



Diseño e Implementación del Módulo VerdeH2O: Recolección de Aguas Lluvias con Cubiertas Verdes y Sustrato Perlita en Cultivos Urbanos.”

Investigación de caso: Vivienda unifamiliar en el barrio Bosque Popular localidad de Engativá - Carrera 69h #63<sup>a</sup>-97.

Ávila Jaimes Mauricio Hernando

Blanco Sandoval Juliana

Montilla Valencia Juan David

Ortiz Vega María Cristina

Universidad Colegio Mayor De Cundinamarca

Facultad De Ingeniería Y Arquitectura

Construcción Y Gestión En Arquitectura

Febrero 2025

Bogotá D.C

Diseño e Implementación del Módulo Verde H2O: Recolección de Aguas Lluvias con Cubiertas Verdes y Sustrato Perlita en Cultivos Urbanos.

Investigación de caso: Vivienda Unifamiliar en el Barrio Bosque Popular Localidad de Engativá - Carrera 69h #63<sup>a</sup>-97 .

Ávila Jaimes Mauricio Hernando

Blanco Sandoval Juliana

Montilla Valencia Juan David

Ortiz Vega María Cristina

Proyecto de Trabajo de Grado para Optar al Título de Profesional en Construcción y Gestión en Arquitectura

Director de proyecto de Investigación y Desarrollo CYGA Mg: Juan Guillermo Lozano Camelo

Asesor Énfasis de PID en Módulo VERDEH2O Arq. Mg: Francisco Javier Lagos Bayona

Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca

Facultad de Ingeniería y Arquitectura

Construcción y Gestión en Arquitectura

Junio 2025

## DICATORIA

Mauricio

*En primer lugar, quiero agradecer a Dios por permitirme llegar hasta aquí, y especialmente a mi madre, quien ha sido mi mayor ejemplo de fortaleza, dedicación y amor incondicional.*

*Mamá, gracias por estar siempre a mi lado, por tus consejos sabios, por tus palabras de aliento cuando más las necesitaba y por cada sacrificio que hiciste para que yo pudiera seguir adelante. Este logro también es tuyo, porque sin tu apoyo, tu paciencia y tu fe en mí, no habría sido posible.*

*A mi familia, gracias por su compañía, por cada gesto de cariño y por estar presentes en cada paso de este camino. Los llevo conmigo en cada logro y en cada sueño cumplido.*

Mauricio Ávila Jaimes

Juliana

*Dedico este trabajo con admiración y gratitud a mis padres, hermanos, hijo y esposo, quienes son la raíz de mi vida y la fuente de mi inspiración. Cada uno de ustedes ha sido fundamental en mi historia, brindándome apoyo incondicional y saber en los momentos difíciles. A mis padres, gracias por la enseñanza en la importancia del esfuerzo y la perseverancia y, también, por su cariño. A mis hermanos, por ser mis cómplices y mejores amigos, llenando mi vida de risas y*

*recuerdos; a mi hijo, que ilumina mis días y me brinda sentido y aliento; y a mi esposo, cuya cantidad de paciencia y confianza en mí ha sido infinita. Agradezco, también a Dios, por esas fuerzas y las oportunidades de la vida.*

*Dios ha sido una luz en mis momentos inciertos. Este logro es de todos ustedes, quienes han compartido mis alegrías y me han apoyado en los momentos difíciles.*

*Agradezco contar con todos ustedes a mi lado.*

*Juliana Blanco Sandoval.*

*Juan Da*

*A Dios,*

*por ser mi guía constante, por darme fuerza en los momentos difíciles y por acompañarme con su luz en cada paso de este camino. A Él le entrego este logro con humildad y gratitud.*

*A mi familia,*

*por ser el motor que me impulsa a seguir, por su amor incondicional, su apoyo sin medida y por enseñarme que, con esfuerzo, fe y unidad, todo es posible. Este triunfo también es suyo.*

*A mi universidad,*

*por brindarme el espacio para crecer, aprender y formarme no solo como profesional, sino también como ser humano. Gracias a cada docente y a quienes hicieron parte de esta etapa inolvidable.*

*Con profunda gratitud,*

*Juan David Montilla*

*Cristina*

*A mi familia,*

*por ser mi base, mi refugio y mi mayor motivación.*

*Gracias por acompañarme en cada paso, por su apoyo incondicional y por creer en mí incluso cuando yo dudaba. Cada palabra de aliento, cada abrazo y cada gesto de amor fueron esenciales para llegar hasta aquí.*

*Este logro no solo es mío, es nuestro.*

*Con todo mi amor,*

*Cristina Ortiz*

## **AGRADECIMIENTOS**

En primer lugar, queremos dar nuestro agradecimiento más profundo, sincero y completo a la Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca ya que ha sido un sostén fundamental en nuestro desarrollo académico y personal. Nos ha proporcionado en primer lugar un entorno apropiado para aprender y también para crecer en un terreno eficaz de conocimiento y creatividad. Nos sentimos agradecidos por las experiencias enriquecedoras y los recursos inestimables de los cuales hemos podido disfrutar y que han sido fundamentales para llevar a cabo este proyecto.

Nos gustaría manifestarles aquí nuestro agradecimiento a los y las docentes que han sido un ejemplo y una inspiración en nuestro camino, y a todos los que generosamente han compartido sus saberes y experiencias con nosotros : gracias por su dedicación, su paciencia y su búsqueda incansable de la excelencia. Nos brindaron no sólo conocimientos teóricos, sino también habilidades prácticas que hemos aplicado en la realización de este trabajo, así como los consejos y críticas constructivas que nos han hecho reflexionar y crecer en relación a nuestra labor. Agradecemos fuertemente cada clase, cada sesión de asesoría y cada palabra de aliento que nos acompañó en los momentos complicados.

## ÍNDICE

ÍNDICE DE TABLAS .....	9
ÍNDICE DE FIGURAS .....	10
ÍNDICE DE ABREVIATURAS.....	12
INTRODUCCIÓN .....	13
RESUMEN .....	15
Problema identificado y descripción del módulo VerdeH2O .....	16
Objetivos de la Investigación .....	17
Objetivo General .....	17
Objetivos Específicos.....	17
Enunciado Holopráxico .....	18
ABSTRACT .....	18
Identified Problem .....	19
Research Objectives .....	20
General Objective .....	20
Specific Objectives.....	20
Holopraxic statement .....	21
1. IDENTIFICACIÓN DEL MODULO VERDEH2O.....	22
1.1. Presentación .....	22
1.2. Ficha Técnica.....	26
1.3. Área de investigación .....	28
1.4. Tema de investigación .....	28
1.5. Título de la investigación .....	29
1.6. Línea de investigación.....	29
1.7. Tipo de investigación.....	30
1.7.1. Investigación Aplicada .....	30
1.7.2. Enfoque experimental.....	31
1.7.3. Investigación descriptiva.....	31
1.8. Clase de investigación .....	32
1.9. Cuadro de variables, valores e indicadores .....	37

1.9.1.	Cuadro de variables cubiertas .....	37
1.10.	Herramientas de investigación utilizadas .....	38
1.11.	Evidencia de diligenciamiento del CvLac - Orcid .....	40
2.	DESCRIPCIÓN DEL MODULO VERDEH2O.....	41
2.1.1.	Árbol del problema, causas y consecuencias, descripción.....	42
2.1.2.	Árbol del objetivo medios y fines, definición. ....	47
2.1.3.	Árbol de objetivos, logros e insumos .....	49
2.1.4.	Delimitación temática y geográfica .....	51
2.2	Descripción .....	52
2.2.1.	Concepto general del Módulo VERDEH2O o servicio .....	53
2.2.2.	Impacto tecnológico, social y ambiental. ....	54
2.2.3.	Potencial innovador. ....	56
2.3	Justificaciones del problema a investigar.....	58
2.3.1.	Justificación Ambiental .....	58
2.3.2.	Justificación Social .....	60
2.3.3.	Justificación Económica .....	61
2.3.4.	Justificación Profesional y personal.....	62
2.3.5.	Justificación Tecnológica.....	63
2.3.6.	Necesidades que satisface .....	64
3.	METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	66
3.1.	Alcance .....	66
3.2.	Fases de la Investigación.....	67
I.	Observación de campo .....	67
II.	Investigación documental – Bases de datos .....	69
3.3.	Presupuesto de la Investigación .....	72
3.3.1.	Presupuesto del Módulo VerdeH2O:.....	73
3.3.3.	Pruebas de Laboratorio.....	75
3.4.	Cronograma de la investigación.....	76
3.5.	Procedimientos .....	79
3.6.	Población de Entrevistas.....	81
3.7.	Técnicas e instrumentos .....	92

3.8. Antecedente del problema a investigar .....	101
3.8.1. Sistemas de Recolección de Aguas Lluvias en Arquitectura Sostenible	102
3.8.2. Beneficios Ambientales de Cubiertas Verdes .....	102
3.8.3. Tecnologías y Materiales Sostenibles para la Captación de Agua.....	103
3.9. Estado del Arte del problema a investigar.....	104
3.10. Marcos contextual o referencial .....	106
3.10.1. Marco Teórico .....	106
3.10.2 Clasificación de plantas .....	106
3.10.3. Tipo de Sustrato.....	107
3.10.4. Tipo de Impermeabilizante PVC .....	108
3.10.5 Temporadas secas y lluvia en Bogotá .....	110
3.10.6. Temperatura promedio del aire mínima y máxima .....	111
3.10.7. Humedad relativa .....	112
3.10.8. Velocidad del viento .....	112
3.10.9. Mes del año con mayor y menor número de días de lluvia .....	113
3.10.10. Captura de dióxido de carbono por M <sup>2</sup> .....	115
3.10.10. Confort en Materia de Cubiertas Verdes en Edificaciones.....	116
3.11. Marco Histórico.....	120
3.12. Marco Normativo.....	123
3.13. Marco Ambiental.....	126
3.14. Marco Social .....	127
3.15. Marco Productivo .....	129
3.16. Procesos tecnológicos de producción.....	130
4. CONCLUSIONES .....	150
De la investigación del módulo VerdeH2O.....	150
De la investigación asociada al módulo .....	151
De la empresa.....	153
LOGROS: PROCESO FINAL MÓDULO VERDEH2O. ....	154
Nuevos Interrogantes.....	155
5. MARCO TERMINOLÓGICO EN ESPAÑOL .....	156
5.1. De la investigación del módulo VerdeH2O.....	156

5.2. De la empresa .....	157
5.3. Del proyecto financiero.....	158
6. MARCO TERMINOLÓGICO EN INGLÉS .....	159
6.1. De la investigación del módulo VerdeH2O .....	159
6.2. De la empresa .....	160
6.3. Del proyecto financiero.....	161
8. Referencias.....	162
ANEXOS .....	169
Anexo 1. Encuestas, Resultados de laboratorio y/o entrevistas. ....	169
Anexo 2. Presentación en power point.....	169
Anexo 3. Fotografías (o Registro fotográfico del prototipo) .....	169
Anexo 4. Maqueta virtual o vídeos .....	169
Anexo 5. Poster .....	169

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Cuadro de abreviaturas .....	12
Tabla 2 Universidad - Pruebas .....	31
Tabla 3 Tipos de investigación Jacqueline Hurtado .....	33
Tabla 4 Resumen Variables .....	37
Tabla 5 Evidencia del CvLac & Orcid .....	40
Tabla 6 Convenciones.....	45
Tabla 7 Lugares referentes con cubiertas verdes en Bogotá .....	67
Tabla 8 Bases de datos.....	70
Tabla 9 Presupuesto de investigación.....	73
Tabla 10 Presupuesto del Módulo verdeH2O.....	73
Tabla 11 : Diagrama de Gantt: Cronograma de actividades.....	77
Tabla 12 Datos Iniciales Módulo .....	82
Tabla 13 Primeros Resultados .....	85
Tabla 14 Segundos Resultados .....	87
Tabla 15 Tipos de tecnologías .....	103
Tabla 16 Tipos de plantas .....	106
Tabla 17 Tipos de sustratos .....	107
Tabla 18 Tipo de Impermeabilizante .....	108
Tabla 19 Promedios multianuales del número de días con lluvia en Bogotá D.C. .....	114
Tabla 20 Principales exponentes del tema.....	118
Tabla 21 Primeras cubiertas.....	121
Tabla 22 Marco histórico a nivel internacional.....	122
Tabla 23 Marco histórico a nivel nacional .....	122
Tabla 24 Marco normativo a nivel internacional .....	124
Tabla 25 Marco normativo a nivel nacional .....	125
Tabla 26 Marco ambiental internacional.....	126
Tabla 27 Marco ambiental internacional.....	127
Tabla 28 Marco productivo.....	129
Tabla 29 Proceso de Extrusión .....	148
Tabla 30 Proceso Final Módulo VerdeH2O.....	154
Tabla 31 Marco terminológico Módulo VERDEH2O o servicio.....	156
Tabla 32 Marco terminológico empresa .....	157
Tabla 33 Marco terminológico financiero.....	158
Tabla 34 Marco terminológico Módulo VERDEH2O o servicio en ingles .....	159
Tabla 35 Marco terminológico empresa en ingles .....	160
Tabla 36 Marco terminológico financiero en ingles .....	161

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Maqueta sistemas de captación de aguas lluvias para cubiertas verdes	23
Figura 2 Modelado módulo vista superior	23
Figura 3 Modelado módulo Vista superior con rejilla	24
Figura 4 Boceto casa – investigación de caso	25
Figura 5 Vista en alzado	25
Figura 7 Ficha técnica sistema de captación	27
Figura 13 Modulo vista frontal	41
Figura 14 Árbol de problemas	43
Figura 15 Subzonas climáticas urbanas	45
Figura 16 Árbol de objetivos	48
Figura 17 Impresora Creality Ender 3-Pro rolas_tore	50
Figura 18 Mapa de Bogotá D.C	52
Figura 19 Mapa barrio Bosque Popular	52
Figura 9 Presentación Módulo	81
Figura 10 Balanza digital con precisión de 0.1 gramos	82
Figura 11 Dialogo de Equipo con Laboratorista	82
Figura 12 Prueba de cubo 5*5*5 PLA – medidor servo-controlado	86
Figura 20 Comportamiento de las temperaturas media, máxima media en Bogotá D.C.	111
Figura 21 Marcha anual de la humedad relativa media en Bogotá D.C.	112
Figura 22 Distribución de la velocidad media del viento durante el año en Bogotá D.C.	112
Figura 23 Rosa de vientos de Bogotá D.C.	113
Figura 24 Número medio de días con lluvia en Bogotá D.C	114
Figura 25 Distribución horaria de la precipitación en Bogotá D.C.	114
Figura 26 Captura de dióxido de carbono	115
Figura 27 Confort en edificación	117
Figura 28 Línea de tiempo Cubiertas verdes	120
Figura 29 Programa Fusión 360	131
Figura 30 Primera Versión Módulo VERDEH2O	132
Figura 31 Etapa de Diseño Versión 2 Módulo VERDEH2O	133
Figura 32 Etapa de Diseño Versión 2 Módulo VERDEH2O	135
Figura 33 Etapa de Diseño Versión 2 Módulo VERDEH2O	135
Figura 34 Etapa de Diseño Versión 2 Módulo VERDEH2O	136
Figura 35 Versión Final Módulo VERDEH2O	137
Figura 36 Versión Final Módulo VERDEH2O	137
Figura 37 Primera Prueba de Impresión Módulo VERDEH2O	138
Figura 38 Ajustes de Grosor y Base de Cilindros	139

Figura 39 Versión de Módulos en Diferentes Escalas _____	141
Figura 40 Creality ender 3 V3_____	141
Figura 41 Materia Prima PLA _____	142
Figura 42 Identificación de Soportes Módulo _____	142
Figura 43 Impresión Rejilla con Manijas_____	143
Figura 44 Proceso de Impresión - 3 horas _____	143
Figura 45 Proceso de Impresión - 20 horas _____	144
Figura 46 Proceso de Impresión - 100 horas _____	144
Figura 47 Reconocimiento del Lugar y Tomas de Medidas _____	145
Figura 48 Planimetría Ubicación Módulos _____	146
Figura 49 Proceso finalizado Módulos VERDEH2O_____	146

## ÍNDICE DE ABREVIATURAS

Tabla 1 Cuadro de abreviaturas

ANLA	Autoridad Nacional de Licencias Ambientales
CAR	Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca
DANE	Departamento Administrativo Nacional de Estadística en Colombia
EAAB	Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá
IDIGER	Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático
IDU	Instituto de Desarrollo Urbano
JBB	Jardín Botánico de Bogotá
MINAMBIENTE	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible
SDA	Secretaría Distrital de Ambiente
UAESP	Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos
MSNM	metros sobre el nivel del mar

*Fuente: Avila, Blanco, Montilla, Ortiz, 2025*

## INTRODUCCIÓN

El intenso crecimiento de las ciudades, así como la repercusión del cambio climático, han dado vida a importantes desafíos en la administración sustentable del **agua**, en especial en ciudades como Bogotá. La vertiginosa urbanización, la dificultad de la variabilidad climática y, especialmente, el aumento de la demanda de agua, requieren soluciones novedosas y efectivas. En este sentido, las cubiertas verdes se constituyen en una herramienta muy interesante para optimizar la recuperación y el uso de **aguas pluviales**; estas infraestructuras verdes no solo ayudan a mitigar los efectos negativos del medio ambiente, como la escorrentía superficial y la contaminación de **fuentes hídricas**, sino que hacen viable el desarrollo de infraestructuras resilientes que se adapten a las adversidades climáticas.

Este trabajo de investigación contempla el diseño de un sistema modular y autónomo para la recolección de aguas de lluvia mediante la implementación de cubiertas verdes. Para la utilización del **módulo VERDEH20**, se considera un módulo fabricado con un material filamento para impresión en **PLA** y aprovechando altamente desarrolladas tecnologías de manufactura, como es la impresión 3D con la impresora **Creality Ender 3 - Pro**. La investigación plantea el acoplamiento más eficaz en la captación y distribución del agua, y la eliminación de los sistemas convencionales de almacenamiento que son generalmente caros y poco eficientes; de esta manera se logra disminuir el impacto ambiental y promover una mayor eficacia en la sostenibilidad urbana.

Del mismo modo, se proseguirá con una rigurosa selección de las especies vegetales a usar, las cuales son propias y adecuadas tanto para ser utilizadas en cubiertas urbanas ornamentales como en cultivos de **pancoger**, asegurando vivir en un mejor medio natural que permite una adecuada absorción y filtros de **agua**. Este planteamiento permite por consecuencia, el hecho de que utilizando **cubiertas vegetales** se explote la capacidad de las cubiertas vegetales para el manejo de **agua**; y al mismo tiempo se les da un valor autosustentable ya que se estimula la magnificación de **biodiversidad** y la buena calidad del **aire** de la ciudad.

Y por último, se llevará a cabo el diseño de un módulo piloto para la implementación del sistema que permita chequear su funcionamiento en un entorno real; permitiendo a través del seguimiento y el registro que se valide su eficacia y viabilidad como un sistema integral de gestión de **recursos hídricos**. Por esta razón, esta investigación se presenta como una alternativa innovadora para el manejo del **agua** en Bogotá, en concreto en la localidad de Engativá, en el barrio Bosque Popular, alineándose a los principios de **sostenibilidad** y adaptación al **cambio climático**, y buscando visibilizar la creación de políticas públicas que fomenten una mayor toma de conciencia sobre el uso responsable del agua.

## RESUMEN

Este proyecto de investigación tiene como objetivo desarrollar soluciones sostenibles para la gestión del recurso hídrico en el barrio Bosque Popular, localizado en Engativá, Bogotá. Frente a los desafíos del cambio climático y la creciente demanda de agua, se propone diseñar e implementar un sistema modular de recolección de aguas lluvias mediante cubiertas verdes, empleando materiales renovables como el **PLA** y tecnologías innovadoras como la impresión 3D con la impresora Creality Ender 3-Pro.

El propósito central es crear un sistema autónomo que optimice la captación y distribución del agua de lluvia, reduciendo la dependencia de infraestructuras convencionales. Además, se llevará a cabo un estudio para la selección de especies vegetales que faciliten la filtración y absorción del agua, garantizando tanto la eficiencia del sistema como su valor ecológico.

Como parte de la validación del proyecto, se instalará un módulo piloto en una vivienda unifamiliar del barrio, cuyo rendimiento será monitoreado para evaluar su funcionamiento y posibles mejoras. A través de esta iniciativa, se busca contribuir al desarrollo de infraestructuras urbanas resilientes y sostenibles, promoviendo la conservación del agua y la adaptación de las ciudades frente al cambio climático mediante soluciones que integren aspectos ecológicos, funcionales y estéticos.

*Palabras claves: cambio climático, sostenible, PLA, materiales renovables, ecológico, agua, pancoger, cubiertas verdes.*

## **Problema identificado y descripción del módulo VerdeH2O**

El presente proyecto de investigación aborda la necesidad de desarrollar soluciones **sostenibles** para la gestión del recurso hídrico en entornos urbanos en la localidad de Engativá, barrio Bosque Popular, como respuesta a los desafíos del cambio climático y la creciente demanda de agua. Se propone el diseño e implementación de un sistema de recolección de aguas lluvias mediante cubiertas verdes, integrando el uso de materiales reciclados y tecnologías avanzadas de impresión 3D.

Este sistema busca optimizar la captación y aprovechamiento del agua lluvia, reduciendo la dependencia de infraestructuras convencionales como tuberías y tanques de almacenamiento. Para ello, se plantea el desarrollo de un modelo modular y autónomo que maximice la eficiencia en la distribución del agua, utilizando materiales renovables como el **PLA**.

Asimismo, se realizará un estudio detallado para seleccionar especies vegetales que favorezcan la absorción y filtración del agua, garantizando tanto su funcionalidad como su aporte ecológico y estético; como parte del proceso de validación se instalará un módulo piloto en una edificación, el cual será monitoreado para evaluar su desempeño y viabilidad en el contexto urbano.

A través de esta iniciativa, el proyecto busca contribuir al desarrollo de infraestructuras resilientes y **sostenibles**, promoviendo alternativas innovadoras que favorezcan la conservación del agua, la reducción del impacto ambiental y la adaptación de las ciudades al cambio climático.

## Objetivos de la Investigación

### Objetivo General

Desarrollar un sistema para la recolección de aguas lluvias a través de cubiertas verdes en una vivienda unifamiliar ubicada en el barrio Bosque Popular, Engativá. Este sistema integrará cultivos urbanos y materiales reciclados **PLA** en el módulo **VerdeH2O**, buscando optimizar el uso del agua y promover infraestructuras urbanas **sostenibles**, así como la resiliencia ambiental como modelo piloto.

### Objetivos Específicos

- I. Diseñar un sistema modular autónomo para la recolección de aguas lluvias, optimizando la captación y distribución eficiente del recurso hídrico requiriendo el uso de tanques, e incorporando materiales reciclados en su fabricación.
- II. Implementar materiales reciclables en la fabricación del sistema, empleando filamentos de impresión 3D a base de ácidos polímeros **PLA**, con un porcentaje de hasta 100% de materiales, garantizando su **sostenibilidad** y eficiencia.
- III. Instalar un módulo piloto fabricado mediante impresión 3D en la investigación de caso: Vivienda unifamiliar en el barrio Bosque Popular localidad de Engativá, estableciendo un seguimiento y registro continuo para evaluar su funcionalidad, eficiencia y grado de integración con el entorno urbano.

## **Enunciado Holopráxico**

¿ De qué manera puede un sistema modular y autónomo de recolección de aguas lluvias con cubiertas verdes, empleando materiales reciclados, optimizar la captación y distribución de agua en viviendas unifamiliares de entornos urbanos, como en el barrio Bosque Popular de Bogotá, ante las adversidades del cambio climático y la necesidad de implementar infraestructuras sostenibles?

## **ABSTRACT**

*This research project focuses on creating sustainable solutions for water resource management in the Bosque Popular neighborhood of Engativá, Bogotá, in response to the challenges posed by climate change and the increasing demand for water. It proposes the design and implementation of a rainwater harvesting system through green roofs, using PLA and innovative technologies such as 3D printing with the Creality Ender 3-Pro printer.*

*The main objective is to develop a modular and autonomous system that optimizes the collection and distribution of rainwater, thereby reducing dependence on conventional infrastructure. To achieve this, renewable materials like PLA will be integrated.*

*Moreover, the project includes a study to select plant species that facilitate water filtration and absorption, ensuring both the effectiveness and ecological value of the proposed solution. As part of its validation, a pilot module will be installed in a single-*

*family home in the Bosque Popular neighborhood of Engativá, which will be monitored to assess its performance.*

*Through this initiative, we aim to contribute to the development of resilient and sustainable urban infrastructures, promoting water conservation and the adaptation of cities to climate change through innovations that integrate ecological and aesthetic aspects.*

*Keywords: climate change, sustainable, PLA, renewable materials, ecological, water, pancoger, green cover.*

### **Identified Problem**

*This research project addresses the need to develop sustainable solutions for water resource management in urban environments, specifically in the Bosque Popular neighborhood of Engativá, in response to the challenges posed by climate change and the increasing demand for water. It proposes the design and implementation of a rainwater harvesting system using green roofs, integrating the use of recycled materials and advanced 3D printing technologies.*

*This system aims to optimize the collection and use of rainwater, reducing dependence on conventional infrastructure such as pipes and storage tanks. To achieve this, a modular and autonomous model will be developed to maximize efficiency in water distribution, utilizing renewable materials like PLA.*

*Additionally, a detailed study will be conducted to select plant species that enhance water absorption and filtration, ensuring both functionality and ecological and aesthetic contributions. As part of the validation process, a pilot module will be installed in a building, which will be monitored to assess its performance and viability in the urban context.*

*Through this initiative, the project seeks to contribute to the development of resilient and sustainable infrastructures, promoting innovative alternatives that support water conservation, reduce environmental impact, and adapt cities to climate change.*

## **Research Objectives**

### **General Objective**

Design a rainwater collection system using green roofs in a single-family home in the Bosque Popular neighborhood, Engativá. This system will integrate urban crops and recycled **PLA** materials in the **VerdeH2O** module, aiming to optimize water usage and promote sustainable urban infrastructure, as well as environmental resilience as a pilot model.

### **Specific Objectives**

- I. To design a modular autonomous system for rainwater harvesting, optimizing the efficient collection and distribution of the water resource while incorporating tanks and recycled materials in its manufacturing.*

- II. *To implement recyclable materials in the manufacturing of the system, using **PLA**-based 3D printing filaments, with a percentage of up to 100% of materials, ensuring its sustainability and efficiency.*
- III. *To install a pilot module fabricated through 3D printing in the case study: a single-family home in the Bosque Popular neighborhood, located in Engativá, establishing continuous monitoring and recording to evaluate its functionality, efficiency, and degree of integration with the urban environment.*

### **Holopraxic statement**

*How can a modular and autonomous rainwater harvesting system with green roofs, using recycled materials, optimize water collection and distribution in single-family homes in urban environments, such as the Bosque Popular neighborhood of Bogotá, in the face of the challenges of climate change and the need for sustainable infrastructure development?*

## 1. IDENTIFICACIÓN DEL MODULO VERDEH2O

### 1.1. Presentación

El presente proyecto de investigación aborda la necesidad de desarrollar soluciones **sostenibles** para la gestión del recurso hídrico en entornos urbanos en la localidad de Engativá, barrio Bosque Popular como respuesta a los desafíos del cambio climático y la creciente demanda de agua, se propone el diseño e implementación de un sistema de recolección de aguas lluvias mediante cubiertas verdes, integrando el uso de un módulo **VERDEH2O** creado con **PLA**.

Este sistema busca optimizar la captación y aprovechamiento del agua lluvia, reduciendo la dependencia de infraestructuras convencionales como tuberías y tanques de almacenamiento. Para ello, se plantea el desarrollo de un modelo modular y autónomo que maximice la eficiencia en la distribución del agua, utilizando material renovable como el **PLA**.

Asimismo, se realizará un estudio detallado para seleccionar especies vegetales que favorezcan la absorción y filtración del agua, garantizando tanto su funcionalidad como su aporte ecológico y estético; como parte del proceso de validación se instalará un módulo piloto en una edificación, el cual será monitoreado para evaluar su desempeño y viabilidad en el contexto urbano.

A través de esta iniciativa, el proyecto busca contribuir al desarrollo de infraestructuras resilientes y **sostenibles**, promoviendo alternativas innovadoras que favorezcan la conservación del agua, la reducción del impacto ambiental y la adaptación de las ciudades al **cambio climático**.

Figura 1 Maqueta sistemas de captación de aguas lluvias para cubiertas verdes



*Fuente: Ávila, Blanco, Montilla, Ortiz, 2024.*

La siguiente imagen presenta un armazón de aluminio agujereado, donde se aprecian diversos conductos metidos dentro; se concibió como un modelo primario. Esta es la versión embrionaria del módulo de 50 x 50 x 12 mm, elaborado con filamento PLA a través de la técnica de impresión tridimensional.

Figura 2 Modelado módulo vista superior



*Fuente: Ávila, Blanco, Montilla, Ortiz, 2025*

Los dos componentes principales del sistema modular presentado son el módulo base y la rejilla. El módulo mide 50 cm de largo y ancho , y 12 cm de alto. Pesa aproximadamente 539 gramos en vacío . Su fabricación requiere 181,04 metros de filamento PLA y un tiempo estimado de impresión de 100 horas . La rejilla, por otro lado , mide 40,7 cm de largo y ancho, solo 0,5 cm de alto y pesa 107,5 gramos. Para su impresión se utilizan 36,32 metros de filamento PLA , lo que requiere 12 horas . Estas características convierten al sistema en una solución práctica y eficaz para proyectos modulares impresos en 3D .

Figura 3 Modelado módulo Vista superior con rejilla



*Fuente: Ávila, Blanco, Montilla, Ortiz, 2025*

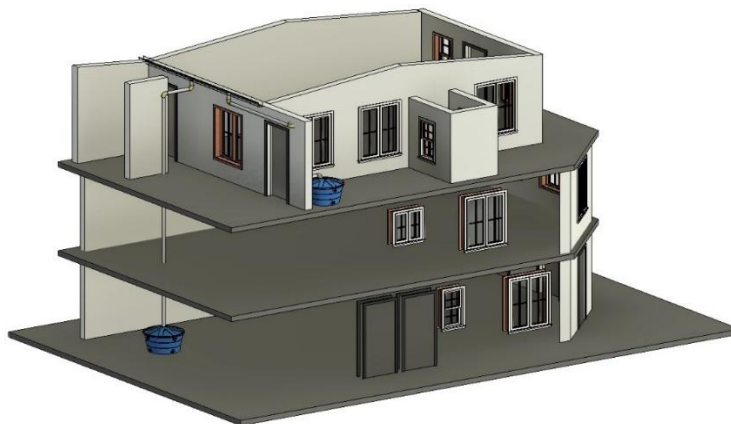
En las siguientes imágenes se aprecia la distribución vertical de los espacios, que abarca al menos tres niveles con elementos como balcones, ventanas y accesos claramente definidos. Este tipo de ilustración es fundamental para el análisis formal de la fachada, la proporción de los elementos y la composición volumétrica del edificio.

Figura 4 Boceto casa – investigación de caso



*Fuente: Avila, Blanco, Montilla, Ortiz, 2025*

Figura 5 Vista en alzado



*Fuente: Avila, Blanco, Montilla, Ortiz, 2025*

## 1.2. Ficha Técnica

PRODUCTO - GREEN SPACE

# VerdeH2O

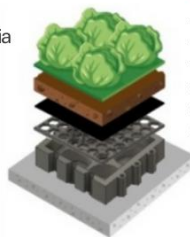
MODULO DE CAPTACIÓN DE AGUA LLUVIA PARA CUBIERTAS

- El módulo VerdeH2O es un sistema compacto para la captación, almacenamiento y distribución de agua lluvia, diseñado para cubiertas verdes. Fabricado en filamento PLA biodegradable mediante impresión 3D, promueve la sostenibilidad, el cultivo urbano y la gestión eficiente del agua.



### APLICA

- Captación y distribución de agua lluvia en cubiertas verdes.
- Sistema de riego eficiente para cultivos urbanos de pancoger.
- Reducción de la demanda de agua potable en edificaciones.
- Contribución al manejo sostenible de aguas pluviales y agricultura urbana.

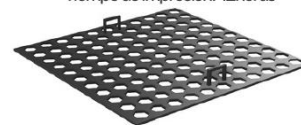


### DIMENSIONES DEL MODULO

- Longitud: 50 cm
- Ancho: 50 cm
- Altura: 12 cm
- Peso Aprox. (Vacio): 539gr
- Filamento PLA: 181.04m
- Tiempo de impresión: 100 horas

### DIMENSIONES REJILLA

- Longitud: 40.7 cm
- Ancho: 40.7 cm
- Altura: 0.5cm
- Peso Aprox. (Vacio): 107.5gr
- Filamento PLA: 36.32m
- Tiempo de impresión: 12 horas



Propiedades Físicas	Descripción / Valores
Densidad	1.24 g/cm <sup>3</sup>
Transparencia	Alta, pero menos que el PETG
Temperatura de transición vítrea	55-65°C
Temperatura de fusión	150-160°C
Temperatura de impresión 3D	190-220°C
Hidrofobicidad	Hidrófobo moderado, absorbe humedad
Resistencia a rayos UV	Baja, se degrada al sol sin aditivos
Inflamabilidad	Inflamable, quema con llama amarilla

Propiedades Mecánicas	Descripción / Valores
Resistencia al impacto	Baja (más frágil que PETG o ABS)
Resistencia a la compresión	60-70 MPa aprox.
Resistencia a la tracción	50-70 MPa
Módulo de elasticidad	27-35 GPa
Alargamiento antes de fractura	4-6%
Dureza	Buena, rígido pero frágil ante golpes
Resistencia a la flexión	80-110 MPa
Adherencia entre capas (Impresión 3D)	Muy buena cuando se imprime correctamente.

Propiedades Químicas / Ambientales	Descripción / Valores
Resistencia química	Limitada, soluble en solventes fuertes como acetona
Solubilidad	No soluble en agua, biodegradable en compost industrial
Resistencia a aceites y grasas	Moderada a baja
Reciclabilidad	Compostable en plantas industriales, 100% biodegradable
Origen	Derivado de recursos renovables (maíz, caña de azúcar)

### VENTAJAS

- ✓ Modularidad fácil instalación y expansión.
- ✓ Sostenibilidad: PLA biodegradable y sustratos reciclables.
- ✓ Autosuficiencia hídrica: reduce consumo de agua potable.
- ✓ Adaptabilidad: se ajusta a cualquier cubierta verde urbana.
- ✓ Contribuye a la reducción de escorrentías e inundaciones.
- ✓ Permite el cultivo de alimentos a escala doméstica.

### DESVENTAJAS

- Sensible a deformaciones térmicas superiores a 60°C.
- Menor resistencia mecánica comparado con PETG.
- PLA requiere cuidado en ambientes extremadamente húmedos o expuestos al sol sin cubierta vegetal.

### CONSIDERACIONES DE INSTALACIÓN

- Se recomienda instalación bajo sombra parcial de plantas.
- Requiere mantenimiento estacional de limpieza de filtros y verificación de conexiones de tuberías.
- Protección contra exposición directa a altas temperaturas prolongadas.

### MATERIAL PRINCIPAL

Filamento PLA (Polylactic Acid) — Termoplástico biodegradable derivado de recursos renovables.

### VIDA UTIL

- Estructura PLA: 3-5 años en uso exterior bajo cubierta vegetal.
- Componentes de PVC y HDPE: 10-15 años.

### COMPONENTES TÉCNICOS — MÓDULO VerdeH2O

Elemento	Propiedad / Descripción	Aplicación
Tubería PVC 1/2" Triuper FOSET	PVC Cédula 40, resistente a la corrosión e incrustaciones. Autoextinguible.	PVC Cédula 40, resistente a la corrosión e incrustaciones. Autoextinguible.
Canales Lluvia AMANCO WAVIN	Alta resistencia, superficie interna lisa, adaptable a techos y pendientes.	Captación eficiente de agua lluvia y canalización a tanques
Tanque 250 Litros (Plástico PEAD)	Polietileno alta densidad (PEAD), resistente a rayos UV y cambios climáticos.	Almacenamiento de aguas lluvias en sistemas ecológicos.
Sustrato (Mezcla de Tierra Negra, Compost y Fibra de Coco)	Alto contenido orgánico, buena retención de agua, aireación y drenaje balanceados. pH neutro a ligeramente ácido (6-6.5).	Medio de cultivo para plantas comestibles y ornamentales en huertas urbanas y cubiertas verdes.

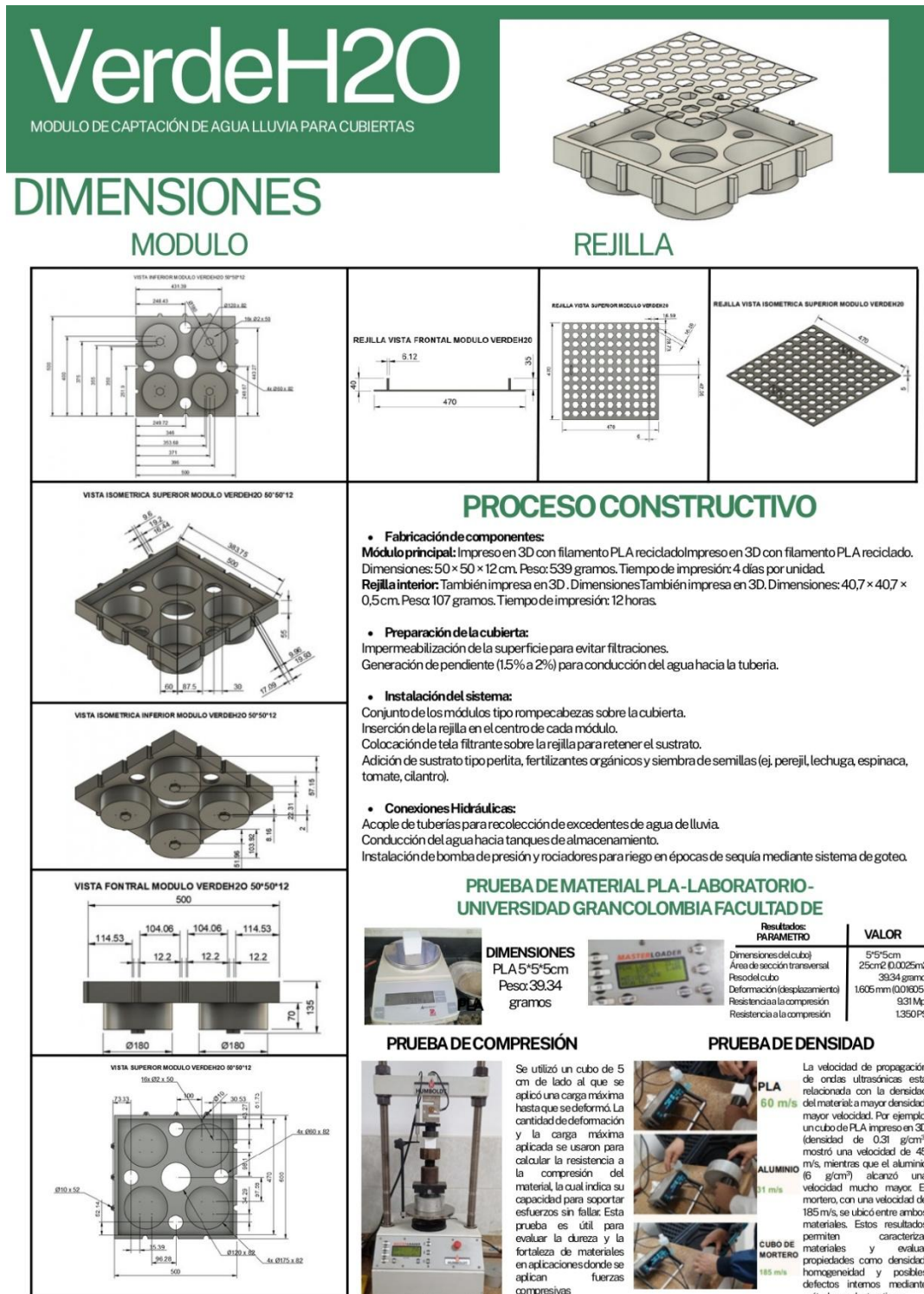
### SEMILLAS — Cultivo en Módulo VerdeH2O

Cultivo	Distancia / Profundidad	Germinación	Periodo vegetativo
Perejil	10cm entre plantas / 0.5 cm de profundidad	15-20 días	80-90 días
Lechuga	30cm entre plantas / 0.5 cm de profundidad	4-8 días	60-90 días
Espinaca	20cm entre plantas / 2cm profundidad	6-8 días	60-90 días
Torrete	40cm entre plantas / 1 cm de profundidad	6-10 días	120-130 días
Cilantro	10 cm entre plantas / 1 cm de profundidad	7-15 días	60-90 días

### NORMAS Y ENSAYOS

Ensayo	Norma	Descripción
Flexión	ISO 178 / ASTM D790	Método para medir módulo de elasticidad y esfuerzo de ruptura en plásticos rígidos.
Compresión	ASTM D695	Defina parámetros para medir resistencia a la compresión en plásticos.
Dureza	ASTM D2240	Método para medir la dureza con escalas Shore A y D.
Impacto	ASTM D256 / ISO 179	Evalúa resistencia al impacto mediante péndulo.
Inflamabilidad	UL 94	Clasifica plásticos según su capacidad de autoextinguibilidad frente al fuego.

Figura 6 Ficha técnica sistema de captación



### 1.3. Área de investigación

El sistema de captación de aguas para cubiertas verdes se integra dentro del ámbito de la Ingeniería y Arquitectura Sustentable, centrado en el uso eficiente y sostenible de recursos naturales, en este caso, el agua de lluvia. Su implementación no solo mejora la gestión del agua, sino que también fomenta el desarrollo de edificaciones verdes mediante la incorporación de materiales innovadores y ecológicos en la construcción.

Este campo de estudio se dedica a examinar las propiedades físicas, mecánicas y biológicas de los materiales, con el fin de seleccionar aquellos que puedan ser integrados de manera sostenible en la infraestructura urbana, como el plástico reciclado. En este contexto, la presente investigación tiene como objetivo ofrecer una visión clara sobre la innovación y aplicación de tecnologías emergentes, orientadas a la creación de edificaciones resilientes y respetuosas con el medio ambiente.

El sistema propuesto se enfoca principalmente en la captación, retención y reutilización del agua de lluvia, promoviendo así soluciones que contribuyen a la sostenibilidad de las ciudades y a una gestión más eficiente de los recursos hídricos en los entornos urbanos.

### 1.4. Tema de investigación

Diseño e implementación de un sistema de recolección de aguas lluvias a través de cubiertas verdes, utilizando **materiales reciclados** e impresión 3D, con el objetivo de promover la **sostenibilidad** urbana en Engativá, en el barrio Bosque Popular.

### 1.5. Título de la investigación

Diseño e Implementación del Módulo Verde H2O: Recolección de Aguas Lluvias con Cubiertas Verdes y Sustrato Perlita en Cultivos Urbanos.

Investigación de caso: Vivienda unifamiliar en el barrio Bosque Popular localidad de Engativá.

### 1.6. Línea de investigación

Para los propósitos del proyecto “Diseño e Implementación del Módulo VerdeH2O: Recolección de Aguas Lluvias con Cubiertas Verdes y Sustrato Perlita en Cultivos Urbanos”, se toma como base la línea de investigación N° 04 “Ecología, biotecnología y ambiente”, de acuerdo con la información que se presenta a continuación:

*Según el Acuerdo 069 del 10 de octubre de 2022 de la Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca, se establece la línea de investigación **N°04: 'Ecología, biotecnología y ambiente.** Propende por la generación de conocimiento sobre los diferentes ecosistemas que incluye biodiversidad, conservación, bioprospección, biotransformación, biotecnología, bioética y ecología de microorganismos, energía sostenible, sustentabilidad, sostenibilidad y rentabilidad, derecho ambiental, contribuyendo al desarrollo de tecnologías y técnicas, marcas y patentes para mejorar el medio ambiente, la protección del medioambiente, la producción de energía limpia, de bioinsumos para la producción agrícola, ambiental, y animal sostenible, y la calidad de*

aguas. (*Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca, 2022, art 02 - párr. 6*)

### **1.7. Tipo de investigación**

El presente estudio se inserta en una investigación aplicada que adopta un enfoque experimental y descriptivo. Su objetivo es desarrollar e implementar un sistema innovador para la recolección de aguas lluvias a través de cubiertas verdes, integrando el uso del módulo **VERDEH20**, fabricado con material **PLA**. Esta iniciativa busca optimizar la gestión del **agua** en entornos urbanos, centrándose especialmente en la ciudad de Bogotá, y más concretamente en la localidad de Engativá, en el barrio Bosque Popular. (*Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca, 2022*)

#### **1.7.1. Investigación Aplicada**

Este proyecto se enmarca dentro de una investigación aplicada, cuyo objetivo es aportar una solución práctica y efectiva a un problema ambiental específico: la ineficiente gestión del agua de lluvia en entornos urbanos. A diferencia de la investigación teórica, que se centra en la generación de conocimiento sin una aplicación inmediata, la investigación aplicada se orienta hacia el desarrollo y la evaluación de tecnologías que puedan implementarse en el ámbito de la construcción sostenible.

De este modo, el estudio tiene un impacto directo en la mejora de las infraestructuras urbanas, fomentando un uso más eficiente del agua, la reducción

de residuos y la incorporación de prácticas sostenibles en la arquitectura contemporánea.

### 1.7.2. Enfoque experimental

El estudio presenta un enfoque experimental que se centra en la construcción, prueba y validación de un módulo piloto denominado **VERDEH2O**, diseñado para la captación de aguas lluvias mediante cubiertas verdes elaboradas con **PLA**. A través de este método, se llevan a cabo pruebas controladas para evaluar la eficiencia del sistema en cuanto a la captación, almacenamiento y reutilización del **agua**, así como su integración con **especies vegetales** específicas. Esta estrategia no solo permite verificar la viabilidad técnica del sistema, sino que también facilita la identificación de posibles mejoras en su diseño y funcionamiento, asegurando así su aplicabilidad en contextos reales.

Tabla 2 Universidad - Pruebas

Universidad	Tipo de Prueba
Universidad la Gran Colombia	Prueba de dureza

*Fuente: Avila, Blanco, Montilla, Ortiz, 2025*

### 1.7.3. Investigación descriptiva

El estudio posee un enfoque descriptivo, ya que se dedica a analizar y documentar las propiedades de los materiales empleados, la efectividad de los métodos de impresión 3D en la fabricación de componentes, así como la influencia de las cubiertas verdes en la gestión del agua y el entorno urbano. También se llevará a cabo un análisis detallado sobre las plantas más adecuadas para cultivos **pancoger**

dentro del sistema, teniendo en cuenta aspectos como la adaptabilidad climática, la capacidad de filtración del agua y los beneficios ecológicos que aportan.

La integración de estos enfoques no solo facilitará el diseño e implementación de un sistema **sostenible** para la recolección de aguas pluviales, sino que también contribuirá a generar conocimiento valioso para futuras investigaciones en el campo de la **arquitectura ecológica** y la gestión eficiente de los **recursos naturales**.

### **1.8. Clase de investigación**

La siguiente tabla ofrece un panorama detallado de los distintos tipos de investigaciones, cada una con un enfoque específico que satisface diversas necesidades y objetivos. Desde estudios exploratorios hasta metodologías más analíticas y explicativas, cada modalidad proporciona herramientas y métodos que facilitan la recolección y el análisis de datos. Esta clasificación tiene como propósito ofrecer una visión clara de las metodologías utilizadas en nuestra tesis, destacando la importancia de cada tipo de investigación en la generación de conocimientos valiosos y aplicables en nuestro campo de estudio.

En el marco de nuestra investigación descriptiva sobre la vivienda unifamiliar en el barrio Bosque Popular, se implementará un enfoque integrado que abarca tres fases: exploratoria, evaluativa y holística.

Tabla 3 Tipos de investigación Jacqueline Hurtado

No	TIPO DE INVESTIGACIÓN	¿CÓMO SE VA A HACER?
1	Exploratoria	Tomando la base de datos de la Biblioteca de la Universidad, se toman referencias de Oxford, Proquest, Repositorio institucional y Unicolmayor Ambientalex, en las cuales recopilamos información. Este tipo de investigación no busca probar hipótesis, sino más bien generar ideas y conocimientos preliminares, incluyendo las normativas ambientales que respaldan nuestro proyecto.
2	Descriptiva	Los módulos se elaborarán utilizando PLA, un material reconocido por su resistencia y transparencia. Este tipo de plástico no solo ofrece durabilidad, sino que también permite un excelente moldeo, lo que lo convierte en una opción perfecta para aplicaciones que demandan tanto solidez como atractivo visual. Además, el PLA es resistente a impactos y tiene propiedades que favorecen su desempeño en diversas condiciones ambientales, optimizando la eficiencia de los sistemas en los que se incorpore.
3	Analítica	Examinar detalladamente su impacto en el aprovechamiento del agua, mediante la recopilación y análisis de datos cuantitativos y cualitativos. 100% PLA (ácido poliláctico), 85-90% PET (Polietileno) + 10-15% Glicol, 100% ABS (Acrilonitrilo Butadieno Estireno)
4	Evaluativa	Mediante los materiales utilizados para la elaboración del módulo se pudo verificar los diferentes atributos en cuanto a resistencia, durabilidad y permeabilidad para determinar el prototipo final.
5	Proyectiva	Se realizaron los módulos mediante una impresora 3D con los filamentos de material reciclado, el cual tuvo una duración de 36 horas con las medidas de 20 x 20.
6	Explicativa	Los módulos reciclados en cubiertas verdes optimizan el agua y previenen inundaciones, promoviendo sostenibilidad con el bajo consumo de agua potable ya que absorben entre 50% y 80% de agua lluvia.

Fuente: Avila, Blanco, Montilla, Ortiz, 2025 – Tomado del documento de Jacqueline Hurtado "Metodología de la Investigación"

**I. Fase Exploratoria:** Esta fase se centrará en la recopilación de información cualitativa a través de entrevistas y encuestas dirigidas a profesionales y personas con una sólida experiencia en el tema. El propósito de esta investigación es lograr una comprensión profunda del contexto social, económico y ambiental que envuelve a las viviendas unifamiliares. A través

de nuestras interacciones, nos proponemos abordar preguntas técnicas vinculadas al caso de estudio, identificando tanto las necesidades como las percepciones de los participantes. En particular, se analizarán las oportunidades para incorporar cubiertas verdes y cultivos de pancoger en el diseño habitacional. Esta fase resulta fundamental para recoger diferentes perspectivas y establecer una base sólida para el análisis posterior.

#### **A. PREGUNTAS ENTREVISTA ING AMBIENTAL:**

##### **Sobre sostenibilidad y medio ambiente urbano:**

1. ¿Qué beneficios ambientales podría aportar la instalación de huertas en cubiertas en barrios populares como los de Engativá?
2. ¿Qué impacto tiene este tipo de intervención en la temperatura interna de las viviendas o en la calidad del aire local?
3. ¿Cómo puede contribuir esta propuesta a mitigar el efecto de isla de calor en zonas densamente urbanizadas?

##### **Sobre la viabilidad estructural y técnica:**

4. ¿Existen recomendaciones sobre el peso máximo que se puede instalar en una cubierta sin poner en riesgo la estructura?

##### **Sobre el manejo del agua:**

5. ¿Qué estrategias de manejo eficiente del agua son apropiadas para evitar desperdicios en zonas de bajos recursos?
6. ¿Cuáles son los riesgos ambientales o sanitarios de un mal manejo del agua en techos?

##### **Sobre residuos y compostaje:**

7. ¿Es viable implementar un sistema de compostaje en los módulos para aprovechar los residuos orgánicos del hogar?

**Sobre normativas y políticas:**

8. ¿Existen restricciones ambientales o normativas distritales que deban tenerse en cuenta para instalar huertas en cubiertas en Engativá?

9. ¿Hay incentivos o programas ambientales del distrito que puedan apoyar este tipo de iniciativas comunitarias?

**B. PREGUNTAS ENTREVISTA HORTICULTOR O JARDINERO:**

1. ¿Qué tipo de especies vegetales recomiendas para una huerta en módulos de pancoger en Bogotá?

2. ¿Cómo influye la biodiversidad en la productividad y salud de una huerta?

**Sobre el control de plagas y enfermedades:**

3. ¿Qué métodos biológicos recomiendas para el control de plagas en mi huerta?

4. ¿Hay plantas repelentes naturales que pueda sembrar alrededor de mi huerta?

5. ¿Cómo puedo identificar si una planta está enferma y qué debo hacer en ese caso?

**Suelo, abonos y compost:**

6. ¿Qué tipo de sustrato es el más adecuado para cultivos en módulos?

**Agua y riego:**

7. ¿Cómo puedo reutilizar aguas lluvias sin afectar la salud de las plantas?
8. ¿Qué señales me indican que una planta está recibiendo demasiada o poca agua?

**Clima y adaptación:**

9. ¿Cómo afectan las estaciones a los ciclos de cultivo en este tipo de módulos?

**Impacto ambiental y sostenibilidad:**

10. ¿Cómo puede una huerta urbana modular contribuir a la conservación de la biodiversidad?

**II. Fase Evaluativa:** En esta fase, se realizará un análisis detallado de los datos recolectados. Se examinarán las opiniones de los residentes de la vivienda objeto de estudio, así como los recursos disponibles y las prácticas actuales de irrigación mediante gravedad y presión. Este análisis servirá para identificar los desafíos y las oportunidades concretas que pueden afectar el diseño sostenible de las viviendas. A través de este proceso, se busca establecer un marco claro que oriente el desarrollo de soluciones habitacionales que se ajusten de manera efectiva a las realidades del contexto local.

**III. Fase Holística:** Finalmente, en la fase holística, se reunirán los hallazgos de las etapas anteriores para presentar una visión integral del impacto

potencial de las soluciones sostenibles propuestas. En esta etapa, se prestará especial atención a cómo la implementación de cubiertas verdes y cultivos de pancoger puede no solo mejorar la calidad de vida de los habitantes, sino también contribuir a la **sostenibilidad** del entorno urbano. El objetivo es promover un desarrollo equilibrado y resiliente que refuerce la conexión entre los habitantes y su entorno.

Mediante este enfoque de investigación, se aspira a contribuir a la creación de viviendas más sostenibles, que maximicen el uso de los recursos y potencien el bienestar de la comunidad en el barrio Bosque Popular.

## 1.9. Cuadro de variables, valores e indicadores

### 1.9.1. Cuadro de variables cubiertas

En el siguiente apartado se presenta un cuadro que resume las variables asociadas a las cubiertas empleadas en la captación de aguas lluvias. Estas variables son cruciales para entender las características particulares de cada tipo de cubierta y su influencia en la cantidad y calidad del agua recolectada. Conocer estas variables resulta esencial para optimizar el diseño de los sistemas de captación y maximizar su eficacia.

*LINK:* <https://docs.google.com/spreadsheets/d/1c0xLUUjs1bV0JrYLze - RVr15O7EA0wP/edit?gid=1198629244#gid=1198629244>

*Tabla 4 Resumen Variables*

Variable	Descripción
----------	-------------

<b>Tipos de Cubiertas</b>	Inclinadas, planas, curvas, en mansarda, metálicas, de teja, de pizarra, de fibrocemento, verdes.
<b>Materiales</b>	Barro, cemento, acero, aluminio, plástico, madera, pizarra, bambú, policarbonato.
<b>Propiedades Físico-Mecánicas</b>	Resistencia a la compresión, alta durabilidad, resistencia a la tracción, impermeabilidad.
<b>Funciones</b>	Protección estructural, aislamiento térmico y acústico, recolección de agua, ahorro energético.
<b>Uso</b>	Residenciales, comerciales, industriales, deportivos, culturales, institucionales.
<b>Ciclo de Vida</b>	Cubiertas de teja (50-100 años), metálicas (30-50 años), fibrocemento (25-50 años), pizarra (75-150 años), policarbonato (10-30 años).
<b>Ventajas</b>	Durabilidad, bajo mantenimiento, sostenibilidad, versatilidad en diseño.
<b>Elementos de Drenaje</b>	Canalones, bajantes, sumideros para gestión del agua.
<b>Importancia</b>	Mejoran la eficiencia energética, contribuyen a un microclima, afectan la estética y funcionalidad del edificio.

*Fuente: Avila, Blanco, Montilla, Ortiz, 2025*

## 1.10. Herramientas de investigación utilizadas

### I. Ensayos:

Los análisis de laboratorio que se efectúan constituyen un elemento esencial para verificar y describir los materiales que se emplean en los procedimientos de

fabricación, sobre todo en la impresión tridimensional. Dentro de este marco, se hizo un estudio práctico en la Universidad Gran Colombia, gracias a la asistencia del técnico José Luis Rozo, quien proporcionó los espacios requeridos para llevar a cabo los ensayos. La investigación se enfocó en el análisis del desempeño del material PLA (Ácido Poliláctico), usando un cubo de medidas de 5 x 5 x 5 cm. Dicho estudio hace posible establecer varias características físicas y mecánicas del material, lo cual ayuda a comprender si es adecuado para usos concretos y ofreciendo información práctica que sustenta la investigación.

## **II. Entrevistas.**

### **a) Tipos de preguntas:**

- 1. Indagaciones de índole científico y técnico:** Profundizan en las ventajas para el medio ambiente, las repercusiones en la temperatura, la salubridad del aire, la sustentabilidad, las leyes y la factibilidad tanto estructural como técnica. Guardan relación con la ciencia, la ingeniería medioambiental y las directrices gubernamentales.
- 2. Cuestionamientos sobre el manejo y la atención de plantas y sembradíos:** Abarcan sugerencias acerca de clases de plantas, el control de plagas, la fertilización y la adaptación al clima. Se vinculan con la horticultura y el arte de la jardinería.
- 3. La administración del agua y los desechos:** Hacen alusión a métodos de reutilización y compostaje, peligros para la salud y el manejo eficaz del agua. Son de interés para versados en la gestión de recursos y la sostenibilidad.

**b) ¿A quiénes están dirigidas?**

**1. Ingeniero o experto en temas medioambientales o de sustentabilidad:**

Para comprender aspectos científicos, técnicos, normativos y de impacto medioambiental del proyecto de huertos en techos urbanos.

**2. Horticultor o jardinero capacitado:** Para conseguir sugerencias

funcionales sobre cultivos, el cuidado de las plantas, el control de plagas, el suelo, el agua y la adaptación climática en huertos urbanos en módulos.

**1.11. Evidencia de diligenciamiento del CvLac - Orcid**

Tabla 5 Evidencia del CvLac & Orcid

<b>Nombres</b>	<b>Orcid</b>	<b>CvLac</b>
Ávila Jaimes Mauricio Hernando	<a href="https://orcid.org/orcid-search/search?searchQuery=0009-0004-7942-0960">https://orcid.org/orcid-search/search?searchQuery=0009-0004-7942-0960</a>	<a href="https://scienti.minciencias.gov.co/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=0002366519">https://scienti.minciencias.gov.co/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=0002366519</a>
Blanco Sandoval Juliana	<a href="https://orcid.org/0009-0004-4459-8291">https://orcid.org/0009-0004-4459-8291</a>	<a href="https://scienti.minciencias.gov.co/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=0002366518">https://scienti.minciencias.gov.co/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=0002366518</a>
Montilla Valencia Juan David	<a href="https://orcid.org/my-orcid?orcid=0009-0009-9092-6440">https://orcid.org/my-orcid?orcid=0009-0009-9092-6440</a>	<a href="https://scienti.minciencias.gov.co/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=0002366526">https://scienti.minciencias.gov.co/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=0002366526</a>
Ortiz Vega María Cristina	<a href="https://orcid.org/my-orcid?orcid=0009-0004-3511-6107">https://orcid.org/my-orcid?orcid=0009-0004-3511-6107</a>	<a href="https://scienti.minciencias.gov.co/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=0002366516">https://scienti.minciencias.gov.co/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=0002366516</a>

*Fuente: Avila, Blanco, Montilla, Ortiz, 2025*

## 2. DESCRIPCIÓN DEL MODULO VERDEH2O

Este sistema innovador se fundamenta en la implementación de cubiertas verdes, que no solo optimizan la captación del **agua** de lluvia, sino que también permiten la integración de **cultivos urbanos**, promoviendo así la seguridad alimentaria y el uso sostenible de los recursos.

El módulo **VerdeH2O** se elabora a partir de materiales reciclados de **PLA**, garantizando un enfoque ambientalmente responsable y sostenible en su desarrollo. La optimización del uso del agua es uno de los principales objetivos de este sistema, que contribuye al desarrollo de infraestructuras urbanas sostenibles y fomenta la resiliencia ambiental en los entornos urbanos. Este proyecto, concebido como un modelo piloto, tiene como meta establecer un referente que inspire la adopción de prácticas similares en otras localidades, mejorando la gestión del agua y promoviendo la **sostenibilidad** en el ámbito urbano.

Figura 7 Modulo vista frontal



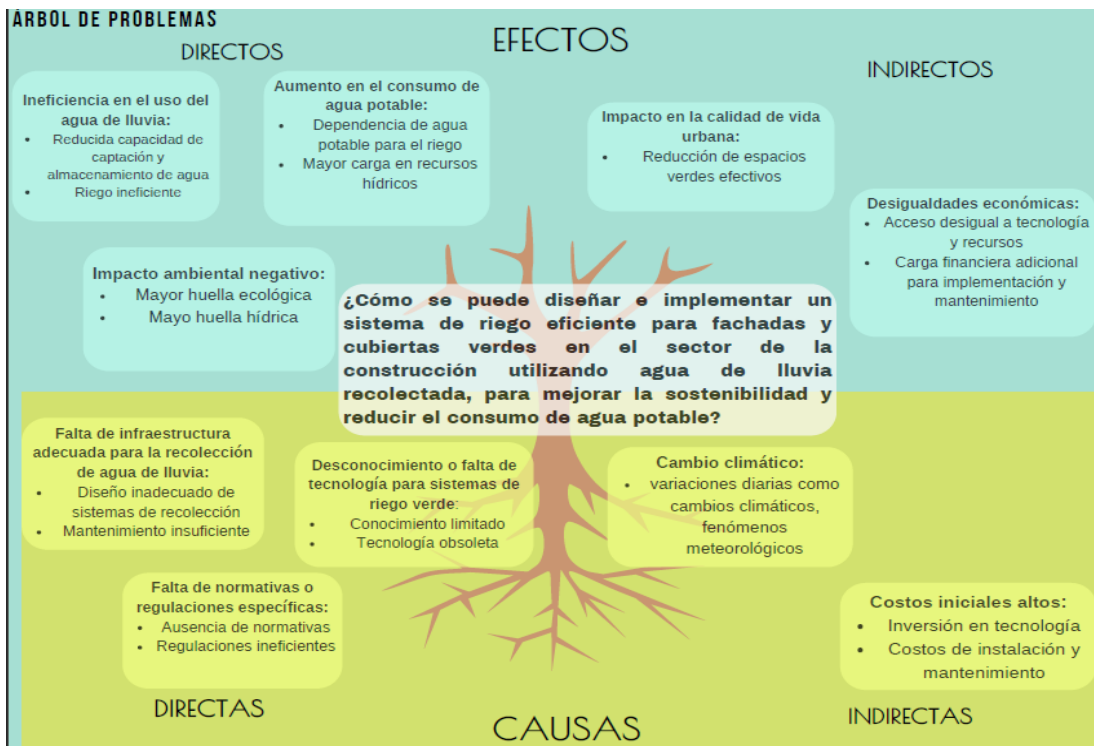
*Fuente: Avila, Blanco, Montilla, Ortiz, 2025*

### **2.1.1. Árbol del problema, causas y consecuencias, descripción.**

En la actualidad, la gestión del agua se ha convertido en un desafío esencial, particularmente en las áreas urbanas donde la demanda por este recurso continúa creciendo. El enfoque que deseamos abordar es el siguiente: ¿Cómo podemos diseñar e implementar un sistema de riego eficaz para cubiertas verdes y sistemas de pancoger en edificaciones, utilizando agua de lluvia recolectada, con el propósito de mejorar la sostenibilidad y reducir el consumo de agua potable? Este árbol de problemas nos permite visualizar las relaciones entre diversas causas y sus efectos, que surgen de la ineficiencia en el uso del agua. Entre las causas más destacadas se encuentran la falta de infraestructura adecuada y la carencia de normativas específicas, las cuales limitan la recolección eficaz del agua de lluvia. Como consecuencia, observamos un aumento en el consumo de agua potable y un impacto negativo en la calidad de vida urbana, lo que subraya la necesidad urgente de revisar y optimizar los métodos de riego actuales. Ante esta situación intrincada, es crucial impulsar respuestas completas y que involucren a diversos sectores. Estas deben enfocarse en la carencia de agua y promover un esquema de desarrollo urbano que valore lo ambiental y lo social. Usar sistemas para juntar y usar el agua pluvial, junto con métodos de riego eficaces, puede cambiar cómo manejamos el agua en las ciudades. También, es vital fomentar normas estatales que aumenten la inversión en espacios verdes, la creatividad en métodos de captación y la conciencia ciudadana sobre cómo usar el agua de forma responsable. Entender estos procesos y vínculos será esencial para avanzar hacia una gestión del agua más útil y resistente, que reduzca el derroche y fomente una costumbre de cuidado y uso lógico del agua a largo plazo. Además, la incorporación de

tecnologías innovadoras y sistemas inteligentes de monitoreo puede optimizar aún más la distribución y el uso del agua de lluvia, favoreciendo prácticas sostenibles y adaptadas a las particularidades de cada entorno urbano.

Figura 8 Árbol de problemas



Fuente: Avila, Blanco, Montilla, Ortiz, 2024.

## Causas Directas

### I. Falta de infraestructura adecuada para la recolección de agua de lluvia:

La falta de sistemas de recolección eficientes limita la posibilidad de aprovechar al máximo el agua de lluvia, un recurso que es abundante en muchas áreas urbanas. Además, la infraestructura inadecuada reduce la capacidad para captar y almacenar agua durante las temporadas de lluvia, lo que provoca un desperdicio de este valioso recurso.

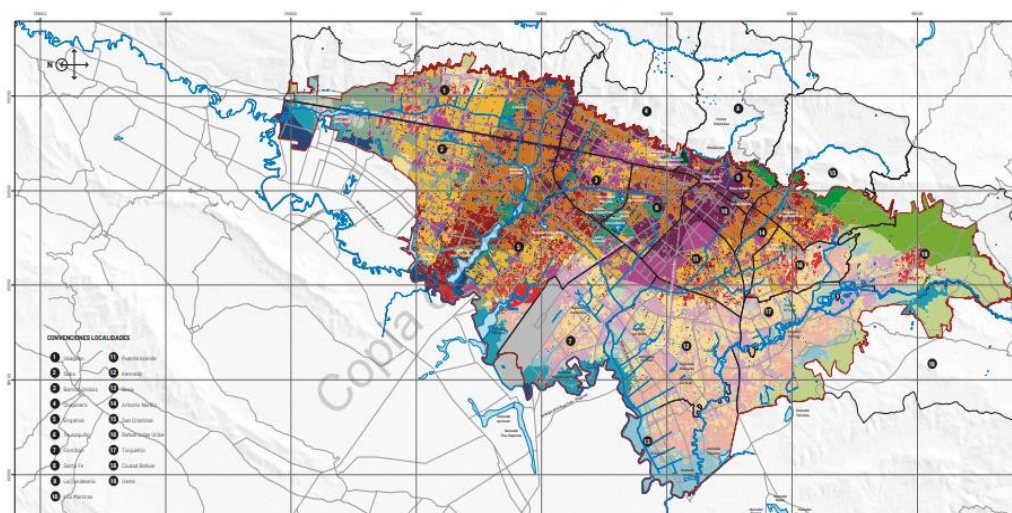
- II. **Falta de educación sobre el uso eficiente del agua:** La escasez de educación en torno al uso eficiente del agua resulta en una falta de comprensión y conocimiento sobre las buenas prácticas para su manejo, lo que conlleva a un uso ineficiente del recurso. Sin educación adecuada, los usuarios no están al tanto de métodos tales como la recolección de agua de lluvia, tecnologías de riego eficientes, o el mantenimiento adecuado de sistemas, lo que resulta en un consumo excesivo y un impacto ambiental negativo.
- III. **Falta de normativas y regulaciones específicas:** La ausencia de marcos regulatorios claros que fomenten la recolección y uso de agua de lluvia, así como el diseño de espacios verdes, impide a las ciudades adoptar prácticas sostenibles. Las normativas ineficientes pueden limitar o complicar la implementación de tecnologías que optimizan el uso del agua, afectando la capacidad de adaptación de las infraestructuras urbanas.

### **Causas Indirectas**

- I. **Desconocimiento de la tecnología para sistemas de riego verde:** La falta de información sobre las tecnologías disponibles para la implementación de sistemas de riego eficientes o sostenibles puede resultar en el uso de métodos obsoletos. Esto aumenta la dependencia del agua potable cuando deberían utilizarse recursos alternativos, como el agua de lluvia.
- II. **Cambio climático:** Las variaciones climáticas han llevado a cambios en los patrones de precipitación y a fenómenos meteorológicos extremos. Esto afecta la disponibilidad de agua y complica la planificación de sistemas de

riego efectivos. Las ciudades deben adaptarse a estos cambios para poder gestionar eficientemente sus recursos hídricos, pero muchas veces carecen de la infraestructura y conocimiento adecuados. **(ANEXO N°1)**

Figura 9 Subzonas climáticas urbanas



Fuente: Jardín Botánico Bogotá, 2025

Tabla 6 Convenciones

ZCU	Descripción	Porcentaje del Área Urbana (%)
<b>ZONA 1</b>	Zonas residenciales de alta densidad urbana y densidad arbórea muy baja.	13,76
<b>ZONA 2</b>	Zonas principalmente residenciales con densidades urbanas medias y bajas. Cercanas a vías y estaciones. Densidad arbórea muy baja.	26,35
<b>ZONA 3</b>	Zonas asociadas a uso comercial, institucional	26,46

	y vías, con densidad urbana muy baja. Densidad arbórea muy baja.	
<b>ZONA 4</b>	Zonas asociadas a coberturas vegetadas con niveles muy bajos de urbanización. Primeros sectores con densidad arbórea muy alta.	12,23
<b>ZONA 5</b>	Zonas perimetrales principalmente residenciales, con una densidad urbana y arbórea muy bajas.	9,00
<b>ZONA 6</b>	Zonas perimetrales urbanizadas con mayor elevación en la ciudad. No presentan disponibilidad de estaciones de transporte público.	9,54

*Fuente: Jardín Botánico Bogotá, 2025*

- I. **Costos iniciales altos:** La inversión inicial necesaria para la implementación de tecnologías de captación y sistemas de riego sostenibles puede ser un obstáculo significativo para muchas comunidades. Aunque estos sistemas pueden resultar económicos a largo plazo, la falta de financiamiento accesible impide que muchas ciudades y desarrolladores implementen soluciones sostenibles.
- II. **Desigualdades económicas:** Las diferencias en acceso a la tecnología y financiamiento pueden generar disparidades en la capacidad de las comunidades para implementar mejoras en la infraestructura del agua. Esto

resultará en un uso desigual de recursos hídricos y limitará las oportunidades para abordar el problema de manera efectiva.

### **2.1.2. Árbol del objetivo medios y fines, definición.**

Fines: Se definen como los resultados deseados o los impactos positivos que se esperan alcanzar a través de la implementación de un proyecto.

#### **A. Fines**

- I. Reducción de costos asociados al uso de agua potable: Esta meta se orienta a disminuir el gasto en el suministro de agua mediante un uso más eficiente de los recursos disponibles.
- II. Conservación de la biodiversidad en áreas urbanas: Promover la integridad ecológica mediante el desarrollo de espacios verdes que contribuyan al equilibrio ambiental.
- III. Incremento de áreas verdes que favorezcan el bienestar de los habitantes: Generar un entorno urbano más saludable, que potencie la calidad de vida de la población.

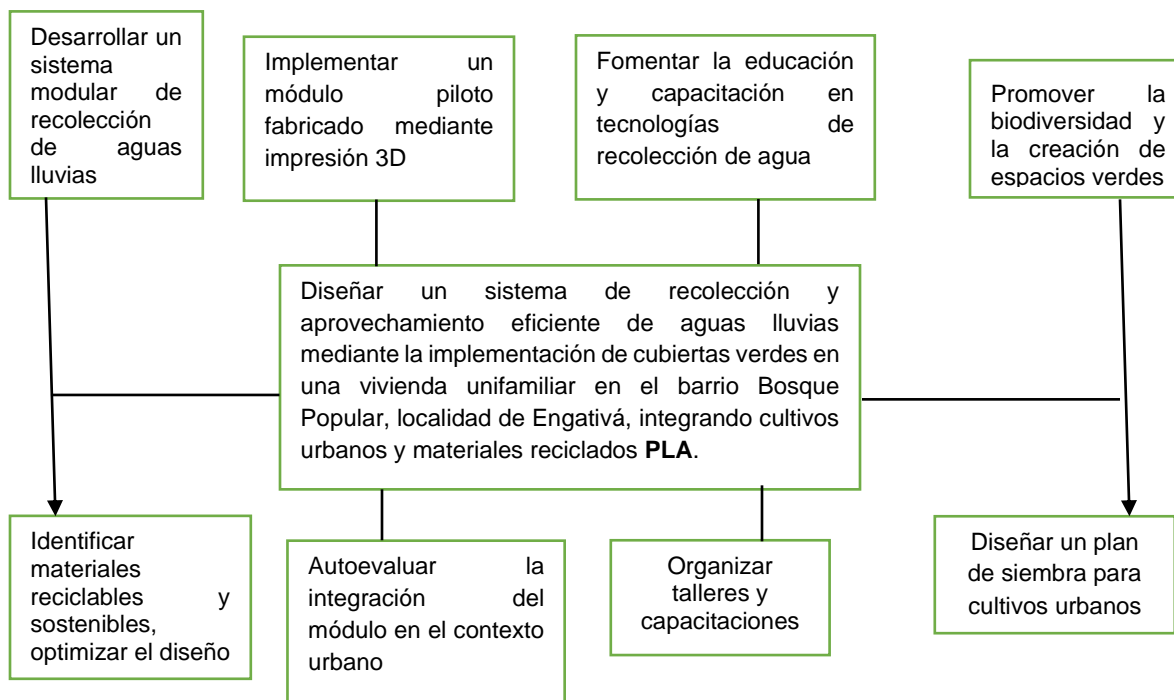
#### **Medios.**

- I. Implementar un sistema de riego eficiente para cubiertas verdes: Esta acción es el eje central del proyecto, interconectando las distintas metas hacia la mejora de la sostenibilidad y la reducción del consumo de agua potable.
- II. Diseñar y optimizar sistemas modulares para la captación y el almacenamiento eficiente de agua de lluvia: Esta medida permitirá una recolección adecuada del agua, maximizando su uso.

- III. Asegurar un balance eficiente entre el agua de lluvia recolectada y el agua potable: Esta acción garantiza un uso responsable y equilibrado de los recursos hídricos disponibles.

El siguiente árbol de objetivos permite estructurar fácilmente la relación medios-fines que permite operar un enfoque integral de la sostenibilidad urbana y la eficiencia hídrica. Tal enfoque permite proyectar y gestionar aquellos proyectos de mejora de la gestión del agua de tal forma que también contribuya a la mejora de la calidad del entorno urbano y de la comunidad. El buen desarrollo de las estrategias de planificación derivadas de este árbol de objetivos nos permitirá abordar las problemáticas del agua en las áreas urbanas desde una gestión más sostenible de los recursos.

Figura 10 Árbol de objetivos



Fuente: Avila, Blanco, Montilla, Ortiz, 2025

### 2.1.3. Árbol de objetivos, logros e insumos

#### Logros

- I. Reducción de costos: Disminuir los gastos asociados al uso de agua potable.
- II. Conservación de la biodiversidad: Promover áreas urbanas más verdes.
- III. Incremento de huertas urbanas: Fomentar el bienestar de los habitantes del espacio mediante espacios naturales.
- IV. Sostenibilidad: Mejorar la sostenibilidad en la construcción al reducir el consumo de agua potable.

#### Insumos

- I. Diseño de sistemas de captación: Crear sistemas modulares para optimizar el almacenamiento de agua.
- II. Asesorías: Brindar asesoramiento a técnicos y usuarios sobre el uso de tecnologías avanzadas de riego.
- III. Manejo de agua de lluvia: Asegurar un balance eficiente entre el agua de lluvia recolectada y el suministro de agua potable.

#### **Desarrollo e Implementación del Sistema de Recolección de Aguas Lluvias:**

Se ha diseñado un sistema integral que integra cubiertas verdes y tecnologías avanzadas para la captación de aguas lluvias, optimizando así el uso del recurso hídrico en entornos urbanos. Este sistema, al ser modular y autónomo, permite una implementación flexible en distintas edificaciones.

**A. Promoción de Espacios Verdes:** La implementación del sistema ha incrementado la superficie de áreas verdes, contribuyendo a la conservación

de la biodiversidad urbana y mejorando el bienestar de los residentes de la investigación de caso ubicado *Carrera 69h #63ª-97*.

**B. Optimización en la Gestión del Recurso Hídrico:** La implementación del módulo piloto ha facilitado un seguimiento y análisis continuo de la eficiencia del sistema, lo que ha generado una notable reducción en la dependencia de agua potable para el riego y otras aplicaciones no potables.

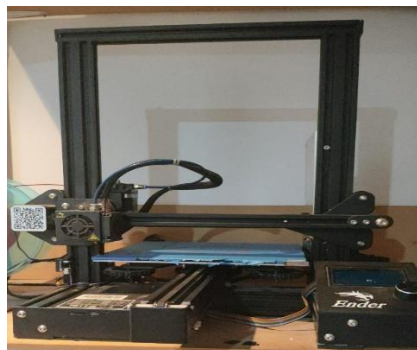
**C. Insumos:**

**I. Filamentos PLA:**

Se utilizaron materiales reciclados, como el **PLA** y compuestos biodegradables, en la construcción del sistema, lo que fomentó la economía circular y contribuyó a reducir la huella ambiental del proyecto.

**II. Tecnologías de Impresión 3D:** El uso de tecnologías avanzadas de impresión 3D, a través de la impresora **Creality Ender 3-Pro**, permitió la fabricación de componentes del sistema, garantizando así una precisión en el diseño y una personalización acorde a las necesidades específicas del entorno urbano.

Figura 11 Impresora Creality Ender 3-Pro rolas\_tore



Fuente: Avila, Blanco, Montilla, Ortiz, 2025

### **III. Sistema Pancoger:**

Se llevaron a cabo estudios para seleccionar especies vegetales de cultivos pancoger que optimizan la absorción y filtración de agua, asegurando así la funcionalidad ecológica y estética de las cubiertas verdes.

### **IV. Colaboración Interdisciplinaria:**

El proyecto se vio enriquecido gracias a la colaboración de expertos en ingeniería ambiental, arquitectura, construcción y ecología, lo que garantizó un enfoque integral en el desarrollo e implementación del sistema.

#### **2.1.4. Delimitación temática y geográfica**

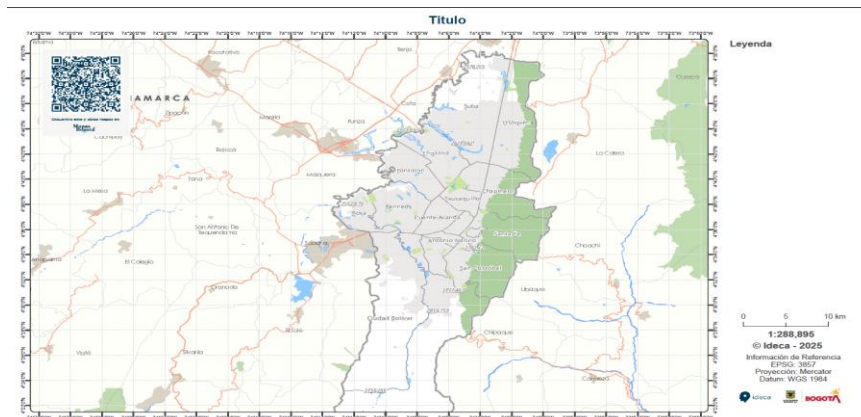
Este proyecto se enfoca en el diseño, implementación y evaluación de un sistema modular y autónomo para la captación de aguas lluvias a través de cubiertas verdes, con el fin de optimizar el uso del agua en entornos urbanos.

La investigación incluye el uso de materiales reciclados y tecnologías sostenibles, como filamentos de impresión 3D elaborados a partir de **PLA**, así como la elección de especies vegetales adecuadas que aseguren la funcionalidad y eficiencia del sistema. También se llevarán a cabo análisis sobre los beneficios ambientales, sociales y económicos que su implementación puede aportar a las edificaciones urbanas.

El estudio se realizará en Bogotá, Colombia, específicamente en la localidad de Engativá, en el barrio *Bosque Popular (Carrera 69h #63<sup>a</sup>-97)*. Esta metrópoli, caracterizada por su alta densidad poblacional y un crecimiento urbano constante,

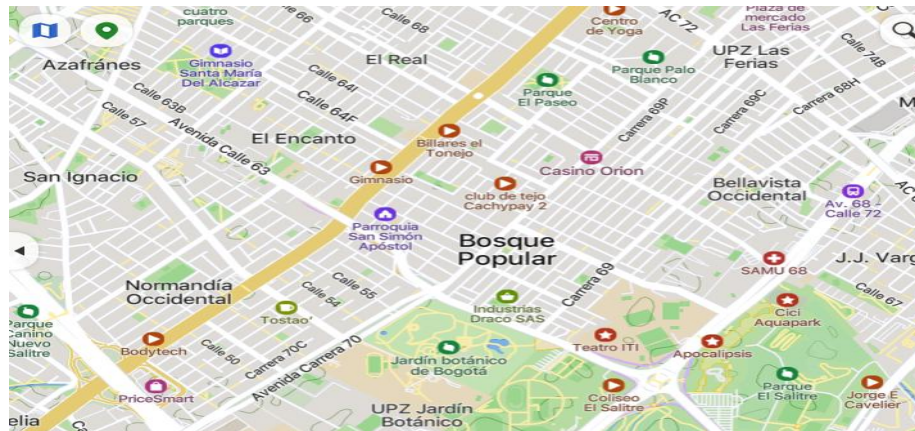
ha sido seleccionada debido a la necesidad urgente de promover soluciones sostenibles para la gestión del agua, especialmente considerando su clima predominantemente húmedo y las variaciones en las precipitaciones a lo largo del año.

Figura 12 Mapa de Bogotá D.C



Fuente: IDECA,2024

Figura 13 Mapa barrio Bosque Popular



Fuente: MAPCARTA,2025

## 2.2 Descripción

El plan piloto se llevará a cabo en una vivienda unifamiliar situada en el barrio Bosque Popular, en la localidad de Engativá. Esta edificación ha sido elegida para

realizar un seguimiento minucioso y un análisis exhaustivo del rendimiento del módulo en condiciones reales. En esta fase, se evaluarán diversos aspectos, incluida la eficiencia energética, la sostenibilidad y la viabilidad del sistema propuesto. Se espera que los datos recopilados permitan realizar ajustes y mejoras antes de proceder a una implementación más amplia.

### **2.2.1. Concepto general del Módulo VERDEH2O o servicio**

El Módulo **VERDEH2O** desarrollado en este proyecto consiste en un innovador sistema de recolección de aguas lluvias, integrado en cubiertas verdes, que ha sido diseñado específicamente para entornos urbanos, con un enfoque particular en el barrio Bosque Popular de Bogotá. Este sistema tiene como objetivo hacer frente a la problemática del agua, un recurso escaso, y a la urgente necesidad de adaptar las ciudades al **cambio climático**.

Este sistema modular y autónomo maximiza la captación y distribución del agua de lluvia, utilizando principalmente materiales reciclados, como el **PLA**, además de compuestos biodegradables. Al combinar tecnologías avanzadas de impresión 3D con la integración de cultivos urbanos de **pancoger**, este sistema no solo facilita la recolección de **agua**, sino que también promueve la sostenibilidad ambiental, disminuye la **huella ecológica** y mejora la estética de las edificaciones urbanas.

Una de las características más destacadas de este Módulo **VERDEH2O** es su instalación y mantenimiento sencillos, lo que lo convierte en una solución accesible para los hogares en áreas urbanas. Con la implementación de este sistema, se espera no solo optimizar el uso del **agua** lluvia, sino también impulsar prácticas

ecológicas y la creación de **espacios verdes** que fomenten la biodiversidad y el bienestar de la comunidad.

Como parte de su funcionalidad, el sistema incluirá un monitoreo continuo de su rendimiento en el contexto real, lo que permitirá realizar ajustes y mejoras basadas en la retroalimentación recibida. Esto asegurará que el sistema se adapte a las necesidades cambiantes de los usuarios y del entorno urbano.

### **2.2.2. Impacto tecnológico, social y ambiental.**

La implementación del sistema de recolección de aguas lluvias a través de cubiertas verdes genera un impacto considerable en tres dimensiones esenciales: la tecnológica, la social y la ambiental. Estas tres áreas están interconectadas y se fortalecen mutuamente.

#### **A. Impacto Tecnológico**

Desde una perspectiva tecnológica, este proyecto representa un avance significativo en la gestión de los recursos hídricos en entornos urbanos. La implementación de un sistema modular y autónomo para la recolección de **aguas pluviales** permite el diseño de estructuras personalizadas que optimizan tanto la captación como la distribución del **agua**, asegurando un proceso de instalación ágil y eficiente. Además, la utilización de tecnologías de impresión 3D facilita la creación de componentes innovadores. La incorporación de materiales reciclados, como el **PLA**, no solo fomenta la **sostenibilidad**, sino que también establece un modelo de **economía circular** en la construcción de infraestructuras. Este enfoque tiene el potencial de convertirse en un referente valioso para futuras investigaciones y

desarrollos en ingeniería **sostenible**, inspirando la implementación de soluciones similares en otras ciudades que enfrenten **desafíos hídricos** análogos.

### **B. Impacto Social.**

El impacto social de este sistema se manifiesta de múltiples maneras. Las **cubiertas verdes** no solo ofrecen beneficios directos en la captación de agua, sino que también enriquecen el entorno urbano al crear espacios verdes que mejoran la calidad de vida de los habitantes. Estas áreas pueden transformarse en lugares de encuentro para la comunidad, fomentando la cohesión social y promoviendo iniciativas de cultivo urbano que empoderan a los ciudadanos. Al aumentar la conciencia sobre la importancia de la gestión del **agua** y la **sostenibilidad**, se contribuye a formar una ciudadanía más informada y activa en la protección de sus **recursos naturales**. De este modo, el proyecto puede servir de modelo para otras comunidades, impulsando políticas locales que favorezcan la **sostenibilidad**.

### **C. Impacto Ambiental**

El impacto ambiental del sistema se centra en la conservación del agua y la reducción de la huella ecológica. Al recolectar y aprovechar el agua de lluvia, se reduce la dependencia de fuentes de **agua** potable para usos no relacionados con el consumo humano, lo que ayuda a proteger nuestros cuerpos de agua locales de la **sobreexplotación**. Además, la incorporación de cubiertas verdes mejora la calidad del aire y fomenta la biodiversidad en entornos urbanos, creando **hábitats** para diversas especies. La elección cuidadosa de plantas autóctonas favorece su

adaptación al entorno, asegurando la resiliencia del sistema frente a las condiciones climáticas específicas de la región.

Conjuntamente, estas prácticas promueven una gestión más eficiente y responsable del recurso hídrico, alineándose con los objetivos globales de sostenibilidad y adaptación al **cambio climático**. Este proyecto no solo busca abordar los retos de la gestión del agua en áreas urbanas, sino que también propone un enfoque integral que impulsa el desarrollo tecnológico, la cohesión social y el equilibrio ambiental. De este modo, se establece un camino hacia un futuro urbano más **sostenible** y resiliente.

### **2.2.3. Potencial innovador.**

El proyecto de recolección de aguas lluvias a través de cubiertas verdes presenta un notable potencial innovador al integrar tecnologías avanzadas con enfoques sostenibles, enfrentando así problemas contemporáneos en la gestión del **agua**. Con este planteamiento, no solo se satisface la necesidad urgente de optimizar el uso del recurso hídrico en entornos urbanos, sino que también se propone un modelo que puede ser replicado y escalado en distintos contextos.

Una de las innovaciones más destacadas de este proyecto es la utilización de la impresión 3D para fabricar los componentes del sistema. Esta tecnología permite crear estructuras personalizadas y modulares que se adaptan a las especificaciones de cada edificación, maximizando así la eficiencia en la captación y distribución del agua. La producción de elementos a medida no solo reduce desperdicios, sino que

también disminuye los costos de producción, lo que contribuye a la sostenibilidad del proceso constructivo.

Además, la inclusión de materiales reciclables, como el **PLA** y otros derivados **biodegradables**, ofrece una solución innovadora al desafío de la gestión de residuos plásticos. Este enfoque no solo minimiza el impacto ambiental asociado con la fabricación de nuevos materiales, sino que también fomenta la **economía circular**, incentivando el uso responsable de recursos y promoviendo la conciencia ambiental entre los ciudadanos.

El diseño de un sistema modular y autónomo es otro aspecto innovador que permite la adaptación a diversas configuraciones urbanas. Esto garantiza que el sistema sea accesible para una amplia variedad de usuarios, desde hogares unifamiliares hasta edificios de apartamentos y espacios comunitarios. Esta flexibilidad modular facilita la implementación tanto a pequeña como a gran escala, lo que puede potenciar su adopción en múltiples localidades.

Por último, el proyecto se destaca por su capacidad para generar un impacto significativo en la calidad de vida de las comunidades urbanas. Al promover la inclusión de cubiertas verdes, no solo se mejora la gestión del agua, sino que también se crean espacios que favorecen la biodiversidad y la recreación. Esta sinergia entre la innovación tecnológica y el bienestar comunitario subraya el efecto positivo del proyecto en la infraestructura urbana y su capacidad de adaptación al cambio climático.

El potencial innovador de este proyecto va más allá de la tecnología utilizada; se fundamenta en un enfoque integral que combina sostenibilidad, diseño adaptable y **concienciación social**. Al establecer las bases para soluciones efectivas en la gestión del agua, este sistema representa un avance significativo hacia un modelo urbano más resiliente y consciente de su entorno.

### **2.3 Justificaciones del problema a investigar.**

La adopción de un sistema de recolección de **aguas lluvias** a través de cubiertas verdes elaboradas con **materiales reciclados** e impresión 3D aborda diversas necesidades y desafíos actuales en los ámbitos ambiental, social, económico y profesional, entre otros. Esta propuesta va más allá de simplemente optimizar el uso del agua en entornos urbanos; también busca promover infraestructuras sostenibles, minimizar el impacto **ambiental** en el sector de la construcción y mejorar la calidad de vida en las ciudades.

#### **2.3.1. Justificación Ambiental**

Mirando el asunto desde el punto de vista del medio ambiente, este proyecto se enfrenta a uno de los problemas más apremiantes en las ciudades: cómo manejar de manera eficiente el agua de lluvia y hacer que haya menos suelo sellado. Atrapar, guardar y volver a usar el agua que cae del cielo no solo ayuda a que no se derroche este bien tan preciado, sino que también es clave para suavizar las inundaciones en la ciudad, rellenar los depósitos subterráneos de agua y mantener en orden el ciclo del agua, impulsando así una gestión más ecológica de este recurso (*García et al. , 2019*).

Adicionalmente, la incorporación de cubiertas verdes en los edificios presenta múltiples beneficios ambientales y sociales. Las cubiertas verdes tienen una capacidad significativa para reducir la sensibilidad térmica urbana y la formación de islas de calor, fenómeno en el que las áreas densamente urbanizadas presentan temperaturas mucho más altas que las zonas rurales circundantes, en gran parte debido a la absorción y retención de calor por materiales convencionales (*Oke, 1982*). En Bogotá, donde aproximadamente el 11% de las superficies edificadas cuenta con algún tipo de cubierta vegetal (*Alcaldía de Bogotá, 2022*), incrementar esta cobertura puede generar un impacto notable en la disminución de la temperatura superficial y del microclima urbano.

Las cubiertas vegetales ayudan a que el aire y las superficies estén más frescas, lo cual mejora cómo se sienten las personas en sus casas y reduce la necesidad de usar tanto el aire acondicionado, además de limpiar el aire que respiramos (*Berardi et al. , 2014*). También, estas cubiertas son buenas para la vida silvestre en las ciudades, ya que dan un hogar a plantas y animales, haciendo que la naturaleza sea parte de nuestros edificios.

A su vez, usar materiales reciclados en la construcción es una buena manera de lidiar con la gran cantidad de basura que producimos, sobre todo plásticos, y nos empuja a construir de forma más amigable con el planeta. Esto nos ayuda a ser más sostenibles, a cuidar el medio ambiente y a que nuestras ciudades puedan resistir mejor los problemas.

Para terminar, esta iniciativa se basa en una perspectiva completa que une el manejo eficaz del agua, la disminución del impacto de la isla de calor, el aumento del bienestar térmico y la protección del medio ambiente, contribuyendo a la durabilidad y solidez del avance urbano en Bogotá.

### **2.3.2. Justificación Social**

Este proyecto destaca por su importante impacto en la sociedad, pues busca elevar el nivel de vida en los entornos urbanos al poner en marcha sistemas ecológicos que incorporan cosechas con un elevado valor nutritivo, como aquellas ricas en vitamina E. La vitamina E es un antioxidante indispensable que robustece el sistema inmunitario, retrasa el envejecimiento temprano y asiste en la defensa de las células frente al daño oxidativo (*Kris-Etherton et al. , 2004*). Al impulsar el cultivo de productos repletos de esta vitamina, se potencia la certeza alimentaria y la independencia en el alcance a nutrientes vitales, sumando así a la soberanía alimentaria, sobre todo en áreas urbanas donde conseguir alimentos frescos a veces es complicado.

Aparte, la creación de estos métodos ecológicos busca disminuir la sujeción a las redes de suministro foráneas, consolidando la autonomía alimentaria e impulsando una elaboración regional y duradera. La incorporación de techos verdes y sembradíos ciudadanos no solo embellece las urbes, sino que también coopera en la contención del cambio climático, optimizando la salubridad del aire y disminuyendo las temperaturas ciudadanas (*Berardi et al. , 2014*). Tales iniciativas cultivan una mentalidad de perdurabilidad y juicio ecológico en las colectividades, alentando hábitos de vida más sanos y considerados con el ambiente.

A fin de cuentas, este plan no solo trae consigo mejoras para el medio ambiente y nuestra alimentación, sino que además apuntala la cohesión social, impulsando la colaboración entre vecinos y la independencia en cuanto a comida, cosas cruciales si queremos que nuestras comunidades aguanten mejor los envites y duren más.

### **2.3.3. Justificación Económica**

Adoptar enfoques sustentables, tal como las huertas urbanas llenas de bondades nutritivas y los techos verdes, constituye una jugada inteligente que podría rendir frutos económicos considerables con el tiempo. Para empezar, al darle un empujón a la producción local de alimentos repletos de vitamina E, como aceites derivados de plantas y nueces, disminuye nuestra necesidad de traer productos de afuera y las idas y venidas del mercado mundial, lo cual trae consigo precios de comida más estables y una mayor independencia alimentaria (FAO, 2017). Esto, a su vez, podría significar que las familias y los vecindarios gasten menos plata al comprar estos alimentos tan importantes.

Por otro lado, la incorporación de zonas verdes y huertos urbanos puede disminuir los costos asociados a la infraestructura y mantenimiento urbano, al reducir los efectos del calor en las ciudades, disminuir el consumo energético en sistemas de climatización y mejorar la calidad del aire, lo cual conlleva menos gastos en salud pública y energía (Berardi et al., 2014). Además, al fomentar la autosuficiencia alimentaria y la economía circular, estos sistemas pueden crear oportunidades de empleo local relacionados con la agricultura urbana, horticultura y servicios ecológicos, estimulando así la economía local y promoviendo la innovación social.

En pocas palabras, esta iniciativa no solo impulsa la salud y el bienestar comunitario, sino que también representa una inversión que vale la pena al disminuir gastos en atención médica, energía y sustento, impulsando así un progreso económico duradero y adaptable en los entornos urbanos.

#### **2.3.4. Justificación Profesional y personal**

En el ámbito profesional y académico, este proyecto representa un significativo avance hacia el desarrollo de nuevas metodologías y tecnologías en la construcción sustentable. Su enfoque interdisciplinario facilita la integración de diversos saberes en ingeniería, arquitectura, **biotecnología** y gestión ambiental, promoviendo así la innovación en estos campos. Además, la implementación y el análisis de este proyecto fomentan la aparición de nuevas investigaciones y el progreso en el desarrollo de materiales ecológicos y estrategias de **eficiencia hídrica**, lo que enriquece el conocimiento en estas áreas.

Desde una perspectiva legal y normativa, el proyecto está alineado con los objetivos de desarrollo **sostenible** y las **políticas ambientales**, tanto nacionales como internacionales, que buscan disminuir el consumo de agua potable en edificaciones, incentivar la reutilización de recursos y reducir la **huella ecológica** de la infraestructura urbana. Asimismo, contribuye al cumplimiento de estrategias locales de sostenibilidad y adaptación al cambio climático, fortaleciendo así la resiliencia de las ciudades ante los desafíos ambientales que se presentarán en el futuro.

En resumen, este estudio no solo avanza en la gestión eficiente del **agua** en entornos urbanos, sino que también promueve prácticas de construcción

sustentable, eleva la conciencia ambiental y proporciona soluciones innovadoras al sector de la arquitectura y la ingeniería, garantizando un impacto positivo a nivel ambiental, social y económico.

### **2.3.5. Justificación Tecnológica**

La creciente demanda de agua, sumada a los efectos del cambio climático, ha desencadenado una crisis hídrica en las ciudades, y Bogotá no es la excepción. Ante esta situación, el presente proyecto propone la implementación de un sistema de recolección de aguas lluvia a través de cubiertas verdes, una alternativa innovadora que se alinea con las mejores prácticas de sostenibilidad y gestión de recursos hídricos.

La elección de un sistema modular y autónomo responde a la necesidad de optimizar la captación y distribución del agua de lluvia, reduciendo la dependencia de infraestructuras convencionales que, aunque funcionales, presentan limitaciones en cuanto a eficiencia y sostenibilidad. Al incorporar tecnologías avanzadas de impresión 3D, se logra una producción más personalizada y adecuada a las características del entorno urbano, permitiendo la creación de estructuras ligeras, eficientes y de bajo impacto ambiental.

El uso de materiales reciclados, como el **PLA**, no solo aporta a la **sostenibilidad** del proyecto, sino que también ofrece una solución pragmática ante el creciente problema de los residuos plásticos. Este enfoque de economía circular se traduce en un menor uso de recursos vírgenes y en una reducción de la huella ambiental,

además de proporcionar una resistencia mecánica adecuada que garantiza la durabilidad del sistema.

La implementación de **cubiertas verdes** suma una dimensión ecológica que favorece el bienestar urbano. La selección de especies vegetales adecuadas no solo mejorará la absorción y filtración del **agua**, sino que también promoverá la **biodiversidad local** y elevará la calidad de vida en las comunidades urbanas a través de la creación de **espacios verdes**.

El desarrollo de un módulo piloto en una vivienda unifamiliar del barrio Bosque Popular permitirá validar la efectividad del sistema en un contexto real, aportando información valiosa sobre su desempeño, funcionalidad y viabilidad. Este enfoque práctico facilitará los ajustes necesarios y proporcionará una base sólida para futuras implementaciones a gran escala.

Este proyecto no solo busca atender la escasez de agua en Bogotá, sino que también fomenta una cultura de sostenibilidad, resiliencia y adaptación, estableciendo las bases para un futuro urbano más consciente y responsable en el uso de recursos hídricos.

### **2.3.6. Necesidades que satisface**

Un sistema de riego eficiente, especialmente en el contexto de la gestión sostenible del agua y la creación de **espacios verdes**, busca satisfacer diversas necesidades esenciales.

En primer lugar, asegura el acceso al **agua** potable, un elemento fundamental para la salud y el bienestar de las comunidades. Al implementar un sistema que optimiza

el uso del **agua**, se disminuye la dependencia de fuentes externas, garantizando así que la población cuente con este **recurso vital**.

Asimismo, promueve la conservación de los recursos hídricos, fomentando un uso racional y eficiente del **agua**. Esto no solo ayuda a mantener la disponibilidad de este recurso a largo plazo, sino que también contribuye a la sostenibilidad general del **medio ambiente**.

Otra necesidad crucial que se aborda es la mejora de la **sostenibilidad** ambiental. Gracias a la promoción de prácticas agrícolas y urbanas que preservan la **biodiversidad**, un sistema de riego eficiente ayuda a mitigar los efectos del **cambio climático** y protege los ecosistemas locales.

La creación de espacios verdes en entornos urbanos también es una necesidad relevante. Estas áreas no solo mejoran la **calidad de vida** de los habitantes, sino que ofrecen beneficios estéticos, recreativos y ambientales, además de contribuir a la regulación del clima en las ciudades.

Desde la perspectiva económica, un sistema de riego eficiente permite reducir los costos asociados al uso de agua potable. A través de tecnologías para la recolección de agua de lluvia, se puede disminuir el gasto en recursos hídricos, lo que representa un alivio financiero para las familias y comunidades.

Además, este sistema fomenta la educación y la concienciación sobre la gestión del agua. Al capacitar a técnicos y comunidades en prácticas sostenibles, se promueve una cultura de responsabilidad ambiental que beneficie a largo plazo.

La resiliencia ante los cambios climáticos es otra necesidad que se satisface. Al optimizar el uso del agua, las comunidades pueden adaptarse mejor a los efectos adversos del cambio climático, como la escasez de agua o fenómenos climáticos extremos.

Por último, se aborda la seguridad alimentaria, ya que un sistema de riego eficiente apoya prácticas agrícolas sostenibles que incrementan la producción de alimentos. Esto contribuye a la estabilidad alimentaria y al bienestar general de la población.

En suma, un sistema de riego eficiente no solo responde a necesidades hídricas inmediatas, sino que también promueve un enfoque integral hacia la sostenibilidad ambiental, la conservación de recursos y el bienestar social. Al satisfacer estas demandas, se avanza hacia un desarrollo más equilibrado y responsable, alineado con los principios de sostenibilidad y cuidado del medio ambiente.

### **3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **3.1. Alcance**


Para llevar a cabo este proyecto, se utilizarán diferentes herramientas de investigación que nos permitirán recopilar, analizar y validar información relevante. Esto es fundamental para el diseño, implementación y optimización eficaz del sistema de recolección de **aguas lluvias** a través de **cubiertas verdes**. Estas herramientas asegurarán un enfoque metodológico riguroso, garantizando que el sistema sea funcional, sostenible y adaptable a las condiciones urbanas.

### 3.2. Fases de la Investigación

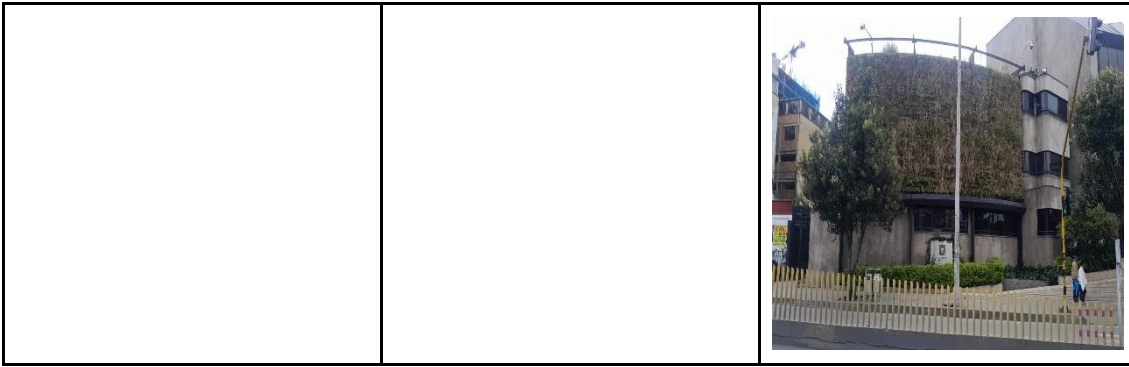
#### I. Observación de campo

Se llevará a cabo un análisis exhaustivo de edificaciones que ya han integrado sistemas de captación de **aguas pluviales** en sus estructuras. Mediante la observación, se identificarán prácticas actuales, posibles deficiencias y oportunidades de mejora. Además, se evaluará cómo estos sistemas se han incorporado al entorno construido. Esta herramienta permitirá obtener información clave sobre su rendimiento en la recolección, almacenamiento y reutilización del **agua de lluvia**.

Tabla 7 Lugares referentes con cubiertas verdes en Bogotá

Lugar	Descripción	Imagen
<p style="text-align: center;"><b>Universidad de los Andes</b></p>	<p>Cafetería Central, Bloque N y Bloque O</p>	
		

		
<b>Edificio Satalaia</b>	Fachadas y terraza verde	 
<b>Edificio Distrital secretaria de Ambiente</b>	Fachada y sendero	 



Fuente: Avila, Blanco, Montilla, Ortiz, 2025

## II. Investigación documental – Bases de datos

Se realizará un exhaustivo análisis de fuentes secundarias con el objetivo de recopilar información acerca de tecnologías de captación de agua, sostenibilidad, construcción verde y las condiciones climáticas en Bogotá. Para ello, se consultarán documentos técnicos, normativas, estudios científicos y bases de datos confiables que proporcionen fundamentos tanto teóricos como prácticos para el desarrollo del sistema. Entre las principales fuentes de información se incluirán:

- A. *Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM): Datos climáticos y de precipitación.*
- B. *Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB): Información sobre gestión hídrica urbana.*
- C. *Secretaría de Ambiente de Bogotá: Normativas ambientales y estrategias de sostenibilidad.*
- D. *Bases de datos de la Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca (UCMC): Artículos científicos y estudios relevantes.*

- E. Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático (IDIGER) :  
*Evaluación de riesgos asociados a la gestión del agua en la ciudad.*
- F. Investigaciones del Jardín Botánico de Bogotá: *Selección de especies vegetales óptimas para cubiertas verdes.*
- G. Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR): *Regulaciones y proyectos ambientales en la región.*
- H. Jardín Botánico de Bogotá.

Tabla 8 Bases de datos

N°.	Nombre de la Base de Datos	Descripción	Tipos de Datos	Fuente	Acceso
1	<b>Oxford Académico</b>	Oxford Académico es una plataforma que brinda acceso a una amplia variedad de revistas académicas, libros y contenidos adicionales en diversas disciplinas. Se distingue por su compromiso con un riguroso proceso de revisión por pares, lo que garantiza la entrega de investigaciones de alta calidad.	Datos cualitativos y cuantitativos	<a href="#">Oxford Académico</a>	Privado (requiere suscripción)
2	<b>ProQuest</b>	ProQuest es una base de datos integral que ofrece acceso a una amplia colección de tesis, disertaciones y artículos académicos de diversas disciplinas. Su reconocida herramienta de búsqueda avanzada y la considerable cantidad de contenido que alberga la destacan como una fuente invaluable para la investigación.	Datos cualitativos y cuantitativos	<a href="#">ProQuest</a>	Privado (requiere suscripción)
3	<b>Unicolmayor Ambientalex</b>	Unicolmayor Ambientalex es una	Datos cualitativos y	<a href="#">Unicolmayor Ambientalex</a>	Privado (requiere

		base de datos que proporciona acceso a artículos científicos, tesis, y otros materiales académicos requiriendo un login institucional. Está centrada en temas ambientales y sostenibilidad.	cuantitativos		acceso institucional)
--	--	---	---------------	--	-----------------------

*Fuente: Avila, Blanco, Montilla, Ortiz, 2025*

### III. Entrevistas

Con el propósito de obtener información cualitativa, se realizarán entrevistas a expertos en sostenibilidad, horticultura urbana y diseño de espacios verdes. Estas entrevistas se centrarán en la implementación de cubiertas verdes y cultivos de pancoger en las viviendas unifamiliares del barrio Bosque Popular, en la localidad de Engativá. El enfoque será explorar las oportunidades y desafíos que enfrentan los residentes para integrar estos sistemas en sus hogares, promoviendo así la autosuficiencia alimentaria y la mejora del entorno urbano.

Al recopilar opiniones y percepciones de profesionales en estos ámbitos, aspiramos a profundizar en aspectos técnicos, identificar las mejores prácticas y descubrir soluciones innovadoras que faciliten la implementación de cultivos en azoteas. Con la información recabada, esperamos contribuir al desarrollo de viviendas más sostenibles y resilientes, que no solo ofrezcan un hábitat de calidad, sino que también fortalezcan la conexión entre los habitantes y su entorno.

[Link:https://drive.google.com/drive/u/0/folders/1KcFiFT0V1PvdZOEa9qMH5gWVvecAjKtI](https://drive.google.com/drive/u/0/folders/1KcFiFT0V1PvdZOEa9qMH5gWVvecAjKtI)

### IV. Cumplimiento de Objetivos Específicos

**Objetivo N°1:**

1. Diseñamos planos y modelos 3D del sistema modular, considerando la facilidad de ensamblaje y optimización del flujo de agua.
2. Desarrollamos prototipos utilizando tecnología de impresión 3D, aplicando materiales reciclados en la fabricación del sistema.
3. Probamos la eficiencia del prototipo y sistema en condiciones controladas, realizando ajustes para mejorar la captación y distribución del agua.

#### **Objetivo N°2:**

1. Investigamos y seleccionamos filamentos **PLA**, hechos a partir de materiales reciclados como residuos bioplásticos y agrícolas.
2. Realizamos pruebas de impresión para evaluar la calidad, resistencia y durabilidad de los filamentos reciclados.

#### **Objetivo N°3:**

1. Instalamos el módulo piloto en la vivienda ubicada en el barrio Bosque Popular, asegurando su correcto posicionamiento y conexión en redes existentes.
2. Realizamos visitas periódicas y registros fotográficos del comportamiento del módulo evaluando su desempeño en condiciones reales.
3. Analizamos los resultados y ajustamos aspectos de diseño y la integración para mejorar su rendimiento y compatibilidad con el entorno urbano.

### **3.3. Presupuesto de la Investigación**

La tabla a continuación presenta los costos estimados de cada uno de estos componentes, ofreciendo así una perspectiva clara sobre los recursos necesarios para implementar el proyecto de investigación de manera efectiva.

Tabla 9 Presupuesto de investigación

<b>Categoría.</b>	<b>Descripción.</b>	<b>Valor.</b>
<b>Investigadores</b>	Honorarios de investigadores ( 18 meses)	\$5.500.000
	Unidades en Total:	4
	<b>Valor Total:</b>	<b>\$22.000.000</b>
<b>Materiales</b>	Insumos y equipos de producción prototipo	<b>\$2.500.000</b>
<b>Investigadores externos</b>	Consultoría externa profesionales del tema	<b>\$800.000</b>
<b>Mano de obra</b>	Gastos operativos de montaje prototipo	<b>\$1.500.000</b>
<b>Folletos</b>	Diseño e impresión de materiales informativos	<b>\$350.000</b>
<b>Camisas formales</b>	4 camisas bordadas para investigadores	<b>\$320.000</b>
<b>Total General:</b>		<b>\$27.470.000</b>

Fuente: Avila, Blanco, Montilla, Ortiz, 2025

### 3.3.1. Presupuesto del Módulo VerdeH2O:

Por otro lado, se elabora un presupuesto que contempla los costos necesarios para llevar a cabo una prueba piloto del módulo, el cual incluye los siguientes aspectos:

Tabla 10 Presupuesto del Módulo verdeH2O

<b>CONCEPTO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>COSTO</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>TOTAL</b>
<b>DISEÑO Y PLANIFICACIÓN</b>				
<b>Asesorías externas</b>	Cursos en secretaria de ambiente o Jardín Botánico	\$0	1	\$0
<b>MATERIALES</b>				

<b>Textil impermeabilizante: Tela poliéster 10m2 30 gramos/m2</b>	Membrana sintética (PVC) o textiles tratados con recubrimientos impermeables	\$ 24.900	1	\$24.900
<b>Sellantes / adhesivos</b>	Silicona	\$ 20.000	1	\$20.000
<b>Filamento para impresión 3d (plástico con diferentes %)</b>	100% - 80% - 60%	Incluido en el valor del módulo	10	\$0
<b>Sustrato plantas x 3 kilos</b>	Tierra, compost, arcilla expandida, fibra de coco, etc.	\$ 13.900	2	\$27.800
<b>Plantas x unidad</b>	Especies vegetales (lechuga, tomate Cherry, acelga)	\$50.000	1	\$50.000
<b>FABRICACIÓN</b>				
<b>Servicio impresión 3D</b>	Impresión 4 módulo de 0,50 *0,50 *0,15 + rejilla	\$ 125.000	10	\$1.250.000
<b>Herramientas manuales</b>	Tijeras, alicates, bisturí, etc.	\$20.000	1	\$20.000
<b>LABORATORIOS</b>				
<b>Prueba de compresión y densidad Balanza digital con precisión de 0.1 gramos y marco para compresión HUMBOLDT con control de carga y medidor de deformación, servo-controlado</b>	Evaluar cómo el módulo resiste frente a la compresión y densidad, gracias a la universidad La Gran Colombia no tuvimos que hacer pago de estas pruebas.	\$0	1	\$0
<b>DOCUMENTACIÓN Y PRESENTACIÓN</b>				
<b>Impresión de documentos</b>	Documentación y diseño de folletos	\$33.333	6	\$200.000
<b>TOTAL, PRESUPUESTO</b>				<b>\$1.592.000</b>

Fuente: Avila, Blanco, Montilla, Ortiz, 2024.

### 3.3.3. Pruebas de Laboratorio

En el marco de nuestro proyecto, se llevarán a cabo diversas pruebas con el fin de evaluar la idoneidad del material **PLA**. Cada una de estas pruebas tiene un propósito específico y resulta esencial para asegurar que el material cumpla con los requisitos de rendimiento esperados.

- A. **Prueba de Resistencia Química:** Esta evaluación busca medir la resistencia de los filamentos a distintos Módulo **VERDEH2O** químicos. Es de vital importancia en aplicaciones donde la exposición a sustancias agresivas puede comprometer la integridad del material, especialmente en entornos industriales o de laboratorio.
- B. **Prueba de Resistencia de Impacto:** Este análisis permite determinar la capacidad de los materiales para resistir impactos sin fracturarse. Su relevancia es clave en aplicaciones donde las piezas pueden estar sujetas a golpes o caídas, garantizando así una durabilidad adecuada. Se basa en la **norma ASTM D543**, que establece el método de ensayo para la resistencia química de los plásticos a Módulo **VERDEH2O** químicos.
- C. **Prueba de Resistencia a la Intemperie:** A través de esta evaluación, se analiza el comportamiento de los filamentos ante condiciones ambientales adversas, tales como la exposición al sol, la humedad y las fluctuaciones de temperatura. Esta prueba es fundamental para aplicaciones exteriores donde la resistencia a la intemperie es un requisito esencial. Se rige por las **normas ASTM G154 y ASTM G155**, que delinean métodos para la exposición de materiales a luz ultravioleta (UV) y condiciones climáticas adversas.

- D. Prueba de Resistencia al Fuego:** Esta evaluación es crucial para determinar cómo reaccionan los materiales ante el fuego o altas temperaturas. Dada la importancia de la seguridad, es necesario conocer la inflamabilidad de los filamentos y su comportamiento en caso de incendio.
- E. Prueba de Resistencia a la Permeabilidad:** Esta prueba tiene como objetivo evaluar la capacidad de los materiales para resistir el paso de líquidos. Resulta fundamental en aplicaciones donde la impermeabilidad es crítica, evitando filtraciones que puedan comprometer la funcionalidad de las piezas. Al igual que la prueba de resistencia a la intemperie, se rige por las **normas ASTM G154 y ASTM G155**.

A través de estas rigurosas pruebas, buscamos garantizar que el material **PLA** se ajuste a los estándares de calidad y rendimiento necesarios para nuestras aplicaciones específicas.

### **3.4. Cronograma de la investigación**

El cronograma de actividades que se presenta a continuación se enmarca en el desarrollo y ejecución de diversas pruebas de laboratorio, así como en la planificación y redacción de un documento final que detalla los hallazgos y las metodologías empleadas a lo largo del proyecto. Las actividades propuestas incluyen pruebas de resistencia al fuego, a la intemperie y de permeabilidad, así como la recolección y análisis de datos, todos aspectos fundamentales para garantizar la calidad y eficacia del prototipo a desarrollar.

Además, se incluye un plan detallado que abarca la presentación del documento, la investigación bibliográfica, la construcción teórica y las etapas de sustentación, lo que asegura una sistematización rigurosa de cada fase del trabajo. Este cronograma no solo subraya el enfoque temporal de las tareas a realizar, sino que también pone de relieve la interconexión entre las actividades teóricas y prácticas, elementos esenciales para la culminación exitosa del proyecto de investigación.

Tabla 11 : Diagrama de Gantt: Cronograma de actividades

Actividades.	MES / SEMANAS - ACTIVIDADES REALIZADAS - AÑO 2024-II.				
	Jul.	Ago s	Sept	Oct.	Nov.
Presentación de la Planeación.	1				
Metodología del marco lógico.	2				
Planteamiento enunciado Holográfico.	3				
Planteamiento objetivo, justificación y variables.		4			
Delimitación temática y lugar de desarrollo.		5			
Estrategias de recolección de información.		6	7		
Bases de datos y referencias bibliográficas.			8-9		
Elaboración de marcos teóricos.			10		
Maqueta o prototipo.			11-12		
Elaboración Marco Histórico, ambiental y socio cultural.				13-14	
Sustentación final.				15	
Actividades.	MES / SEMANAS - ACTIVIDADES REALIZADAS - AÑO 2025-I.				
	Ene	Feb.	Mar.	Abr.	Ma-Jn
Presentación Documento - Correcciones.	1				
Bases de datos y referencias bibliográficas.	1- 16				

Analizar diferentes tipos materiales y fabricación del prototipo		2-3			
Alimentación del documento	1-16				
Impresión Láser 3d - prototipo.		3-15			
Visitas de campo Referentes ( fotografías, evidencia etc.)		3-15			
Presentación de modulo inicial - borrador		3			
Realización formato de entrevista a profesionales		4			
Entrevista a profesionales.		4 - 13			
Revisión normativa y bibliográfica.	1-16				
Revisión con asesor (es) proyecto		5-16			
Búsqueda y Presentación membrana en PVC Plantas.		3 - 9			
Visita de Campo Grupo con Jardinero – Investigación de caso“Bosque Popular”			7-14		
Elaboración presupuesto costo empresa / Módulo VERDEH2O		4-14			
Visitas a proveedores de filamentos, impresión 3D, Materias primas		3-14			
Prueba de Laboratorio Resistencia Química			6 - 13		
Prueba de Laboratorio Resistencia de Impacto					
Prueba de Laboratorio Resistencia Intemperie.					
Prueba de Laboratorio Resistencia Fuego.					
Prueba de Laboratorio Resistencia Permeabilidad.					
Recolección de análisis y datos de pruebas.					
Instalación prototipo UCMC				11-15	

Conclusiones.				12 -14
Ensayo de sustentación final.				16
Elaboración del documento final.	1-16			
Sustentación final.				17

Fuente: Avila, Blanco, Montilla, Ortiz, 2025

### 3.5. Procedimientos

#### PRIMER OBJETIVO

- A. **Investigación Preliminar:** Se llevará a cabo una revisión exhaustiva de las tecnologías actuales para la recolección y distribución de aguas pluviales, con el objetivo de identificar las mejores prácticas y soluciones que optimicen estos procesos.
- B. **Desarrollo del Diseño:** Se crearán planos y prototipos para un sistema modular que integre tanques de captación, asegurando así una distribución eficiente del agua. En el diseño se tendrán en cuenta las dimensiones adecuadas, la capacidad de almacenamiento y la conexión con las infraestructuras ya existentes.
- C. **Selección de Materiales:** Se hará énfasis en el uso de materiales reciclados para la fabricación del sistema, evaluando su disponibilidad y características técnicas que aseguren la durabilidad y funcionalidad del mismo.

#### SEGUNDO OBJETIVO

- A. **Estudio de Filamentos para Impresión 3D:** Se llevará a cabo un análisis exhaustivo de los filamentos de impresión 3D elaborados a partir de **PLA**, garantizando que se utilicen hasta un 100% de **materiales reciclados**.
- B. **Producción de Componentes:** Mediante la impresión 3D, se fabricarán las partes del sistema, optimizando al máximo el uso de los filamentos seleccionados. Se realizarán pruebas destinadas a validar tanto la calidad como la sostenibilidad de los componentes producidos.
- C. **Evaluación de Eficiencia:** Se implementarán ensayos de resistencia y durabilidad para comprobar el rendimiento del sistema construido con estos materiales.

### **TERCER OBJETIVO**

- A. **Selección de la Vivienda:** Se escogerá una vivienda unifamiliar ubicada en el barrio Bosque Popular de la localidad de Engativá, prestando especial atención a su contexto y asegurando que la integración del sistema no altere su estructura original.
- B. **Instalación del Sistema:** Una vez fabricado el módulo piloto, se procederá a su instalación, garantizando que se integre de manera adecuada en el espacio disponible.
- C. **Seguimiento y Registro:** Se implementará un plan de monitoreo continuo que incluya la recolección de datos sobre la funcionalidad, eficiencia y grado de integración del sistema con el entorno. Esto facilitará la realización de

ajustes y mejoras basadas en el desempeño observado durante un periodo determinado.

### 3.6. Población de Entrevistas

#### I. Pruebas de Laboratorio.

Las pruebas de laboratorio se realizaron en la Universidad Gran Colombia con el apoyo del laboratorista José Luis Rozo, quien nos brindó su espacio para analizar la prueba de material PLA a través de un cubo de 5\*5\*5 cm el cual se realizaron con los siguientes pasos:

1. Se realizó una presentación de nuestro producto, con el objetivo de evaluar su resistencia y peso mediante una prueba de material. Este análisis nos permitió determinar si el sistema es viable para su instalación en cubiertas sin comprometer la integridad estructural.

*Figura 14 Presentación Módulo*



*Fuente: Avila, Blanco, Montilla, Ortiz, 2025*

2. Se obtuvieron datos iniciales del cubo de PLA para calcular prueba de resistencia y densidad que se aplicaron.

Figura 15 Balanza digital con precisión de 0.1 gramos



Fuente: Avila, Blanco, Montilla, Ortiz, 2025

### Datos iniciales:

Tabla 12 Datos Iniciales Módulo

DIMENSIONES	PESO
5*5*5 CM	39.94 r

Fuente: Avila, Blanco, Montilla, Ortiz, 2025

3. Posterior se inició la prueba del cubo PLA 5\*5\*5 en el MARCO PARA COMPRESIÓN HUMBOLDT donde a través de un video se pudo obtener una explicación detallada del laboratorista indicando el funcionamiento de la maquina y resultado de la misma.

Figura 16 Dialogo de Equipo con Laboratorista



Fuente: Avila, Blanco, Montilla, Ortiz, 2025

## **Anexo N°2 video de compresión**

### **Transcripción del video**

(0:08) Bueno, aquí lo que tenemos es un marco de carga, el cual lleva aquí un motor eléctrico. (0:21) La carga se aplica de forma servo-controlada, quiere decir que no son impulsos de carga cíclica

(0:30) sino que es continua la carga, se mantiene la carga siempre durante el proceso del ensayo. (0:36) El elemento entonces, mira aquí, cuando esta plataforma sube, bueno, aquí tenemos montado nuestro elemento,

(0:49) en este caso el cubo, reacciona contra esta celda de carga, la cual me envía una señal a un indicador (0:56) y esa carga estará dada en kilo newtons, ¿listo?

(1:01) A su vez, hay un deformímetro, ¿sí?, electrónico, el cual me va a medir la deformación del elemento (1:09) y esa deformación estará dada en milímetros, ¿listo?

(1:13) La idea es que entonces ustedes toman su carga y la pasan a unidades de esfuerzo,

(1:22) entonces la carga aplicada está en kilonewtons, pero pueden pasarla a kilogramos o a libras, ¿cierto?

(1:29) La dividen en el área de contacto, ¿sí?, y eso le va a dar entonces unidades de esfuerzo.

(1:37) Teniendo las unidades de esfuerzo y la deformación, entonces pueden elaborar una curva de esfuerzo

(1:43) o hacer su deformación, ¿cierto?, como para darle una presentación de su trabajo, ¿listo? (1:53) Y aquí pasará a ver el reporte de ensayo en unidades de esfuerzo, ¿listo?

(2:01) Bien, aquí yo puedo controlar la velocidad, ¿cierto?, del ensayo.

(2:34) Yo lo haría a esa velocidad, 0.5 milímetros por minuto.

(2:39) Si fuera, digamos, un material de pronto más frágil, un material como una arcilla cocida, (2:47) o una preciosa porcelana, o algo así, pues ya entonces cambio las unidades y bajo la velocidad.

(2:54) El rango de velocidad, ¿cierto?, para poder tener lecturas en ese proceso de fallecidos. (3:01) Entre más elástico sea el material, pues entonces puede darle mayor tiempo. (3:07) Más lento va a ser la fuerza que está en los cientos.

(3:11) Sí. (3:12) Entonces, no sé, ¿ustedes qué les parece? (3:16) Bien. (3:20) ¿Estos cinco, eh? (3:24) Sí.

(3:25) Voy a aproximar porque va a estar tocando, ¿cierto?

(3:28) Entonces voy a aproximar aquí con este tornillito. (3:34) Ahí, aquí queda ajustada, acá se da muestra.

(3:37) Es importante que toda el área de contacto del espécimen esté con estos soportes, ¿sí? (3:49) Que no se le salga una parte y esto se quede completamente.

(3:52) ¿Listo? (3:53) Para que la fuerza sea pareja.

(3:54) Para que sea totalmente axial, ¿sí?

(3:57) Y se haga en toda la superficie de la muestra, ¿listo?

(4:01) Ahí ya comienza el ensayo.

(4:05) El equipo me va a guardar una cantidad de datos, ¿sí?

(4:11) Los cuales puedo, después de que termine el ensayo, bajarlos y con esos datos entonces realizo mi curva.

(4:20) Ya en forma manual. (4:39) Una cosita que es la velocidad de volantes.

(4:51) ¿Ese para qué? (4:56) Mirar cómo se están comportando los materiales.

(5:00) Pero lo podemos hacer nosotros y el médico, por ejemplo. (5:03) Ah, ok.

(6:10) Bueno, cuando termina el ensayo.

(6:12) Entonces, cuando la carga que está en kilo newtons empieza a decrecer o a disminuir, pues entonces se da por terminado el ensayo. (6:26) O cuando obtenemos aproximadamente del 15 al 20% de deformación. (6:36) Entonces, si el cubo tiene 5 centímetros, pues el 20% sería 1 centímetro.

De acuerdo a la prueba anterior se arrojaron los siguientes **resultados**:

*Tabla 13 Primeros Resultados*

<b>PARAMETRO</b>	<b>VALOR</b>
Área de sección transversal	25cm <sup>2</sup> (0.0025m <sup>2</sup> )
Peso del cubo	39.34 gr
Deformación (desplazamiento)	1.605mm (0.01605m)
Resistencia a la compresión Mpa	9.31 Mpa

Resistencia a la compresión PSI	1.350 PSI
------------------------------------	-----------

*Fuente: Avila, Blanco, Montilla, Ortiz, 2025*

Como conclusión de esta prueba, se determinó que el material utilizado es funcional como materia prima para nuestro módulo VERDEH2O. Gracias a su bajo peso — comparable al del icopor—, una resistencia de 1.350 PSI y una deformación máxima de solo 1 cm, se concluye que el sistema no compromete la integridad estructural de las cubiertas, sin importar el tipo de vivienda donde se instale.

1. La segunda prueba que se realizó fue de densidad a través de un medidor de deformación servo-controlado, tomando como base inicial se analizó los niveles de densidad de PLA más dos materiales tales como un círculo de aluminio y un cubo de mortero evidenciado en el video el cual relacionamos la siguiente transcripción:

*Figura 17 Prueba de cubo 5\*5\*5 PLA – medidor servo-controlado*



*Fuente: Avila, Blanco, Montilla, Ortiz, 2025*

### **Transcripción:**

(0:00) PLA , Este es un equipo que está pasando un pulso del emisor receptor.

(0:39) Entonces él está midiendo 45 metros por segundo, ¿sí? (0:45) Eso es

básicamente lo que voy a tomar. (0:49) Si yo lo tomo, vamos a poner, por ejemplo, el aluminio.

(0:56) Yo hago el mismo efecto aquí, digamos, ¿sí?

(1:02) ¿Sí ven? La velocidad es mucho más rápida, porque es mucho más denso.

(1:09) Mucho más denso.

(1:11) Entonces tiene que ver con la densidad del material.

(1:14) ¿La densidad de este material es de 0.31?

(1:19) 0.31, sí. (1:21) Entonces, bueno, ¿y la densidad de aluminio?

(1:24) Claro, se supera muchísimo. (1:26) Tenemos como de 6, entonces por eso nos cambia aquí.

(1:33) Si yo traigo un mortero. (1:51) Entonces ustedes lo pueden tomar, ¿cierto?




(1:54) Con un cubo de mortero normal, que es cemento, arena, ¿cierto? (2:01) Y agua. (2:01) Y yo hago en el ensayo un cubo de estos, pues.

(2:07) Tiene una velocidad de 185 metros por segundo. (2:12) ¿Cuántos me estaba dando aquí la velocidad del cubo de PLA? (2:15)

(2:32) 60. (2:34) Bueno, 60. (2:36) Entonces es menos denso, es más liviano, todo eso.

## **Resultados:**

Tabla 14 Segundos Resultados

IMAGEN	MATERIAL	DIMENSIONES	VELOCIDAD (m/s)
	PLA	5*5*5	Superior a los 60 m/s
	MORTERO	5*5*5	Alrededor de los 185 m/s
	ALUMINIO	-	Alrededor de 4000 m/s

Fuente: Avila, Blanco, Montilla, Ortiz, 2025

Como conclusión se obtiene los siguiente:

**Diferencias significativas en velocidad:** La velocidad de onda en aluminio es mucho mayor (4000 m/s), lo que refleja su alta rigidez y densidad, facilitando la rápida propagación de ondas. En contraste, materiales más porosos y menos rígidos como el mortero y el PLA presentan velocidades mucho menores (185 m/s y 60 m/s respectivamente).

**Consistencia con propiedades físicas:** Los resultados son coherentes con las propiedades mecánicas esperadas: el aluminio, siendo un metal denso y rígido, tiene velocidades de propagación de onda altas; el mortero, un material granular y

poroso, presenta velocidades intermedias; y el PLA, un polímero plástico, muestra la velocidad más baja.

### **CONCLUSIONES DE PRUEBA DE LABORATORIO:**

En la Universidad Gran Colombia, con el apoyo del laboratorista José Luis Rozo, realizamos pruebas para evaluar el material **PLA** usado en nuestro módulo **VERDEH2O**. Probamos un cubo de **PLA** de 5x5x5 cm para medir su resistencia y peso. La prueba de compresión mostró que el material es resistente, con una fuerza de 1.350 PSI y una deformación máxima de solo 1 cm. Además, al ser muy ligero, similar al icopor, concluimos que es seguro usarlo en cubiertas sin afectar la estructura, sin importar el tipo de vivienda.

También medimos la velocidad de onda en aluminio, mortero y PLA. El aluminio presentó la mayor velocidad (4000 m/s) por ser un metal rígido, el mortero tuvo un valor intermedio (185 m/s), y el PLA mostró la velocidad más baja (60 m/s), acorde con sus propiedades plásticas y menos densas.

Con estos resultados concluimos que el PLA es un material viable para fabricar el módulo VERDEH2O en un tamaño prototipo de 20x20x8 cm, que será usado para nuestro proyecto de tesis. Este módulo combina ligereza y resistencia, y es adecuado para instalar en cubiertas y fachadas verdes, aportando a soluciones sostenibles y eficientes en construcción.

### **ENTREVISTAS:**

#### **1. Beneficios Ambientales**

Las huertas en cubiertas aportan múltiples beneficios ambientales, destacando la mejora de la calidad del aire. Los participantes subrayan que estas intervenciones pueden ayudar a capturar contaminantes atmosféricos, generando un ambiente más saludable en una localidad tan densamente poblada como Engativá. Además, al fomentar la biodiversidad urbana, se promueve la presencia de polinizadores y otros beneficios ecológicos. Estas acciones contribuyen a la creación de "pulmones verdes" que son esenciales para reducir la presión sobre el entorno urbano.

## **2. Impacto en la Temperatura Interna y calidad del aire.**

Las huertas actúan como aislantes térmicos, disminuyendo la temperatura interna de las viviendas. Esta propiedad es particularmente valiosa en los días calurosos, ya que ayuda no solo a aumentar el confort de los habitantes, sino también a reducir la dependencia de ventilación artificial. La capacidad de las plantas para filtrar contaminantes y aumentar la producción de oxígeno es relevante, especialmente para mejorar la calidad del aire, que es un tema crítico de salud pública en áreas urbanas.

## **3. Reducción del Efecto Isla de Calor.**

Se destaca que la implementación de huertas puede mitigar el efecto isla de calor, un fenómeno que se intensifica en áreas urbanas con alta concentración de superficies duras. Las intervenciones verdes, como las cubiertas ajardinadas, contribuyen a la disminución de la acumulación térmica al proporcionar sombra y liberar humedad. Esto puede generar un efecto acumulativo, mejorando la

temperatura promedio del barrio y favoreciendo la salud y el bienestar de los residentes.

#### **4. Viabilidad Estructural y Técnica**

La viabilidad estructural de las huertas es una cuestión crítica. La variedad en el diseño de estructuras y su capacidad de carga requiere una revisión técnica previa que debe incluir la participación de ingenieros. Recomendaciones de carga mínima y la utilización de materiales livianos son esenciales para evitar riesgos. Este aspecto resalta la necesidad de educación y capacitación técnica tanto para los residentes como para los gestores de proyectos.

#### **5. Manejo del Agua.**

Se propone la recolección de agua de lluvia y el uso de aguas grises como estrategias fundamentales para el manejo eficiente del agua en huertas urbanas. Esta aproximación no solo preserva un recurso valioso, sino que también promueve una cultura de sostenibilidad en comunidades de bajos recursos. Sin embargo, se enfatiza que la falta de un manejo adecuado del agua puede tener consecuencias graves, como la proliferación de mosquitos y enfermedades transmitidas por vectores.

#### **6. Compostaje y Residuos.**

El establecimiento de sistemas de compostaje es considerado viable y beneficioso para las huertas, contribuyendo a la reducción de residuos orgánicos y cerrando el

ciclo de nutrientes. La capacitación en el manejo del compost es esencial para maximizar su potencial y evitar problemas como olores o plagas.

## **7. Normativas y Políticas.**

Se identifica la existencia de normativas y restricciones que deben observarse al implementar huertas en cubiertas, como la capacidad estructural y la impermeabilización. Sin embargo, se encuentran también oportunidades a través de programas y apoyos del distrito para fomentar iniciativas de agricultura urbana. La colaboración con organizaciones comunitarias puede facilitar el acceso a estos recursos y reforzar la participación local.

### **3.7. Técnicas e instrumentos**

Las técnicas de investigación a realizar son: una serie de entrevistas y encuestas para recoger información cuantitativa y cualitativa sobre la implementación del sistema de recolección de aguas lluvias.

1. Establecer criterios de diseño y construcción para las cubiertas verdes que integren cultivos urbanos, considerando las expectativas estéticas y funcionales de los residentes del barrio Bosque Popular.
2. Comprender los métodos de instalación y mantenimiento del sistema VerdeH2O, además de los procedimientos necesarios para asegurar la correcta integración de los materiales reciclados **PLA**. Se busca aprender de la experiencia de profesionales en sostenibilidad y recolección de aguas lluvias.

3. Identificar las mejores prácticas y técnicas en el uso de materiales reciclados, así como las consideraciones ambientales que deben tenerse en cuenta al implementar el sistema, garantizando que la solución no solo sea efectiva, sino también amigable con el entorno.
4. Evaluar el impacto potencial del sistema en la resiliencia ambiental de la comunidad, y cómo puede servir como modelo a seguir para otras viviendas en entornos urbanos.

### **A. Respuestas**

Nombre: Joan Sebastián Torres – Ingeniero

#### **I. ENCUESTA**

1. ¿Qué beneficios ambientales podría aportar la instalación de huertas en cubiertas en barrios populares como los de Engativá?

Rta. / La mejora de la calidad del aire ya que Engativá es una localidad que captura un alto nivel de contaminantes atmosféricos debido a que es densamente poblada.

¿Qué impacto tiene este tipo de intervención en la temperatura interna de las viviendas o en la calidad del aire local?

Rta. / Las huertas “caseras” contribuyen al enfriamiento debido a que las plantas liberan vapor y sombra, además que por las capas de suelo transfieren ese calor al interior de los inmuebles inferiores.

¿Cómo puede contribuir esta propuesta a mitigar el efecto de isla de calor en zonas densamente urbanizadas?

Rta. / Debido a que este fenómeno se da por falta de vegetación, al contar con huertas se tendrá más sombra, además de que estas liberan humedad al ambiente, lo cual ayuda a refrescar el aire. Sobre la viabilidad estructural y técnica:

¿Existen recomendaciones sobre el peso máximo que se puede instalar en una cubierta sin poner en riesgo la estructura?

Rta. / Tiene muchas variables ya que depende del tipo de estructura en la que esté construido, el uso inicial para el que se construyó, si tiene o no tráfico, antigüedad y estado de conservación y la distribución del peso que se realice. Sobre el manejo del agua:

¿Qué estrategias de manejo eficiente del agua son apropiadas para evitar desperdicios en zonas de bajos recursos?

Rta. / Recolección de agua lluvias / reutilizar las aguas grises / Cambio de cultura / crear estrategias para evitar desperdicios

¿Cuáles son los riesgos ambientales o sanitarios de un mal manejo del agua en techos?

Rta. / De no tener un buen manejo crea mosquitos y por ende enfermedades transmitidas por los mismos ya que al haber aguas estancadas se crea esta posibilidad además de contaminación del agua que si es consumida puede también causar otros problemas de salud. Sobre residuos y compostaje.

¿Es viable implementar un sistema de compostaje en los módulos?

Rta. / De no tener un buen manejo crea mosquitos y por ende enfermedades transmitidas por los mismos ya que al haber aguas estancadas se crea esta posibilidad además de contaminación del agua que si es consumida puede también causar otros problemas de salud.

¿Existen restricciones ambientales o normativas distritales que deban tenerse en cuenta para instalar huertas en cubiertas en Engativá?

Rta. / Sí, principalmente relacionadas con la capacidad estructural del inmueble, la impermeabilización previa de la cubierta, y la autorización de uso si se trata de vivienda multifamiliar. Además, debe verificarse que no se afecten redes de servicios públicos ni estructuras vecinas. Algunas curadurías o la Secretaría de Planeación pueden requerir concepto técnico previo.

¿Hay incentivos o programas ambientales del distrito que puedan apoyar este tipo de iniciativas comunitarias?

Rta. / Sí, el distrito ha promovido programas como “Bogotá es mi huerta”, además del apoyo de la Secretaría Distrital de Ambiente y Jardín Botánico para iniciativas de agricultura urbana. También existen convocatorias para proyectos sostenibles que incluyen acompañamiento técnico, insumos o capacitación comunitaria.

## **II. ENTREVISTA**

Nombre: María Camila Torres – Ingeniera Ambiental.

### **Sobre sostenibilidad y medio ambiente urbano:**

¿Qué beneficios ambientales podría aportar la instalación de huertas en cubiertas en barrios populares como los de Engativá?

Rta. / Este tipo de huertas pueden aportar bastante, sobre todo en términos de mejorar la calidad del aire, promover la biodiversidad urbana y crear pequeños pulmones verdes en zonas densamente construidas. También ayudan a reducir la cantidad de residuos orgánicos si se complementan con compostaje y fomentan una cultura ambiental positiva en la comunidad.

¿Qué impacto tiene este tipo de intervención en la temperatura interna de las viviendas o en la calidad del aire local?

Rta. / Las cubiertas verdes o con huertas actúan como una especie de aislante térmico. Esto ayuda a disminuir la temperatura interna de las viviendas, especialmente en días de mucho sol. Además, las plantas contribuyen a purificar el aire y generar más oxígeno, lo cual mejora la calidad del aire local.

¿Cómo puede contribuir esta propuesta a mitigar el efecto de isla de calor en zonas densamente urbanizadas?

Rta. / El efecto isla de calor se da por la gran cantidad de superficies duras como concreto y asfalto que absorben y retienen calor. Al incorporar vegetación en techos o muros, se reduce esa acumulación térmica. Las plantas dan sombra, liberan humedad y disminuyen la temperatura ambiente, lo que puede hacer una gran diferencia a nivel local. Sobre la viabilidad estructural y técnica:

¿Existen recomendaciones sobre el peso máximo que se puede instalar en una cubierta sin poner en riesgo la estructura?

Rta. / Sí, es importante que antes de instalar cualquier huerta o cubierta verde, se haga una revisión técnica de la estructura con un ingeniero civil o arquitecto. Cada tipo de cubierta tiene una capacidad de carga diferente y factores como la edad del edificio, el tipo de materiales o el uso original influyen bastante. En general, es recomendable que las cubiertas tengan una capacidad mínima de carga de 150 kg/m<sup>2</sup> para instalaciones livianas, pero esto debe verificarse caso por caso. Sobre el manejo del agua:

¿Qué estrategias de manejo eficiente del agua son apropiadas para evitar desperdicios en zonas de bajos recursos?

Rta. / Se puede empezar con sistemas sencillos de captación de aguas lluvias para el riego de las huertas. También es útil educar sobre el uso de riego por goteo, que ahorra bastante agua, y sobre cómo reutilizar aguas grises tratadas. La clave está en adaptar soluciones de bajo costo que sean sostenibles a largo plazo.

¿Cuáles son los riesgos ambientales o sanitarios de un mal manejo del agua en techos?

Rta. / Si el agua se estanca puede convertirse en criadero de zancudos, generando enfermedades como dengue o chikunguña. Además, el agua acumulada deteriora las estructuras, puede generar hongos y filtraciones, y si se mezcla con residuos, contamina el entorno. Por eso, siempre debe haber un buen drenaje y mantenimiento. Sobre residuos y compostaje:

¿Es viable implementar un sistema de compostaje en los módulos para aprovechar los residuos orgánicos del hogar?

Rta. / Totalmente viable. De hecho, integrar el compostaje con las huertas es una excelente estrategia para cerrar el ciclo de los residuos orgánicos. Se pueden usar composteras pequeñas o vermi-compostaje (con lombrices) que son fáciles de manejar en espacios reducidos. Eso sí, es importante capacitar a las personas para que hagan un uso adecuado y eviten malos olores o plagas. Sobre normativas y políticas:

¿Existen restricciones ambientales o normativas distritales que deban tenerse en cuenta para instalar huertas en cubiertas en Engativá?

Rta. / Sí, principalmente se debe tener en cuenta la norma urbanística local, especialmente en edificios residenciales multifamiliares. Además, algunas construcciones requieren conceptos estructurales o permisos si se va a modificar el uso de la cubierta. No hay una ley que lo prohíba, pero sí se deben seguir lineamientos técnicos y de seguridad.

¿Hay incentivos o programas ambientales del distrito que puedan apoyar este tipo de iniciativas comunitarias?

Rta. / Sí, Bogotá tiene varios programas a través del Jardín Botánico, la Secretaría de Ambiente y otras entidades como IDPAC. Algunos apoyan con capacitaciones, insumos para huertas urbanas, o incluso acompañamiento técnico. Lo ideal es presentar la propuesta dentro de una organización o colectivo barrial para acceder más fácilmente a estos beneficios.

### III. Entrevista.

Hola, hola Juliana, buenas noches, ¿cómo te va? Claro que sí, claro que sí. ¿En qué te puedo colaborar? Sí, claro que sí. La instalación de huertas aporta múltiples beneficios ambientales. En primer lugar, ayuda a mejorar la calidad en el aire, captura partículas contaminantes y genera oxígeno. Además, promueve la biodiversidad urbana al traer polinizadores como abejas y mariposas. También reduce la escorrentía de aguas lluvias, lo que ayuda a prevenir inundaciones locales y convierte espacios subutilizados en zonas verdes productivas, lo cual es muy valioso en zonas densamente urbanizadas como Engativá. Claro, las huertas encubiertas actúan como aislantes térmicos. Al cubrir el techo con vegetación y sustrato, se reduce significadamente la absorción de calor, lo que puede disminuir la temperatura interna de las viviendas en varios grados. Esto se produce en mayor confort térmico y menor necesidad de ventilación artificial. En cuanto al aire, las plantas ayudan a filtrar contaminantes y mejoran la Lo cual beneficia especialmente a personas con enfermedades respiratorias. Claro, el efecto isla de calor urbano se debe a la acumulación de calor en superficies como techos y pavimentos. Las huertas encubiertas contrarrestan a reflejar menos calor y liberar humedad a través de la evapotranspiración. al replicarse en múltiples viviendas este tipo de intervención que puede tener un efecto acumulativo que ayuda a reducir la temperatura promedio del sector. Sí, existen recomendaciones estructurales específicas. Por lo general, una cubierta convencional soporta entre 100 y 200 kilogramos metros, pero cada caso debe ser evaluado por un ingeniero civil o estructural. Para huertas en techo se recomienda optar por sistemas de cultivo

livianos, como camas de... sus tractos más ligeros que la tierra convencional y módulos móviles que distribuyan el peso uniformemente. La recolección de agua de lluvia es una estrategia clave. Se pueden instalar sistemas sencillos de canalización desde los techos hacia tanques para riesgos por goteo, lo cual maximiza el uso del agua. También es recomendable usar coberturas vegetales o mucho para reducir la evaporación y adaptar especies resistentes a sequías. Estas prácticas minimizan el consumo y optimizan cada gota. Un mal manejo puede generar acumulación de agua estancada, que propicia la proliferación de vectores como mosquitos, con riesgos de enfermedades como el dengue. Además, si no hay un adecuado drenaje, puede haber filtraciones que deterioren la estructura de la vivienda o generen humedad interna y moho, afectando la salud de los habitantes. Sí, es totalmente viable. Existen sistemas de compostaje compactos y domiciliarios que permiten transformar los residuos orgánicos en abono para las huertas. Además, en zonas bajo recursos, esto reduce la cantidad de basura generada y crea un ciclo cerrado de nutrientes. Solo es necesario asegurar una correcta separación de residuos y educación básica en el manejo del compost. Sí, aunque no hay una prohibición general, deben cumplirse y ciertas normas de construcción y salubridad. Es importante revisar el plan de ordenamiento territorial y las normas del GFN cuando a seguridad estructural también se deben respetar restricciones si la vivienda está con una zona de conservación o con algún tipo de protección ambiental. Sí, claro. La Secretaría Distrital de Ambiente y otras entidades como el Jardín Botánico de Bogotá ofrecen programas de agriculturas urbanas y educación ambiental. Existen convocatorias de apoyo técnico y en algunos casos financieros para proyectos comunitarios sostenibles. Además, en el marco del Plan de Acción Climática de

Bogotá se priorizan iniciativas que reduzcan las emisiones y aumenten la resiliencia urbana como las huertas urbanas. Claro que sí, con mucho gusto.

### **3.8. Antecedente del problema a investigar**

El creciente desafío de la gestión del **agua** en entornos urbanos se manifiesta en diversos problemas, como el aumento de costos asociados al uso de **agua** potable, la pérdida de **biodiversidad** y la escasez de áreas verdes. Las ciudades se enfrentan a una presión constante para satisfacer la creciente demanda de **agua** de su población, mientras que la escasez de **espacios verdes** afecta tanto el bienestar de sus habitantes como la salud del **medio ambiente**.

Es fundamental construir infraestructuras adecuadas y sostenibles que mejoren la eficiencia en el uso del **agua**. Sin embargo, muchos proyectos carecen de un enfoque integral que contemple el diseño de sistemas de captación de **agua** y también la implementación de tecnologías avanzadas de riego. La recolección y manejo adecuado del agua de lluvia son aspectos que a menudo se subestiman, lo que agrava aún más la problemática de los **recursos hídricos**.

En este contexto, se hace imperativo implementar estrategias que no solo sean rentables, sino que también promuevan la **biodiversidad** y la **sostenibilidad**. La falta de asesoramiento técnico y profesional en tecnologías de riego y gestión del agua de lluvia limita la capacidad de los usuarios finales para adoptar prácticas eficientes y responsables.

La presente investigación se propone abordar estos desafíos a través del desarrollo de un sistema de riego eficiente que mejore la **sostenibilidad** y disminuya el

consumo de agua potable, al tiempo que impulsa la creación de áreas verdes urbanas y favorece la conservación de la biodiversidad. Esto no solo generará un impacto positivo en la calidad de vida de los habitantes, sino que también contribuirá a la creación de un entorno urbano más resiliente y saludable.

### **3.8.1. Sistemas de Recolección de Aguas Lluvias en Arquitectura Sostenible**

En los últimos años, los sistemas de recolección de **aguas pluviales** han cobrado una relevancia significativa en el ámbito de la arquitectura sostenible, especialmente en entornos urbanos que aspiran a optimizar el consumo de **agua** y mitigar el impacto ambiental. Estos sistemas son fundamentales para reducir la dependencia del **agua potable** en actividades no esenciales, como el riego y la limpieza. Las cubiertas verdes se presentan como una solución ideal para incorporar estas iniciativas, ya que contribuyen no solo a la recolección de **agua**, sino también a mejorar el aislamiento térmico y la calidad del aire.

### **3.8.2. Beneficios Ambientales de Cubiertas Verdes**

Las cubiertas verdes ofrecen muchos beneficios ambientales. Además de mejorar la biodiversidad y la **calidad del aire**, también ayudan a reducir el consumo energético en los edificios. Al incluir sistemas de recolección de **aguas lluvias**, se disminuye la carga sobre los sistemas de alcantarillado, reduciendo la escorrentía. Estos espacios también ayudan a mitigar el "efecto de **isla de calor**", ya que las plantas absorben el calor y liberan humedad, mejorando el microclima urbano. En conjunto, estos sistemas contribuyen a hacer las ciudades más **sostenibles** y agradables para vivir.

### 3.8.3. Tecnologías y Materiales Sostenibles para la Captación de Agua

La construcción de sistemas para captar agua de lluvia ha avanzado gracias a la integración de materiales sostenibles y tecnologías eficientes. Se busca reducir el impacto ambiental utilizando materiales reciclados que favorecen la absorción de agua. Tecnologías como los módulos permiten almacenar agua en espacios pequeños sin necesidad de grandes modificaciones estructurales. Estos avances combinan sostenibilidad y funcionalidad, haciendo que la captación de agua sea más eficiente y duradera.

Tabla 15 Tipos de tecnologías

Nombre	País	Función
Uso de la cáscara de coco (Cocos nucifera) como medio filtrante en el tratamiento del agua  Andrea Yesebel Rondón Perdomo, Castillo Campos, L. A., & Miranda, J. (2020)	Venezuela	El estudio evalúa el uso de cáscara de coco pulverizada como medio filtrante para el agua, con partículas de 2 mm mostrando los mejores resultados. La filtración redujo los sólidos suspendidos de 170 mg/L a 53 mg/L (68,82%) y los aceites en agua en un 98,55%.
Diseño hidrológico de un sistema VAC  Manuela Caicedo Garzón, Guzmán Parra, P. A., Castro Hernández, V. A., & Robayo Martínez, K. D. (2020)	Caimo ubicado en el municipio de Villa de Leyva, Boyacá	Se implementó un sistema para mejorar la productividad agrícola aprovechando el agua de lluvia. Utilizando modelos matemáticos y Sistemas de Información Geográfica (SIG), se identificaron puntos estratégicos para la captura de agua, logrando una reducción del 4% en la escorrentía y capturando 1,475,823 litros de agua. Esto benefició el uso de la finca para cultivos, aumentando así su productividad.
Metodologías de recarga de agua subterránea en un sistema de producción de <i>Tectona grandis</i> Linn F	Finca San Felipe, Yacopí	Este trabajo propone metodologías para recargar agua subterránea en sistemas agrícolas sostenibles utilizando el cultivo de <i>Tectona grandis</i> (Teca). Este

Daniela Herrera Báez, & Valentina, P. L. (2020)		<p>árbol, que germina a temperaturas de 22°C a 28°C, contribuye al enfriamiento del suelo y a la absorción de agua subterránea mediante la evapotranspiración. Se recomienda la siembra en surcos con la metodología de línea clave para facilitar la infiltración y el sistema VAC para reciclar nutrientes y residuos. Estas técnicas combinadas mejoran la captación de agua subterránea y aumentan la productividad agrícola, apoyando la sostenibilidad y la actividad económica de la finca.</p>
---	--	--

Fuente: Avila, Blanco, Montilla, Ortiz, 2025

### 3.9. Estado del Arte del problema a investigar

Dentro del artículo *“Sustainable Urban Rainwater Harvesting Systems: A review of current practices and future directions*, da una perspectiva actual de cómo esas prácticas actuales de implementación de sistemas de captación de aguas lluvias en las ciudades se requiere de manera urgente y necesaria implementarlas, cumpliendo con la necesidad de crear propuestas innovadoras sostenibles.

En el presente proyecto, se propone la implementación de un módulo tridimensional elaborado con plástico reciclado, el cual integrará tanto plantas decorativas como especies destinadas a la **agricultura** urbana. Este módulo no solo servirá como un elemento estético y funcional, sino que también estará diseñado para optimizar la captación de **aguas pluviales**, lo que permitirá irrigar las plantas de manera sostenible. De esta forma, se busca reducir la dependencia del consumo de **agua potable**, un recurso que enfrenta serios retos en su disponibilidad. Esta iniciativa no solo contribuirá al embellecimiento de los espacios urbanos, sino que también se

alinea con los esfuerzos por promover prácticas más responsables y conscientes en el cuidado del **medio ambiente**.

los puntos importantes que se deben tener en cuenta son los siguientes:

- I. **Demanda de agua Urbana:** El artículo detalla de manera puntual que las áreas urbanas enfrentan en este momento una presión significativa sobre los recursos hídricos que poseen, por lo cual implementar de manera continua sistemas que capten y aprovechen las aguas lluvias permitirá reducir la dependencia del consumo de agua potable para cubiertas verdes.
- II. **Optimización de almacenamiento:** Destaca que al optimizar el almacenamiento en temporadas de alta sequía “Smith et al. (2020) menciona que la optimización del almacenamiento y la adopción de tecnologías sostenibles innovadoras serán cruciales para superar la escasez de agua en entornos urbanos”
- III. **Innovación tecnológica:** Los sistemas de captación modulares, el cual se utiliza con una metodología de bloques interconectados, lo cual permite una mayor flexibilidad y adaptabilidad según necesidades del cliente, estos al adaptarse a cualquier tipología optimiza de manera integrada la captación de aguas lluvias en cualquier estructura que lo demanda.

### 3.10. Marcos contextual o referencial

#### 3.10.1. Marco Teórico

Los sistemas de captación de **aguas lluvias** son fundamentales para la gestión hídrica sostenible en áreas urbanas como Bogotá. Estos sistemas permiten recolectar y almacenar el **agua de lluvia**, que de otro modo se perdería en los desagües. El uso de agua para irrigar **cubiertas verdes** representa una contribución significativa en la reducción del consumo de **agua potable**, aliviando así la presión sobre los recursos hídricos de la ciudad. De acuerdo con el *Instituto Distrital de Gestión del Riesgo y el Cambio Climático (IDIGER)*, la implementación de sistemas de captación de **aguas lluvias** no solo favorece la sostenibilidad, sino que también mejora la calidad del aire y crea **espacios vegetativos** que promueven la biodiversidad urbana. Además, estos sistemas son una herramienta eficaz para mitigar los efectos de las inundaciones, un riesgo cada vez más presente debido al **cambio climático**.

#### 3.10.2 Clasificación de plantas

En este documento, se presenta un cuadro que clasifica las diversas plantas empleadas en los sistemas de captación de aguas lluvias. Esta clasificación proporciona una visión clara de las diferentes especies vegetales que pueden ser incorporadas en dichos sistemas, junto con sus respectivas adaptaciones y beneficios. Comprender las características de cada tipo de planta es fundamental para el diseño efectivo de infraestructuras verdes y la gestión sostenible del agua.

Tabla 16 Tipos de plantas

Planta	Tipo	Tamaño	Crecimiento	Características
<b>Lechuga</b>	Hortaliza	Baja (10-30 cm)	Suelo bien drenado, sombra parcial	Crecimiento rápido, hojas tiernas y de buen sabor
<b>Cilantro</b>	Hierba	Baja (30-50 cm)	Suelo fértil, sol parcial	Aporta sabor a diversos platillos, crece rápido
<b>Perejil</b>	Hierba	Baja (30-50 cm)	Suelo fértil, humedad media	Usado como condimento, resistente y de fácil cultivo.
<b>Tomate Cherry</b>	Fruta	Media (30-60 cm)	Suelo rico, sol directo	Variedades pequeñas, fáciles de cultivar en macetas.
<b>Fresas</b>	Fruta	Baja (20-30 cm)	Suelo rico, sol directo	Muy populares, fructíferas e ideales para techos.

Fuente: Avila, Blanco, Montilla, Ortiz, 2025 - Tomado de Impulsemillas

### 3.10.3. Tipo de Sustrato

De acuerdo con “El sustrato que debe utilizar en las plantas para que no se pudran con las lluvias” indican que el sustrato recomendado en este caso sería una mezcla que contenga entre un **10% y un 30% de perlita**, combinada con materiales como turba o compost orgánico. Esta mezcla asegura un buen drenaje y la prevención de problemas relacionados con la saturación de agua. *El sustrato que debe utilizar en las plantas para que no se pudran con las lluvias. (2024, Jun 21).* En cuanto a las características principales que este nos brinda son las siguientes:

Tabla 17 Tipos de sustratos

Características	Descripción
<b>Componente principal</b>	Perlita (10% - 30% de la mezcla)

<b>Materiales adicionales</b>	Turba o compost orgánico
<b>Propiedades</b>	- <b>Drenaje eficiente:</b> La perlita permite un drenaje óptimo, evitando la saturación de agua.
	- <b>Aireación:</b> Mejora la circulación de aire en el sustrato, favoreciendo la respiración de las raíces.
	- <b>Retención de humedad:</b> Retiene agua sin compactarse, lo que previene la pudrición de raíces.
<b>Beneficios</b>	- Previene la pudrición de raíces durante lluvias intensas.
<b>Proporción recomendada de perlita</b>	10% - 30%

<b>Características</b>	<b>Descripción</b>
<b>Componente principal</b>	Turba
<b>Materiales adicionales</b>	—
<b>Propiedades</b>	- <b>pH: 5.2 a 6.0</b>
	- <b>Contenido de cenizas: 15%</b>
	- <b>Estructura: 0-6 mm</b>
<b>Beneficios</b>	- Apto para una variedad de hortalizas, plantas de interior y ornamentales, Ideal para germinación de semillas y propagación de plantas jóvenes.
<b>Proporción recomendada de perlita</b>	Alta capacidad de retención de humedad (40-60%).

Fuente: Avila, Blanco, Montilla, Ortiz, 2025

### 3.10.4. Tipo de Impermeabilizante PVC

Tabla 18 Tipo de Impermeabilizante

<b>Características</b>	<b>TOXEMEN T: EUCO Membrana Cubiertas PVC - FV</b>	<b>Membrana PVC (GSA Ingeniería)</b>	<b>Covertexsa PVC (Texsa)</b>

<b>Durabilidad</b>	35 años	20 años	25 años
<b>Espesor</b>	1.5 mm	1.0 – 1.5 mm	1.2 – 2.0 mm
<b>Resistencia UV</b>	Alta	Alta	Alta
<b>Temperatura de trabajo</b>	-30°C a 80°C	-30°C a 90°C	-30°C a 90°C
<b>Flexibilidad</b>	Excelente	Buena	Muy buena
<b>Instalación</b>	Soldable o Adhesiva	Soldable o Adhesiva	Soldable o Adhesiva
<b>Acabado</b>	Superficie Lisa	Superficie lisa o textura	Superficie lisa o textura
<b>Resistencia química</b>	Buena	Excelente	Muy buena
<b>Mantenimiento</b>	Bajo	Bajo	Bajo, pero puede requerir mantenimiento periódico
<b>Costo</b>	Medio	Variable	Medio - Alto
<b>Impacto ambiental</b>	Bajo ( Reciclable)	Bajo ( Reciclable)	Bajo ( Reciclable)
<b>Pro</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Larga Duración</li> <li>● Alta resistencia a la intemperie</li> <li>● Fácil de instalar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Variedad de espesores</li> <li>● Excelente resistencia química</li> <li>● Mantenimiento bajo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Varias opciones de presentación</li> <li>● Buena flexibilidad y adaptabilidad</li> <li>● Instalación sencilla y rápida</li> </ul>

<b>Con</b>	Costo inicial medio	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Menor durabilidad comparativa</li> <li>• Menor flexibilidad en comparación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Costo más alto en algunos espesores</li> <li>• Puede requerir mantenimiento en ciertos casos</li> </ul>
------------	---------------------	--	--

Fuente: Avila, Blanco, Montilla, Ortiz, 2025

### 3.10.5 Temporadas secas y lluvia en Bogotá

Bogotá, la capital de Colombia, presenta un clima característico que se traduce en dos temporadas principales de lluvias y temporadas secas. Según el Instituto Distrital de Gestión del Riesgo y el Cambio Climático (**IDIGER**), la ciudad experimenta un patrón bimodal de precipitación. Los períodos de lluvias más significativos ocurren de marzo a mayo y de octubre a noviembre, durante los cuales las precipitaciones pueden ser intensas y continuas.

Durante la primera temporada de lluvias, que abarca desde marzo hasta mayo, las lluvias suelen ser más frecuentes y pueden acompañarse de tormentas eléctricas. Esta época es crucial para la recarga de los recursos hídricos de la región. Por otro lado, entre los meses de octubre y noviembre, se presenta el segundo pico de lluvias, en el que se repiten patrones similares de precipitación intensa, que pueden dar lugar a desbordamientos en algunos ríos y al riesgo de deslizamientos de tierra en zonas vulnerables.

Entre diciembre y febrero se observa la temporada seca, durante la cual las precipitaciones son significativamente menores. No obstante, las paradojas del

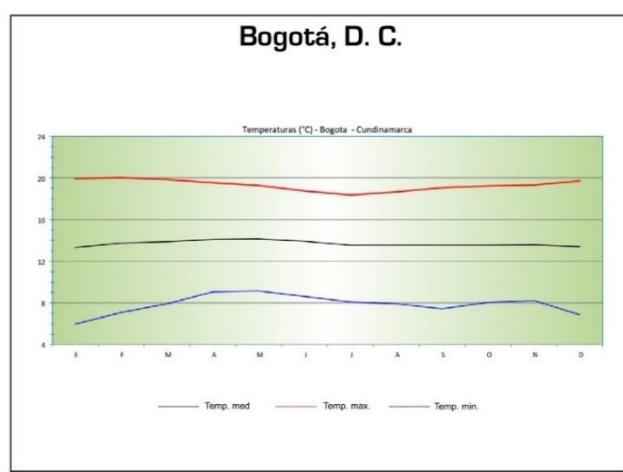
clima local permiten que se presenten lluvias esporádicas incluso en estos meses, lo que puede alterar el pronóstico habitual.

La dinámica de lluvias y sequías en Bogotá no solo afecta la vida cotidiana de sus habitantes, sino que también implica la necesidad de una adecuada planificación urbana y gestión del riesgo. Las autoridades competentes, como **IDIGER**, trabajan continuamente para mitigar los efectos adversos de estos fenómenos naturales y promover un desarrollo sostenible en la ciudad. **(IDIGER, 2023)**.

### 3.10.6. Temperatura promedio del aire mínima y máxima

En la Sabana de Bogotá, ubicada a aproximadamente 2,500 m s. n. m., las temperaturas máximas medias son más frías, rondando los 20 °C. Esto demuestra cómo la altitud influye en el clima local, siendo un factor determinante en las variaciones de temperatura en la región andina.

Figura 18 Comportamiento de las temperaturas media, máxima media en Bogotá D.C.

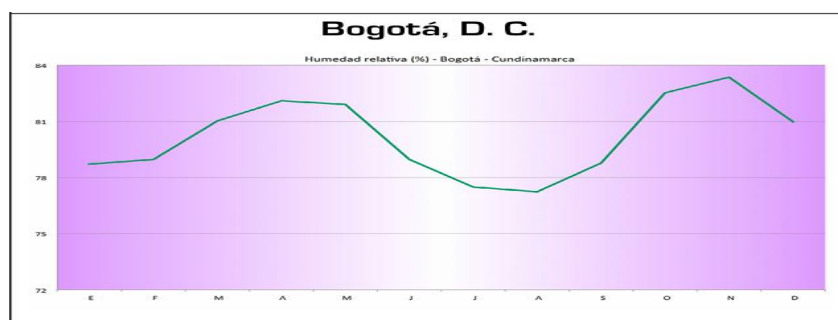


Fuente: IDEAM – Atlas climatológico de Colombia, 2025.

### 3.10.7. Humedad relativa

En la mayoría de la región, el patrón de variación de la humedad a lo largo del año presenta características bimodales, donde la diferencia entre el mes con mayor y menor humedad oscila entre el 10% y el 15%. Los meses que suelen registrar los niveles más bajos de humedad son julio y agosto; sin embargo, en zonas como los Santanderes y el altiplano cundiboyacense, los valores más bajos pueden aparecer en enero y febrero. En términos de máximos, la etapa de mayor humedad se alinea con los meses de la segunda temporada de lluvias en prácticamente toda la región.

Figura 19 Marcha anual de la humedad relativa media en Bogotá D.C.

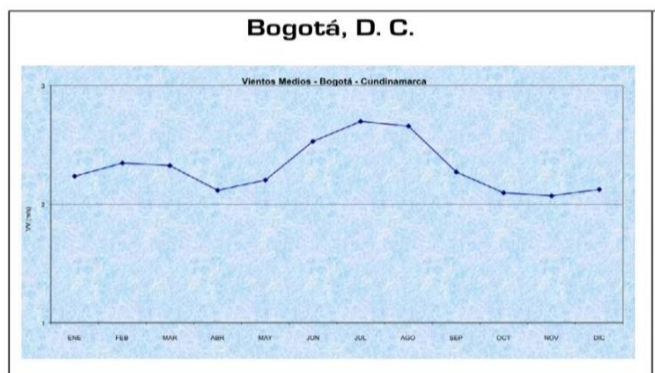


Fuente: IDEAM – Atlas climatológico de Colombia, 2025.

### 3.10.8. Velocidad del viento

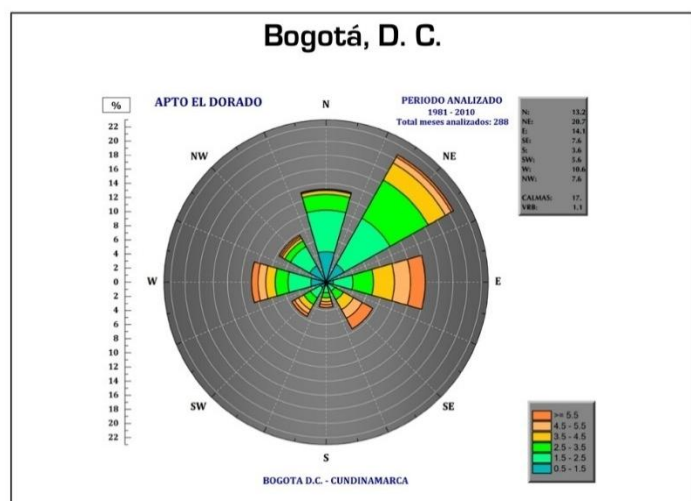
Los principales periodos de vientos fuertes que hay en el año surgen en los meses de julio y agosto y otro menos notorio en inicio del año, en un promedio general los vientos rara vez superan los 3m/s.

Figura 20 Distribución de la velocidad media del viento durante el año en Bogotá D.C.



Fuente: IDEAM – Atlas climatológico de Colombia, 2025.

Figura 21 Rosa de vientos de Bogotá D.C.



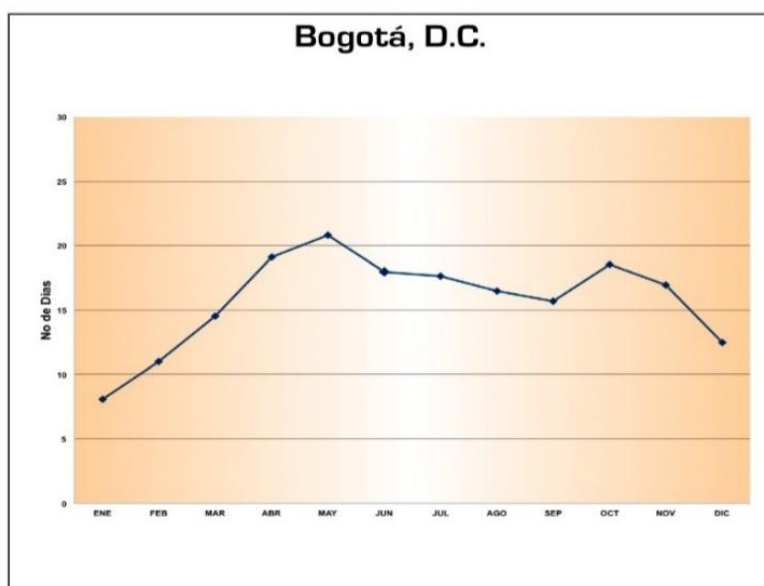
Fuente: IDEAM – Atlas climatológico de Colombia, 2025.

### 3.10.9. Mes del año con mayor y menor número de días de lluvia

Según el *Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM, 2015)*, en Bogotá la cantidad de días lluviosos al año varía notablemente, con un promedio de 120 a 150 eventos de lluvia anuales. La distribución de las precipitaciones no es uniforme; los meses de mayor actividad pluviométrica son octubre y noviembre, donde se registran hasta 20 días con lluvia. La zona andina,

donde se sitúa la ciudad, presenta variaciones en la intensidad de la lluvia, siendo más intensa en la alta cordillera y los alrededores de la misma. Por el contrario, enero se caracteriza por ser el mes con menor cantidad de días lluviosos, con un promedio de entre 5 y 7 días de lluvia. En general, la humedad relativa en Bogotá es alta, oscilando entre 65% y 80%, lo que, junto con la frecuencia dominante del viento del suroeste y temperaturas promedio entre 10°C y 20°C, configura un clima templado y húmedo característico de la región.

Figura 22 Número medio de días con lluvia en Bogotá D.C



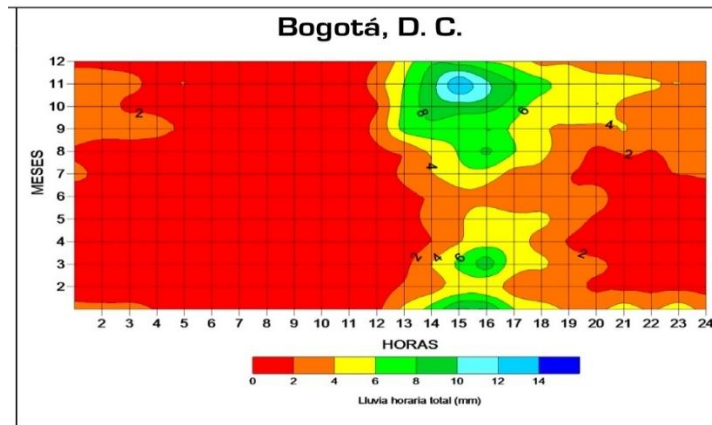
Fuente: IDEAM – Atlas climatológico de Colombia, 2025.

Tabla 19 Promedios multianuales del número de días con lluvia en Bogotá D.C.

Ciudad / Días	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic	Anual
<b>Bogotá D.C</b>	8	11	15	19	21	18	18	16	16	19	17	12	189

Fuente: Avila, Blanco, Montilla, Ortiz, 2025

Figura 23 Distribución horaria de la precipitación en Bogotá D.C.



Fuente: IDEAM – Atlas climatológico de Colombia, 2025.

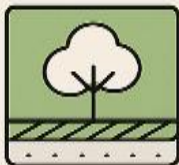
### 3.10.10. Captura de dióxido de carbono por M<sup>2</sup>

Las cubiertas verdes son estructuras de vegetación que se instalan sobre techos de edificaciones y tienen la capacidad de capturar **dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)** del aire. La capacidad de absorción de **CO<sub>2</sub>** de estas cubiertas puede variar considerablemente dependiendo de varios factores, incluyendo el tipo de plantas utilizadas, el diseño de la cubierta y las condiciones climáticas locales.

- A. Datos sobre captura de CO<sub>2</sub>:** Promedio de Captura: Se estima que las cubiertas verdes pueden capturar entre 0.2 a 2.5 kg de CO<sub>2</sub> por metro cuadrado por año. Esta cifra puede aumentar con el uso de plantas perennes que son más eficientes en la fotosíntesis (Pérez, A. et al., 2020).
- B. Factores Influyentes:** Además del tipo de planta, la temperatura, la humedad, y la exposición a la luz solar son elementos críticos que afectan la tasa de captura de CO<sub>2</sub> de la vegetación utilizada en cubiertas verdes (Hester, R. E., 2022).

Figura 24 Captura de dióxido de carbono

## CAPTURA DE DÍOXIDO DE CARBONO POR M2

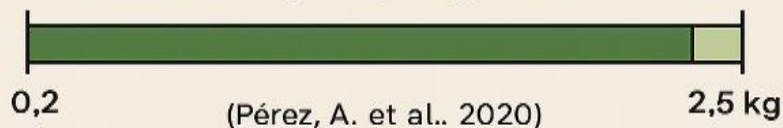


Las cubiertas verdes son estructuras de vegetación que se instalan sobre techos de edificaciones y tienen capacidad de capturar dióxido de carbono  $\text{CO}_2$  del aire.

### DATOS SOBRE CAPTURA DE $\text{CO}_2$ :



PROMEDIO DE CAPTURA  
**0,2-2,5 kg por m<sup>2</sup> al año**



### FACTORES INFLUYENTES:



tipo  
de planta



temper-  
atura



humedad



luz solar

Fuente: OpenAI, 2025

### 3.10.10. Confort en Materia de Cubiertas Verdes en Edificaciones

El confort en edificaciones que cuentan con cubiertas verdes se expresa en diversas dimensiones: térmica, acústica y visual. Estas cubiertas no solo contribuyen a la sostenibilidad ambiental, sino que también mejoran la calidad de vida para los habitantes y usuarios de los edificios.

**Aspectos del Confort:**

- I. **Confort Térmico:** Las cubiertas verdes actúan como aislantes térmicos, reduciendo la necesidad de calefacción y refrigeración. En un estudio en Bogotá, se encontró que los edificios con techos verdes lograron reducir la temperatura interior en un promedio de 5°C durante los meses de verano (*Ramírez, J., 2023*).
  
- II. **Confort Acústico:** Estas estructuras ayudan a atenuar los ruidos del tráfico y otras fuentes de sonido urbano, haciendo los espacios más tranquilos y agradables. Las plantas, el sustrato y las capas de retención de agua contribuyen a la reducción del ruido ambiental.
  
- III. **Atractivo Visual y Espacial:** Las cubiertas verdes ofrecen una estética que puede mejorar el paisaje urbano. Están asociadas con una mayor satisfacción de los ocupantes y pueden aumentar el valor de la propiedad. La percepción de los espacios verdes está ligada a un bienestar psicológico (*Balmori, D., 2021*).

Figura 25 Confort en edificación



Fuente: OpenAI, 2025

### Principales exponentes teóricos del tema a investigar

En la siguiente tabla podremos observar detalladamente, a los principales exponentes en el campo de cubiertas verdes y sistemas sostenibles relacionados con la gestión del agua, sustentabilidad urbana e integración de soluciones ecológicas en entornos urbanos y rurales. Estos expertos han contribuido significativamente a través de investigaciones, propuestas y aplicaciones prácticas, impulsando el desarrollo y la implementación de estrategias innovadoras para la sostenibilidad urbana.

Tabla 20 Principales exponentes del tema

Exponente	Descripción
William Browning	Destacado por su dedicación a la sostenibilidad y la capacidad de las ciudades para recuperarse, empleando innovaciones ecológicas.

Stefan D. Wolff	Especialista en ecología de ciudades, me dedico sobre todo a estudiar cómo incorporar más zonas verdes en los ambientes urbanizados.
Elizabeth McClintock	Experto en la administración de las aguas provenientes de lluvias, utilizando tejados ecológicos.
Nicolette N. Romanas	Fue una de las primeras en llevar a cabo instalaciones de cubiertas vegetales de diversos tamaños en entornos urbanos de todo el mundo.
Angela G. Gaffney	Especialista en perfeccionar las tecnologías ecológicas en pro de la biodiversidad y la robustez de las ciudades.
Mark Northmore	Especialista en el análisis de políticas públicas y en la planificación sostenible de urbes que incorporan techos verdes.
Marie-Odile Laperche	Especialista con gran experiencia en la agricultura que se desarrolla en las ciudades, así como en la incorporación de espacios verdes dentro del entorno urbano europeo.
Shunri Oki	Pionero en la creación de azoteas ecológicas a lo ancho de Asia, impulsando iniciativas urbanísticas sostenibles en Japón.
Usha R. Reddy	Especialista que investiga y asesora sobre sostenibilidad y cubiertas vegetales en naciones con economías emergentes.
Marco Schiavon	Autor y académico en diseño bioclimático y techos verdes en el contexto americano y europeo.

*Fuente: Avila, Blanco, Montilla, Ortiz, 2025 – a partir del doc Leading experts in green roofs and sustainable urban design.*

### **3.11. Marco Histórico**

El contexto histórico resulta fundamental para comprender la evolución de las prácticas de gestión del **agua** y la **sostenibilidad** en el riego. A continuación, se ofrece una cronología de hitos significativos en la historia de la gestión del agua y la conservación del **medio ambiente**, resaltando su influencia en los sistemas de riego.

Figura 26 Línea de tiempo Cubiertas verdes



Fuente: OpenAI, 2025

Tabla 21 Primeras cubiertas

Categoría	Información
<b>Primera Cubierta Verde en el Mundo</b>	<b>Año:</b> 1960s <b>Lugar:</b> Berlín, Alemania <b>Creadores:</b> Hermann Sörgel y Fritz Haury, en el Teatro de la Ópera.
<b>Primera Cubierta Verde en Colombia</b>	<b>Año:</b> 2010 <b>Lugar:</b> "La Casa del Futuro", Medellín <b>Creador:</b> Arquitecto Hernando Bozanic.

<b>Primera Cubierta Verde Certificada Internacional</b>	<b>Año:</b> 2009 <b>Lugar:</b> Edificio Bosque de la Luz en México, certificado bajo el protocolo de Green Roofs for Healthy Cities.
<b>Primera Cubierta Verde Certificada en Colombia</b>	<b>Año:</b> 2012 <b>Lugar:</b> Edificio de la Cámara de Comercio de Bogotá, certificada con la norma de sostenibilidad.

Fuente: Avila, Blanco, Montilla, Ortiz, 2025

## A nivel Internacional

Tabla 22 Marco histórico a nivel internacional

<b>Año</b>	<b>Evento</b>	<b>Descripción</b>
<b>1972</b>	Conferencia de Estocolmo - Asamblea General de las Naciones Unidas	Primera conferencia de la ONU sobre el medio ambiente, donde se abordaron temas de conservación y desarrollo sostenible
<b>1992</b>	Cumbre de la Tierra (Río de Janeiro) - Naciones Unidas	Se firmó la Convención sobre el Cambio Climático y la Agenda 21, promoviendo la sostenibilidad a nivel global
<b>2015</b>	Acuerdo de París - Naciones Unidas	Tratado internacional que busca limitar el calentamiento global a menos de 2 °C mediante la reducción de emisiones
<b>2020</b>	Conferencia de las Partes (COP26) - Naciones Unidas	Reunión de países para revisar el progreso y reforzar los compromisos de reducción de emisiones y financiamiento climático

Fuente: Avila, Blanco, Montilla, Ortiz, 2025

## A Nivel Nacional

Tabla 23 Marco histórico a nivel nacional

<b>Año</b>	<b>Evento</b>	<b>Descripción</b>
<b>1994</b>	Ley 99 de 1993 - Congreso de	Se establece el Sistema

	la República de Colombia	Nacional Ambiental en Colombia y se promueve el desarrollo sostenible
2011	Política Nacional para la Gestión del Agua - Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Se adopta una política integral de gestión de recursos hídricos en Colombia, con enfoque en la sostenibilidad
2017	Implementación de la Ley de Cambio Climático - Congreso de la República de Colombia	Colombia promulga la Ley 19300, que establece medidas para mitigar el impacto del cambio climático y promover la adaptación
2020	Plan Nacional de Desarrollo - Gobierno Nacional de Colombia	Se incluye la gestión eficiente del agua como un componente clave para el desarrollo rural y urbano sostenible

Fuente: Avila, Blanco, Montilla, Ortiz, 2025

### 3.12. Marco Normativo

Las cubiertas verdes se han convertido en una herramienta esencial para fomentar la sostenibilidad y facilitar la adaptación al **cambio climático** en las ciudades. En Colombia, existe un conjunto de normativas que regulan su implementación, definiendo criterios técnicos, de diseño y de seguridad que buscan integrar **espacios verdes** en los edificios, al mismo tiempo que contribuyen al bienestar ambiental y social. A continuación, se presenta una tabla que resume el marco normativo pertinente sobre las **cubiertas verdes** en el país, destacando la **Norma Sismo Resistente NSR-10**, que proporciona directrices específicas para asegurar la estabilidad estructural al incorporar estas soluciones innovadoras en las construcciones. Este marco no solo aboga por la protección del **medio ambiente**, sino que también subraya la relevancia de la **infraestructura verde** en el desarrollo urbano sostenible.

#### A nivel Internacional

Tabla 24 Marco normativo a nivel internacional

<b>Normativa</b>	<b>País / Región</b>	<b>Descripción</b>
<b>Código de Edificación Verde (Green Building Code) - Autoridades estatales o locales</b>	Estados Unidos	Establece directrices para la construcción sostenible, incluyendo requisitos para techos verdes
<b>Directiva Marco del Agua (DMA) - Comisión Europea</b>	Unión Europea	Promueve la gestión sostenible de los recursos hídricos, incluyendo soluciones basadas en la naturaleza como cubiertas verdes
<b>Normativa de Edificaciones Sostenibles (Sustainable Buildings Regulations) - Gobierno del Reino Unido.</b>	Reino Unido	Incluye criterios de sostenibilidad que favorecen el uso de techos verdes en la construcción urbana
<b>LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) - Consejo de Edificios Verdes de EE. UU.</b>	Mundial / Internacional	Sistema de certificación que evalúa la sostenibilidad de los edificios, incluyendo puntos para cubiertas verdes
<b>Estándar BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method) - Building Research Establishment (BRE)</b>	Reino Unido	Sistema de evaluación de la sostenibilidad de edificios, que promueve el uso de cubiertas ajardinadas para mejorar la biodiversidad y la gestión del agua
<b>Normativa "Green Roofs for Healthy Cities" -Green Roofs for Healthy Cities</b>	Canadá	Establece directrices y recomendaciones para el diseño, implementación y mantenimiento de cubiertas verdes en las ciudades
<b>Directrices para el Diseño y Mantenimiento de Techos Verdes - Gobierno de Australia.</b>	Australia	Proporciona un marco para el diseño y mantenimiento de techos verdes, enfocado en la sustentabilidad y el rendimiento hidrológico
<b>Análisis del Ciclo de Vida (ACV) en Techos Verdes - ISO - LEED</b>	Alemania, Países Bajos, Suecia, entre otros.	Metodología utilizada para evaluar el impacto ambiental de los techos verdes durante su ciclo de

		vida, promoviendo su implementación
<b>Reglamento de Edificación Verde de Singapur - Gobierno de Singapur.</b>	Singapur	Promueve la inclusión de techos verdes y otras estrategias de sostenibilidad en proyectos urbanos y de infraestructura
<b>Normativa de Urbanismo Sostenible - Diferentes gobiernos</b>	Brasil, Francia, Japón, entre otros	Legislaciones que fomentan la implementación de tecnologías sostenibles, como cubiertas verdes, dentro de los planes urbanísticos

Fuente: Avila, Blanco, Montilla, Ortiz, 2025

## A nivel Nacional

Tabla 25 Marco normativo a nivel nacional

Normativa	Descripción
<b>Ley 99 de 1993 - Congreso de la República de Colombia</b>	Establece los principios básicos para la protección del medio ambiente y el desarrollo sostenible en Colombia. Incluye aspectos relacionados con el uso y aprovechamiento del suelo.
<b>Código Nacional de Recursos Naturales (Ley 99 de 1993) - Congreso de la República de Colombia</b>	Regula el uso de recursos naturales y promueve prácticas sostenibles que incluyen la implementación de espacios verdes.
<b>Decreto 1077 de 2015 - Presidencia y Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible</b>	El Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible, que menciona la importancia de la vegetación urbana.
<b>Resolución 720 de 2020 - Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible</b>	Establece criterios para la implementación de cubiertas verdes en edificaciones. Incluye lineamientos técnicos y recomendaciones para su diseño y mantenimiento.
<b>NSR-10 (Norma Sismo Resistente 10) - Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio</b>	Normativa que establece los criterios de diseño para estructuras que soportan cubiertas verdes, teniendo en cuenta aspectos como la carga adicional, el drenaje y la seguridad estructural. La integración de las cubiertas verdes debe realizarse considerando sus propiedades de peso y capacidad de absorción de agua.
<b>Código de Urbanismo de Bogotá - Concejo de Bogotá y Alcaldía Mayor de Bogotá</b>	Regula aspectos urbanísticos en Bogotá, enfatizando la inclusión de espacios verdes en proyectos de construcción, lo que fomenta la sostenibilidad urbana.
<b>Política Nacional de Vivienda de Interés Social</b>	Promueve el desarrollo de viviendas con criterios

- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio	de sostenibilidad, las cubiertas verdes son un aspecto considerado en la infraestructura verde.
Ley 1682 de 2015 - Congreso de la República de Colombia	Promueve el desarrollo urbano sostenible y la inclusión de espacios verdes en los procesos de urbanización, fomentando prácticas de construcción que respalden la biodiversidad urbana.
Plan de Ordenamiento Territorial de Bogotá - Alcaldía Mayor de Bogotá	Se establecen directrices para el desarrollo urbano de la ciudad, que incluyen la creación y conservación de áreas verdes, así como la promoción de la implementación de techos verdes como parte integral de la infraestructura urbana.

Fuente: Avila, Blanco, Montilla, Ortiz, 2025

### 3.13. Marco Ambiental

El contexto ambiental, tanto a nivel internacional como nacional, sienta las bases para una gestión **sostenible** de los recursos y promueve prácticas que respetan el **medio ambiente**. La colaboración y la aplicación de políticas efectivas son fundamentales para enfrentar desafíos como el cambio climático, la pérdida de biodiversidad y la escasez de **agua**.

#### A nivel Internacional

Tabla 26 Marco ambiental internacional

Instrumento	Descripción
<b>Acuerdo de París (2015) - Convención Marco de las Naciones Unidas</b>	Busca limitar el calentamiento global a menos de 2 °C y promover acciones para reducir emisiones de gases de efecto invernadero
<b>Convenio sobre la Diversidad Biológica (1992) - Cumbre de la Tierra en Río de Janeiro</b>	Conserva la diversidad biológica y garantiza su uso sostenible y la distribución equitativa de beneficios derivados
<b>Agenda 2030 y Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) - Asamblea General de las Naciones Unidas</b>	Establece 17 ODS que abordan desafíos globales, incluyendo agua limpia, acción por el clima y conservación de ecosistemas
<b>Protocolo de Kioto (1997) - Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático</b>	Establece compromisos legalmente vinculantes para la reducción de emisiones en países desarrollados

Fuente: Avila, Blanco, Montilla, Ortiz, 2025

## A nivel Nacional

Tabla 27 Marco ambiental internacional

Elemento	Descripción
<b>Constitución Política de Colombia (1991) - Asamblea Nacional Constituyente</b>	Reconoce el derecho a un ambiente sano y establece la obligación del Estado de proteger el medio ambiente
<b>Código Nacional de Recursos Naturales (Código 99) - Congreso de la República de Colombia</b>	Regula el uso, conservación y protección de los recursos naturales renovables y no renovables
<b>Ley 99 de 1993 - Congreso de la República de Colombia</b>	Crea el Ministerio del Medio Ambiente y establece el Sistema Nacional Ambiental (SINA) para la gestión del medio ambiente
<b>Ley 1252 de 2008 - Congreso de la República de Colombia</b>	Establece medidas para la conservación de la biodiversidad y los ecosistemas de Colombia
<b>Ley 1776 de 2016 - Congreso de la República de Colombia</b>	Promueve la sostenibilidad de las áreas urbanas, incluyendo la conservación de recursos hídricos y el desarrollo de espacios verdes
<b>Resolución 1362 de 2007 - Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial</b>	Regula el uso de agua en el país, estableciendo normas para la concesión y uso sostenible de los recursos hídricos
<b>Decreto 2676 de 2000 - Presidencia de la República de Colombia</b>	Establece disposiciones para la protección y manejo de cuencas hidrográficas
<b>Política Nacional de Cambio Climático (2017) - Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible</b>	Promueve acciones para enfrentar el cambio climático en el país y desarrollar estrategias de adaptación y mitigación

Fuente: Avila, Blanco, Montilla, Ortiz, 2025

### 3.14. Marco Social

El presente proyecto se lleva a cabo en el barrio Bosque Popular, situado en Engativá, una zona que enfrenta múltiples desafíos en términos de infraestructura urbana y acceso a recursos hídricos. Esta comunidad, marcada por su diversidad, muestra necesidades cada vez más apremiantes que requieren soluciones sostenibles y efectivas en lo que respecta al uso del **agua**.


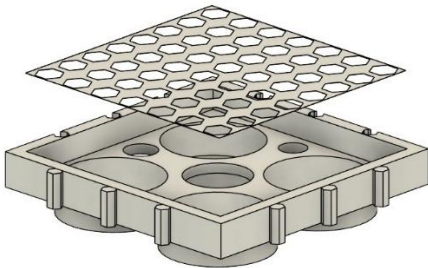
## Beneficios para la Comunidad

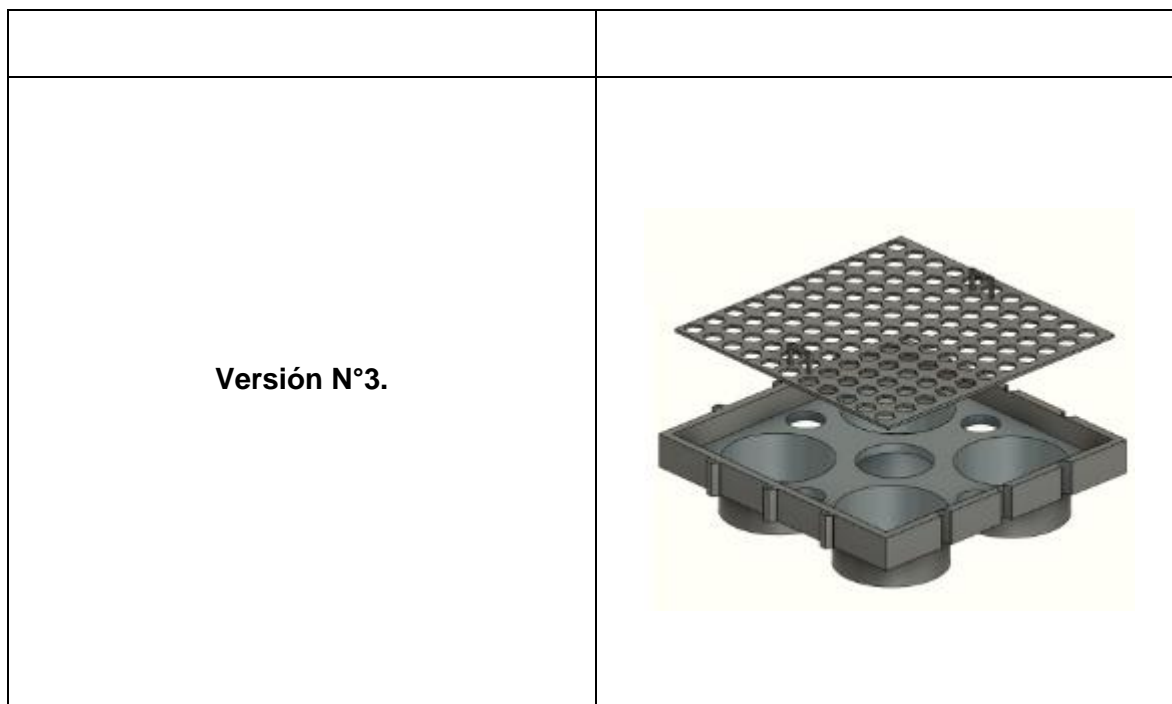
- I. **Acceso Mejorado a Agua Potable:** La implementación de un sistema de recolección de aguas lluvias no solo aumentará la disponibilidad de agua, sino que también disminuirá nuestra dependencia de fuentes externas, lo cual es fundamental para mejorar la calidad de vida de los residentes.
- II. **Fortalecimiento de la Seguridad Alimentaria:** Al fomentar el uso de riego en cultivos urbanos, se facilitará la producción de alimentos frescos y accesibles, lo que a su vez contribuirá de manera significativa a la seguridad alimentaria de la comunidad.
- III. **Creación de Espacios Verdes:** La instalación de cubiertas verdes enriquecerá el entorno urbano, proporcionando áreas recreativas y educativas que beneficiarán a todos los habitantes.
- IV. **Fomento de la Cultura de Sostenibilidad:** Este proyecto tiene como meta sensibilizar a la comunidad sobre la gestión del agua y la relevancia del reciclaje, promoviendo así hábitos que sean beneficiosos tanto para el medio ambiente como para la sociedad.
- V. **Participación Comunitaria:** El éxito del Módulo VerdeH2O se basa en la participación activa de los residentes del barrio. Para ello, se llevarán a cabo talleres y capacitaciones que informarán a la comunidad sobre el uso eficiente del agua y las mejores prácticas en sostenibilidad.

- VI. **Impacto Social a Largo Plazo:** A mediano y largo plazo, este proyecto busca fortalecer los lazos dentro de la comunidad, promoviendo un sentido de pertenencia y colaboración. La integración de tecnologías de riego eficientes y el uso de materiales reciclados no solo transformarán el entorno físico, sino que también generarán una conciencia colectiva en torno a la importancia de cuidar el **medio ambiente**.

### 3.15. Marco Productivo

Tabla 28 Marco productivo

Versión	Imagen.
Versión N°1.	
Versión N°2.	



*Fuente: Avila, Blanco, Montilla, Ortiz, 2025*

### **3.16. Procesos tecnológicos de producción**

#### **I. Versión Artesanal.**

La creación artesanal del módulo **VerdeH2O**, permitió validar el diseño de forma tangible y funcional, permitiendo evaluar su comportamiento frente a aspectos como: encaje entre piezas, la recolección de aguas lluvias, la resistencia (pruebas de laboratorio densidad y compresión), y facilidad de ensamblaje. Esta etapa resulto bastante fundamental ya que permitió identificar posibles mejoras en la etapa de pruebas, esto con el fin de disminuir costos en la fase final del modelo a imprimir.

El proceso de impresión 3D fue el eje principal para el desarrollo del modelo, ya que permitió materializarlo de manera precisa y a escala real, facilitando la validación física del diseño. Si bien esta etapa resultó demorada y relativamente costosa debido al acceso limitado a equipos de impresión y a los tiempos prolongados

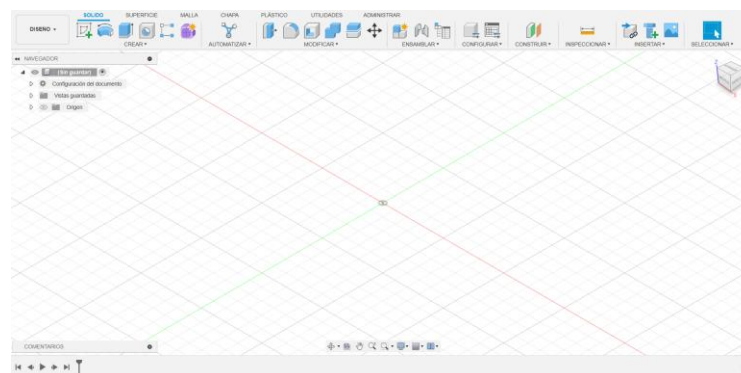
requeridos por cada pieza, la experiencia fue fundamental para experimentar con ajustes de forma, ensamblaje y funcionalidad del módulo.

Actualmente existe en el mercado maquinas que permiten ejecutar impresiones mucho más rápida tales como la Creality K1 / K1 Max - que por su magnitud y comparada con la Creality Ender 3 V3 el proceso de impresión de 100 horas se reduce a 25 horas. Con base a lo anterior podemos dar una visión que el mundo de impresión 3D permitirá abarcarnos en esta industria y elaborar ideas innovadoras en el sector de la construcción.

## 1. PROCESO DE DISEÑO EN PROGRAMA FUSION 360

El modelo **VERDEH20** fue desarrollado en el programa Fusión 360, una herramienta que nos permitió diseñar diferentes versiones del módulo, hacer pruebas de encaje y realizar ajustes antes de imprimirlo. Gracias a este software pudimos trabajar con precisión en las medidas, formas y uniones, asegurando que las piezas fueran funcionales y se pudieran ensamblar correctamente. Además , Fusión 360 facilitó la exportación del diseño a formato STL, necesario para llevarlo a impresión 3D con maquina Creality Ender 3 V3.

Figura 27 Programa Fusión 360



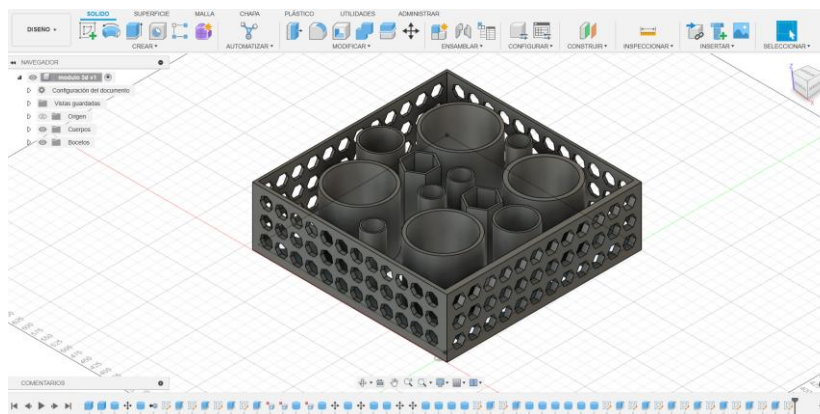
Fuente: Avila,Blanco, Montilla, Ortiz, 2025

## 1.1 Modulo V1

Este módulo fue diseñado durante las primeras semanas del año 2025, basándose en una idea inicial que consistía en utilizar bases cilíndricas internas para almacenar el agua lluvia de forma eficiente. Su estructura fue planteada en forma rectangular, con el objetivo de facilitar su adaptación a cubiertas planas de diferentes tamaños y configuraciones. Además, se incorporaron perforaciones en las paredes laterales que permiten el drenaje del exceso de agua, en caso de que el módulo alcance su capacidad máxima de almacenamiento.

**Las medidas iniciales del prototipo fueron de 50 x 50 x 12 cm.**

Figura 28 Primera Versión Módulo VERDEH2O



Fuente: Avila,Blanco, Montilla, Ortiz, 2025

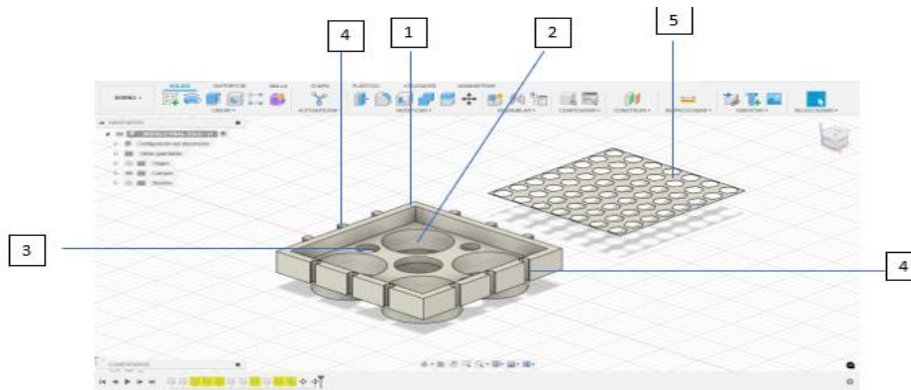
## 1.2 Modulo V2

Durante la segunda etapa de diseño, el cual se desarrolló las últimas semanas del mes de febrero se implementaron bastantes mejoras el cual permitía a nuestro

modulo ser más funcional y versátil ya que se desarrollaron los siguientes avances en esta etapa donde:

1. El módulo mantuvo sus dimensiones exteriores de 50\*50\*12 cm.
2. Se diseñaron 4 contenedores con diámetros de 17 cm y una altura de 5.2 cm.
3. 4 perforaciones de 6cm de diámetro + 1 central de 12 cm huecas, que permitían el drenaje.
4. Se implementaron sistemas de anclaje tipo macho en dos de las paredes del módulo, y tipo hembra en las otras dos, lo que permitió acoplar las piezas entre sí de forma sencilla, similar a un sistema tipo Lego. Esta solución buscó facilitar el ensamblaje modular, asegurando una conexión estable sin necesidad de herramientas adicionales.
5. Se diseñó una rejilla interna que funciona como base para el sustrato y las plantas de pancoger que habitarán en cada uno de los módulos. Esta estructura permite una distribución uniforme del sustrato, facilita el drenaje del exceso de agua y garantiza un soporte adecuado para el crecimiento de las plantas.

*Figura 29 Etapa de Diseño Versión 2 Módulo VERDEH2O*



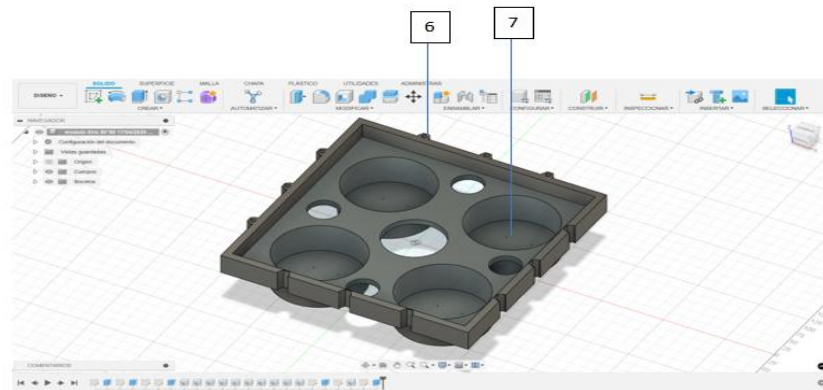
Fuente: Avila, Blanco, Montilla, Ortiz, 2025

### 1.3 Versión final y/o ultima #3 Modulo y rejilla V3

En la etapa final de diseño se mantuvo los ajustes de la V2, en esta se realizaron ajustes menores pero necesarios que permite ser funcional y adaptables a cualquier cubierta que se desee implementar:

6. Se incorporó una perforación de 1 cm de diámetro en los encajes tipo hembra, diseñada para insertar varillas que funcionen como soporte estructural. Esta adaptación permitirá que plantas trepadoras o enredaderas se desarrollen de forma vertical, aprovechando el módulo no solo como sistema de captación de agua, sino también como estructura de soporte vegetal.
7. Se realizaron perforaciones de 1 mm de diámetro en la base de los contenedores, con el objetivo de permitir un drenaje lento tipo goteo. Esta medida busca evitar la acumulación excesiva de agua lluvia en los compartimientos, lo cual podría generar encharcamientos, malos olores o pudrición del sustrato y las raíces de las plantas.

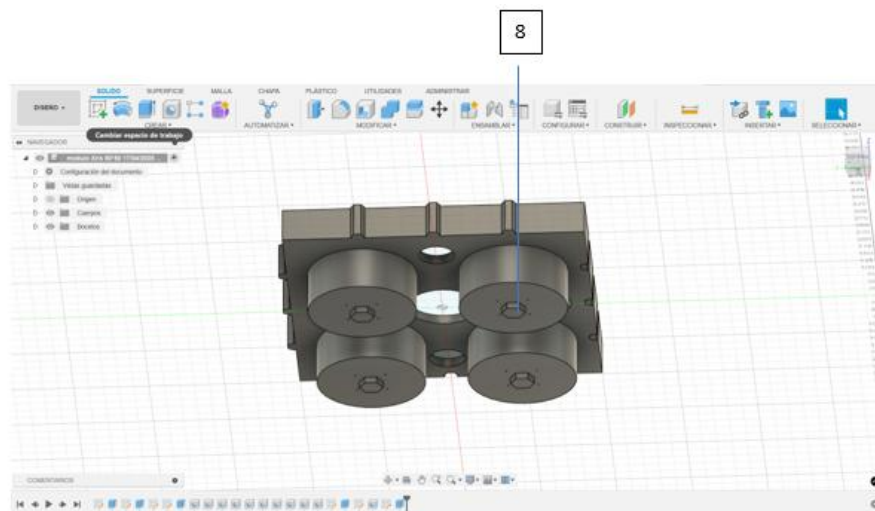
Figura 30 Etapa de Diseño Versión 2 Módulo VERDEH2O



Fuente: Avila, Blanco, Montilla, Ortiz, 2025

8. En la parte inferior de los contenedores del módulo se diseñaron bases circulares de 1.3 cm de diámetro por 1 cm de altura, con el fin de generar una separación entre el módulo y el suelo. Esta elevación evita el contacto directo, lo que contribuye a prevenir la acumulación de residuos, la humedad constante y el acceso de insectos como hormigas u otros animales rastreadores al interior del sistema.

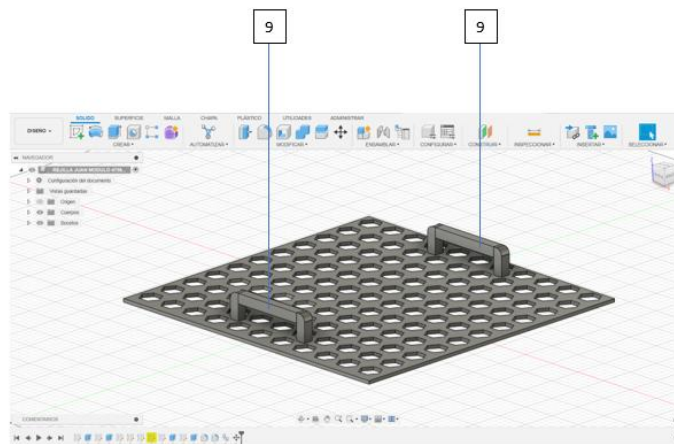
Figura 31 Etapa de Diseño Versión 2 Módulo VERDEH2O



Fuente: Avila, Blanco, Montilla, Ortiz, 2025

9. Para la parte superior de las rejillas se diseñaron manijas de 3.5 cm de alto por 13 cm de largo, pensadas para ofrecer un agarre cómodo y seguro. Estas manijas facilitan el levantamiento de la rejilla, permitiendo inspeccionar fácilmente el estado de los tanques internos, realizar tareas de mantenimiento o verificar el nivel de acumulación de agua.

Figura 32 Etapa de Diseño Versión 2 Módulo VERDEH2O

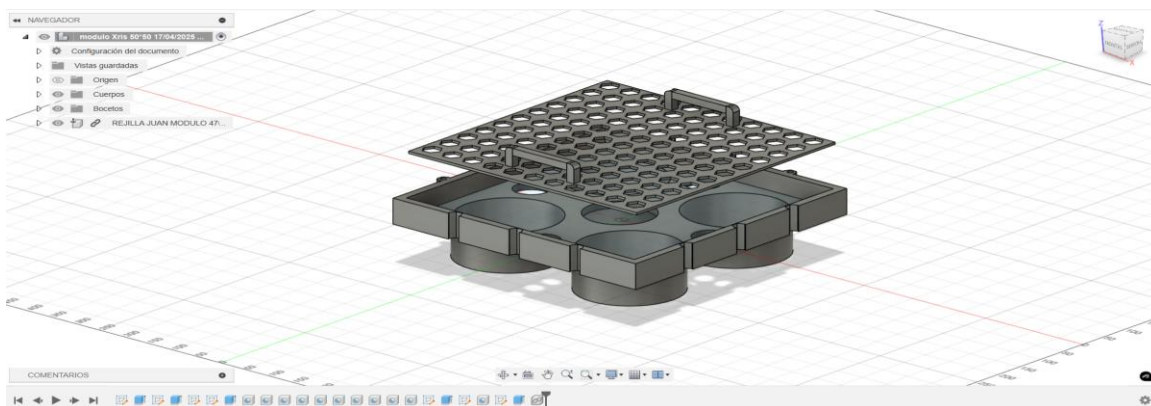


Fuente: Avila, Blanco, Montilla, Ortiz, 2025

## 1.2 Diseño final del módulo VERDEH20 en programa de diseño Fusión 360

En esta imagen se presenta el diseño final del módulo, resultado de un proceso de desarrollo que tomó aproximadamente tres meses. Durante este tiempo se realizaron múltiples ajustes hasta lograr un modelo funcional, versátil y adaptable a cubiertas planas, cumpliendo con los objetivos propuestos del proyecto, de implementar un sistema de huerta urbana (pancoger).

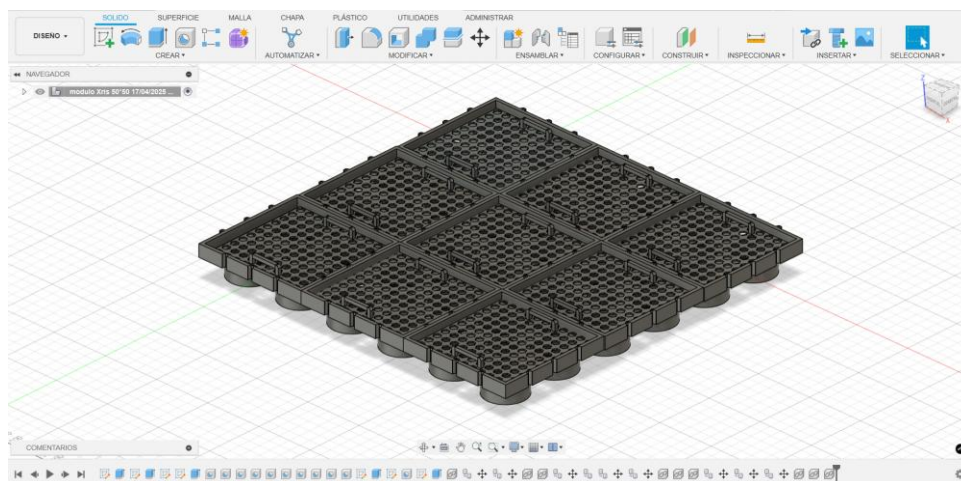
Figura 33 Versión Final Módulo VERDEH2O



Fuente: Avila, Blanco, Montilla, Ortiz, 2025

En este apartado se pueden visualizar los módulos interconectados entre sí, acompañados de sus respectivas rejillas superiores, lo que evidencia el sistema modular pensado para facilitar el ensamblaje y la integración en cubiertas planas, el cual se pudo hacer una simulación de anclajes entre sí.

Figura 34 Versión Final Módulo VERDEH2O



Fuente: Avila, Blanco, Montilla, Ortiz, 2025

## 2. Trazabilidad de producción:

Para comenzar el proceso, se hicieron varias pruebas de encaje entre las piezas del módulo, con el objetivo de revisar que los anclajes funcionaran bien. Luego se observó la calidad de las paredes, buscando fallas o partes débiles. También se hicieron cambios en los grosores del diseño para mejorar su resistencia sin aumentar demasiado el tiempo de impresión. Estas pruebas nos ayudaron a hacer los primeros ajustes antes de imprimir el módulo completo.

**A. La primera prueba consistió en imprimir 2 módulos de 5\*5\*5 cm teniendo en cuenta que:**

Escala 1:1: 50\*50\*12 cm

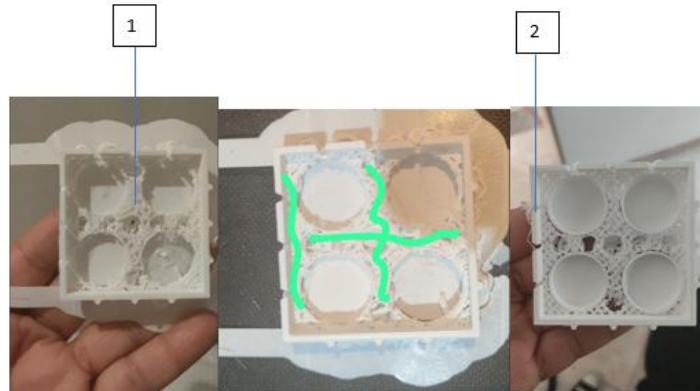
Para los módulos de 5\*5\*5 la escala que se realizó fue de la siguiente forma:

Escala horizontal (largo y ancho): 1:10

Escala vertical (Alto): 1:2,4

1. Al revisar la impresión, se notó que la base de los cilindros era muy delgada, lo que causaba inestabilidad y huecos entre capas. Por eso, fue necesario aumentar el grosor de la base para que la impresión fuera más uniforme y firme
2. Los encajes macho y hembra no ajustaban bien entre sí, por lo que fue necesario modificar la tolerancia en el diseño para que las piezas pudieran encajar correctamente sin quedar sueltas o demasiado apretadas.

*Figura 35 Primera Prueba de Impresión Módulo VERDEH2O*



*Fuente: Avila, Blanco, Montilla, Ortiz, 2025*

**B. La segunda prueba consistió en observar las mejoras con respecto a la anterior prueba en este caso se imprimieron medidas de 10\*10\*5**

Escala 1:1: 50\*50\*12 cm

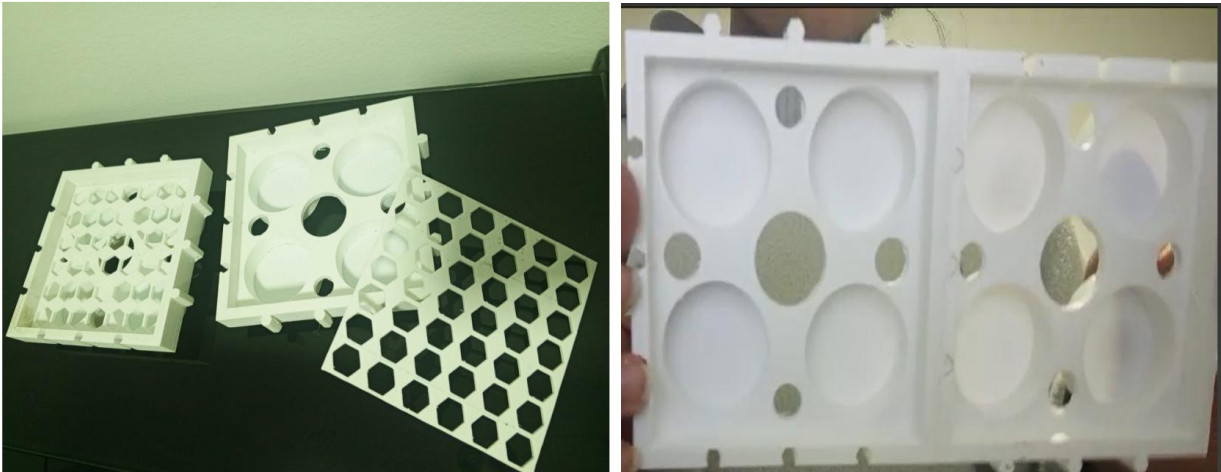
Para los módulos de 10\*10\*5 la escala que se realizó fue de la siguiente forma:

Escala horizontal (largo y ancho): 1:5

Escala vertical (Alto): 1:2,4

En estos módulos se pudo observar que los ajustes realizados en el diseño, como el aumento del grosor en la base de los cilindros y la mejora en los encajes, dieron buenos resultados. Estos cambios permitieron una mayor estabilidad y precisión durante la impresión, representando un avance significativo en el proceso de producción y acercándose cada vez más a un prototipo funcional, observando aprox. Un día de impresión de ambos módulos.

*Figura 36 Ajustes de Grosor y Base de Cilindros*



*Fuente: Avila, Blanco, Montilla, Ortiz, 2025*

En la siguiente imagen se observan los 3 tipos de escalas que se trabajaron para el desarrollo del producto

**Escala 1:1: 50\*50\*12 cm**

1. Para el módulo de 10\*10\*3 cm la escala que se realizó fue de la siguiente forma:

Escala horizontal (largo y ancho): 1:5 - Escala vertical (Alto): 1:4

2. Para los módulos de 10\*10\*5 cm la escala que se realizó fue de la siguiente forma:

Escala horizontal (largo y ancho): 1:5 - Escala vertical (Alto): 1:2,4

3. Para los módulos de 20\*20\*8 cm la escala que se realizó fue de la siguiente forma:

Escala horizontal (largo y ancho): 1:2,5- Escala vertical (Alto): 1:1,5

Figura 37 Versión de Módulos en Diferentes Escalas

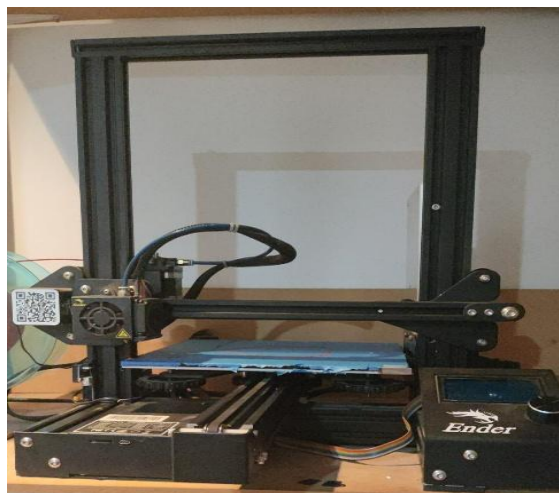


Fuente: Avila, Blanco, Montilla, Ortiz, 2025

#### 4. Proceso de impresión / STL

Al observar los avances y disponibilidad máxima de la maquina en este caso se trabajó con una Creality ender 3 V3, la cual se trabajaron los últimos modelos con las medidas 20\*20\*8 cm.

Figura 38 Creality ender 3 V3



Fuente: Avila, Blanco, Montilla, Ortiz, 2025

La materia prima consistió en rollos de PLA / blanco y negro:

Figura 39 Materia Prima PLA

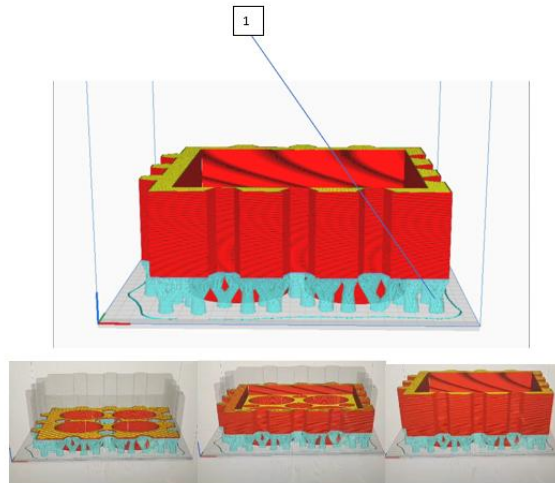


Fuente: Avila, Blanco, Montilla, Ortiz, 2025

El programa STL nos permitió visualizar tiempos de impresión y trazabilidad del módulo VERDEH20.

1. Identificando cantidad y lugar de soportes que requería el modelo.

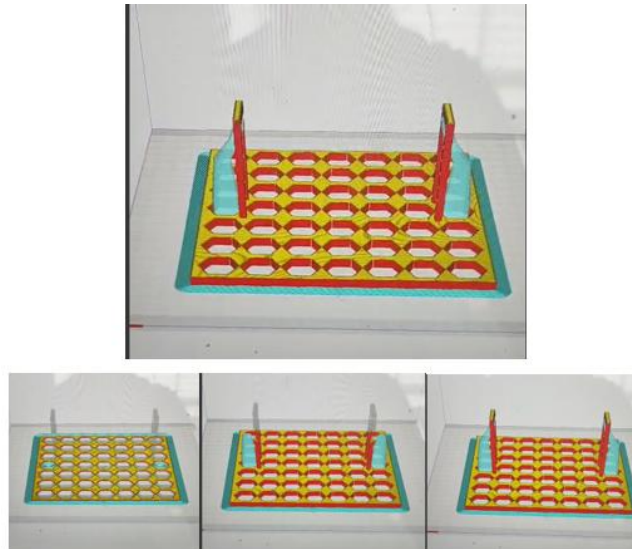
Figura 40 Identificación de Soportes Módulo



Fuente: Avila, Blanco, Montilla, Ortiz, 2025

2. De igual forma proceso de impresión de rejilla con sus respectivas manijas.

*Figura 41 Impresión Rejilla con Manijas*



*Fuente: Avila, Blanco, Montilla, Ortiz, 2025*

A continuación, se presentan algunas imágenes que evidencian la trazabilidad del proceso de impresión de los módulos desarrollados a lo largo del semestre 2025. Estas fotografías permiten observar la evolución del diseño, los ajustes técnicos realizados y los resultados obtenidos en cada etapa del prototipo.

J. Primeras 3 horas de impresión

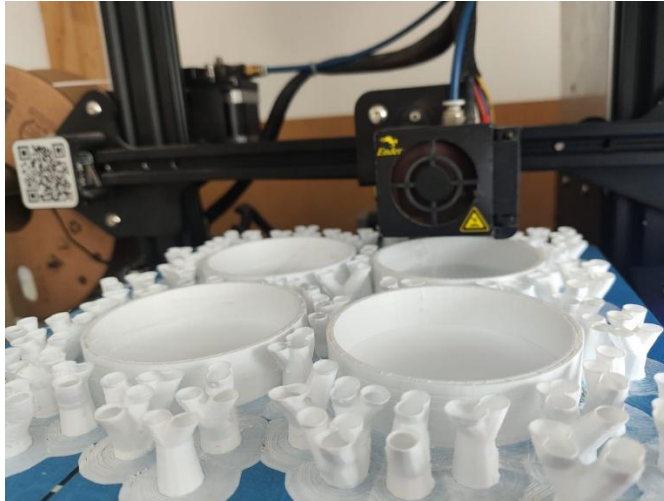
*Figura 42 Proceso de Impresión - 3 horas*



*Fuente: Avila,Blanco, Montilla, Ortiz, 2025*

## II. 20 horas de impresión aprox.

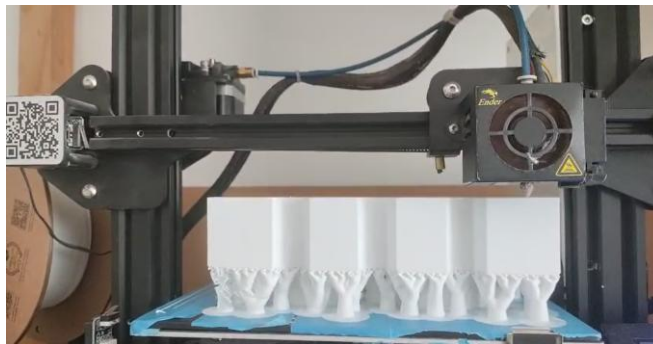
*Figura 43 Proceso de Impresión - 20 horas*



*Fuente: Avila,Blanco, Montilla, Ortiz, 2025*

## III. 100 horas de impresión

*Figura 44 Proceso de Impresión - 100 horas*



*Fuente: Avila,Blanco, Montilla, Ortiz, 2025*

## 5. Visita de campo casa de Engativá

Se realizó una visita de campo en una vivienda ubicada en Engativá, donde se tomaron las medidas necesarias del espacio. Esta información permitió

posteriormente elaborar un modelo 3D y realizar un render en Revit, con el fin de implementar y adaptar el diseño del módulo de manera precisa y adecuada a las características reales del lugar.

Planimetría de la ubicación de los módulos el cual permiten un fácil acceso al tanque y a los habitantes que requieran usarlo.

### **Fotos finales del proceso:**

Las fotos ilustran las distintas fases del análisis, la medición y la delimitación del terreno bajo estudio. En ellas, se aprecia cómo el equipo lleva a cabo las mediciones con la cinta, al tiempo que inspecciona el lugar desde diferentes puntos de vista. Igualmente, se ven las labores de replanteo, donde se señala y define el área de trabajo, lo cual posibilita una organización detallada para la ejecución del proyecto. En el área se distinguen varios objetos y útiles que simplifican el proceso de evaluación y organización del terreno.

*Figura 45 Reconocimiento del Lugar y Tomas de Medidas*

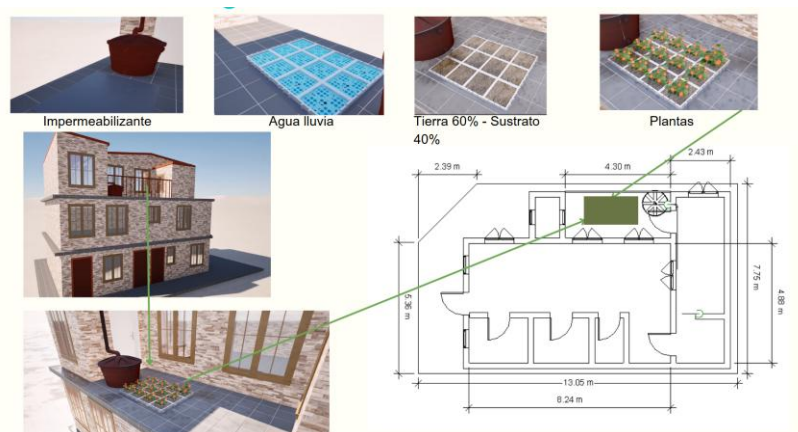




*Fuente: Avila, Blanco, Montilla, Ortiz, 2025*

Planimetría de la ubicación de los módulos el cual permiten un fácil acceso al tanque y a los habitantes que requieran usarlo.

*Figura 46 Planimetría Ubicación Módulos*



*Fuente: Avila, Blanco, Montilla, Ortiz, 2025*

**Fotos finales del proceso:**

*Figura 47 Proceso finalizado Módulos VERDEH2O*



*Fuente: Avila, Blanco, Montilla, Ortiz, 2025*



### **Versión Industrializada.**




La propuesta de industrialización orientada a la fabricación de módulo **VERDEH2O** tiene el objetivo de optimizar el proceso productivo como consecuencia del uso de una máquina de extrusión, lo que implica una mejora de la eficiencia de la producción, propiciando un diseño estandarizado y una calidad uniforme de los productos fabricados.

### **Objetivos del Proceso de Extrusión**

- I. **Automatización:** Reducción del tiempo de producción aplicando un método continuo y automatizado.
- II. **Eficiencia:** Disminución del mermado de material y energía.
- III. **Calidad:** Asegurando que cada módulo produzca con todos los requerimientos técnicos solicitados.

Tabla 29 Proceso de Extrusión

Fase del Proceso	Descripción	Imagen del Proceso
<p><b>Preparación de Materias Primas</b></p>	<p><b>Selección de Materiales:</b> Utilizar polímeros reciclados o bioplásticos.</p>	 <p style="text-align: center;"><i>Fuente: OpenIA, 2025</i></p>
	<p><b>Mezcla:</b> Mezclar materiales con aditivos para mejorar propiedades.</p>	
<p><b>Extrusión</b></p>	<p><b>Alimentación:</b> Introducir la mezcla de gránulos en la extrusora.</p>	 <p style="text-align: center;"><i>Fuente: OpenIA, 2025</i></p>
	<p><b>Fusión:</b> Fundir los gránulos a través de un tornillo sinfín.</p>	
	<p><b>Formación:</b> Empujar la masa fundida a través de un molde para dar forma a los módulos.</p>	

	<p><b>Enfriamiento:</b> Solidificar los módulos utilizando agua y aire.</p>	
<p><b>Corte y Acabado</b></p>	<p><b>Corte:</b> Cortar los módulos a medida con cuchillas automáticas.</p>	 <p><i>Fuente:OpenIA, 2025</i></p>
	<p><b>Acabado:</b> Aplicar tratamientos adicionales como pulido o recubrimientos.</p>	
<p><b>Control de Calidad</b></p>	<p><b>Inspección:</b> Realizar una inspección en línea de dimensiones y calidad.</p>	 <p><i>Fuente:OpenIA, 2025</i></p>
	<p><b>Pruebas:</b> Ejecutar pruebas de resistencia y durabilidad en muestras representativas.</p>	
<p><b>Logística y Distribución</b></p>	<p><b>Empaque:</b> Empacar los módulos de forma eficiente para minimizar daños.</p>	 <p><i>Fuente:OpenIA, 2025</i></p>
	<p><b>Distribución:</b> Establecer un sistema de distribución para una entrega oportuna.</p>	

*Fuente: Avila,Blanco, Montilla, Ortiz, 2025*

## 4. CONCLUSIONES

### De la investigación del módulo VerdeH2O

El modelo VerdeH2O representa un avance significativo en la búsqueda de soluciones sostenibles para la gestión del agua en entornos urbanos . Diseñado como un sistema modular para espacios verdes , su principal aportación reside en el uso de materiales reciclados , en concreto **PLA**, que aportan durabilidad, resistencia y ligereza , cualidades esenciales para su uso en espacios residenciales y comerciales . La innovación de **VerdeH2O** reside no solo en sus componentes ecológicos , sino también en su capacidad para facilitar la captación y reutilización del agua de los ríos , promoviendo así el uso eficiente de los recursos hídricos en zonas urbanas con alta demanda e infraestructura limitada.

Basado en rigurosos estudios técnicos que demuestran su resistencia estructural y compatibilidad con diversas tecnologías y tipos estructurales , dando confianza en su viabilidad práctica . El sistema podría reducir significativamente la cantidad de agua potable utilizada en aplicaciones domésticas y, al mismo tiempo , disminuir el impacto ambiental asociado con el uso excesivo de recursos no renovables . Además, su diseño modular facilita la escalabilidad y adaptación a diferentes tamaños y configuraciones de edificios , proporcionando una solución flexible que puede utilizarse tanto para nuevos proyectos de construcción como para renovaciones de edificios existentes .Es más fácil escalarlo y adaptarlo a diferentes tamaños y configuraciones de edificios , lo que proporciona una solución flexible que se puede utilizar tanto para nuevos proyectos de construcción “refroit” de edificios existentes.

El proyecto ha contribuido a concienciar sobre el valor de integrar tecnologías respetuosas con el medio ambiente en la planificación urbanística y de la edificación, fomentando una cultura resiliente y consciente del medio ambiente . Los materiales reflejan una estrategia concreta para reducir los residuos y la contaminación ecológica , alineándose con las tendencias globales hacia una economía circular . no sólo satisface requisitos técnicos y sostenibles , sino que también juega un papel crucial en la transformación de las ciudades en entornos más respetuosos con el medio ambiente , saludables y resilientes , demostrando el potencial de la innovación tecnológica y el compromiso ambiental en la construcción civil .

### **De la investigación asociada al módulo**

El estudio que llevamos a cabo resultó esencial para comprender a fondo los diversos elementos que influyen en la instalación de techos verdes y métodos de captación pluvial en la urbe bogotana, sobre todo en la zona de Engativá. Mediante un enfoque integral que une facetas técnicas, ecológicas, comunitarias y financieras, pudimos discernir de forma nítida los beneficios y las dificultades vinculadas a tales alternativas sustentables.

Un descubrimiento significativo radica en confirmar que integrar techos verdes y métodos para recoger agua de lluvia puede provocar efectos beneficiosos al bajar las temperaturas en la ciudad, al optimizar la calidad del aire y al fomentar la biodiversidad en áreas urbanas con alta densidad de edificación. Adicionalmente, se hizo claro que usar materiales reciclados para crear módulos y piezas no solo

beneficia al entorno, sino que también disminuye los gastos de fabricación e impulsa una economía circular. El estudio también destacó la relevancia del diseño y la organización anticipada, pues tales elementos establecen la resistencia, utilidad y acogida social de los sistemas sugeridos.

Desde una perspectiva social, el estudio reveló que la concienciación y la implicación de la comunidad resultan fundamentales para asegurar que los proyectos de techos verdes sean bien recibidos y perduren en el tiempo. Fomentar las ventajas, como la administración eficaz del agua, el realce de la calidad de vida y el aporte a la disminución del cambio climático, son factores clave que impulsan a los agentes urbanos a participar en estas iniciativas. La investigación, además, confrontó desafíos importantes, tales como la precisa formación técnica, la adecuación a las condiciones climáticas de la zona y la rentabilidad económica en diversos entornos socioeconómicos.

El estudio revela que, adoptando una visión global, se puede progresar hacia urbes más ecológicas y adaptables a través de la instalación de techos verdes y métodos de captación pluvial. Los datos recabados resaltan que el triunfo de estas propuestas precisa la cooperación entre universidades, empresas, ciudadanos y administraciones públicas, además de una firme apuesta por la novedad y el cuidado del planeta. La aprobación práctica y ciudadana de los modelos creados facilita la opción de copiar y ampliar estas respuestas en otras áreas urbanas, impulsando un progreso más respetuoso con la naturaleza.

## De la empresa

La participación como empresa en esta iniciativa es clave para convertir los conocimientos teóricos y el trabajo de investigación en una propuesta real, útil y con potencial comercial. Incluir el módulo **VERDEH2O** dentro de nuestro portafolio de productos permitiría obtener gran compromiso con la construcción sostenible y con un enfoque más responsable frente al medio ambiente.

Gracias al desarrollo del módulo y al estudio realizado de su potencial en el mercado, la empresa tiene la gran capacidad para analizar más a profundidad lo que necesita el mercado y cómo adaptarse al contexto local. Esto le permitiría adaptar el módulo a adecuadas condiciones del entorno. La experiencia obtenida también fortaleció la capacidad de innovación, ayudando a tener una gran iniciativa frente a la competencia en temas de sostenibilidad.

Desde una mirada estratégica, aplicar tecnologías como impresión 3D permite ampliar la puerta a nuevos mercados en crecimiento, alineados con las tendencias globales que apoyan la sostenibilidad. El uso de materiales reutilizables y la eficiencia en el uso de recursos reflejan su interés por la economía circular y el cuidado del medio ambiente, aspectos cada vez más valorados por los consumidores y otros actores del sector.

Además, al desarrollar y promover soluciones ecológicas, la empresa tiene como principio fundamental el aportar de una forma socialmente responsable, lo que mejora la imagen y confianza frente al público. Iniciativas como **VERDEH2O**

también permiten crear vínculos con otras empresas, universidades y entidades públicas, promoviendo la colaboración y la innovación.

En resumen, esta iniciativa permite a la empresa a fortalecerse en el campo de la construcción sostenible, adaptándose a las demandas actuales del mercado y preparándose para los retos del futuro. **VERDEH2O** no solo es una apuesta por el medio ambiente, sino también por un modelo de negocio innovador, responsable y con visión a largo plazo.

### **LOGROS: PROCESO FINAL MÓDULO VERDEH2O.**

Aquí se puede observar cómo concluye la implementación del módulo VERDEH2O con una huerta urbana, creado para impulsar la siembra en áreas reducidas. Se ha llegado al punto final con la instalación de los espacios de sistema Pancoger, que se enlazan a un sistema de riego automático mediante tubería de PVC y un depósito de agua con válvula. Dentro de los módulos hay varias clases de plantas, algunas creciendo activamente y otras adaptándose al entorno de manera escalonada, permitiendo al propietario tener el alimento que desea las veces que así lo da de acuerdo a sus necesidades, lo que indica un enfoque para usar al máximo el sitio y simplificar el cuidado de las cosechas en la vivienda. El objetivo de este sistema es tanto ser un sistema totalmente funcional y artesanal para quienes habitan dicho espacio, estimulando el método de cultivo autosuficiente y sostenibles en el ámbito urbano.



*Fuente: Avila, Blanco, Montilla, Ortiz, 2025*

### **Nuevos Interrogantes**

- I. ¿Qué impacto ambiental tiene la fabricación, instalación y eventual desecho del módulo VerdeH2O en comparación con soluciones tradicionales?
- II. ¿Existen otros materiales reciclados que puedan utilizarse para mejorar aún más las características del sistema?

- III. ¿Qué otras tecnologías o innovaciones podrían integrarse con VerdeH2O para potenciar sus beneficios?
- IV. ¿Cómo pueden las políticas públicas facilitar la adopción de soluciones innovadoras de cubiertas verdes en la ciudad?
- V. ¿Qué investigaciones adicionales son necesarias para validar el rendimiento del módulo en diferentes condiciones de uso y clima?

## 5. MARCO TERMINOLÓGICO EN ESPAÑOL

### 5.1. De la investigación del módulo VerdeH2O

Se presenta una descripción de conceptos clave relacionados con la implementación de sistemas sostenibles de gestión y recolección de agua en entornos urbanos.

Tabla 31 Marco terminológico Módulo VERDEH2O o servicio

<b>Termino</b>	<b>Definición</b>
<b>Cubierta verde</b>	Estructura de cubierta vegetalizada que se utiliza en edificios para gestionar aguas lluvias
<b>Módulo VerdeH2O</b>	Sistema diseñado para la recolección de aguas lluvias mediante cubiertas verdes
<b>Sustrato perlita</b>	Mezcla de perlita utilizada en sistemas de cultivo en cubiertas verdes por su capacidad de drenaje.
<b>Captación de aguas lluvias</b>	Proceso de recolectar agua de lluvia para su reutilización, reduciendo el consumo de agua potable

<b>Resiliencia ambiental</b>	Capacidad de un sistema ecológico para recuperarse de perturbaciones y adaptarse a cambios
<b>Instalación Modular</b>	Método de instalación que permite la rápida y eficiente implementación de cubiertas verdes
<b>Eficiencia Hídrica</b>	Capacidad de un sistema para gestionar el recurso hídrico de manera óptima
<b>Techo Verde</b>	Estructura cubierta con vegetación que puede ser utilizada en diversas edificaciones
<b>Diseño Sustentable</b>	Estrategia que integra principios ecológicos y eficiencia en procesos de construcción
<b>Biodiversidad Urbana</b>	Variedad de especies vegetales y animales que coexisten en un entorno urbano saludable

*Fuente: Avila, Blanco, Montilla, Ortiz, 2025 - Definiciones Tomadas de Diccionario Google.*

## 5.2. De la empresa

Se presenta una descripción de conceptos clave relacionados con el plan empresarial de nuestro proyecto.

Tabla 32 Marco terminológico empresa

<b>Termino</b>	<b>Definición</b>
<b>Sostenibilidad</b>	Estrategia que busca satisfacer las necesidades actuales sin comprometer los recursos para futuras generaciones.
<b>Gestión Hídrica</b>	Manejo eficiente de los recursos hídricos en un contexto ambiental y social sostenible.

<b>Infraestructura verde</b>	Espacios verdes dentro del entorno urbano que promueven la biodiversidad y el bienestar social.
<b>Tecnología Sostenible</b>	Métodos y prácticas que minimizan el impacto ambiental y promueven el uso eficiente de recursos
<b>Producción Ecológica</b>	Proceso de elaboración de Módulo VERDEH2Os que respetan el medio ambiente mediante el uso de recursos renovables
<b>Certificación Ecológica</b>	Proceso de validación de que un Módulo VERDEH2O o sistema cumple con estándares ambientales establecidos

*Fuente: Avila, Blanco, Montilla, Ortiz, 2025 - Definiciones Tomadas de Diccionario Google.*

### 5.3. Del proyecto financiero.

Se presenta una descripción de conceptos clave relacionados con la parte financiera de nuestro proyecto Módulo **VERDEH2O**.

Tabla 33 Marco terminológico financiero

<b>Termino</b>	<b>Definición</b>
<b>Presupuesto</b>	Plan financiero que detalla los ingresos y gastos previstos para la implementación del proyecto
<b>Financiamiento</b>	Recursos económicos necesarios para llevar a cabo el desarrollo y ejecución del proyecto
<b>Rentabilidad</b>	Relación entre los beneficios obtenidos y la inversión realizada, evaluando la viabilidad económica
<b>Inversión Inicial</b>	Capital necesario para iniciar un proyecto

<b>Análisis de Costos</b>	Evaluación detallada de los costos asociados a diversas fases de un proyecto
<b>Retorno sobre Inversión (ROI)</b>	Métrica que mide la ganancia o pérdida generada respecto a la inversión realizada

*Fuente: Avila, Blanco, Montilla, Ortiz, 2025 - Definiciones Tomadas de Diccionario Google.*

## 6. MARCO TERMINOLÓGICO EN INGLÉS

### 6.1. De la investigación del módulo VerdeH2O

Se presenta una descripción de conceptos clave en inglés relacionados con la investigación de sistemas sostenibles de gestión y recolección de agua en entornos urbanos.

Tabla 34 Marco terminológico Módulo VERDEH2O o servicio en inglés

<b>Term</b>	<b>Definition</b>
<b>Green Roof</b>	A vegetated roofing structure used in buildings to manage stormwater
<b>VerdeH2O Module</b>	A system designed for rainwater collection using green roofs
<b>Perlite Substrate</b>	A mix of perlite used in green roof growing systems due to its drainage capabilities
<b>Rainwater Harvesting</b>	The process of collecting rainwater for reuse, reducing the consumption of potable water
<b>Environmental Resilience</b>	The ability of an ecological system to recover from disturbances and adapt to changes

<b>Modular Installation</b>	A method of installation that allows for rapid and efficient implementation of green roofs
<b>Water Efficiency</b>	A system's capability to manage water resources optimally
<b>Green Roof</b>	A structure covered with vegetation that can be used in various buildings
<b>Sustainable Design</b>	Strategy that integrates ecological principles and efficiency into construction processes
<b>Urban Biodiversity</b>	Variety of plant and animal species coexisting in a healthy urban environment

*Fuente: Avila, Blanco, Montilla, Ortiz, 2025 – Traducción de Google.*

## 6.2. De la empresa

Se presenta una descripción de conceptos clave en inglés relacionados con el plan empresarial de nuestro proyecto.

Tabla 35 Marco terminológico empresa en inglés

<b>Term</b>	<b>Definition</b>
<b>Sustainability</b>	A strategy aimed at meeting current needs without compromising resources for future generations
<b>Water Management</b>	Efficient management of water resources in an environmentally and socially sustainable context
<b>Green Infrastructure</b>	Green spaces within the urban environment that promote biodiversity and social well-being

<b>Sustainable Technology</b>	Methods and practices that minimize the environmental impact and promote efficient resource use
<b>Ecological Production</b>	Process of developing products that respect the environment through the use of renewable resources
<b>Ecological Certification</b>	Process of validating that a product or system meets established environmental standards

*Fuente: Avila, Blanco, Montilla, Ortiz, 2025 – Traducción de Google.*

### 6.3. Del proyecto financiero

7. Se presenta una descripción de conceptos clave en inglés relacionados con la parte financiera de nuestro proyecto Módulo **VERDEH2O**.

Tabla 36 Marco terminológico financiero en inglés

<b>Term</b>	<b>Definition</b>
<b>Budget</b>	A financial plan detailing the expected income and expenses for the project's implementation
<b>Financing</b>	Economic resources needed to carry out the development and execution of the project
<b>Profitability</b>	The relationship between the benefits obtained and the investment made, evaluating economic viability
<b>Initial Investment</b>	The capital needed to start a project
<b>Cost Analysis</b>	A detailed evaluation of the costs associated with various phases of a project

<b>Return on Investment</b>	A metric that measures the gain or loss generated relative to the investment made
-----------------------------	---

*Fuente: Avila, Blanco, Montilla, Ortiz, 2025 – Traducción de Google.*

## 8. Referencias

Pessoa Almeida, A., Liberalesso, T., Matos Silva, C. y Sousa, V. (2023, agosto).

Combining green roofs and rainwater harvesting systems in university buildings under different climate conditions. *The Science of the Total*

*Environment*, 887(163719), 163719.

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.163719>

Caicedo Garzón, M., Guzmán Parra, P. A., Castro Hernández, V. A., & Robayo Martínez, K. D. (2021). Diseño hidrológico de un sistema VAC para la finca el Caimo ubicada en el municipio de Villa de Leyva, Boyacá. *Revista Inventum*, 15(29), 59–75.

<https://doi.org/10.26620/uniminuto.inventum.15.29.2020.59-75>

Contreras, O., & Nuñez, F. (2021). Influence of an extensive green roof in the non-linear structural behavior of self - construction households. *Revista de Ingeniería de Construcción*, 36(2), 157–172. <https://doi.org/10.4067/s0718-50732021000200157>

Contreras-Bejarano, O., Universidad Católica de Colombia, Bogotá, Colombia, Villegas-González, P. A., & Universidad Católica de Colombia, Bogotá, Colombia. (2019). Techos verdes para la gestión integral del agua: caso de estudio Chapinero, Colombia. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, 10(5), 282–318. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2019-05-11>

de Bogotá, S. D. de A. (s.f.) Visor Geográfico Ambiental de la Secretaría Distrital de Ambiente. Gov.co. <https://visorgeo.ambientebogota.gov.co/?lon=-74.150585&lat=4.659877&z=12&l=5:1|159:1>

de Seguimiento Y Evaluación, I. (s.f.). PLAN DISTRITAL DE GESTIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES Y DEL CAMBIO CLIMÁTICO BOGOTÁ D.C.

2018-2030. Gov.Co.

<https://www.idiger.gov.co/documents/20182/71301/Informe+PDGRDCC+Fin+al+2020.pdf/82df8870-5777-4bf3-8bbd-f91f123afc3b>

Desafíos ambientales del agua en Bogotá: gestión y sostenibilidad. (s.f.). Revista Colombiana de Ciencias Del Agua.

Herrera Báez, D. y Posada Luna, V. (2021). Metodologías de recarga de agua subterránea en un sistema de producción de *Tectona grandis* Linn F. (Teca), en la finca San Felipe, Yacopí. *Revista Inventum*, 15(29), 3–21. <https://doi.org/10.26620/uniminuto.inventum.15.29.2020.3-21>

Impacto de las cubiertas verdes en la captura de CO<sub>2</sub> en áreas urbanas. Revista de ecología urbana. (s.f.).

Observatorio Ambiental de Bogotá [OAB]. (2023, diciembre 19). *Área de Techos Verdes y Jardines Verticales en el Perímetro Urbano de Bogotá*. <https://oab.ambientebogota.gov.co/area-de-techos-verdes-y-jardines-verticales-en-el-perimetro-urbano-de-bogota-reportado-voluntariamente-por-empresas-que-implementan-dichas-tecnologias-en-la-ciudad/>

Pérez Gallardo, N., Rogério, A., Neves, G. Z. F., Vecchia, F. A., & Roriz, V. F. (2018). Reacción frente al frío de edificaciones con envolventes vegetales para climas tropicales. Fachadas verdes y cubiertas ajardinadas. *Revista de Ingeniería de Construcción*, 33(1), 15–28. <https://doi.org/10.4067/s0718-50732018000100015>

Primer semestre de 2024. (s.f.). Gov.Co. Retrieved April 24, 2025, from  
<https://www.superservicios.gov.co/sites/default/files/inline-files/Boletin-seguimiento-Comportamiento-consumo-agua-potable-primer-semester-2024.pdf>

Quintero González, L. E., & Quintero González, J. R. (2019). Infraestructuras verdes vivas: características tipológicas, beneficios e implementación. Cuadernos de Vivienda y Urbanismo, 12(23).  
<https://doi.org/10.11144/javeriana.cvu12-23.ivvc>

Xu, Q., Ma, X., Ding, Z., & Wang, H. (2025). Unlocking urban green spaces: Retrofitting potential green roofs to enhance bird connectivity and comprehensive ecological benefits in high-density areas. Urban Forestry & Urban Greening, 107(128817), 128817.  
<https://doi.org/10.1016/j.ufug.2025.128817>

(S.f.-a). Edu.Co. Retrieved April 24, 2025, from  
<https://repository.uniandes.edu.co/handle/1992/36932>

(S.f.-b). Gov.Co. Retrieved April 24, 2025, from  
<https://www.ideam.gov.co/sites/default/files/temas/tiempo-y-clima/documentos/atlas/ATLAS-CLIMATOLOGICO-DE-COLOMBIA.pdf>

Alcaldía de Bogotá. (2022). Informe sobre cubiertas verdes y espacios urbanos.  
<https://www.bogota.gov.co>

- Berardi, U., GhaffarianHoseini, A., & GhaffarianHoseini, A. (2014). Sustainability of green roofs: Systematic literature review and research gaps. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 35, 407–417.  
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.04.007>
- García, P., Díaz, M., & Ramírez, M. (2019). Gestión sostenible del agua en zonas urbanas. *Revista de Ciencias Ambientales*, 28(2), 134–149.
- Oke, T. R. (1982). The energetic basis of the urban heat island. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 108(455), 1–24.  
<https://doi.org/10.1002/qj.49710845502>
- Berardi, U., GhaffarianHoseini, A., & GhaffarianHoseini, A. (2014). Green roofs for sustainable cities: A review of the benefits, opportunities and barriers. *Urban Forestry & Urban Greening*, 13(3), 623-629.  
<https://doi.org/10.1016/j.ufug.2014.03.007>
- FAO. (2017). Soberanía alimentaria: un concepto imprescindible para la agricultura familiar y la seguridad alimentaria. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.  
<https://www.fao.org/publications/card/es/c/CB2530ES/>
- Berardi, U., GhaffarianHoseini, A., & GhaffarianHoseini, A. (2014). Green roofs for sustainable cities: A review of the benefits, opportunities and barriers. *Urban Forestry & Urban Greening*, 13(3), 623-629.  
<https://doi.org/10.1016/j.ufug.2014.03.007>

Kris-Etherton, P. M., Yu, L., & Bibus, D. (2004). Vitamin E. In J. C. R. Aruoma (Ed.), *Nutritional antioxidants and health* (pp. 67-75). Taylor & Francis.  
<https://doi.org/10.1201/9780203911744-10>

Global Green Infrastructure Network. (2024). Leading experts in green roofs and sustainable urban design. <https://www.globalgreeninfrastructure.org/experts>

(S/f). Edu.co. Recuperado el 30 de mayo de 2025, de  
<https://ezproxy.universidadmayormayor.edu.co/login?url=https://www.proquiest.com/newspapers/el-sustrato-que-debe-utilizar-en-las-plantas-para/docview/3071180712/se-2>

Laura Estefanía Quintero González, & J. (2019). Infraestructuras verdes vivas: Características tipológicas, beneficios e implementación. Obtenido de <https://doi.org/10.11144/Javeriana.cvu12-23.ivvc>

Manuela Caicedo Garzón, G. P. (2020). Diseño hidrológico de un sistema VAC para la finca el caimo ubicada en el municipio de villa de leyva, boyacá. *Revista Inventum*, 15(29), 59-75. Obtenido de <https://doi.org/10.26620/uniminuto.inventum.15.29.2020.59-75>

Salas, H. J. (1989). Evaluación del monitoreo y manejo de los embalses bajo la jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional de las Cuencas de los Ríos Bogotá, Ubaté y Suárez (CAR). Bogotá: OPS. Recuperado de LILACS: ID: lil-146748.



## **ANEXOS**

### **Anexo 1. Mapa Subzonas Climáticas.**

<https://drive.google.com/drive/u/0/folders/1z0PwG1ZxkJVmPLxxmt6lniRmE7jIBlsR>

### **Anexo 2. Entrevistas.**

<https://drive.google.com/drive/u/0/folders/1KcFi-FT0V1PvdZOEa9qMH5gWVvecAjKtI>

### **Anexo 3. Folleto e Infografía**

<https://drive.google.com/drive/u/0/folders/1NmpOEKs0yNYH33F4AG32SCnrDT2xD7su>

### **Anexo 4. Pruebas de Laboratorio**

<https://drive.google.com/drive/u/0/folders/1LRwvGiiEE0xClicwhFg4YA84VqkI9lo>

### **Anexo 5. Maqueta virtual – Planos Terraza.**

<https://youtu.be/wus4nyLyJ7c>

<https://drive.google.com/drive/u/0/folders/14HgdbmYNSeMEnKK8jyRfsDto8JP1OjxN>

### **Anexo 6. Planos de Detalle Módulo VERDEH2O**

<https://drive.google.com/drive/u/0/folders/1qawm8NHKFxldzpqrgi0PnY5rgVVqYkTS>

### **Anexo 7. Poster y Ficha Técnica Módulo VERDEH2O**

<https://drive.google.com/drive/u/0/folders/1xJFAuEeBl6v6VN7Pov-w1Otdn83qRU2m>

### **Anexo 8. Registro Fotográfico**

[https://drive.google.com/drive/u/0/folders/1i5-Uk8pcMRy2Wi7izoGYwdp\\_QxtHHHC8](https://drive.google.com/drive/u/0/folders/1i5-Uk8pcMRy2Wi7izoGYwdp_QxtHHHC8)

### **Anexo 9. Artículo**

<https://drive.google.com/drive/u/0/folders/1pciZiL9LwNwGGyIPyU1v-X1W-MazSz8e>

### **Anexo 10. Videos – Módulo VERDEH2O**

<https://drive.google.com/drive/u/0/folders/1aOqv0vakbfXJ5UrN6jW9IE1XtR4wirjn>

### **Anexo 10. Presentación Proyecto**

<https://drive.google.com/drive/u/0/folders/1HND0X5waKx-4QMbkHjtmVE2znnKuaMEI>

