar para construir techos verdes.
5. De no ser bien instalado, el techo verde puede retener agua y hacer que las raíces penetren en las paredes

5.3.3 Aspectos técnicos para la implantación de estructuras verdes

En primer lugar, hay que tener en cuenta la climatología y la situación física de la cubierta, especialmente si se quiere hacer un techo con vegetación o si se quieren definir espacios de descanso para tomar el sol o lugares con necesidades de sombra en verano. Los factores climatológicos pueden variar con la ubicación geográfica, así como con la orientación y la altura e incluso, pueden variar entre un edificio y las fincas circundantes. Los factores climatológicos que hay que tener más en cuenta son los siguientes de acuerdo a lo planteado por (Urbana, 2015):

El viento: a medida que subimos en altura, la velocidad del viento es más elevada; es importante conocer las corrientes de aire habituales en el edificio para hacer una buena distribución de los usos de la azotea. Por ejemplo, ubicar espacios de descanso en las zonas más resguardadas o instalar contraventanas si es necesario mediante celosías o vallas de vegetación (urbana, 2015).

La lluvia o humedad: este factor es clave si se quiere vegetar la cubierta. Teniendo en cuenta la pluviometría y el grado de humedad, se podrá hacer una elección óptima de la vegetación y del sistema de riego necesario. En Barcelona, es casi indispensable disponer de un sistema de riego, ya que los meses de verano son muy calurosos y, a menudo, escasos de precipitación (urbana, 2015).

La orientación o la radiación solar: para conocer cuáles serán las zonas de sol o de sombra de la cubierta, hay que elaborar un estudio de la radiación solar y de sus variaciones a lo largo del año. Eso influirá, por una parte, a la hora de elegir vegetación en una cubierta ajardinada o en un huerto urbano o, por otra parte, en cualquier otra actividad que esté condicionada por la insolación. Por ejemplo, si se quiere disponer de un espacio de picnic válido al aire libre para la época de verano, es importante ubicarlo en una zona de sombra o, si no hay, pensar en diseñar un umbráculo (urbana, 2015).

La temperatura: en el clima mediterráneo, las altas temperaturas del verano pueden conllevar que algunos usos de las azoteas sean desaconsejables a determinadas horas del día. Será necesario elegir una vegetación resistente y generar espacios con sombras por medio de la vegetación (árboles cuando la cubierta lo permita, pérgolas

vegetadas) que, además de reducir la temperatura del lugar, humidificarán el ambiente, así como incorporar estructuras auxiliares arquitectónicas (porches) o, también, utilizar elementos auxiliares (toldos) (urbana, 2015).

De igual manera en lo referente al diseño de la cubierta Ecología Urbana (2015) indica que hay que saber qué capacidad de carga tiene. Un ingeniero de estructuras debe llevar a cabo un estudio de los materiales y del estado de la estructura existente para calcular cuál es el peso que aguanta y, si es necesario, añadir algún refuerzo estructural. En algunos casos, puede ser necesario añadir algún pilar o reforzar los existentes; en otros casos, será necesario construir un techo estructural que transfiera el peso a zonas donde haya pilares y vigas que sostengan más carga (urbana, 2015). El técnico también puede indicar qué zonas de la cubierta están más dimensionadas para situar en esos puntos los elementos más pesados. Para saber qué peso tendrá la cubierta con los nuevos usos, debe conocerse los siguientes aspectos (urbana, 2015):

La carga muerta de la cubierta: el peso final total de la cubierta construida, incluyendo todos los elementos y componentes asociados con el techo (peso del sistema de cubierta, sustrato saturado de agua, peso de la vegetación en su crecimiento máximo, elementos arquitectónicos que pueda haber, pavimentos) (urbana, 2015).

La carga viva: el peso de las personas que utilicen el espacio y de cualquier equipo móvil que se utilice periódicamente en el lugar. Por ejemplo, una máquina de segar para hacer el mantenimiento del jardín (urbana, 2015).

La carga transitoria: cargas puntuales: generadas por elementos meteorológicos, por el viento básicamente, y cargas por nieve, que, aunque no sea un caso habitual, tampoco se puede descartar (urbana, 2015).

La impermeabilización: es fundamental para el éxito de una azotea viva. Una buena impermeabilización evitará que haya goteras. Cuando se trabaja en un edificio antiguo, es importante que un profesional cualificado compruebe la estanquidad de la cubierta. Una buena opción para impermeabilizaciones de más de diez años es colocar una nueva membrana impermeabilizante que asegure que no hay escapes. En el mercado se pueden encontrar diferentes opciones de membranas impermeabilizantes (urbana, 2015).

El requisito más importante que deben cumplir las membranas, aparte de la resistencia mecánica, es que sean resistentes a la penetración de las raíces, por eso se utiliza habitualmente el término antirraíces. Para asegurar esta función antipenetración de las raíces, se recomienda que las membranas sean sintéticas, ya que las orgánicas (asfálticas o bituminosas) son susceptibles de ser atravesadas por las raíces o pueden ser químicamente inestables. Si se dispone de una impermeabilización bituminosa en buen estado y se quiere que en la cubierta haya vegetación, es imprescindible separar el sistema de cubierta de la impermeabilización mediante una lámina antirraíces (urbana, 2015).

Inclinación: Los techos verdes son principalmente implementados en techos planos, sin embargo algunos techos verdes pueden ser inclinados hasta 15-20°. El límite

está definido por los costos de estructurar el techo tal que la cobertura no se deslice y la altura del sustrato sea relativamente uniforme (Schunck E. A., 2003).

Altura: De acuerdo a la altura del sustrato del techo verde se pueden clasificar en extensivos e intensivos. Los techos extensivos son los más delgados, demandan menos cuidado y sólo soportan algunos tipos de plantas. El medio de crecimiento de las plantas es delgado (5-10 cm), las capas de retención y drenaje se consideran menos efectivas que las de los techos intensivos. Por el poco esfuerzo y mantenimiento que requieren se suponen sostenibles (Long B, 2006).

Por su parte los techos verdes intensivos demandan mayor atención en términos de su locación y cuidado de las plantas que puede soportar. Estos techos pueden resistir diferentes tipos de plantas como hierbas, pastos, arbustos e incluso. La capa que contiene el sustrato para las plantas es más gruesa (mínimo 15 cm) y debe tener un nivel más alto de nutrientes, requieren cuidado regular y 12 riego durante periodos secos (Schunck E. A., 2003). Dada su complejidad de construcción, es viable económicamente solo con plantaciones elementales, de lo contrario se puede volver muy difícil de sostener (Beck, 2011).

Plantas: En general los techos verdes extensivos no requieren riego, por lo que la elección de las plantas indicadas pueden significar el éxito o el fracaso del sistema (Lucket, 2009). Las plantas más comúnmente utilizadas para este tipo de techos verdes son especies de Sedum, capaces de soportar grandes sequias así como niveles altos de estrés hídrico. Son en general plantas muy eficientes y de fácil adaptación (Olewski,

2011). Se utilizan arreglos en los que se mezclan varias especies de Sedum para generar resistencias a hongos, insectos u otras plagas y así lograr una mayor vida útil. También es muy común la utilización de pastos o plantas suculentas en los techos verdes extensivos que requieren mayor cuidado. Las especies de pastos no son tan resistentes como las especies de Sedum pero en algunos casos se logran buenos resultados debido a las condiciones climáticas de cada lugar y la eficiencia del sistema como tal (Beck, 2011).

Sustrato: En la mezcla del sustrato se deben tener en cuenta parámetros como profundidad, tamaño de partículas, forma, composición química y pH adecuados ya que es quizá la componente más importante de un techo verde (Schunck E. A., 2003). En general se utilizan diferentes fuentes de materia orgánica como tierra negra, turba, compost, cascarilla de arroz y escoria. Materiales inorgánicos como arena sílice, zeolita, caolín, piedra pómez, carbón activado, carbón vegetal y 14 piedras (Schunck E. A., 2003). La composición del sustrato finalmente va a influir en el pH, la calidad y la cantidad de agua que escurre por área de techo verde construido (Butler, 2011).

Es muy importante la optimización de los sustratos para tener sistemas de cubiertas vegetadas más efectivos y que no generen un mayor impacto con respecto a los techos comunes. El nitrógeno y el fosforo deben ser otorgados a las plantas en ciertas cantidades sin necesidad de que escurra al drenaje. La permeabilidad y la ausencia de zonas muertas se pueden lograr con materiales porosos e inclinaciones de entre 3 a 5 grados. Para la mezcla, se recomienda una relación entre componentes orgánicos e inorgánicos de 30-70% (Schunck E. A., 2003), con el objetivo de disminuir la turbiedad

y la cantidad de sólidos suspendidos totales. También para garantizar una mayor capacidad de retención hídrica con componentes inorgánicos altamente adsorbentes como la zeolita o la piedra pómez (Molineux, 2009). El diseño e implementación de sistemas de techos verdes con sustratos no adecuados puede generar impactos negativos, afectando la calidad del agua que escurre, siendo entonces de mejor calidad la escorrentía de los techos comunes como de zinc, plástico e incluso fibrocemento (Lucket, 2009).

Geotextil: Se utiliza comúnmente una capa de geo sintético no tejido para retener sólidos suspendidos y las raíces de las plantas, la cual también sirve como barrera drenante. La utilización de la capa geo textil es importante para que el techo verde cumpla sus funciones (Schunck E. A., 2003).

Drenaje: En general se utilizan capas drenantes que cumplen funciones de filtrar y de generar un flujo más eficiente del agua a través de membranas o diseños con pendiente que permiten un flujo más adecuado del agua que escurre de un techo verde. Un techo verde no debería tener más de 20° de inclinación (Schunck E. A., 2003), de lo contrario habría que diseñar un sistema de soporte para poder montar un techo más inclinado. Además también se deben tener en cuenta desde la etapa de diseño las tuberías para facilitar la salida del agua que escurre, a tanques de almacenamiento o al alcantarillado. Los sistemas de drenaje suelen ser construidos de plásticos o metales que deben ser duraderos y resistir condiciones de alta humedad e intemperie (Lucket, 2009).

5.3.4 Componentes de la cubierta verde

En el diseño y la instalación de una cubierta verde es fundamental proporcionar a la vegetación un entorno de crecimiento lo más parecido posible al entorno natural de la planta. Por este motivo (Urbana, 2015) enuncia que con la tecnología actual se han desarrollado sistemas de cubiertas verdes que intentan imitar la naturaleza mediante un sistema constructivo multicapa (vegetación, sustrato, filtro, lamina drenante, capa de protección, capas antirraíces, impermeabilización y forjado), en el que cada capa incluida en el sistema satisface una necesidad que tiene la planta y todo el sistema. Funciona de manera conjunta y subsidiaria.

5.3.5 Tipos de cubiertas

Cubierta extensiva: Un sistema extensivo consiste en la plantación en la cubierta de un tipo de vegetación natural que requiere un mantenimiento mínimo para su desarrollo. La capa de sustrato no supera los 15 cm para el soporte de las especies vegetales más rústicas. Los materiales con los que están construidas son más simples y su obtención en el mercado es razonablemente sencilla. Está cubierta posee un peso de 80-200 kg/m² aproximadamente; su variación reside en la cantidad y variedad del sustrato a utilizar (Rosatto, 2013).

Cubierta semi-intensiva: Es una cubierta verde de características entre una cubierta extensiva y una cubierta intensiva o jardín. Se suele colocar más sustrato que en las cubiertas extensivas y la vegetación que se utiliza tiene más requerimientos de

mantenimiento que la de las extensivas. A pesar de ello, la idea de estas cubiertas es que sean autónomas. Este tipo de cubierta permite disponer de un diseño más elaborado que las cubiertas extensivas, en las que se pueden llevar a cabo composiciones más estéticas: jugar con franjas cromáticas de vegetación, volúmenes, formas. Son cubiertas en las que pueden transitar personas y, por lo tanto, son más fáciles de combinar con zonas de ocio. Capas de crecimiento de vegetación arriba de un sistema de cubierta tradicional, con mantenimiento normal, con un mínimo de 15 cm de espesor, con una carga permanente en estado saturado entre 150 y 250kg/m². (Sánchez, 2012).

Cubierta intensiva: La cubierta verde intensiva, o cubierta jardín, es la que proporciona a los usuarios beneficios parecidos a los que ofrecería un jardín. Están diseñadas especialmente para uso recreativo y se pueden instalar elementos como iluminación, láminas de agua, cascadas, caminos para personas, pérgolas, juegos infantiles, diferentes pavimentos, mobiliario o vegetación de porte elevado (árboles, palmeras). Permiten el desarrollo de vegetación de gran porte, donde el espesor del sustrato es de más de 15 cm. Presentan unas condiciones de distribución y aprovechamiento comparables a las de cualquier jardín al aire libre. Debido a la gran superficie de evaporación de las plantas, las cubiertas ajardinadas intensivas necesitan gran cantidad de agua. Estos sistemas requieren de un alto costo de implementación y mantenimiento, y algunos de los materiales no son de fácil acceso. La estructura necesaria para soportar el peso de dichos sistemas es costosa, dado que está cubierta suele tener un peso superior a los 200 kg/m². (Rosatto, 2013).

Cubierta naturalizada: Una cubierta naturalizada o biodiversa pertenece a la tipología extensiva o semi-intensiva, pero diseñada específicamente para fomentar el hábitat de una flora y de una fauna concretas. Tiene como objetivo crear un hábitat con flora y fauna autóctonas. Estas cubiertas podrían servir como conectores de fauna entre diferentes espacios verdes (Urbana, 2015).

Cubierta huerto: presenta otro sistema multifuncional con almacenamiento de agua. Se exhibe como adecuado para césped, plantas perennes y, con mayores espesores de sustrato, también para arbustos y árboles. El sistema tipo "Cubierta jardín" permite la utilización de cualquier composición paisajística (estanques, áreas de juegos, pérgolas, etc.). Por tener mayores espesores se hace posible integrar este sistema en zonas pavimentadas como terrazas, zonas de acceso peatonal o zonas de recreo. En la cubierta ajardinada tipo "Jardín" es interesante almacenar tanta cantidad de agua de lluvia como sea posible. En cubiertas sin pendiente puede realizarse un aljibe controlado a una profundidad de hasta 4 cm para alimentar la capa vegetal con humedad, sin tener que instalar sistemas de riego adicionales. Este tipo de riego por capilaridad y difusión varía en función del espesor de la capa vegetal. Permite el crecimiento de plantas, arbustos y árboles de considerable altura en capas vegetales de reducido grosor, para disminuir las sobrecargas de las cubiertas y construcciones estructurales del edificio (Guerrero, 2014).

Cubierta generadora de energía: La cubierta generadora de energía es la que está pensada para instalar aparatos que puedan generar energía eléctrica, ya sea solar fotovoltaica o solar térmica. Las azoteas, por su ubicación, con muchas horas de radiación solar, son uno de los mejores sitios en los que se pueden colocar estas

instalaciones. Los paneles solares montados sobre una cubierta verde pueden producir hasta un 16 % más de energía, ya que las plantas actúan como sistema natural de enfriamiento para los paneles. La vegetación del techo, a través de la evaporación, reduce la temperatura del aire de los alrededores, y eso beneficia a los paneles solares y evita que su rendimiento disminuya si la temperatura ambiental supera los 25 °C. Otra singularidad de esta alianza es que las cubiertas verdes ayudan a eliminar los contaminantes del aire, puesto que impiden que las partículas en suspensión se fijen en las células solares (urbana, 2015).

5.3.6 Importancia hidrológica de una cubierta VERDE

Plantar vegetación en la cubierta no sólo puede embellecer el medio ambiente (Sun, Lin, Sung, Ou, & Lu, 2012) sino también contribuir al desarrollo de los beneficios propios de los techos verdes. Investigaciones previas han demostrado el potencial de algunos elementos en mejorar las condiciones de estas cubiertas, con el fin de potencializar sus efectos (Lambrinos, 2010).

Periodos de lluvia intensos en ambientes densamente construidos provocan altos niveles de escorrentía sobrecargando los sistemas de drenaje, causando inundaciones, deteriorando la calidad del agua y afectando la infraestructura de los sistemas de drenaje urbano. Uno de los factores que aumenta el exceso de escorrentía urbana es la falta de áreas verdes, debido a que estas disminuyen el tiempo de respuesta para la formación de la escorrentía, su ausencia desfavorece la infiltración y el almacenamiento de estas aguas (Palla, 2015).

La experimentación con diferentes sustratos de techos verdes ha llegado a conclusiones similares: cuanto más lenta es la tasa de escorrentía más altas son las concentraciones de todos los componentes estudiados en el agua de escorrentía de la cubierta verde (Teemusk & Mander, 2011). De igual forma, la calidad de la escorrentía proveniente de los techos verdes depende de las diferencias en la estructura de las capas del techo (Hashemi, Mahmud, & Ashraf, 2015). Se estima que de forma natural la proporción de agua que se gestiona sin producir escorrentía es del 95 %, pero en cambio en urbes altamente densificadas esa proporción se invierte, lo que genera escorrentía del 95 % de la precipitación, la cual debe gestionarse adecuadamente para asegurar las condiciones de habitabilidad (Rodríguez. D, 2005)

Es por esto que para evaluar los rendimientos hidrológicos de los techos verdes se hace necesario entre otros:

Involucrar el análisis de la incertidumbre y sensibilidad en los modelos hidrológicos (Wang.H, 2014)

Desarrollar y calibrar modelos lluvia-escorrentía, debido a la falta de datos en diferentes contextos climáticos (Lamera.C, 2014)

Mejorar el rendimiento de modelos que expliquen el comportamiento del agua en el suelo, su humedad y evapotranspiración (Berretta., 2014)

Ya que estos pueden contribuir en la regulación hidrológica, siendo adaptados a las condiciones que impone el régimen climático local (Cubillos, 2018).

5.4 Marco Legal

Acuerdo 391 de 2009. Por medio del cual se dictan lineamientos para la formulación del Plan Distrital de Mitigación y Adaptación al cambio climático y se dictan otras disposiciones.

Resolución 6619 de 2011. Por la cual se establecen las características y condiciones para el diseño e implementación de jardines verticales en el Distrito Capital y se toman otras determinaciones.

Resolución Número 2115 de 2007. Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano.

Ley 418 de 2009. La cual determina la guía de techos verdes para Bogotá y la incorporación de techos verdes en edificios públicos de la ciudad.

Decreto 1594 de 1984. El cual corresponde a los usos del agua y residuos líquidos

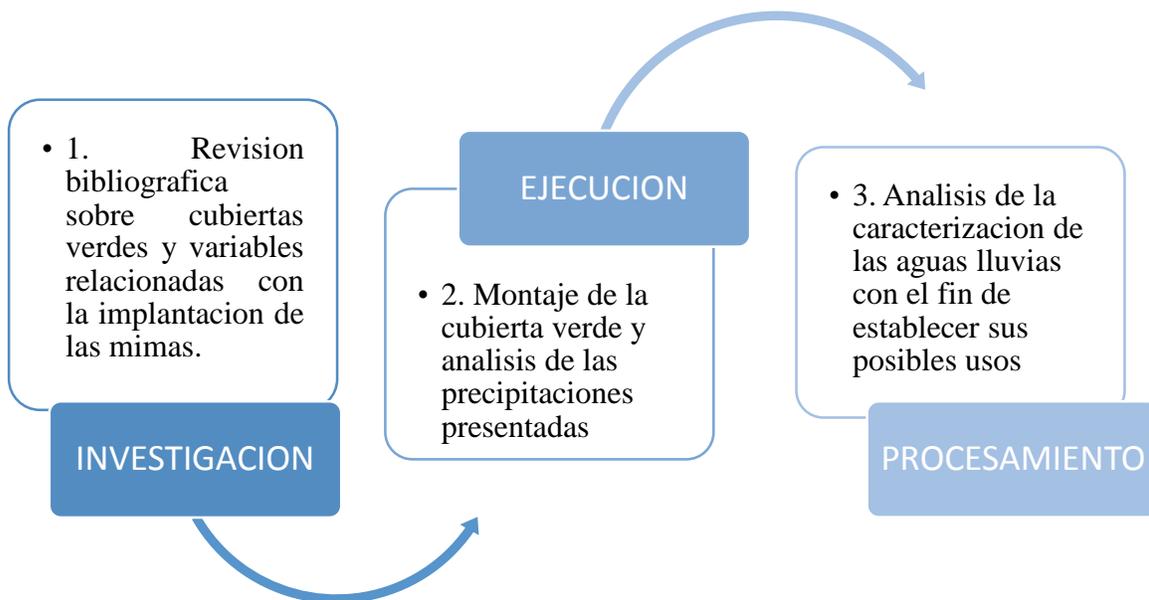
Ley 373 de 1997. La cual nos dicta el uso eficiente y ahorro del agua. “artículo 2o. contenido del programa de uso eficiente y ahorro del agua. (El congreso, 1997).

Capítulo III

6. Metodología

La metodología aplicada para lograr los objetivos específicos y general abarca tres grandes etapas que se muestran en el Grafico 1.

Grafico 1. Esquema metodológico



Fuente. Parra M (2020)

6.1. Establecimiento de la respuesta de ciertas especies de plantas a las condiciones de cobertura en techos de edificaciones y las características estructurales de los mismos.

Con base en información secundaria obtenida de diversas fuentes como trabajos relacionados con cubiertas verdes dentro y fuera del país, prototipos de cubiertas establecidas en diferentes proyectos, revistas ambientales, guías de diseño de estructuras

verdes, trabajos de grado y múltiples artículos se logra establecer que la selección de la planta se realiza en función de múltiples variables como lo son la climatología de la zona, la profundización de las raíces, la composición del sustrato y la cantidad necesaria del mismo para el correcto desarrollo de la vegetación, el tipo de porte que presente la planta y la estructura del tejado.

6.2 Determinación de la calidad del agua lluvia mediante el análisis de su composición fisicoquímica y microbiológica.

Para la determinación de la calidad del agua lluvia en la zona de estudio se realizaron 3 muestreos, El primero el día 03 de Octubre, el segundo el 21 Octubre y el ultimo 17 Noviembre del presente año 2020, cada muestra con un volumen de 1200ml tomadas antes y después de ser filtradas por la cubierta verde y enviadas al Laboratorio de Análisis de Aguas y Alimentos Dra. Amparo Restrepo de Ávila ubicado en Villavicencio-Meta, cumpliendo con la normativa establecida por la entidad para realizar los análisis Fisicoquímicos (Color, Conductividad, Alcalinidad, Turbiedad, Dureza Total y Nitratos) y microbiológico (Coliformes Totales).

6.3 Determinación el uso óptimo del agua lluvia captada por la cubierta verde.

Para establecer del uso del agua captada se tuvo en cuenta la calidad del agua determinada en los diferentes muestreos. Los posibles usos del recurso se evaluaron para actividades de potabilización frente a la normativa nacional Resolución 2115/2007 y

normativa internacional de países como Canadá y México, junto con lineamientos de organizaciones como la Unión Europea (EU), la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) y la Organización Mundial de la Salud (WHO). Del mismo modo se analiza el uso en actividades domésticas y de recreación reguladas por el Decreto 1594/1984.

Capítulo IV

7. Resultados y discusión

7.1. Establecimiento de la respuesta de ciertas especies de plantas a las condiciones de cobertura en techos de edificaciones y las características estructurales de los mismos.

En la Tabla 1 se muestran algunas de las especies recomendadas para uso en cubiertas verdes a nivel nacional por la Guía de techos verdes de Bogotá (2011).

Tabla 1. Especies utilizadas en cubiertas verdes a nivel nacional.

MATERIAL VEGETAL (NACIONAL)	
PLANTA	TIPO DE CUBIERTA
<p>Calanchoe</p> <p>Nombre científico: <i>Kalanchoe blossfeldiana</i></p> <p>Nombre común: Coralito, Kalanchoe y calchoe</p>	<p>Autorregulado</p> 
<p>Helecho arboreo</p> <p>Nombre científico: <i>Cyathea bicrenata</i></p> <p>Nombre común: Helecho arboreo</p>	<p>Ajardinado</p> 

<p style="text-align: center;">Anturio Blanco</p> <p>Nombre científico: <i>Spathiphyllum wallisii</i></p> <p>Nombre común: Anturio blanco, espatifilo</p>	<p style="text-align: center;">Ajardinado</p>	
<p style="text-align: center;">Stenorhynchus</p> <p>Nombre científico: <i>Stenorrhynchos speciosum</i></p> <p>Nombre común: Orquidea pecosa</p>	<p style="text-align: center;">Ajardinado</p>	
<p style="text-align: center;">Helecho Pequeño</p> <p>Nombre científico: <i>Asplenium praemorsum</i></p> <p>Nombre común: Helecho pequeño</p>	<p style="text-align: center;">Ajardinado</p>	
<p style="text-align: center;">Sedum</p> <p>Nombre científico: <i>Sedum Sp.</i></p> <p>Nombre común: Sedum</p>	<p style="text-align: center;">Auto-Regulado</p>	

<p style="text-align: center;">Clavel chino</p> <p>Nombre científico: <i>Lampranthus roseus</i></p> <p>Nombre común: Balla a las once, clavel chino, rayito de sol</p>	<p style="text-align: center;">Auto- Regulado</p>	
<p style="text-align: center;">Gazania</p> <p>Nombre científico: <i>Gazania splendens</i></p> <p>Nombre común: Gazania</p>	<p style="text-align: center;">Ajardinado</p>	
<p style="text-align: center;">Gomphichis</p> <p>Nombre científico: <i>Gomphichis cundinamarcae</i></p> <p>Nombre común: Gomphichis</p>	<p style="text-align: center;">Ajardinado</p>	
<p style="text-align: center;">Anturio</p> <p>Nombre científico: <i>Anthurium patulum</i></p> <p>Nombre común: Anturio</p>	<p style="text-align: center;">Ajardinado</p>	

Fuente. Guía de Techos verdes de Bogotá, Anexo 2

Por otra parte, en la Tabla 2 se muestra la información sobre especies recomendadas para cubiertas verdes a nivel internacional por la Guía de azoteas vivas y cubiertas verdes (2015).

Tabla 2 Especies utilizadas para cubiertas verdes a nivel internacional.

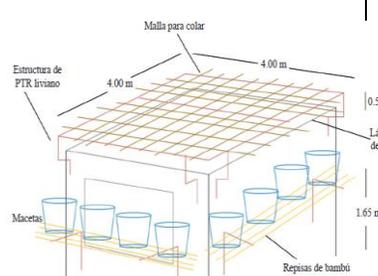
NOMBRE	GRUPO	ALTURA (CM)
<i>Aeonium canariense</i>	planta suculenta	20-35
<i>Aeonium sedifolium</i>	planta suculenta	15-40
<i>Aethionema grandiflorum</i>	subarbusto	15-30
<i>Ajania pacifica</i>	subarbusto	30-40
<i>Allium sphaerocephalon</i>	planta vivaz	30-80
<i>Aloe saponaria</i>	planta suculenta	40-70
<i>Aptenia cordifolia</i>	planta suculenta	5
<i>Argyrobolium zanonii</i>	subarbusto	10-30
<i>Asparagus densiflorus</i>	herbácea perennifolia	40-60
<i>Aster sedifolius</i>	planta vivaz	20-50
<i>Astragalus massiliensis</i>	subarbusto	10-30
<i>Ballota planta suculenta</i> <i>seudodictamnus</i>	subarbusto	30-50
<i>Brachypodium phoenicoides</i>	herbácea cespitosa	30-80
<i>Brachypodium retusum</i>	herbácea cespitosa	20-60
<i>Brachyscome multifida</i>	herbácea perennifolia	15-30
<i>Camphorosma monspeliaca</i>	subarbusto	10-60
<i>Capparis spinosa</i>	subarbusto	30-50
<i>Carpobrotus acinaciformis</i>	planta suculenta	10-20
<i>Carpobrotus edulis</i>	planta suculenta	10-20
<i>Centaurea cineraria</i>	herbácea perennifolia	30-80
<i>Cephalophyllum alstonii</i>	planta suculenta	7-12
<i>Cineraria saxifraga</i>	herbácea perennifolia	20-30
<i>Cistus salviifolius</i>	subarbusto	20-70
<i>Convolvulus cneorum</i>	subarbusto	10-60
<i>Convolvulus sabatius</i>	herbácea perennifolia	10-15
<i>Coris monspeliensis</i>	subarbusto	10-35
<i>Crassula marnieriana</i>	planta suculenta	50
<i>Crassula multicava</i>	planta suculenta	15-40
<i>Crassula muscosa</i>	planta suculenta	-50
<i>Crassula radicans</i>	planta suculenta	15
<i>Cyanotis somaliensis</i>	herbácea perennifolia	-20
<i>Delosperma lineare</i>	planta suculenta	5-18
<i>Dicliptera suberecta</i>	herbácea perennifolia	40-60
<i>Dorycnium hirsutum</i>	subarbusto	20-60
<i>Drosanthemum hispidum</i>	planta suculenta	15-20
<i>Erigeron karvinskianus</i>	herbácea perennifolia	15-30
<i>Euphorbia resinifera</i>	planta suculenta	40-60
<i>Felicia amelloides</i>	subarbusto	30-60
<i>Fenestraria rhopalophylla</i>	planta suculenta	5

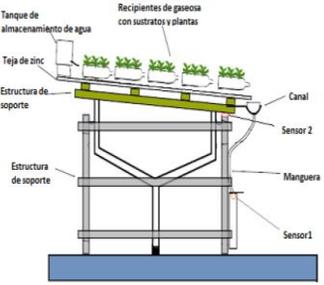
<i>Festuca glauca</i>	herbácea cespitosa	15-45
<i>Gasteria acinacifolia</i>	planta suculenta	-35
<i>Gazania rigens</i>	herbácea perennifolia	-30
<i>Graptopetalum paraguayense</i>	planta suculenta	20-30
<i>Halimione portulacoides</i>	subarbusto	20-80
<i>Helichrysum petiolare</i>	subarbusto	40-60
<i>Hippocrepis balearica</i>	subarbusto	20-50
<i>Iberis semperflorens</i>	subarbusto	30-50
<i>Isotoma axillaris</i>	herbácea perennifolia	30-35
<i>Lygeum spartum</i>	herbácea cespitosa	40-70
<i>Medicago marina</i>	herbácea perennifolia	20-50
<i>Ononis natrix</i>	subarbusto	15-50
<i>Osteospermum fruticosum</i>	subarbusto	30-60
<i>Pelargonium peltatum</i>	subarbusto	15-40
<i>Phlomis italica</i>	subarbusto	20-60
<i>Phlomis lychnitis</i>	subarbusto	20-50
<i>Rhombophyllum rhomboideum</i>	planta suculenta	5
<i>Ruschia tumidula</i>	planta suculenta	-60
<i>Salvia lavandulifolia</i>	subarbusto	20-50
<i>Scabiosa farinosa</i>	subarbusto	30-50
<i>Sedum hybridum</i>	planta suculenta	5 10
<i>Sedum lydium</i>	planta suculenta	3 10
<i>Sedum nussbaumerianum</i>	planta suculenta	-15
<i>Sedum oreganum</i>	planta suculenta	-15
<i>Sedum pachyphyllum</i>	planta suculenta	20-30
<i>Sedum palmeri</i>	planta suculenta	10 20
<i>Sedum praealtum</i>	planta suculenta	30-60
<i>Sedum rubrotinctum</i>	planta suculenta	15-25
<i>Sedum sediforme</i>	planta suculenta	15-60
<i>Sedum sexangulare</i>	planta suculenta	5- 10
<i>Sedum spathulifolium</i>	planta suculenta	5-10
<i>Sempervivum tectorum</i>	planta suculenta	10-15
<i>Senecio mauritanus</i>	subarbusto	25-40
<i>Senecio rowleyanus</i>	planta suculenta	5-10
<i>Sideritis hirsuta</i>	subarbusto	10-50
<i>Staehelina dubia</i>	subarbusto	10-40

Fuente. Guía de Azoteas Vivas y Cubiertas Verdes

La Tabla 3 muestra la información de las características estructurales de cubiertas verdes realizadas dentro y fuera del país recopiladas de las fuentes secundarias.

Tabla 3. Estructuras verdes ejecutadas en diversos proyectos.

AUTOR	PLANTAS	CARACTERISTICAS DEL TECHO	TIPO DE SUSTRATO	COMPORTAMIENTO	CUBIERTA
Aguirre <i>et al</i> (2014)	Batavia lechuga, lechuga de hoja verde, China Chard, Lactuca sativa.	Techo de zinc estándar apoyado por una estructura de metal (2,80 m x 0,90 m) con una pendiente del 5%	Cascarilla y compost	Mitiga o Disminuye el escurrimiento o infiltración de agua.	
Beltran <i>et al</i> (2014)	<i>Cissus verticillata</i>	Múltiples viviendas con techos de lámina de zinc.	Mezcla Peat Moss Floraska, tierra y arena del lugar	El prototipo de techo verde con la enredadera nativa <i>C. verticillata</i> disminuyó hasta 4.5° C la temperatura de Las láminas de zinc.	
Trujillo	<i>Sedum Lemon Ball</i> , <i>Sedum Rojo</i> , Rabanos, lechugas, coralito, ray grass	Teja de polietileno de alta densidad y Teja de fibrocemento de 90 x 120 cm cada una	Sustrato GRONCOL, tierra negra, espuma floral, Sustrato mezclado (Zeolita, piedra pómez, cascarilla de arroz y tierra)	Neutralización del pH, en comparación con los techos de fibrocemento y plástico, una reducción de la conductividad, nutrientes y coliformes por parte de la Bandeja con sustrato mezclado.	

<p>Puentes (2014)</p>	<p>Lechuga Batavia, Acelga China, Lechuga Crespa</p>	<p>Teja de zinc estándar apoyado por una estructura de metal (2,80 mx 0,90 m) con una pendiente del 5%</p>	<p>Sustrato mezclado (Cascarilla de arroz, humus, tierra negra), Biochar (Tipo de carbón)</p>	<p>La planta tiene una probabilidad alta (80%) de influir significativamente en variables características de la atenuación de la escorrentía (coeficientes de escorrentía, tiempos de retardos).</p>	
<p>Ordoñez <i>et al</i> (2015)</p>	<p>flora de la zona (No especificada)</p>	<p>Techos de lámina de Zinc 160 m²</p>	<p>mezcla de 20% de componentes orgánicos y 80% de componentes minerales</p>	<p>redujo los gradientes espaciales y temporales de temperatura</p>	
<p>Castaño (2014)</p>	<p><i>Sedum album</i> o <i>Delosperma nubigenum</i>, flora de la zona</p>	<p>Módulos de madera con medidas 1,28 x 1,04 x 0,15 m, teniendo un área de 1,33 m²</p>	<p>arena y tierra infertil</p>	<p>Protección contra la lluvia, reducción de la temperatura ambiente acción de la vegetación y, a su vez, el efecto isla calor.</p>	

<p>Contreras (2016)</p>	<p><i>Sedum</i></p>	<p>Prototipo de madera de 70 cm de ancho x 70 cm de largo x 3 cm de alto</p>	<p>Tierra normal de jardín, mezclada con arena lavada y tierra arcillosa.</p>	<p>Drena eficientemente las aguas lluvias, impidiendo el paso directo de la precipitación al alcantarillado,</p>	
<p>Camacho et al (2018)</p>	<p><i>Sedum rubrotinctum</i>, <i>Sedum compressum</i>, <i>Sedum rubrotinctum</i>, <i>Sedum palmeri</i> y <i>Sedum angelina</i></p>	<p>Prototipo (Canastillas plasticas 50 x 70)</p>	<p>El sustrato comercial Planti Tierra (compostaje, cascarilla de arroz y tierra de alta calidad)</p>	<p>Coberturas vegetales mixtas presentan mejor desempeño.</p>	
<p>Rhodes (2012)</p>	<p>Bugambil o Veranera (<i>Bougainvillea glabra</i>), cintas (<i>Chlorophytum comosum</i>), Badea (<i>Passiflora quadrangularis</i>) y Melón (<i>Cucumis melo</i>).</p>	<p>Area 8 m2, Tejas de eternit y Guadua (cumpliendo función de materia)</p>	<p>humus y cascarilla de arroz, en una proporción de 1:2</p>	<p>Ayuda a disminuir la temperatura en zona de tierra caliente, pero su grado de atenuación depende del área cubierta, de las plantas y el sustrato.</p>	

Rosatto <i>et al</i> (2013)	<i>Sedum acre</i>	Prototipo (Parcelas de fibrocemento de 0,50 x 0,50 metros x 0,10 m de altura)	Tierra negra, Compost orgánico, Arena oriental de textura gruesa, Binder (granulometría de 3-9 mm), Leca (arcilla expandida), Piedra partida "Mar del Plata" o Granza	Entre mayor sea la cantidad de sustrato mayor va a ser la retención de la cubierta para la misma especie en diferentes condiciones.	
Contreras <i>et al</i> (2019)	<i>Sedum, Asparagus plumosus</i> y <i>Soleirolia</i> .	Prototipo (Vidrio)	Humus, cascarilla de arroz, aserrín y arena.	La turbidez del agua de lluvia después de ser filtrada por el sustrato tiende a aumentar, dada la presencia de material propio del medio de crecimiento. La turbidez del agua de lluvia después de ser filtrada por el sustrato tiende a aumentar, dada la presencia de material propio del medio de crecimiento.	

Fuente: Parra M (2021)

7.2. Montaje de la cubierta en la zona de estudio

Para la elección de la vegetación a implantar se hizo necesario el previo conocimiento de las características de las plantas, la cual fue suministrada por personal perteneciente al Vivero Forestal ubicado en el municipio de estudio, quienes desde su conocimiento brindaron sus recomendaciones para el desarrollo del proyecto, sugiriendo principalmente las plantas descritas a continuación:

1. ***Chorophytum comosum***: Conocida comúnmente como cinta, lazo de amor o malambre. De nombre científico *Chorophytum comosum*, esta planta perenne pertenece a la familia de las liliáceas. Su origen se encuentra en las selvas tropicales de África del sur y actualmente existen más de doscientas especies diferentes.

Lo mejor de esta planta es, sin duda, que renueva ambientes afectados por monóxido de carbono y formaldehído presente en barnices, aerosoles y cosméticos. Su hojas, que nacen de una roseta basal, son alargadas, péndulas, afiladas y de color verde con una banda blanca. Sus flores blancas son pequeñas y de ellas se forman nuevas rosetas que son como plantas en miniatura perfectamente formadas y que, al trasplantarlas adecuadamente, se transforman en plantas adultas. Para conservar la belleza de sus hojas, la cinta necesita mucha luz y humedad (Flores y plantas, 2020).

Figura 6. *Chorophytum comosum*



Fuente. Flores y plantas (2020)

2. ***Tradescantia spathacea***: Llamada popularmente maguey morado o rhoeo es una especie herbácea perteneciente a la familia de las commelináceas, nativa de México y Centroamérica, y naturalizada en Florida, Texas, Hawái y varias islas oceánicas. Es un arbusto perenne de tallos cortos que crece formando una densa mata.

Forma una roseta de gruesas hojas lanceoladas o lineares, de unos 30 cm de longitud y 7 cm de ancho, dirigidas hacia arriba; son de color verde oscuro en el haz y púrpuras en el envés. El color del envés se debe a ciertos pigmentos, las antocianinas (Elicriso, 2020).

Figura 7. *Tradescantia spathacea*



Fuente: Elicriso (2020)



Estas especies fueron seleccionadas para el desarrollo del proyecto dado que requería poca cantidad de materia orgánica entre 5-8 cm aproximadamente, de igual manera sus raíces no son de gran crecimiento y son especies de porte bajo que se encuentran adaptadas a las condiciones climáticas de la zona.

Inicialmente, se obtuvieron ejemplares de las tres especies a las cuales se realizó el proceso de poda y reproducción para ser trasplantadas a las estructuras de soporte que se acondicionaron para la cubierta para que cumplan la función de materia, su tamaño se determinó de acuerdo a las oscilaciones que presenta el tejado estableciendo una profundidad de 8cm para cada bolsillo de manera que cuando se incorporen las plantas el soporte sea el tejado. Los bolsillos se realizaron en malla red con un revestimiento en poli sombra, para que el sustrato no se escape en altas cantidades en el momento de presentarse las precipitaciones o jornadas de riego. En la Figura 8. Se evidencia el proceso de reproducción y estructuras de soporte.

Figura 8. Proceso de reproducción y estructuras de soporte



Fuente. Parra M (2020)

El proceso de poda se realizó con el fin de inducir todas las plantas del mismo tamaño y evaluar su crecimiento a lo largo del desarrollo del proyecto (ver figura.9).

Figura 9. Plantas establecidas en la cubierta



Fuente. Parra M (2020).

Por otra parte el sustrato utilizado al iniciar el proyecto fue 100% materia orgánica (humus), la cual estaba generando la proliferación de malezas debido a sus altas concentraciones de nutrientes y por ende afectando de manera directa el contenido

de las muestras llevadas al laboratorio, por esto se hizo necesario modificar el sustrato, obteniendo la composición que se muestra continuación 80% materia inorgánica (Zeolita, vermiculita, perlita) y 20% Materia orgánica (Humus o Tierra negra), adicionando 400 gr en cada uno de los bolsillos. En la Figura 10. Se muestra la composición del sustrato.

Figura 10. Componentes del sustrato.



Fuente: Parra M (2020)

Dentro de la estructura general de un techo verde se encuentra la capa permeabilizante, la cual se realizo directamente sobre el tejado que es de Fibrocemento o eternit, mediante un impermeabilizante para tejados llamado aluflex distribuido de manera uniforme por el area de interes que comprende 1,3m x 1m.

Otra de las capas necesarias dentro de la estructura es la de drenaje, para la cual se establece una unica canal de recoleccion para el area de la cubierta ubicada a favor de

la pendiente del tejado para que las aguas escurran por gravedad mediante una manguera de diametro de 1Pulg hacia un recipiente ubicado en el suelo de la vivienda con el fin de poder analizar el recurso captado.

Por otra parte, la capa filtrante se establece mediante polisombra extendida sobre el tejado con la finalidad de que el sustrato que se escurra en el momento de presentarse la precipitacion no vaya de forma directa a la canal de captacion, de igual manera se establecen otros filtros a lo largo del sistema de conduccion del agua al recipiente. La zona de ubicaci3n y canal de recolecci3n de evidencia en a Figura 11.

Figura 11. 3rea en estudio y canal de recolecci3n.



Fuente: Parra M (2020)

Posteriormente, el día 16 de octubre se instaló la cobertura vegetal con un total de 86 plantas distribuidas en un área de 1,3m x 1m. Las características iniciales se encuentran enunciadas en la Tabla 4.

Tabla 4. Características de la cubierta establecida.

PLANTA	No de plantas
<i>Chorophytum comosum</i> (Cinta Blanca)	47 plantas
<i>Chorophytum comosum</i> (Cinta Verde)	26 plantas
<i>Tradescantia spathacea</i> (Rhoeo)	13 plantas
PARAMETRO	VALOR
Altura Cada planta	5 cm
Sustrato Cada planta	400 gr

Fuente. Parra M (2020)

Es importante resaltar que las plantas requieren de un periodo de adaptación al sustrato, a las características propias del lugar donde se ubicaron y a las condiciones climáticas a las cuales se están viendo expuestas, debido a esto establecieron jornadas de riego 2 veces al día ya que altas temperaturas de la zona calientan la superficie del tejado y evaporan la humedad que contiene el sustrato y que es de vital importancia para el desarrollo de las plantas.

En las figuras 12 y 13. Se logra observar la distribución de la cubierta y el crecimiento de las especies luego de transcurrir 1 mes desde su implantación, el cual oscila entre 3-5 cm y del mismo modo se evidencia que las plantas que presentan la mejor adaptación de las tres especies inducidas es *Chorophytum comosum* comúnmente llamada Cinta Blanca

Figura 12. Cubierta verde recién establecida.



Figura 13. Cubierta verde con 1 mes de adaptación



Fuente. Parra M (2021).

7.3 Determinación de la calidad del agua lluvia mediante el análisis de su composición fisicoquímica y microbiológica.

Con el fin de llevar registro de las precipitaciones presentadas en el municipio se estableció un pluviómetro el día 18 de Septiembre del presente año, el cual registra información diaria de precipitaciones (24H) para la zona. Este fue ubicado como se muestra en la Figura 13 teniendo en cuenta los parámetros para la ubicación de pluviómetros establecidos por la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y por la Oficina Nacional De Administración Oceánica y Atmosférica (NOAA).

Figura 14. Pluviómetro establecido en la zona de estudio.



Fuente. Parra M (2021)

Los datos registrados por el pluviómetro desde el momento de su ubicación se muestran en la Tabla 5.

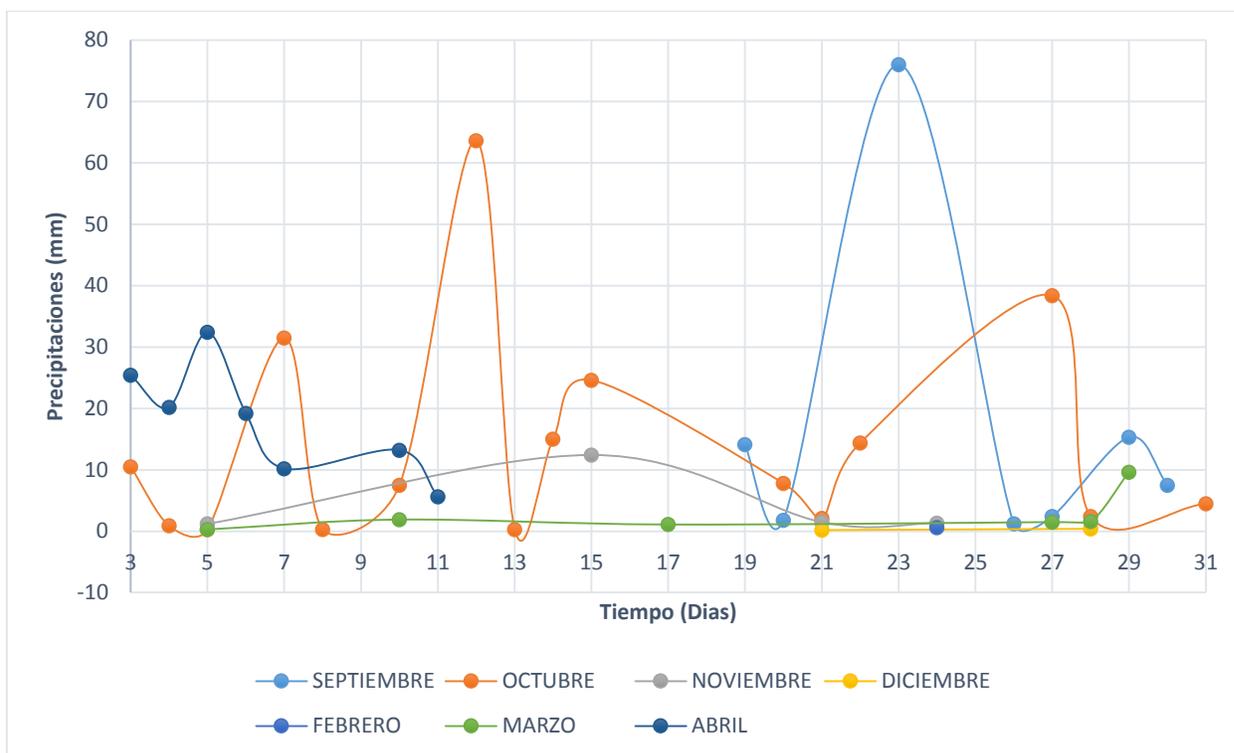
Tabla 5. Datos de precipitaciones registrados por el pluviómetro.

PRECIPITACIONES					
MES	FECHA	CANTIDAD (mm)	MES	FECHA	CANTIDAD (mm)
SEPTIEMBRE	19-ene	14,1	NOVIEMBRE	05-nov	1,2
	20-ene	1,8		15-nov	12,4
	23-sep	76		21-nov	1,5
	26-sep	1,2		24-nov	1,3
	27-sep	2,4	DICIEMBRE	21-dic	0,2
	29-sep	15,3		28-dic	0,4
	30-sep	7,5	ENERO	NO SE REGISTRARON PRECIPITACIONES	
03-oct	10,5	FEBRERO		24-feb	0,6
04-oct	0,9		MARZO	05-mar	0,3
05-oct	0,3	10-mar		1,9	
07-oct	31,5	17-mar		1,1	
08-oct	0,3	27-mar		1,5	
10-oct	7,5	28-mar		1,6	
12-oct	63,6	29-mar		9,6	
13-oct	0,3	ABRIL		03-abr	25,4
14-oct	15			04-abr	20,2
15-oct	24,6		05-abr	32,4	
20-oct	7,8		06-abr	19,2	
21-oct	2,1		07-abr	10,2	
22-oct	14,4		10-abr	13,2	
27-oct	38,4		11-abr	5,6	
28-oct	2,4				
31-oct	4,5				

Fuente. Parra M (2021)

En la Figura 15 se muestran los eventos de precipitaciones presentados en el lugar de estudio que fueron filtrados por la cubierta verde.

Figura 15. Eventos de precipitaciones filtrados por la cubierta.



Fuente. Parra M (2020)

Del mismo modo la Tabla 6 contiene los volúmenes de agua filtrados por la cubierta en los eventos de precipitación.

Tabla 6. Volúmenes de agua captados.

Tiempo (Días)	Volumen de agua captada (L)
20 Octubre	19,5
21 Octubre	6,3
22 Octubre	41
27 Octubre	120,6
31 Octubre	4
5 Noviembre	0,8
15 Noviembre	29,5
21 Noviembre	1
24 Noviembre	1,1
21 Diciembre	0,3
28 Diciembre	0,5
24 Febrero	0,5
05 Marzo	0,2
10 Marzo	1,6
17 Marzo	1,1

27 Marzo	1,1
28 Marzo	1,3
29 Marzo	19
03 Abril	60,5
04 Abril	82,3
05 Abril	106,8
06 Abril	18
07 Abril	13,8
10 Abril	14,4
11 Abril	4

Fuente. Parra M (2020)

Es importante resaltar que, las precipitaciones registradas han mostrado un comportamiento con intensidades fuertes y duraciones cortas, que hacen necesaria la adaptación de un tanque de agua para su recolección y posterior uso del cual se estima su volumen aproximado de 200 L teniendo en cuenta el valor máximo captado en el periodo de muestreo. Para caracterizar las aguas lluvias se hace necesaria la recolección de muestras en diferentes eventos de precipitaciones y el posterior envío al laboratorio de calidad para realizar los análisis pertinentes (ver figura 16).

Figura 16. Muestras de aguas lluvias enviadas para análisis



Fuente. Parra M (2021).

Los resultados de calidad de agua obtenidos de la primera muestra de agua sin la cubierta vegetal de la zona de estudio se muestran en la figura 17, de la cual se establece que no cumplen los niveles permisibles en la normativa nacional (Resolución 2115/2007) para uso directo de potabilización en dos de los parámetros evaluados Turbiedad y Coliformes totales, del mismo modo para evaluarlo frente a la normativa internacional solo se encuentra dentro de los rangos permisibles en la establecida por México dado que solo monitorean 3 de los parámetros muestreados.

Figura 17. Características del agua lluvia sin cubierta verde.

ANÁLISIS DE AGUAS Y ALIMENTOS
Dra. AMPARO RESTREPO DE ÁVILA

ALFAMPAR S.A.S.
NIT: 900.129.681-6
CRA 38 #35-15 BARZAL

Informe de Resultados
N° de Análisis: A / 22584

Identificación del Cliente

Cliente	DANIELA PARRA MONTOYA	Dirección	CRA 8 N° 32-61 BRR INMACULADA
NIT	1120385756	Departamento	META
Teléfonos	3228115872	Municipio	GRANADA

Identificación de la Muestra

Tipo de muestra	AGUAS POTABLES	Fecha Toma Muestra	3/10/2020 16:50:00
Lugar de Toma	VIVIENDA FAMILIAR	Fecha Recepción Muestra	5/10/2020 12:40:00
Punto de Toma	AGUAS LLUVIAS	Fecha Inicio Análisis	5/10/2020 13:34:57
Responsable Toma y Transporte	EMPRESA	Fecha Dictamen	7/10/2020 8:54:43

PARÁMETRO	RESULTADO	MÉTODO ANALÍTICO	VALOR ADMISIBLE
GRUPO FÍSICO-QUÍMICO			
Color	15 UPC	SM 2120-B-C	Hasta 15 UPC
Alcalinidad	4,5 mg/l	DIN-ISO 9963-1C23-2C24	Hasta 200 mg/l
Conductividad	10 µS/cm	SM 2510-B	Hasta 1000 µ S/cm
Turbiedad	* 2,52 UNT	SM 2130-B	Hasta 2 UNT
Dureza Total	4,5 mg/l	SM 2340-C	Hasta 300 mg/l
Nitratos	<4 mg/l	SM 4500-H	Hasta 10 mg/l
GRUPO MICROBIOLÓGICO			
Coliformes totales	* 36 ufc/100ml	SM 9222-J	0 ufc/100ml

Legislación de la Muestra
Res. 2115/2007

ANÁLISIS DE AGUAS Y ALIMENTOS
Dra. AMPARO RESTREPO DE ÁVILA
DIR. TÉCNICO MICROBIOLOGÍA

ANÁLISIS DE AGUAS Y ALIMENTOS
Dra. AMPARO RESTREPO DE ÁVILA
DIR. TÉCNICO QUÍMICO

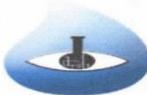
ANÁLISIS DE AGUAS Y ALIMENTOS
Ing. Quím ALFONSO ÁVILA CAMPOS

Fuente. Laboratorio de análisis de aguas y alimentos (2020)

La segunda muestra de agua lluvia captada fue del agua que se filtró a través de la cubierta cuando contenía el sustrato compuesto 100% Materia orgánica (Figura 18) , donde se evidencia una variación significativa en las características del agua lluvia al establecerse la cubierta verde con un sustrato compuesto 100% de materia orgánica

(Humus), los valores comparados con la Resolución 2115/2007 se encuentran fuera de los valores permisibles para los parámetros Color, turbiedad, Nitratos y Coliformes totales y frente a la normativa internacional se encuentran sobrepasando la mayoría de valores establecidos. Estas variaciones en la composición del agua recolectada se encuentran directamente relacionadas al tipo de sustrato utilizado ya que el proceso de generación de humus de lombriz es según la empresa factor humus (2020), 4 veces más nutritivo que un proceso de compost tradicional y ayuda a regular el pH, la microbiología y la actividad enzimática del suelo brindando altas concentraciones de nutrientes, que junto con el material de arrastre producido por la escorrentía superficial del agua sobre el tejado género el aumento en cada uno de los valores analizados y la proliferación de maleza dentro de la cubierta.

Figura 18. Características del agua lluvia con cubierta vegetal y sustrato compuesto 100% por materia orgánica.



ANÁLISIS DE AGUAS Y ALIMENTOS
Dra. AMPARO RESTREPO DE ÁVILA

ALFAMPAR S.A.S.
NIT: 900.129.681-6
CRA 38 #35-15 BARZAL

Informe de Resultados
N° de Análisis: A / 22755



Identificación del Cliente			
Cliente	DANIELA PARRA MONTOYA	Dirección	CRA 8 N° 32-61 BRR INMACULADA
NIT	1120385756	Departamento	META
Teléfonos	3228115872	Municipio	GRANADA

Identificación de la Muestra			
Tipo de muestra	AGUAS POTABLES	Fecha Toma Muestra	21/10/2020 16:00:00
Lugar de Toma	VIVIENDA FAMILIAR	Fecha Recepción Muestra	22/10/2020 12:35:00
Punto de Toma	AGUA LLUVIA	Fecha Inicio Análisis	23/10/2020 8:39:19
Responsable Toma y Transporte	CLIENTE	Fecha Dictamen	26/10/2020 9:10:02

PARÁMETRO	RESULTADO	MÉTODO ANALÍTICO	VALOR ADMISIBLE
GRUPO FÍSICO-QUÍMICO			
Color	* >100 UPC	SM 2120-B-C	Hasta 15 UPC
Conductividad	281 µS/cm	SM 2510-B	Hasta 1000 µ S/cm
Alcalinidad	8,9 mg/l	DIN-ISO 9963-1C23-2C24	Hasta 200 mg/l
Turbiedad	* 17,50 UNT	SM 2130-B	Hasta 2 UNT
Dureza Total	89 mg/l	SM 2340-C	Hasta 300 mg/l
Nitratos	* 75 mg/l	SM 4500-H	Hasta 10 mg/l
GRUPO MICROBIOLÓGICO			
Coliformes totales	* 100 ufc/100ml	SM 9222-J	0 ufc/100ml

Legislación de la Muestra
Res. 2115/2007



Dra. AMPARO RESTREPO DE ÁVILA



Dra. AMPARO RESTREPO DE ÁVILA



Ing. Quím ALFONSO ÁVILA CAMPOS

Fuente. Laboratorio de análisis de aguas y alimentos (2020)

Por otra parte, la muestra número tres de agua captada por la cubierta cuya composición es 80% materia inorgánica y 20% materia orgánica (Figura 19), arroja resultados con valores menores en parámetros como el color y la turbiedad respecto a la muestra anterior, pero aumentando de manera muy considerable la cantidad de coliformes totales, lo que indica la presencia de materia orgánica en la muestra. De igual forma, la materia inorgánica puede adicionar componentes al recurso hídrico ya que son minerales que contienen componentes como el potasio, magnesio, calcio y amonio entre otros.

Al comparar el valor obtenido en el análisis microbiológico realizado respecto a la resolución 2115/2007, el laboratorio indica que el agua se encuentra microbiológicamente contaminada con coliformes totales.

Figura 19. Características del agua lluvia con cubierta vegetal y sustrato compuesto 80% materia inorgánica y 20% Materia orgánica.

PARÁMETRO	RESULTADO	MÉTODO ANALÍTICO	VALOR ADMISIBLE
GRUPO FÍSICO-QUÍMICO			
Color	* 45 UPC	SM 2120-B-C	Hasta 15 UPC
Conductividad	21 µS/cm	SM 2510-B	Hasta 1000 µ S/cm
Alcalinidad	13,4 mg/l	DIN-ISO 9963-1C23-2C24	Hasta 200 mg/l
Turbiedad	* 2,11 UNT	SM 2130-B	Hasta 2 UNT
Dureza Total	13,4 mg/l	SM 2340-C	Hasta 300 mg/l
Nitratos	4 mg/l	SM 4500-H	Hasta 10 mg/l
GRUPO MICROBIOLÓGICO			
Coliformes totales	* 236 ufc/100ml	SM 9222-J	0 ufc/100ml

Discusión sobre el Ensayo/Resultados
 Agua microbiológicamente contaminada con coliforme totales.

Legislación de la Muestra
 Res. 2115/2007



Fuente. Laboratorio de análisis de aguas y alimentos (2020).

7.4 Determinación del uso óptimo del agua lluvia captada por la cubierta verde

La determinación del uso óptimo del agua lluvia captada en la zona de estudio se realizó basado en los estudios de laboratorio realizados a las muestras recolectadas, es importante resaltar que a nivel local no se contaba con laboratorios que presten el servicio de análisis de aguas y a nivel regional no se cuenta con una gama alta de procedimientos disponibles, es por esto que solo fue posible muestrear 8 parámetros entre físicos, químicos y microbiológicos debido a las diferentes restricciones ocasionadas por la emergencia sanitaria COVID 19.

7.4.1. Uso potable

En la tabla 7 se muestra la comparación entre los resultados obtenidos al realizar el análisis de las aguas lluvias captadas por la cubierta verde y las normativas existentes para determinar los diferentes usos del agua lluvia a partir de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos muestreados, donde los cuadros que se encuentran resaltados con color rojo indican que esos valores no se encuentran dentro de los rangos establecidos. Así mismo, en el Anexo I se encuentran los parámetros completos de evaluación de la calidad del agua lluvia.

Tabla 7. Evaluación de resultados obtenidos para uso potable del agua lluvia sin cubierta verde.

Muestra	PARAMETRO	VALOR DE ANALISIS	VALORES ESTABLECIDOS POR NORMATIVAS PARA USO POTABLE						
			EU (mg/L)	EPA (mg/L)	WHO (mg/L)	UK (mg/L)	CA (mg/L)	COL (mg/L)	MEX (mg/L)
1 (Sin cobertura vegetal o techo verde)	Color (UPC)	15	10	0,5-1,0	5	20	1	15	-
	Alcalinidad	4,5	20	15	15	30	15	200	-
	Conductividad (µS/cm)	10	-	-	-	2500	400	1000	-
	Turbiedad (UNT)	2,52	60	-	-	4	-	2	-
	Dureza total	4,5	-	-	-	60	-	300	500
	Nitratos	<4	50	10	-	50	-	10	10
	Coliformes totales	36	0/250ml	0/100ml	-	0/100ml	-	0/100ml	-
	pH	7	-	6,5-8-5	-	5,5-9,5	6,5 - 8,5	5,5 - 9	6,5 - 8,5
2 (Con cobertura vegetal o techo verde con sustrato orgánico)	Color (UPC)	>100	10	0,5-1,0	5	20	1	15	-
	Alcalinidad	8,9	20	15	15	30	15	200	-
	Conductividad (µS/cm)	281	-	-	-	2500	400	1000	-
	Turbiedad (UNT)	17,5	60	-	-	4	-	2	-
	Dureza total	89	-	-	-	60	-	300	500
	Nitratos	75	50	10	-	50	-	10	10
	Coliformes totales	100/100ml	0/250ml	0/100ml	-	0/100ml	-	0/100ml	-
	pH	7	-	6,5-8-5	-	5,5-9,5	6,5 - 8,5	5,5 - 9	6,5 - 8,5
3 (Con cobertura vegetal o techo verde con sustrato mixto)	Color (UPC)	45	10	0,5-1,0	5	20	1	15	-
	Alcalinidad	13,4	20	15	15	30	15	200	-
	Conductividad (µS/cm)	21	-	-	-	2500	400	1000	-
	Turbiedad (UNT)	2,11	60	-	-	4	-	2	-
	Dureza total	13,4	-	-	-	60	-	300	500
	Nitratos	4	50	10	-	50	-	10	10
	Coliformes totales	236	0/250ml	0/100ml	-	0/100ml	-	0/100ml	-
	pH	7	-	6,5-8-5	-	5,5-9,5	6,5 - 8,5	5,5 - 9	6,5 - 8,5

Fuente. Parra M (2020)

La calidad del agua de la muestra de agua lluvia #1, no cumplen los niveles permisibles en la normativa nacional para uso directo de potabilización en dos de los parámetros evaluados Turbiedad y Coliformes totales, del mismo modo para evaluarlo frente a la normativa internacional solo se encuentra dentro de los rangos permisibles en la establecida por México ya que solo monitorean 3 de los parámetros muestreados.

Por otra parte, la muestra de agua lluvia #2 no cumple con los parámetros Color, turbiedad, Nitratos y coliformes totales regulados en la normativa nacional como lo es la Res.2115/2007 y al comparar los resultados con la normativa internacional las características no cumplen en totalidad los requisitos establecidos por ningún país, lo cual evidencia que el sustrato adiciono componentes propios al agua filtrada por la cubierta.

La muestra de agua #3 al ser analizada frente a los valores establecidos por la Res.2115/2007, excede los límites permisibles en los parámetros color, turbiedad y coliformes totales, en cuanto a la normatividad internacional se encuentra fuera de todos rangos establecidos por los diferentes países ya que los coliformes totales y el color presentan valores muy elevados para ser considerada agua de uso potable.

El análisis conjunto de las muestras de agua lluvia recolectadas en la zona de estudio determina que el agua NO es apta para uso potable, ya que en la normativa nacional resolución 2115/2007 desde el momento de su captación infringe en los valores de turbiedad y coliformes totales, lo cual hace necesario en todos los casos un tratamiento posterior a la captación para su uso.

7.4.2. Uso recreación

En el Decreto 1594/1984 se encuentra reglamentados diferentes usos del recurso hídrico, uno de los establecidos es para recreación cuando se producen actividades de contacto primario como la natación y el buceo o de contacto secundario como deportes náuticos y pesca.

Dentro de los parámetros monitoreados se encuentra el análisis químico de pH y microbiológico de coliformes totales, sin embargo, para establecer el uso del recurso con este fin de la manera adecuada dentro de las normativas es de vital importancia realizar estudios de metales pesados, los cuales en el presente estudio no se realizaron por las restricciones por la emergencia sanitaria COVID 19 y debido a que en el laboratorio de aguas (Dra. Amparo Restrepo) no cuentan con los parámetros acreditados. En el Anexo II se encuentra la lista completa de parámetros que deben ser evaluados para este uso.

En la Tabla 8 se observan los valores establecidos en el decreto 1594/1984, al mismo tiempo que los datos obtenidos por los muestreos realizados al agua lluvia en la zona de estudio y se deduce que el agua recolectada se encuentra dentro de los límites permisibles para los parámetros muestreados haciendo posible el uso del recurso en estas actividades pero teniendo en cuenta que se deben realizar los demás análisis exigidos por la norma.

Tabla 8. Evaluación de los resultados obtenidos para uso de recreación en contacto primario y secundario.

PARAMETRO	VALORES MAXIMOS ESTABLECIDOS DECRETO 1594/1984		VALORES OBTENIDOS DE MUESTREOS		
	Contacto primario	Contacto secundario	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Coliformes totales	1000/100 ml	5000/100 ml	36/100ml	100/100ml	236/100ml
pH	5,9 - 9,0	5,9 - 9,0	7	7	7

Fuente. Parra M (2020)

7.4.3. Uso doméstico

El decreto 1594/1984 del mismo modo establece criterios de calidad admisibles para la destinación del recurso hídrico para consumo humano y usos doméstico, para lo cual se hace de vital importancia el análisis de metales pesados y otros elementos para definir su uso conforme a la legislación establecida, este proyecto se encuentra limitado en los análisis de laboratorio por la situación actual del país debido a las restricciones generadas por la pandemia COVID 19, En el Anexo III se encuentra la lista completa de parámetros que deben ser evaluados para este uso.

En la Tabla 9 se observa que las muestras de agua lluvia #1 y #3, recolectadas en la zona de estudio se encuentra dentro de los rangos permisibles para los parámetros muestreados (Color, Nitratos, Coliformes Totales y pH), lo cual indica que puede ser utilizada para usos domésticos al corroborar que los demás valores regulados en la normativa se encuentren en norma y si se requiere para potabilización debe realizarse un tratamiento convencional de potabilización. Mientras que la muestra de agua #2 se encuentra fuera del rango establecido como permisible para los parámetros Nitratos y color por tanto no es susceptible para uso doméstico directo, sin realizarle un proceso

previo de tratamiento (Coagulación, Floculación, Sedimentación, filtración y desinfección) .

Tabla 9. Evaluación de los resultados obtenidos para uso doméstico.

PARAMETRO	VALORES MAXIMOS ESTABLECIDOS DECRETO 1594/1984	VALORES OBTENIDOS DE MUESTREOS		
		Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Color (UPC)	75	15	>100	45
Nitratos (mg/L)	10	<4	75	4
Coliformes totales	20000/100ml	36/100ml	100/100ml	236/100ml
pH	5 – 9	7	7	7

Fuente. Parra M (2020).

7.4.4. Adaptación de la Vegetación

Las tres especies de plantas utilizadas en el montaje de la cubierta (Cinta blanca, cinta verde y rhoeo), presentaron un desarrollo positivo los meses comprendidos entre Septiembre y Diciembre del 2020 debido a que las temperaturas en la zona se encontraban oscilando aproximadamente en los 28°C y las jornadas de riego sumadas a los eventos de precipitaciones presentados suplían las necesidades de las plantas para su correcto desarrollo y crecimiento, llevándolas a alcanzar una longitud aproximada de 15-16 cm en el caso de las cintas, mientras que las plantas Rhoeo presentaron un crecimiento menor debido a que son plantas de porte bajo oscilando en los 10cm.

En el mes de Enero del 2021 comienza la temporada de verano en el municipio, la cual trae consigo el aumento considerable de las temperaturas, debido a esto el instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales (IDEAM) emitió alertas sobre olas de calor extendidas por todos los 29 municipios pertenecientes al

departamento del Meta y decreto 104 puntos de calor aledaños a la zona de estudio, lo que incidió directamente en el desarrollo de las plantas, durante los meses de Enero y Febrero no se presentaron eventos de precipitaciones en el municipio y las temperaturas oscilaban aproximadamente entre 32-33,5°C, lo que generaba un aumento considerable en la temperatura del tejado y por tanto la humedad del sustrato se conservaba por menor tiempo, por otra parte la exposición directa de las plantas a la alta radiación solar comenzó a ocasionar un cambio en la tonalidad del limbo de las hojas tornándolo amarillo y deteniendo su crecimiento. Durante los meses restantes de ejecución de la cubierta la vegetación presento la misma apariencia y crecimiento mencionados anteriormente.

8. Conclusiones

La cubierta verde establecida en la zona de estudio demostró mediante los análisis fisicoquímicos y microbiológicos que el tipo de sustrato que se utilice tiene una incidencia directa en la composición del recurso hídrico captado, el aumento de parámetros como los nitratos en las muestras analizadas se encuentran relacionados directamente con que las plantas no presentaron el desarrollo adecuado para consumir el nitrato producido por acción de los microorganismos y este fue arrastrado por el agua lluvia filtrada, del mismo modo los coliformes totales, el color y la turbiedad de las muestras captadas aumentaron por la elevada presencia de materia orgánica en el suelo utilizado, lo que evidencia que la composición del sustrato que debe ser utilizado en este tipo de cubiertas debe ser en mayor porcentaje material inorgánico para poder reducir la carga elevada de compuestos en el agua y la proliferación de malezas dentro de la estructura.

De igual forma estos análisis realizados a las aguas lluvias filtradas permitieron establecer que puede ser utilizada en actividades domésticas individuales o colectivas, tales como higiene y limpieza de elementos, materiales o utensilios y lavado de zonas comunes, de la misma manera en actividades de recreación y si se requiere para consumo humano debe encontrarse sometida a un tratamiento completo de potabilización.

La adaptación de los tres tipos de plantas en la cubierta se establece en función de la humedad, los nutrientes presentes en el sustrato y las condiciones climáticas de la

zona, la especie *Chorophytum comosum* (Cinta Blanca), fue la que mostro el mayor crecimiento y la mayor resistencia a las olas de calor en la etapa de verano, sin embargo las 3 especies de manera general no presentaron el desarrollo adecuado ya que luego de un tiempo de encontrarse establecidas se tornaron de otro tono las hojas y se detuvo su crecimiento lo que ocasionó que no cubrieran completamente la superficie del sustrato.

9. Recomendaciones

Para cualquier persona o entidad que desee incorporar un modelo de cubierta verde como medida de manejo a la problemática de aguas lluvias, se propone establecer sustrato mixto compuesto por una mezcla de 20% Materia orgánica y 80% materia inorgánica estableciendo un tiempo mayor de adaptación a la vegetación ya sea con las especies establecidas o acompañado de otras especies de plantas (Sedum principalmente), para poder evaluar su desempeño, del mismo modo se consideran análisis importantes a realizar el estudio de suelos del sustrato y el análisis de metales pesados de las muestras recolectadas para poder determinar con exactitud la composición y evaluar completamente los parámetros establecidos en las diferentes normativas con el fin de poder evaluar otros posibles usos.

Cabe resaltar que la cantidad de litros de agua captados por la cubierta se encuentran dados en función de la intensidad y duración de la precipitación para lo cual es de vital importancia establecer un tanque de almacenamiento para su recolección y posterior uso. Del mismo modo con los parámetros analizados a las muestras recolectadas, se puede clasificar el nivel de calidad del agua de acuerdo a su grado de polución según lo establecido en el RAS 2000 título C (ver anexo IV) y de acuerdo a la calidad de la fuente que para este caso es de tipo regular debe encontrarse sometida a un tratamiento de desinfección+ estabilización+ filtración lenta o filtración directa, para poder ser considerada agua potable.

10. Referencias Bibliográficas

- Aguirre C, Diana M, Morera A, Camila A (2014), Modelación hidrológica de techos verdes productivos. Tesis, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá D.C. Pag.97
- Anderson, M., Lambrinos, J., & Schroll, E. (2010). The potential value of mosses for stormwater management in urban environments. *Urban Ecosystems*, 13(3), 319-332.
- Ayala (2014), Sistemas de recolección y aprovechamiento de aguas lluvias, *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas Pub. Esp. Núm.13*, Pag.5
- Beltran, M. Abraham, Mendoza,V. Monica, Vazquez,P. Arturo, Garcia,C.Arturo, (2014). Confort térmico de techos verdes con *Cissus verticillata* (Vitaceae) en viviendas rurales tropicales. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas Pub. Esp. Núm. 9*, Pag.10
- Bejarano (2016), Aguas lluvias y monitoreo ambiental, *Revista medio y fauna*. Pag.7.
- Beck, D. A. (2011). Amending greenroof soil with biochar to affect runoff water quantity and quality. *ENVIRONMENTAL POLLUTION*, 1-8.

Butler, C. (11 de 11 de 2011). Sedum Cools Soil and can Improve Neighboring Plant Performance During Water Deficit on a Green Roof. *Ecological Engineering*, 37(11), 1796-1803.

C. Lamera, G. Becciu, M. C. Rulli y R. Rosso, “Green roofs effects on the urban water cycle components,” *Procedia Engineering*, vol. 70, pp. 988-997, 2014.

C. Berretta, S. Poë y V. Stovin, “Moisture content behaviour in extensive green roofs during dry periods: The influence of vegetation and substrate characteristics,” *Journal of Hydrology*, vol. 511, pp. 374-386, 2014.

Castro R, Yasmin (2018). Análisis de la implementación de Cubiertas Verdes como diseño sostenible en la ampliación de la Cárcel y Penitenciaría de Mediana Seguridad de Espinal – Tolima. Tesis, Universidad La Gran Colombia, Bogota D.C. Pag.62

Castro S, Leidy , 2018. Techos verdes en viviendas de estrato 1: aplicado al barrio Yomasa. Tesis, Universidad Católica de Colombia, Bogotá D.C. Pag.77

Correa S, Angie H (2014), Diseño de un sistema de captación y aprovechamiento de aguas lluvias como alternativa de ahorro de agua potable en la Universidad Libre De Colombia, sede Bosque Popular, Bloque P y cafetería, Proyecto de Grado, Universidad Libre De Colombia, Bogotá D.C. , Pag.109

Castellanos R, Leidy J, GARCÍA P, Camilo A (2015), Diseño e implementación de un prototipo de sistema de recolección y tratamiento de aguas lluvias en casa multifamiliar para uso doméstico en el Barrio Consuelo Localidad De Rafael Uribe Uribe, Trabajo de Grado, Universidad Católica De Colombia, Bogotá D.C. Pag.82

Castaño, Pablo 2014, Techos verdes y sistemas de procesamiento de agua lluvia. Universidad Argentina de la Empresa, Trabajo de Grado. Argentina 2014. Pág. 86.

Ecología urbana, Guía de azoteas vivas BCN, Barcelona 2015. Pag.41

Estupiñan P, Jorge L, ZAPATA G, Héctor O (2010), Requerimientos de Infraestructura para el Aprovechamiento Sostenible del Agua Lluvia en el Campus de la Pontificia Universidad Javeriana, sede Bogotá. Tesis, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá D.C. Pag.172

Elicriso (2020), Cintas Chlorophytum comosum ornamentales, usos y características generales, sitio web oficial, 2021.

Factor humus (2020), Abonos y fertilizantes para cultivos altamente productivos, sitio web oficial, 2021.

Flores y plantas (2020), Ecología verde plantas utilizadas en cubiertas. Sitio web oficial, 2021.

Guerrero U, Ginna Z, Gamez T, Paola A (2014), Evaluación y pre-diseño de cubiertas verdes para la reutilización de aguas lluvias en la Universidad Militar Nueva Granada: una perspectiva desde Universidad Saludable, Proyecto de grado, Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá.D.C. Pag.85

Guía de techos verdes en Bogotá (2001), secretaria distrital de ambiente Alcaldía mayor de Bogotá. Pág. 87

J. Rodríguez Bayón, D. Castro Fresno, J. Rodríguez Hernández y F. Ballester Muñoz, “Sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS),” *Interciencia. Revista de ciencia y tecnología de América*, vol. 30, no. 5, pp. 255-260, 2005.

J. Yang y Z.-H. Wang, “Physical Parameterization and Sensitivity of Urban Hydrological Models: Application to Green Roof Systems,” *Building and Environment*, vol. 75, pp. 250-273, 2014.

Long, S. B. (2013). *Green Roofs: Optimizing the Water Quality of Rooftop Runoff*. Penn State.

Long, B. (2006). Green Roof Media Selection for the Minimization of Pollutant Loadings in Roof Runoff. *WEFTEC*, 5529-5547.

Lucket, K. (2009). *Green Roof Construction and Maintenance*. New York : McGraw-Hill.

Marchena A, Diana 2012. Techos verdes como sistemas urbanos de drenaje sostenible. Tesis, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá D.C. Pag.82

Molineux, C. C. (2009). Characterising Alternative Recycled Waste Materials for use as Green Roof Growing Media in the U.K. ELSEVIER p.7.

Olewski, C. M. (2011). *Physical and Chemical Properties of Green Roof Media and Their Effect on Plant Establishment*.

Ospina Z, Óscar E, Ramirez A, Hildebrando (2014). Evaluación de la calidad del agua de lluvia para su aprovechamiento y uso doméstico en Ibagué, Tolima, Colombia. *Ingeniería Solidaria*, vol. 10, n.º 17, pp. 125-138, en.-dic. doi: <http://dx.doi.org/10.16925/in.v9i17.812>

Ortiz F, Wilman A, Velandia B, William D (2017), Propuesta para la captación y uso de agua lluvia en las instalaciones de la Universidad Católica De Colombia a partir de un modelo físico de recolección de agua, Proyecto de grado, Universidad Católica De Colombia, Bogotá. D.C, Pag.67

Ordoñez L, Eduardo E, Perez S, Maria M (2015), Comparación del desempeño térmico de techos verdes y techos blancos mediante técnicas IR, Acta Universitaria, 25(5), 11-19. doi: 10.15174/au.2015.782 Vol. 25 No. 5 Septiembre-Octubre 2015.

Oscar Contreras Bejarano, Diseño de prototipo de techo verde como solución a problemas de inundación caso de estudio: Chapinero Colombia. Trabajo de grado, Universidad Católica de Colombia. Bogotá D.C. pág. 152

Puentes S, Angela P (2014), Techos verdes utilizados como elementos de regulación de la escorrentía en Bogotá, Tesis de investigación de maestría, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá. D.C. Pag.136.

Palla, A., Gnecco, I. (2015). *Hydrologic modeling of Low Impact Development systems at the urban catchment scale*. Journal of Hydrology.

Redondo P,Dairon F, (2014). Beneficios socio ambientales de las infraestructuras verdes urbanas y aplicación en la construcción y planificación urbanística en la ciudad de Bucaramanga, Trabajo especialización, Universidad Pontificia Bolivariana, Bucaramanga. Pag.9

R. Rodríguez, C. Bejarano, B. Riverón y J.A. Carmenate (2004), Composición química de las precipitaciones, deposición de sales y evaluación de la recarga en la región

oriental de Cuba. Boletín Geológico y Minero, 115, Núm. especial: 341-356.
Pag.17

Rhodes V , M ateo 2012, *Implementación de un modelo de techo verde y su beneficio térmico en un hogar de honda, Tolima (Colombia). Trabajo de grado*, Pontificia Universidad Javeriana facultad de estudios ambientales y rurales, Bogota D.C.
Pag. 67

Revista Construye grupo Cagel comunicaciones SA de Cv, México proyecta, diseña y
Construye es una Publicación de Grupo Cagel Comunicaciones S.A de C.V.
Todos los Derechos Reservados 2020. Pag.88.

Ramirez A, Wilson, BOLAÑOS S, Tomas (2012), Revisión sobre el papel de los techos
verdes en la remoción de carbono atmosférico en el neotrópico, Bogota-
Colombia, Revista nodo N° 12, Vol. 6, Año 6: 7-18 Enero-Junio 2012. Pag. 12.

Rossato, e. a. (2013). Eficiencia en la retención del agua lluvia de cubiertas vegetadas
de tipo extensivo e intensivo. Obtenido de
[https://www.researchgate.net/publication/260778527_Eficiencia_en_la_retencion_del_agua_d
e_lluvia_de_cubiertas_vegetadas_de_tipo_extensivo_eintensivo.](https://www.researchgate.net/publication/260778527_Eficiencia_en_la_retencion_del_agua_de_cubiertas_vegetadas_de_tipo_extensivo_e_intensivo)

Schunck, E. A. (2003). *Roof Construction Manual*. Birkhäuser: Publishers for
Architecture.

Sun, C. Y., Lin, Y. J., Sung, W. P., Ou, W. S., & Lu, K. M. (2012). Green roof as a green material of building in mitigating heat island effect in Taipei City. *Applied Mechanics and Materials*, 193-194, 368-371.

Solarte, Laura, Gonzales, Leonardo (2012), Aprovechamiento del agua lluvia en la Pontificia Universidad Javeriana de Bogotá en función de la variabilidad climática, Universidad Pontificia Universidad Javeriana, Proyecto de grado, Bogotá D.C. Pag. 88

Trujillo T, Felipe (2014), Desarrollo de sustratos eficientes para cubiertas verdes en el area de Bogota, Proyecto de grado, Universidad de los Andes, Bogota. D.C. Pag.58

Urbana (2015), Guía de azoteas vivas y cubiertas verdes, Área de ecología urbana, ayuntamiento de Barcelona. Diciembre de 2015. Pag.41.

Zielinski, Seweryn , Garcia C, Mario A, Vega P, Juan C (2012), Techos verdes: ¿Una herramienta viable para la gestión ambiental en el sector hotelero del Rodadero Santa Marta?, Universidad Nacional De Colombia, Revista Gestión y Ambiente Volumen 15 - No.1, Mayo de 2012, Medellín ISSN 0124.177X. pp 91-104.

Anexo I. Normatividad aplicable Para uso Potable

Comprendido para Colombia en la Resolución 2115/2007

Parámetros	EU (mg/L)	EPA (mg/L)	WHO (mg/L)	UK (mg/L)	Canadá (mg/L)	Colombia (mg/L)	México (mg/L)
Alcalinidad total	20	15	15	30	15	200	
Aluminio	0.2		0.2	0.2		0.2	0.2
Antimonio	0.005	0.006	0.005	0.005		0.02	
Arsénico	0.01	0.05	0.01	0.01		0.01	0.05
Bario		2	0.3			0.7	0.7
Cadmio	0.005	0.005	0.003	0.005	0.005	0.003	0.005
Calcio						60	
Cianuro	0.05	0.2	0.07	0.05		0.05	0.07
Cloro Residual						0.3 - 2.0	0.2 - 1.5
Cloruros	250	250		250	250	250	250
Cobre	3	1	1	2	1	1	2
Color Verdadero	10	0,5-1,0	5	20	1	15	
Conductividad (µS/cm)				2500	400	1000	
Coniformes totales	0/250 ml	0/100 ml		0/100 ml		0/100 ml	
romo	0.05	0.1	0.05			0.05	0.05
Dureza Total				60		300	500
Escherichia Coli	0/250 ml	0/100 ml		0/100 ml		0/100 ml	
Fluoruros	1.5 400- 5000		1.5	1.5		1	1.5
Fosforo total							
Hierro	0.2	0.3	0.3	0.2	0.3	0.3	0.3
Magnesio	30-50			50	-	36	
Manganeso	0.05	0.05	0.1	50	0.05	0.1	0.15
Mercurio	0.001	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
Niquel	50	0.1	0.02	20		0.02	
Nitratos	50	10		50		10	10
Nitritos	0.5	1		0.5		0.1	1
NTK	1			1			
Oxígeno disuelto				> 75 %			
pH		6.5 - 8.5		5.5 - 9.5	6.5 - 8.5	5.5 - 9.0	6.5 - 8.5
Plaguicidas	0.00001			0.5		0.1	
Plata	0.01	0		0.01		0.05	
plomo	0.05	0.015	0.01	0.05	0.01	0.01	0.01
Potasio	10			12			
Selenio	0.01	0.05	0.01			0.01	
Sodio	200		200	200	200		200
Sólidos totales disueltos		500	1000		500		1000
Sulfato	250	250	250	250	500	250	400
Temperatura (C)	12 - 25			25	15		
Turbidez (NTU)	60			4		2	
Zinc	5	5	3	5	5	3	5

Fuente. Solarte L (2020).

Anexo II. Normatividad aplicable para Uso de recreación

Normatividad aplicable para Uso de recreación por contacto primario

Comprendido para Colombia en el Decreto 1594/1984

Parámetros	EPA	Japón	Colombia
Sólidos suspendidos totales	5		
Color Verdadero		10	
Turbidez (NTU)	2	2	
Cloro residual	1	0.1	
pH	6.0 - 9.0	5.8 - 8.6	5.0 - 9.0
Oxígeno disuelto			> 70 %
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5)	10		
Coliformes Fecales	No detectable		200/100 ml
Coliformes Totales			1000/100 ml
Escherichia Coli		No detectable	

Fuente. Solarte L (2020)

Normatividad aplicable para Uso de recreación por contacto secundario

Comprendido para Colombia en el Decreto 1594/1984

Parámetros	Colombia
Sólidos suspendidos totales	
Color Verdadero	
Turbidez (NTU)	
Cloro residual	
pH	5.0 - 9.0
Oxígeno disuelto	> 70 %
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5)	
Coliformes Fecales	200/100 ml
Coliformes Totales	5000/100 ml
Escherichia Coli	

Fuente. Solarte L (2020)

Anexo III. Normatividad aplicable para Uso domestico

Comprendido para Colombia en el Decreto 1594/1984

Parametros	Colombia (mg/L)
Amoniaco	1
Arsenico	0,05
Bario	1
Cadmio	0,01
Cianuro	0,2
Cinc	15
Cloruros	250
Cobre	1
Color Real	75
Fenol	0,002
Cromo	0,005
Mercurio	0,002
Nitratos	10
Nitritos	10
pH	5.0 - 9.0
Plata	0,05
Plomo	0,05
Selenio	0,01
Sulfatos	4400
Coliformes totales	20000/100ml
Coliformes fecales	2000/100ml

Fuente. Decreto 1594/1984

Anexo IV. Calidad del agua de la fuente y grado de tratamiento

TABLA C.2.1. Calidad de la fuente						
Parámetros	Análisis según		Nivel de calidad de acuerdo al grado de contaminación			
	Norma Técnica Icontec NTC	Standard Method ASTM	1. Fuente aceptable	2. Fuente regular	3. Fuente deficiente	4. Fuente muy deficiente
DBO 5 días	3630					
Promedio mensual mg/L			≤ 1.5	1.5 - 2.5	2.5 - 4	>4
Máximo diario mg/L			1 - 3	3 - 4	4 - 6	>6
Coliformes totales (NMP/100 mL)						
Promedio mensual		D-3870	0 - 50	50 - 500	500 - 5000	> 5000
Oxígeno disuelto mg/L	4705	D-888	≥ 4	≥ 4	≥ 4	< 4
PH promedio	3651	D 1293	6.0 - 8.5	5.0 - 9.0	3.8 - 10.5	
Turbiedad (UNT)	4707	D 1889	< 2	2 - 40	40 - 150	≥ 150
Color verdadero (UPC)			< 10	10 - 20	20 - 40	≥ 40
Sabor y olor		D 1292	Aceptable	Aceptable	Rechazable	Inaceptable
Cloruros (mg/L - Cl)		D 512	< 50	50 - 150	150 - 200	300
Fluoruros (mg/L - F)		D 1179	< 1.2	< 1.2	< 1.2	> 1.7
GRADO DE TRATAMIENTO						
- Necesita un tratamiento convencional			NO	NO	Sí, hay veces (ver requisitos para uso FIME literal C.7.4.3.2)	SI
- Necesita unos tratamientos específicos			NO	NO	NO	SI
- Procesos de tratamiento utilizados			(1) = Desinfección + Estabilización	(2) = Filtración Lenta o Filtración Directa + (1) FIME	(3) = Pretratamiento + [Coagulación + Floculación + Sedimentación + Filtración Rápida] o [FiME Filtración en múltiples etapas] + (1)	(4) = (3) + Tratamientos específicos

Fuente. RAS 2000