DISEÑO DE UN MODELO DE GESTIÓN Y DE NEGOCIO SOSTENIBLE PARA LA IMPLEMENTACIÓN Y MANTENIMIENTO DE JARDINES VERTICALES Y TECHOS VERDES EN BOGOTÁ

JENNIFER LORENA MÁRQUEZ GÓMEZ
JUAN CAMILO PINEDA HERRERA

ESPECIALIZACIÓN DE GERENCIA DE RECURSOS NATURALES
FACULTAD DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES
UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
BOGOTÁ D.C, COLOMBIA
2025

DISEÑO DE UN MODELO DE GESTIÓN Y DE NEGOCIO SOSTENIBLE PARA LA IMPLEMENTACIÓN Y MANTENIMIENTO DE JARDINES VERTICALES Y TECHOS VERDES EN BOGOTÁ

JENNIFER LORENA MÁRQUEZ GÓMEZ
JUAN CAMILO PINEDA HERRERA

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de Especialista de Gerencia de Recursos Naturales

Director
ALEJANDRO COPETE PERDOMO

ESPECIALIZACIÓN DE GERENCIA DE RECURSOS NATURALES
FACULTAD DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES
UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
BOGOTÁ D.C
2025

Nota de aceptación

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

Firma del Director

Bogotá D.C. 2025

“Las ideas emitidas por los autores son de su exclusiva responsabilidad y no expresan necesariamente opiniones de la Universidad” (Artículo 117, Acuerdo 029 de 1998)”

AGRADECIMIENTOS

La culminación de este trabajo ha sido posible gracias al apoyo y la colaboración de Jorge Arturo Pineda, por incentivar la investigación, la innovación y la interdisciplinariedad. A Andrea Herrera Franco, Pedro Julio Márquez, Amparo de Jesus Ayala y Diego Galindo Panqueva, quienes siempre tuvieron disposición de apoyar este proceso.

A la Diana Salazar Moreno, Arquitecta del paisaje, profesora de cátedra en el componente ambiental en Ecourbanismo, y Coordinadora del Diplomado de Arquitectura del Paisaje de la Pontificia Universidad Javeriana, por su tiempo, apoyo, disposición y experticia, y por brindarnos la perspectiva del campo que solo la experiencia puede brindar.

A la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, la Facultad de Medio Ambiente y Recursos Naturales, y a la Especializacíon de Gerencia de Recursos Naturales, por proveernos el entorno académico y las herramientas que hicieron posible la realización de este proyecto.

Un reconocimiento especial a nuestro director, Alejandro Copete Perdomo, por su orientación, disponibilidad constante y valiosas retroalimentaciones, las cuales fueron fundamentales para mantener la dirección, y el rigor metodológtico de este trabajo, siendo su compromiso un pilar esencial en el desarrollo del mismo.

-A Toby-

CONTENIDO

RESUMEN 1
INTRODUCCIÓN 2
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 4
2. JUSTIFICACIÓN 5
3. OBJETIVOS 6
5. METODOLOGÍA 23
5.1. Diagnóstico y análisis de la contribución de los techos verdes y jardines verticales. ... 23
5.2. Modelo de gestión 25
5.3. Modelo de negocio 27
6. RESULTADOS 31
6.1. Diagnóstico y análisis de la contribución los techos verdes y jardines verticales 31
6.2. Modelo de gestión 84
6.3. Modelo de Negocio 109
7. DISCUSIÓN DE RESULTADOS 124
8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 126
9. BIBLIOGRAFÍA 129
ANEXO A: FOTOGRAFÍAS DE JARDINES VERTICALES EN BOGOTÁ 133
ANEXO B: FOTOGRAFÍAS DE JARDINES VERTICALES EN LA PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA 141

RESUMEN

Este estudio propone el diseño de un modelo de gestión y un modelo de negocio orientados a optimizar la implementación y el mantenimiento de techos verdes y jardines verticales como soluciones de infraestructura verde en la ciudad de Bogotá.

El modelo de gestión se enfoca en la estandarización de procesos técnicos y operativos, con el fin de garantizar instalaciones eficientes, sostenibles y replicables, que generen beneficios ambientales y sociales tangibles en el corto y mediano plazo. Para validar su aplicabilidad y escalabilidad, se selecciona como estudio de caso el edificio Fernando Barón de la Universidad Pontificia Javeriana, considerando su ubicación estratégica, condiciones técnicas y potencial demostrativo.

Por su parte, el modelo de negocio plantea la creación de un actor especializado en la prestación de servicios de diseño, instalación y mantenimiento de techos verdes y jardines verticales. Este modelo no solo busca consolidar un servicio ambientalmente sostenible, sino también evaluar su viabilidad financiera, mediante el análisis del retorno de inversión y la identificación de oportunidades de mercado, alianzas estratégicas e incentivos económicos.

La metodología del estudio se desarrolla en tres fases. En primer lugar, se realiza una revisión bibliográfica y normativa para establecer las condiciones técnicas, legales y de contexto necesarias para la estructuración del modelo de gestión. En segundo lugar, se aplican encuestas a tres grupos de interés: comunidad, autoridades y expertos, con el objetivo de identificar percepciones, barreras, disposiciones y expectativas frente a estas soluciones. A partir de estos resultados se definen las variables clave para el diseño de ambos modelos. Finalmente, se formulan los modelos y se establecen lineamientos estratégicos para su implementación, replicabilidad y escalabilidad en otros entornos urbanos similares.

Del modelo de gestión se espera que actúe como una herramienta técnica y estratégica para estandarizar los procesos de instalación y mantenimiento de techos verdes y jardines verticales, facilitando su implementación exitosa. Esto permitirá no solo garantizar la sostenibilidad a largo plazo de estas soluciones, sino también incrementar su adopción, al evidenciar sus beneficios sociales y ambientales de forma tangible.

Por otro lado, del modelo de negocio se espera que demuestre su viabilidad financiera, evidenciando el retorno de inversión asociado a este tipo de infraestructura verde. Además de destacar sus impactos positivos en el entorno urbano, el modelo busca posicionar estas soluciones como decisiones estratégicas que aumentan el valor de los predios y abren nuevas oportunidades de desarrollo para las edificaciones en Bogotá.

Palabras clave: Techos verdes, jardines verticales, infraestructura verde, cambio climático, sostenibilidad urbana, modelo de gestión, modelo de negocio, Bogotá.

INTRODUCCIÓN

El acelerado crecimiento urbano ha generado una pérdida progresiva del contacto con los elementos naturales y los servicios ecosistémicos que estos proveen, configurando dinámicas de ciudad centradas en servicios urbanos que, lejos de resolver, han agravado problemáticas como la contaminación atmosférica, la pérdida de biodiversidad, la reducción de espacios verdes por habitante y el efecto isla de calor urbana. Estos factores han incrementado la vulnerabilidad de los entornos urbanos frente al cambio climático, convirtiendo a las ciudades en focos de riesgo ante fenómenos como el aumento de temperaturas extremas, debido a la alta concentración de infraestructuras y la escasez de áreas verdes funcionales.

En Bogotá, estas problemáticas se manifiestan con particular intensidad, dadas sus características de expansión urbana orientada al crecimiento social y económico, lo cual hace cada vez más urgente la adopción de estrategias que incorporen criterios de sostenibilidad. En respuesta a esta necesidad, en la última década ha tomado fuerza a nivel global el enfoque de valorización y gestión de los ecosistemas urbanos como actores clave en la provisión de servicios ecosistémicos esenciales. En este contexto, las Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN) se presentan como una alternativa viable para promover el equilibrio entre el entorno construido y los sistemas ecológicos. Entre estas soluciones, los techos verdes y los jardines verticales han demostrado ser opciones técnicas y paisajísticas efectivas para contribuir a la sostenibilidad urbana, gracias a su capacidad para regular la temperatura de los edificios, capturar carbono, reducir la contaminación del aire, gestionar de manera más eficiente las aguas lluvias y fomentar la biodiversidad en contextos urbanos densos.

Con el fin de superar las barreras técnicas y económicas que dificultan su implementación, esta investigación tiene como objetivo desarrollar un modelo de gestión y un modelo de negocio sostenible que optimice la instalación y mantenimiento de techos verdes y jardines verticales. Estos modelos buscan estandarizar variables críticas para su ejecución exitosa y facilitar su adopción por parte de diversos actores urbanos.

Para ello, se propone un planteamiento teórico de caso en la Universidad Pontificia Javeriana, cuya ubicación y características urbanas ofrecen un escenario propicio para evaluar la viabilidad de estas infraestructuras en un entorno real. Esta aproximación permitirá generar lineamientos replicables en otros sectores de la ciudad e incluso en diferentes contextos geográficos, promoviendo su escalabilidad y adopción tanto en el ámbito público como en el privado.

El modelo de negocio planteado se orienta a garantizar la viabilidad económica y ambiental de estas soluciones, posicionando la infraestructura verde no solo como una herramienta de mitigación y adaptación al cambio climático, sino también como una inversión con beneficios tangibles: valorización de los inmuebles, reducción de costos energéticos, mejora en la calidad de vida urbana y acceso a certificaciones en construcción sostenible.

Este trabajo se enmarca en las agendas globales de sostenibilidad, particularmente en los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), integrando marcos conceptuales, normativos y estratégicos vinculados a las SbN, la infraestructura verde y la gestión ambiental urbana, desde una perspectiva enfocada en la gerencia de los recursos naturales.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

A continuación, se presenta la descripción detallada del problema que aborda este estudio.

Descripción

Bogotá, como muchas grandes ciudades del mundo, enfrenta desafíos ambientales y urbanos cada vez más urgentes. El crecimiento acelerado de la población, la expansión desordenada de la mancha urbana y la falta de espacios verdes han generado problemas como la contaminación del aire, el efecto isla de calor y la pérdida de biodiversidad. Estos fenómenos no solo afectan la calidad de vida de los habitantes, sino que también tienen un impacto negativo en la salud pública y en el medio ambiente.

Frente a la magnitud de estos desafíos, diversas estrategias de adaptación y mitigación urbana basadas en la naturaleza, como los techos verdes y los jardines verticales, han demostrado globalmente su potencial para ofrecer múltiples beneficios: desde la captura de carbono y la regulación térmica (reducción del efecto isla de calor) hasta la mejora de la calidad del aire y la gestión sostenible del agua lluvia. Sin embargo, a pesar de estas capacidades verificables para impulsar la sostenibilidad urbana, su adopción y despliegue a gran escala en Bogotá aún enfrentan barreras significativas.

Existen barreras como la falta de normativas claras, los altos costos iniciales y la escasez de información técnica que guíe su diseño, instalación y mantenimiento. Además, muchos ciudadanos y tomadores de decisiones desconocen los beneficios concretos que estas soluciones pueden aportar, lo que dificulta su adopción masiva.

Por otro lado, aunque en ciudades como Toronto, Singapur y Medellín se han implementado con éxito políticas y proyectos de techos verdes y jardines verticales, en Bogotá aún no se ha desarrollado un modelo de gestión integral que permita su expansión y mantenimiento a gran escala. Esto representa una oportunidad perdida para mejorar la sostenibilidad urbana y enfrentar los desafíos ambientales de la ciudad.

Preguntas de investigación

Pregunta 1:
¿Cómo contribuyen los techos verdes y jardines verticales como infraestructura verde a generar beneficios sociales y ambientales en ambientes urbanos?
Pregunta 2:
¿De qué forma puede un modelo de gestión optimizar los recursos técnicos y económicos en la implementación y mantenimiento de techos verdes y jardines verticales, maximizando simultáneamente sus beneficios ambientales y sociales?
Pregunta 3
¿Cuál es la viabilidad económica y la escalabilidad de un modelo de negocio sostenible para la implementación y mantenimiento de techos verdes y jardines verticales en contextos urbanos?

2. JUSTIFICACIÓN

La presente investigación surge como una respuesta integral a la necesidad de implementar Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN) mediante infraestructura verde en Bogotá, con el propósito de enfrentar los desafíos ambientales y sociales derivados de la urbanización acelerada y la desconexión entre la infraestructura construida y los espacios naturales. La investigación tiene como alcance el desarrollo de un modelo de gestión y un modelo de negocio aplicables en contextos urbanos, que contribuyan a superar barreras técnicas y económicas asociadas a la implementación de techos verdes y jardines verticales. En este marco, se evalúa el impacto social y ambiental de estas soluciones, y se generan herramientas de planificación y gestión estratégica alineadas con los intereses de los sectores público y privado.

El tipo de aporte de los resultados se orienta tanto a nivel práctico como teórico, generando herramientas de planificación que faciliten la toma de decisiones, fomente la colaboración interinstitucional y promueva inversiones sostenibles. Desde el enfoque académico y aplicado, contribuye al fortalecimiento del conocimiento interdisciplinario sobre la infraestructura verde como mecanismo de mitigación y adaptación al cambio climático, promoviendo sinergias entre la Gerencia de los Recursos Naturales, la planificación urbana y la innovación tecnológica.

El modelo de gestión propuesto adopta un enfoque multidisciplinario que garantiza su escalabilidad, adaptabilidad y sostenibilidad en diversos contextos urbanos, desde edificaciones individuales hasta desarrollos urbanos complejos como centros comerciales e infraestructuras institucionales. Desde la perspectiva económica, el modelo de negocio vinculado genera oportunidades concretas en el diseño, instalación y mantenimiento de infraestructura verde, incrementando la competitividad del sector inmobiliario y permitiendo la optimización de recursos a través de la reducción del consumo energético, la disminución de costos operativos y una recuperación más eficiente de la inversión inicial.

Asimismo, la investigación contribuye al desarrollo de modelos de gestión que integren las necesidades y percepciones sociales, fomenten la capacitación y la mejora continua, y promuevan la escalabilidad y adaptabilidad. La estructuración de un modelo de negocio facilita la articulación de las oportunidades del proyecto y de los beneficios potenciales derivados de la colaboración con actores públicos y privados, así como el aprovechamiento de incentivos económicos y mecanismos de financiamiento que favorezcan la implementación de proyectos de infraestructura verde en Bogotá y la adopción de Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN), fortaleciendo la planificación urbana y la resiliencia ambiental.

En síntesis, representa un aporte significativo en la generación de conocimiento aplicado e integrado, con impacto en la formulación de estrategias de gestión urbana y sostenibilidad ambiental, aportando herramientas concretas para fortalecer la resiliencia frente al cambio climático y promover un desarrollo urbano más equilibrado y responsable.

3. OBJETIVOS

Objetivo general.

Diseñar y evaluar un modelo de gestión y un modelo de negocio sostenible para la implementación y mantenimiento de techos verdes y jardines verticales en Bogotá, analizando su contribución a los beneficios sociales y ambientales urbanos.

Objetivos específicos.

1. Analizar la contribución de los techos verdes y jardines verticales como infraestructura verde en la generación de beneficios sociales y ambientales en entornos urbanos.
2. Diseñar un modelo de gestión que optimice los recursos técnicos y económicos en la implementación y mantenimiento de techos verdes y jardines verticales, maximizando simultáneamente sus beneficios ambientales y sociales.
3. Evaluar la viabilidad económica y la escalabilidad de un modelo de negocio sostenible para la implementación y mantenimiento de techos verdes y jardines verticales en contextos urbanos.

4. MARCO DE REFERENCIA

En el acápite a continuación se desarrolla el marco de referencia tomado como base para la investigación.

Antecedentes

En un mundo con tasas de urbanización cada vez mayores, donde el concreto domina el paisaje y los espacios verdes son cada vez más escasos, las soluciones basadas en la naturaleza surgen como una alternativa prometedora para enfrentar los desafíos ambientales de las ciudades. Dichas soluciones no solo embellecen el entorno urbano, sino que buscan ofrecer beneficios ecosistémicos como la captura de carbono, la regulación térmica y la conservación de la biodiversidad. En esencia, son una forma de devolver a la naturaleza un espacio en medio del crecimiento urbano acelerado.

En ciudades como Bogotá, donde la expansión descontrolada ha reducido drásticamente las áreas verdes, la implementación de techos verdes y jardines verticales se presentan como parte de las solucionas basadas en la naturaleza una alternativa viable para mejorar la calidad de vida de los habitantes mientras que a la vez actúan en aras de mitigar los efectos del cambio climático. Sin embargo, a pesar de su potencial, la adopción de estas soluciones en la ciudad ha sido limitada y carece de una estrategia integral que permita maximizar sus beneficios.

Este trabajo busca llenar ese vacío, proponiendo un modelo de gestión que optimice la implementación y mantenimiento de techos verdes y jardines verticales en Bogotá. Para ello, es fundamental entender lo que se ha hecho hasta ahora, tanto en la ciudad como en otras partes del mundo, y construir sobre esos cimientos un futuro más sostenible. Los antecedentes que se presentan a continuación no solo contextualizan la problemática, sino que también resaltan la importancia y urgencia de esta investigación.

Antecedentes Internacionales

Continuando con los ejemplos de políticas de fomento, en Berlín, Alemania, las estrategias para impulsar los techos verdes incluyen subsidios y programas de financiamiento. Estas iniciativas han incentivado a propietarios y empresas a adoptar masivamente estas soluciones, permitiendo que Berlín se posicione como una de las ciudades líderes en Europa en la implementación de infraestructura verde, con beneficios tangibles en la reducción de emisiones de CO_2 y la mejora del confort térmico urbano (Ibañez, 2008). Es importante destacar que la investigación pionera sobre sistemas de techos verdes comenzó en Alemania en la década de 1960, donde se desarrollaron las primeras tecnologías y normativas para su implementación. Este liderazgo alemán no solo sentó las bases para una industria global, sino que también generó una creciente confianza en esta tecnología. Hoy, Alemania es reconocida como el país con la mayor superficie de techos verdes per cápita en el mundo, con más de 120 millones de metros cuadrados instalados en todo el país (Banoy & Osorio, 2021).

Además de estos casos europeos y asiáticos, en Estados Unidos, ciudades como Chicago y Nueva York han adoptado programas de incentivos fiscales para fomentar la instalación de techos verdes. En Chicago, por ejemplo, el programa "Green Roof Grant Program" ofrece subsidios para cubrir hasta el 50% de los costos de instalación, lo que ha permitido la creación de más de 500 techos verdes en la ciudad. Estos proyectos han demostrado beneficios significativos en la reducción de la escorrentía de aguas pluviales y la mejora de la calidad del aire urbano (Beltran & Gallego, 2021).

Finalmente, es relevante mencionar que en Europa, los techos verdes se clasifican comúnmente como extensivos o intensivos, dependiendo de su complejidad y mantenimiento. Los techos verdes extensivos son más ligeros, requieren menos mantenimiento y están diseñados principalmente para funciones ecológicas, como la captura de carbono y la regulación térmica. Por otro lado, los techos verdes intensivos son más complejos, con una mayor variedad de vegetación y usos, como jardines comunitarios o espacios recreativos. Esta clasificación ha permitido a ciudades como Londres (Inglaterra) y Zúrich (Suiza) adaptar los techos verdes a sus necesidades específicas, desde la conservación de la biodiversidad hasta la creación de espacios públicos verdes (Ibañez, 2008).

Regulaciones, Políticas y Evidencia Científica Internacional de la Infraestructura Verde

A nivel internacional, los techos verdes y jardines verticales se han consolidado como componentes clave de las Soluciones Basadas en la Naturaleza (NBS), implementándose globalmente para abordar desafíos urbanos como la contaminación del aire y del agua, el efecto isla de calor urbano y el ruido. Las regulaciones y políticas públicas han sido fundamentales para su éxito en ciudades líderes. Por ejemplo, Toronto, Canadá, desde 2009, obliga a los edificios comerciales nuevos a incluir techos verdes, lo que ha contribuido a reducir el efecto isla de calor y mejorar la calidad del aire (Banoy & Osorio, 2021). Singapur, con su iniciativa "Ciudad en un Jardín", ha integrado estratégicamente esta infraestructura, regulando la temperatura y promoviendo la biodiversidad (Beltran & Gallego, 2021).

En Alemania, país pionero en la investigación y desarrollo de techos verdes desde la década de 1960, se han implementado subsidios y programas de financiamiento que han incentivado su adopción masiva, posicionando a Berlín como líder en Europa en infraestructura verde con más de 120 millones de metros cuadrados instalados a nivel nacional (Ibañez, 2008; Banoy & Osorio, 2021). Otros países como Holanda, Suiza y Suecia también ofrecen incentivos financieros significativos, incluyendo créditos de ahorro de energía, subsidios y reducciones de impuestos (Beltran & Gallego, 2021).

En Estados Unidos, ciudades como Chicago y Nueva York han adoptado programas de incentivos fiscales, como el "Green Roof Grant Program" de Chicago, que cubre hasta el 50% de los costos de instalación, resultando en más de 500 techos verdes que han demostrado beneficios en la reducción de la escorrentía de aguas pluviales y la mejora de la calidad del aire (Beltran & Gallego, 2021). La clasificación europea de techos verdes en extensivos e intensivos ha permitido a ciudades como Londres y Zúrich adaptar estas soluciones a necesidades específicas, desde la conservación de la biodiversidad hasta la creación de espacios públicos (Ibañez, 2008).

La eficacia de los techos verdes y jardines verticales está ampliamente respaldada por la evidencia científica. Estudios han demostrado su impacto directo en la mitigación de los desafíos urbanos. Por ejemplo, en Toronto, se ha observado una reducción de la temperatura superficial de los edificios de hasta 5°C gracias a los techos verdes, disminuyendo la demanda energética para refrigeración. En Singapur, la infraestructura verde ha contribuido a reducir la temperatura promedio de la ciudad hasta en 1.5°C (Banoy & Osorio, 2021). Un metaanálisis de Manso et al. (2021), que revisó más de 50 estudios internacionales, concluyó que los techos verdes pueden capturar entre 0.5 y 2 kg de CO_2 por metro cuadrado al año y reducir la temperatura interior de los edificios entre 3°C y 7°C, generando ahorros energéticos significativos. Además, Santamouris et al. (2018) analizaron el impacto de los techos verdes en Europa y América del Norte, mostrando una reducción promedio de la temperatura urbana entre 0.5 ∘C y 2 ∘C.

Estos sistemas también ofrecen servicios ecosistémicos vitales como la regulación del microclima, la gestión de aguas pluviales, la absorción de ruido, la purificación del aire y la provisión de hábitats para la vida silvestre (Ibañez, 2008). La Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) ha destacado que estas características los convierten en una herramienta esencial para abordar desafíos críticos como el cambio climático, la seguridad hídrica y alimentaria, y la pobreza.

Antecedentes Nacionales (Colombia)

Colombia ha avanzado significativamente en la implementación de techos verdes y jardines verticales, con ciudades como Medellín, Cali y Barranquilla liderando proyectos innovadores que integran la infraestructura verde en sus entornos urbanos. Medellín, en particular, es considerada un pionero nacional en políticas públicas sostenibles. Desde 2005, la ciudad ha promovido proyectos amigables con el medio ambiente, destacándose el Proyecto "Corredores Verdes", que transformó más de 30 corredores viales en espacios verdes. Esta iniciativa no solo ha mejorado la calidad del aire, sino que también ha reducido la temperatura urbana en hasta 2°C (Banoy & Osorio, 2021). Además, en 2015, el Edificio EPM implementó un proyecto de techos verdes y jardines verticales, transformando terrazas y oficinas en espacios verdes que combinan vegetación, diseño arquitectónico y paisajismo sostenible e innovador.

En Cali, por otro lado, se han desarrollado iniciativas de techos verdes en algunos edificios públicos y privados, con un enfoque en la sostenibilidad y la mejora del microclima urbano. Barranquilla, por su parte, ha incorporado jardines verticales en proyectos de renovación urbana, destacándose por su enfoque en la integración de la infraestructura verde en zonas de alta densidad poblacional. En estas ciudades se refleja un compromiso sostenible con la creación de espacios que preservan el medio ambiente y promueven el equilibrio social, económico y ambiental (Banoy & Osorio, 2021).

En el caso de Bogotá, la capital ha dado pasos importantes en la adopción de estas tecnologías, aunque con un enfoque más reciente. Proyectos emblemáticos como el Parque La Colina y el Jardín Botánico de Bogotá han incorporado techos verdes y jardines verticales como parte de sus estrategias de sostenibilidad. Además, el Plan de Gestión Ambiental de Bogotá incluye lineamientos para fomentar la infraestructura verde en la ciudad, con el

objetivo de mitigar el efecto isla de calor y mejorar la calidad del aire. Sin embargo, a diferencia de Medellín, Bogotá aún enfrenta desafíos en la implementación masiva de estas soluciones, como la falta de incentivos económicos claros y la necesidad de mayor conciencia ciudadana sobre sus beneficios (Banoy & Osorio, 2021).

Colombia cuenta con un marco normativo y programas gubernamentales que fomentan la implementación de techos verdes y jardines verticales, aunque aún existen desafíos en términos de difusión y claridad de las políticas. El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible ha establecido incentivos fiscales para empresas que adopten prácticas ambientales sostenibles, como la implementación de techos verdes, incluyendo reducciones de impuestos y mejoras en el flujo de caja de los proyectos (Banoy & Osorio, 2021). A nivel municipal, ciudades como Bogotá, Medellín y Cali han desarrollado planes de acción que promueven la infraestructura verde. Por ejemplo, el Plan de Gestión Ambiental de Bogotá incluye lineamientos para la implementación de techos verdes y jardines verticales como estrategias de mitigación del cambio climático. No obstante, aún se requiere una mayor difusión de estas políticas y la creación de incentivos más claros para fomentar su adopción masiva (Valencia & Grajales, 2019).

A pesar del creciente interés por los techos verdes y jardines verticales en Colombia, persisten vacíos en la investigación, existen pocos estudios sobre el ciclo de vida de estas tecnologías en el contexto colombiano, especialmente considerando el clima bimodal del país. Además, se necesita más investigación sobre el desarrollo de materiales locales para sustratos, sistemas de drenaje y especies vegetales adaptadas a las condiciones climáticas específicas de cada región (Beltran & Gallego, 2021; Ibañez, 2008). A pesar de los avances, Colombia enfrenta desafíos significativos en la adopción de techos verdes y jardines verticales, destacándose la falta de incentivos claros. Aunque existen incentivos fiscales a nivel nacional, muchos municipios aún no han implementado políticas locales específicas para promover estas tecnologías. Se requiere un mayor esfuerzo en la creación de esquemas de difusión y la promoción de incentivos económicos, como reducciones de impuestos prediales o tarifas de servicios públicos (Valencia & Grajales, 2019).

La necesidad de investigación local es apremiante, ya que la mayoría de los estudios se basan en experiencias internacionales, limitando su aplicabilidad al contexto colombiano. Es fundamental desarrollar investigaciones que consideren las condiciones climáticas, sociales y económicas específicas del país (Beltran & Gallego, 2021). Una oportunidad importante radica en la integración en la educación, ya que las facultades de Arquitectura e Ingeniería en Colombia han comenzado a incorporar temas de sostenibilidad en sus programas académicos, lo que representa una vía para formar profesionales capacitados en el diseño e implementación de infraestructura verde (Ibañez, 2008).

Antecedentes Locales (Bogotá)

Bogotá ha comenzado a adoptar techos verdes y jardines verticales como parte de sus estrategias para enfrentar los desafíos ambientales urbanos, como el efecto isla de calor, la contaminación del aire y la pérdida de espacios verdes. Aunque la implementación de estas tecnologías es más reciente en comparación con ciudades como Medellín, la capital ha

desarrollado proyectos emblemáticos y ha establecido progresivamente normativas para fomentar su adopción.

Uno de los proyectos pioneros en Bogotá es el edificio de la Secretaría Distrital de Ambiente, que cuenta con 400 metros cuadrados de techos verdes, convirtiéndose en el primer edificio público ecológico del distrito (Secretaría Distrital de Ambiente, 2021). Este proyecto no solo demostró la viabilidad de los techos verdes en la ciudad, sino que también sirvió como un modelo para futuras iniciativas públicas y privadas. En el sector privado, el edificio Novartis marcó un hito al convertirse en uno de los primeros en Colombia en obtener la certificación LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) a nivel plata, lo que refleja su compromiso con la sostenibilidad y la eficiencia energética potenciada por la infraestructura verde (Colombia Green Building Council, n.d.).

En cuanto a los jardines verticales, Bogotá también ha sido escenario de proyectos innovadores. En 2012, el Hotel B3 instaló el primer jardín vertical hidropónico de gran magnitud en América Latina, cubriendo su fachada occidental con más de 360 metros cuadrados de vegetación, contribuyendo a la regulación térmica y purificación del aire (Plataforma Arquitectura, 2012). Sin embargo, uno de los proyectos más ambiciosos y reconocidos internacionalmente es el edificio Santalaia, ubicado en el barrio Chapinero. En 2015, este edificio residencial implementó un jardín vertical de 3,017 metros cuadrados, cubriendo sus paredes y techo con más de 115,000 plantas, convirtiéndose en un referente de arquitectura sostenible y uno de los jardines verticales más grandes del mundo (El Espectador, 2015).

Bogotá cuenta con un marco normativo que busca fomentar la implementación de techos verdes y jardines verticales. En 2009, la ciudad emitió el Acuerdo 418, que estableció una base para el desarrollo de proyectos locales de techos verdes, promoviendo su incorporación en edificios públicos y designando al Jardín Botánico de Bogotá y a la Secretaría Distrital de Ambiente como entidades asesoras (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2009). Además, en 2019, la Alcaldía de Bogotá emitió el Decreto 531, que ofrece incentivos para la construcción sostenible, incluyendo reducciones en el impuesto predial y tarifas preferenciales en trámites de construcción para proyectos que incorporen techos verdes y jardines verticales (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2019). Aunque estas normativas han sentado las bases, aún existen desafíos en términos de difusión y adopción masiva.

El mercado de techos verdes y jardines verticales en Bogotá ha experimentado un crecimiento significativo en los últimos años. Se ha reportado que en 2012 se construyeron más de 30,000 metros cuadrados de techos verdes en la ciudad, y desde entonces han surgido numerosas empresas locales y extranjeras especializadas en el diseño y construcción de estos sistemas. Sin embargo, los costos de construcción y mantenimiento siguen siendo un desafío importante. Aunque los beneficios a largo plazo, como el ahorro energético y la mejora de la calidad del aire, justifican la inversión, muchos propietarios y constructores aún son reacios a adoptar estas tecnologías debido a la falta de incentivos económicos claros y a la poca conciencia sobre sus beneficios (Valencia & Grajales, 2019).

Marco técnico

Esta sección aborda los fundamentos conceptuales y técnicos de las SbN y de la infraestructura verde, con énfasis en los techos verdes y jardines verticales considerando su aporte a la sostenibilidad ambiental, social y funcional de las ciudades.

Soluciones basadas en la naturaleza (SbN) e infraestructura verde

El concepto de Soluciones Basadas en la Naturaleza (SbN) hace referencia a un conjunto de acciones orientadas a proteger, gestionar y restaurar de manera sostenible los ecosistemas naturales o modificados, con el fin de responder de forma eficaz y adaptativa a los desafíos sociales, al tiempo que se generan beneficios para la biodiversidad y el bienestar humano. Estas soluciones están inspiradas en los procesos y dinámicas de los sistemas naturales e integran enfoques como la Adaptación basada en Ecosistemas (AbE). En este sentido, las SbN pueden definirse como *"(…) acciones para proteger, gestionar y restaurar de manera sostenible los ecosistemas naturales o modificados que hacen frente a los desafíos sociales de manera efectiva y adaptativa, proporcionando simultáneamente beneficios para el bienestar humano y la biodiversidad"* (Zucchetti et al., 2020, p. 7).

Dentro del marco de las SbN, la infraestructura verde se consolida como una estrategia clave que complementa a la infraestructura gris —relacionada con construcciones urbanas como edificios, carreteras y sistemas de drenaje— y a la infraestructura azul —compuesta por cuerpos de agua como ríos y lagos—. Las ciudades modernas se estructuran a partir de la interacción entre estas tres infraestructuras. Por ello, resulta fundamental optimizar sus dinámicas de forma integrada para lograr territorios más sostenibles, resilientes y habitables.

El término *"infraestructura verde"* fue empleado por primera vez en 2004 por la Comisión de Corredores Verdes de Florida, donde se la definió como *"una red interconectada de áreas naturales y otros espacios que conservan los valores y funciones de los ecosistemas naturales, mantienen el aire y el agua limpios, y proveen un amplio abanico de beneficios a la vida silvestre y humana"* (Zucchetti et al., 2020, p. 6).

En esta línea, la Comisión Europea (2013) también la define como *"una herramienta para proporcionar beneficios ecológicos, económicos y sociales a través de soluciones naturales que nos ayudan a entender las ventajas que la naturaleza ofrece a la sociedad y a movilizar inversiones que sostengan y mejoren estos beneficios"* (citado por Zucchetti et al., 2020, p. 6). Esta definición resalta el potencial de la infraestructura verde no solo como una alternativa ambientalmente efectiva, sino como un instrumento estratégico para el desarrollo urbano sostenible, el cual es el abordaje que plantea el presente trabajo de investigación.

Fundamentos técnicos de los techos verdes y jardines verticales

Según la Secretaría Distrital de Ambiente (SDA, 2023), los techos verdes y jardines verticales destacan dentro de la infraestructura vegetada por su papel en la conectividad ecológica de la Estructura Ecológica Principal de Bogotá. Estos sistemas no solo embellecen el paisaje urbano y mejoran el espacio público, sino que también contribuyen a aumentar la cantidad de áreas verdes disponibles por habitante.

La biodiversidad en las ciudades juega un papel fundamental en la sostenibilidad, ya que es clave para la provisión y manejo de servicios ecosistémicos. En este sentido, las ciudades tienen la responsabilidad de implementar estrategias de gestión sostenible, conservación y restauración de ecosistemas, con el objetivo de garantizar el acceso equitativo a estos beneficios ambientales, fortalecer los procesos ecológicos esenciales y mejorar la calidad de vida de la población. Además, estos esfuerzos permiten equilibrar la oferta ambiental y fomentar una apropiación sostenible del espacio público.

Los techos verdes, según la SDA (2023), se definen como *"…un sistema constructivo que permite mantener de manera sostenible un paisaje vegetal sobre la cubierta de una edificación, mediante una adecuada integración entre el inmueble intervenido, la vegetación escogida, el medio de crecimiento diseñado y los factores climáticos y ambientales"* (p. 14). Su principal función en las ciudades es la incorporación de masa vegetal en entornos urbanos, contribuyendo a la regulación térmica, la captura de carbono y la reducción de la contaminación.

Por su parte, los jardines verticales son descritos como *"coberturas vegetales conformadas por plantas de hábitos herbáceos, epífitas, bejucos o enredaderas, instaladas sobre una superficie vertical, como muros, culatas o cerramientos, con el fin de obtener beneficios ambientales y paisajísticos"* (SDA, 2023, p. 37). Estos sistemas no solo mejoran la calidad del aire y la estética urbana, sino que también fomentan la biodiversidad y la integración de espacios verdes en infraestructuras existentes.

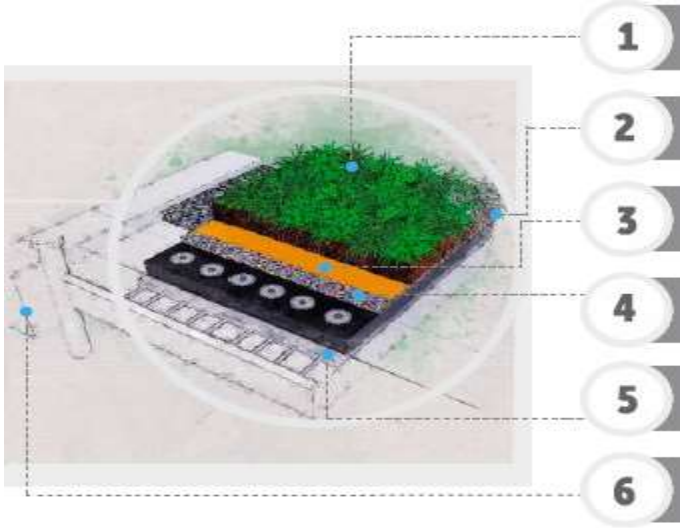
Los techos verdes y jardines verticales ofrecen múltiples beneficios ambientales y urbanos. Entre ellos, destacan la reducción del efecto Isla de Calor Urbana, la disminución de la contaminación acústica, la mejora del confort térmico en las edificaciones, la reducción del material particulado y la contaminación atmosférica, así como el incremento de los espacios verdes disponibles por habitante.

Para optimizar el funcionamiento y eficiencia de estos sistemas, es fundamental definir adecuadamente los requerimientos técnicos antes de su implementación. Esto incluye evaluar la capacidad de carga de la estructura, seleccionar la tecnología adecuada, determinar la tipología del sistema y elegir el material vegetal idóneo. Una planificación adecuada garantizará la sostenibilidad y el máximo aprovechamiento de sus beneficios.

Los techos verdes están conformados por diversos componentes clave, cada uno con una función específica (SDA, 2023):

- Componentes activos: Incluyen la cobertura vegetal y el medio de crecimiento, que permiten la retención de humedad, la absorción de contaminantes y la generación de biodiversidad.
- Componentes estables: Comprenden barreras filtrantes, medios de drenaje y sistemas de irrigación, esenciales para el control del agua y la estabilidad estructural.
- Elementos auxiliares: Engloban dispositivos de protección, sistemas de riego, iluminación y mantenimiento, necesarios para prolongar la vida útil del sistema y garantizar su óptimo desempeño.

La correcta integración de estos elementos no solo fortalece la infraestructura verde urbana, sino que también contribuye a la resiliencia climática y a la sostenibilidad ambiental de las ciudades. Los elementos que componen un sistema de techo verde son los siguientes (SDA, 2023):



1. Capa vegetal: ornamento del sistema, retención de material particulado y hábitat para especies de fauna.
2. Sustrato: aporte de nutrientes necesarios para el mantenimiento de la capa vegetal.
3. Membrana: capa antirraíz que protege el manto impermeable del techo.
4. Panel de irrigación y riego: proveedor de agua al sistema y drenaje en caso de saturación.
5. Manto impermeable: protección de la fachada del efecto del agua, humedad, filtraciones y agentes químicos.
6. Losa de techo: soporte estructural del sistema, contribuye al drenaje del agua.

El sustrato es un componente fundamental en la funcionalidad de los techos verdes, ya que influye directamente en la estabilidad del sistema y en el desarrollo adecuado de la vegetación. Su composición determina aspectos clave como la compatibilidad de las especies vegetales, la permeabilidad, la capacidad de saturación y el contenido de nutrientes necesarios para el crecimiento de las plantas.

Uno de los factores más críticos en el diseño de un techo verde es el peso del sustrato, ya que afecta la capacidad de carga estructural de la edificación. Se estima que, con un espesor de 6 cm, el sustrato puede representar hasta el 87% del peso total del sistema. Por ello, su selección y diseño deben considerar criterios de resistencia, eficiencia hídrica y sostenibilidad para garantizar el éxito y la durabilidad de la infraestructura verde.

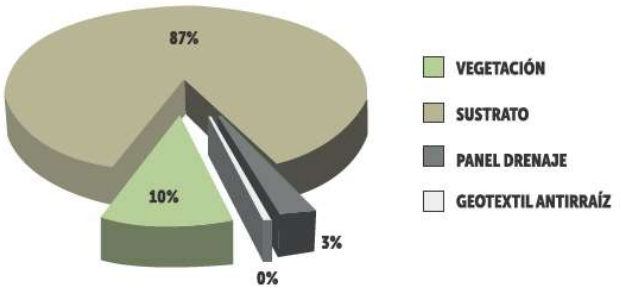


Imagen 1. Factores críticos en el diseño de techos verdes. Fuente: SDA, 2023.

Para otorgar viabilidad técnica al sistema es necesario evaluar (SDA, 2023):

1. Estanqueidad: impedir la penetración de agua a la estructura que genere infiltraciones y deterioro generado por la humedad.
2. Drenaje: permitir el flujo de agua lluvia o riego mediante sistemas efectivos de evacuación.
3. Retención de agua: captar y almacenar la cantidad de agua necesaria para el sistema.
4. Consistencia: garantizar estabilidad al sistema y sus componentes.
5. Nutrición: proporcionar equilibrio nutricional a la cobertura vegetal.
6. Filtración: permitir el flujo de agua impidiendo el paso de partículas.

Existen diferentes tipologías de techos verdes que han sido adoptadas por el Distrito Capital y que poseen componentes diferenciadores como el espesor del sustrato, el material vegetal utilizado y su propósito, es importante determinar si el techo tendrá tráfico nulo, ligero o completo de personas para así valorar la capacidad de carga de este.

Tabla 1. Tipologías de techos verdes.

TIPOLOGÍA	CARACTERÍSTICAS	BENEFICIOS
Techo verde extensivo	Posee componentes ligeros de material vegetal y sustrato que no aportar un alto espesor al diseño. Poseen bajos costos de mantenimiento y de poco cuidado. Es idónea para tráfico nulo y de baja resistencia a peso externo como mobiliario.	Mejora energética Mejora de la cubierta Mejora paisajística
Techo verde intensivo	Requiere adecuaciones técnicas arquitectónicas significativas debido al peso que pueden soportar en términos de tráfico y peso de las especies vegetales. Es idóneo para fines recreativos y comerciales, su capacidad de carga permite la instalación de senderos, iluminación y mobiliario. Su mantenimiento y cuidado es de alto costo y dedicación.	Confort térmico y acústico Receptor de agua Mejora paisajística
Techo verde semintensivo	Requiere adecuaciones técnicas en la cubierta. Con menos espesor en el sustrato que la tipología intersiva. Apto para tráfico ligero e indóneo para fines paisajísticos contemplativos, permite la adecuación de caminos. Posee costos medios de mantenimiento con un	Valorización del precio Mejora del entorno urbano Receptor hídrico

	cuidado de dedicación moderada.	
Techo verde especializado o biodiverso	Presenta las características de los sistemas extensivos o semintensivos. Idóneos para crear hábitats de flora y fauna nativa.	Fomento de hábitat para especies de fauna y flora. Conectores con la Estructura Ecológica Principal.
Techo verde para huerta urbana	Tipología especializada para la producción de alimentos con características de un sistema intensivo debido a sus necesidades de agua y nutrientes. Posee altos costos de mantenimiento.	Producción de alimentos
Techo verde para recolector hídrico	Sistema especializado para la recolección y almacenamiento de agua lluvia para riego, limpieza, fines sanitarios, entre otros.	Auto abastecimiento hídrico Reducción de costos de consumo hídrico
Techos verdes para paneles solares	Sistema especializado para la instalación de generadores de energía eléctrica fotovoltaica o solar térmica. Realiza aprovechamiento de la exposición a radiación solar.	Reducción de costos en consumo energético.

Fuente: propia con información de SDA, 2023.

La representatividad del sustrato puede identificarse en cada una de las tipologías.



Imagen 2. Tipologías de techos verdes. Fuente: SDA, 2023.

Por otro lado, los jardines verticales ofrecen múltiples beneficios ambientales y urbanos, entre ellos la recolección y aprovechamiento de aguas lluvias, la reducción del material particulado, la mejora de la conectividad ecológica, el aislamiento térmico, la purificación del aire y la recuperación de zonas urbanas degradadas. Gracias a su diseño, estos sistemas permiten integrar vegetación en edificaciones de gran altura, contribuyendo a la sostenibilidad y resiliencia urbana.

Al igual que los techos verdes, los jardines verticales están compuestos por elementos activos, estables y auxiliares. Sin embargo, presentan una mayor cantidad de material

vegetal y requieren sistemas de riego más especializados, generalmente con mecanismos de recirculación de agua para optimizar el uso del recurso hídrico.

Según la Secretaría Distrital de Ambiente (SDA, 2023), los jardines verticales se clasifican en:

- Sistemas directos: Incorporan plantas trepadoras con raíces, especies herbáceas y leñosas que crecen directamente sobre la superficie de la edificación.
- Sistemas indirectos: Utilizan estructuras de soporte para el crecimiento de trepadoras, permitiendo mayor flexibilidad en el diseño.
- Sistemas con tecnología de bolsillos: Una de las tipologías más comunes en el mercado, donde las plantas se insertan en compartimentos individuales que facilitan su mantenimiento.
- Sistemas según el sustrato: Se dividen en ligeros o pesados, dependiendo del tipo de material utilizado.
- Sistemas hidropónicos: Incorporan tecnologías sin suelo, donde las plantas reciben los nutrientes directamente a través del agua.

Mantenimiento y gestión técnica

De acuerdo con SDA, 2023., las tareas de mantenimiento definidas para techos verdes y jardines verticales son las siguientes, debe considerarse que los jardines verticales requieren mayor capacidad de trabajo y especialización en jardinería y sistemas de riego:

Tabla 2. Mantenimiento de la infraestructura.

Elementos	Tareas de mantenimiento	Frecuencia sugerida
Elementos constructivos: muros, pavimento, impermeabilización y elementos arquitectónicos	• Inspección técnica visual • Revisión de fijaciones • Detección de posibles puntos conflictivos y conservación de buen estado de la obra • Impermeabilización y arreglo	Dos o tres veces al año
Instalaciones: desagües, red de riego, iluminación, porteros automáticos, instalaciones diversas	• Inspección técnica y visual • Control y limpieza de alcantarillas y desagües, canales y sistemas de ventilación • Inspección, regulación y limpieza de instalaciones de riesgo • Control y revisión de instalaciones de luz	Trimestralmente
Mobiliario y elementos auxiliares	• Conservación de pintura • Revisión de fijaciones • Limpieza	Una o dos veces al año

Vegetación	• Eliminación de malas hierbas • Reposiciones o resiembras • Fertilización • Control de afecciones • Podas	Según la vegetación
Cubierta	• Tareas de limpieza general	Semanal

Fuente: SDA, 2023.

MARCO GEOGRÁFICO

A continuación, se presenta información del contexto geográfico del estudio de caso que se desarrollará para el planteamiento del modelo de gestión y de negocio.

Delimitación del espacio

El estudio de caso seleccionado es la Universidad Pontificia Javeriana ubicada en la ciudad de Bogotá en la Carrera 7 N° 40-62, específicamente en la localidad de Chapinero, barrio Cataluña. La selección de esta infraestructura se realiza considerando el acceso a la misma para la revisión de los detalles y la obtención de datos que permita la aplicación de la propuesta.

La Universidad Pontificia Javeriana es una institución de educación superior fundada en el año 1623; su ubicación estratégica sobre los Cerros Orientales, su cercanía al Parque Nacional y su ubicación urbana, además de su diseño e importancia en el contexto de la ciudad, lo convierten en una infraestructura representativa y atractiva para proyectos de infraestructura verde con múltiples vías de acceso como la Carrera Séptima, Calle 45, Calle 39, Carrera 13 y Avenida Caracas, lo que la hace además una infraestructura altamente visualizada por los habitantes de la ciudad

La ubicación de la Universidad límita con los barrios San Martón, Mariscal Sucre y el Paraíso. La sede cuenta con 18 hectáreas de terreno, cuenta con 45 edificios, 18 facultades y 18 cafeterías.

Para el desarrollo del trabajo de investigación se tomó para el planteamiento práctico el edificio Fernando Barón.



Imagen 3. Edificio Fernando Barón. Fuente: UniJaveriana, 2023.

A continuación, se presenta la ubicación geográfica del edificio Fernando Barón de la Pontificia Universidad Javeriana.

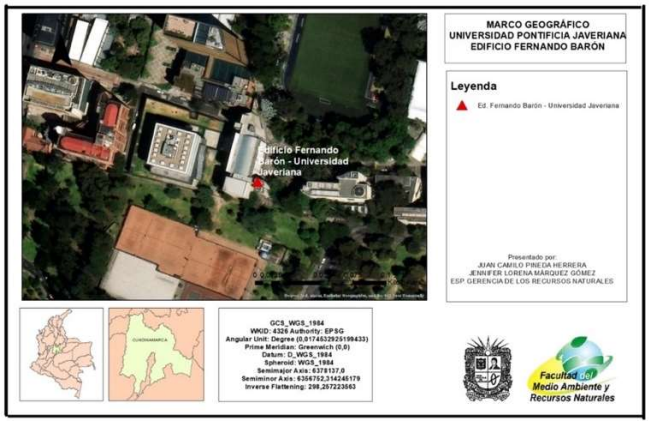


Imagen 4. Ubicación geográfico Fernando Barón. Fuente: propia.

MARCO LEGAL

A continuación, se presenta un análisis de la legislación y normatividad vigente aplicable a las Soluciones Basadas en la Naturaleza (SBN), con énfasis en los sistemas de techos verdes y jardines verticales.

Tabla 3. Marco legal.

NORMATIVA / ESTÁNDARES	CARÁCTER	DESCRIPCIÓN
Constitución política de 1991	Obligatorio	Artículo 79. Todas las personas tienen derechos a gozar de un ambiente sano. Es deber del Estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación. Artículo 80. El Estado planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, conservación, restauración o sustitución. Deberá prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental, imponer sanciones legales y exigir la reparación de los daños causados. Artículo 88. La ley regulará las acciones populares para la protección de los derechos e intereses colectivos, relacionados con el patrimonio, espacio, seguridad y salubridad pública, moral administrativa, ambiente, libre competencia económica y otros similares. Artículo 300. Corresponde a las Asambleas Departamentales por medio de ordenanzas.
Proyecto de Acuerdo No. 386 de 2009	Informativo	"Por el cual se implementan, promueven y estimulan las tecnologías de creación de techos verdes en Bogotá D.C." El proyecto de acuerdo busca que los techos de los edificios o inmuebles que se construyan, públicos y privados, implementen tecnología de techos verdes, bajo un modelo de gestión que genere nuevos hábitats urbanos innovadores y alternativos para preservar el ambiente. Se impone obligatoriedad de que las entidades públicas implementen techos verdes de forma progresiva.
Acuerdo 391 de 2009	Obligatorio	Por el cual se dictan los lineamientos del Plan Distrital de Mitigación y Adaptación al cambio climático.
Acuerdo 418 de 2009	Informativo	Por el cual se promueve la implementación de tecnologías arquitectónicas sustentables, como techos o terrazas verdes, entre otras en el Distrito Capital. La Administración Distrital es la entidad encargada de promover el urbanismo sostenible mediante el conocimiento, divulgación e implementación de techos, terrazas verdes y entre otras tecnologías en los proyectos de carácter Distrital como medida de adaptación y mitigación al cambio climático. El Estándar Único de Construcción Sostenible EUCS deberá considerar techo y terrazas verdes, contando con la asesoría y soporte técnico de la Secretaría Distrital de Ambiente y el Jardín Botánico José Celestino Mutis.
Resolución 6423 de 2011	Informativa	Por medio de la cual se adopta la Guía Técnica de Techos Verdes como una herramienta que establece requerimientos técnicos y aplicación de tecnologías de techos verdes en Bogotá D.C., bajo la asesoría y soporte técnico de la Subdirección y Gestión Ambiental Empresarial y la Subdirección de Ecosistemas y Ruralidad de la Secretaría Distrital de Ambiente en coordinación con el Jardín Botánico José Celestino Mutis quienes realizarán la revisión y actualización de la Guía cada dos (2) años.

Resolución 1305 de 2013	Informativa	Se detallan las dimensiones de los jardines verticales según su ubicación en jardines verticales, cerramientos, zona laterales de puentes vehiculares, Sistema Integrado de Transporte de Bogotá y elementos publicitarios verdes.
Resolución 1570 de 2014	Informativa	Modifica parcialmente la Resolución 6423 de 2011. Establece la adopción de la guía de techos verdes y jardines verticales como un instrumento de unificación de criterios técnicos y prácticas para la aplicación de techos verdes y jardines verticales en Bogotá.
Decreto 566 de 2014	Informativa	Adopta la Política Pública de Ecourbanismo y Construcción Sostenible de Bogotá D.C. 2014-2024 enfocado a la adaptación y mitigación del cambo climática.
CONPES 3943 de 2018	Informativa	Política para el mejoramiento de la calidad del aire.
NTC 6112	Voluntaria	Criterios ambientales para el diseño y construcción de edificaciones sostenibles para usos diferentes a vivienda.
NTC 14025	Voluntaria	Marco para evaluar el desempeño ambiental en el sector de la construcción.
NTC-ISO 15392:2021	Voluntaria	Sostenibilidad en edificaciones y obras de ingeniería ambiental. Identifica y establece los principios para la construcción de edificaciones y su relación con el desarrollo sostenible, aplicado a los ciclos de vida de las obras de construcción.
Leadership in Energy and Environmental Design LEED.	Voluntaria	Sistema de certificación que evalúa sostenibilidad en edificaciones.

Fuente: propia.

Tras la revisión del marco normativo colombiano, se identifica que la mayoría de las disposiciones existentes en esta materia tienen un carácter informativo y/o voluntario. En consecuencia, no existe actualmente una obligación normativa específica que exija la implementación de estas soluciones en proyectos constructivos o urbanísticos.

La única disposición de carácter obligatorio es la establecida en la Constitución Política de Colombia de 1991, la cual consagra en su artículo 79 el derecho de todas las personas a gozar de un ambiente sano, y establece la responsabilidad del Estado en la protección de la diversidad e integridad del ambiente, así como en la conservación de las áreas de especial importancia ecológica. Esta disposición otorga un marco general para el desarrollo de políticas públicas ambientales, pero no impone lineamientos específicos sobre la integración de infraestructura verde en los entornos urbanos.

Las normas restantes identificadas corresponden principalmente a resoluciones técnicas y estándares de certificación ambiental que orientan la implementación de buenas prácticas, pero cuya aplicación es voluntaria. Algunas de estas normas están relacionadas con criterios de sostenibilidad en la construcción, eficiencia energética, uso de recursos naturales y diseño bioclimático, sin que ninguna de ellas contemple de manera expresa la incorporación obligatoria de techos verdes o jardines verticales.

En consecuencia, se concluye que actualmente no existe una reglamentación de cumplimiento obligatorio que demande la incorporación de sistemas de infraestructura verde como parte integral del desarrollo urbano. Esta situación representa tanto un reto como una oportunidad para la formulación de políticas públicas más robustas que fomenten, incentiven y eventualmente regulen la inclusión de soluciones basadas en la naturaleza en los procesos de planificación y desarrollo urbano sostenible en Colombia.

5. METODOLOGÍA

En la metodología se presenta el enfoque metodológico que guía la investigación, incluyendo el tipo de estudio, diseño metodológico, identificación de variables clave y planteamiento de hipótesis para cada uno de los objetivos específicos. Además, se presenta una identificación de las actividades y los instrumentos utilizados para la consecución de cada uno de los objetivos específicos planteados.

5.1. Diagnóstico y análisis de la contribución de los techos verdes y jardines verticales.

A continuación, se presentan los enfoques metodológicos, actividades e instrumentos de recolección de información para el primer objetivo específico planteado.

Tabla 4. Tipo de investigación.

Objetivo específico	Enfoque metodológico	Actividades	Instrumentos de recolección de informes
1. Analizar la contribución de los techos verdes y jardines verticales como infraestructura verde en la generación de beneficios sociales y ambientales en entornos urbanos.	Enfoque: Cualitativo (Sampieri, 2014) Alcance: Descriptivo (Sampieri, 2014)	- Revisión de fuentes primarias y secundarias de información - Identificación de riesgos y oportunidades derivados de la implementación de proyectos de infraestructura verde	- Revisión de fuentes bibliográficas (bases de datos, estudios de caso, artículos académicos, legislación y normatividad, diagnósticos locales y nacionales, entre otros).
	Enfoque: Mixto (Sampieri, 2014) Alcance: Correlacional (Sampieri, 2014)	- Identificación de variables y metodologías de sustento para el planteamiento del modelo de gestión.	- Revisión de fuentes bibliográficas (bases de datos, estudios de caso, artículos académicos, legislación y normatividad, diagnósticos locales y nacionales, entre otros).

Fuente: propia.

Diseño de variables y planteamiento de hipótesis.

A continuación, se presentan las variables identificadas para cada una de las preguntas de investigación:

Tabla 5. *Diseño de variables.*

PREGUNTA	VARIABLES	NATURALEZA	CATEGORÍA	JUSTIFICACIÓN
¿Cómo contribuyen los techos verdes y jardines verticales como infraestructura verde a generar beneficios sociales y ambientales en ambientes urbanos?	Captura de CO2	Cuantitativa	Dependiente	Depende de la implementación y capacidad del sistema.
	Regulación térmica	Cuantitativa	Dependiente	Depende de la capacidad del sistema para moderar la temperatura del inmueble.
	Incremento de la biodiversidad	Cualitativa / Cuantitativa	Dependiente	Depende del proceso de introducción de especies vegetales y su correcto proceso de selección.
	Valorización de las propiedades	Cuantitativa	Dependiente	Depende de la percepción del sistema en el ambiente loca.
	Selección de especies vegetales	Cualitativa	Independiente	Se define del proceso de la selección de especies.
	Implementación de herramientas digitales	Cualitativa	Independiente	Definida por la selección e implementación de herramientas.
	Bienestar social generado	Cualitativa / Cuantitativa	Dependiente	Depende del diseño paisajístico, percepción de los usuarios y del contexto urbano en el que se implementa. Está asociado a beneficios como la reducción del estrés, mejora del estado de ánimo y valoración estética del entorno.
	Participación comunitaria	Cualitativa	Independiente	Factor que influye en la adopción y aceptación del proyecto en el ámbito local.

Fuente: propia.

Con base en el análisis de las preguntas de investigación, se postulan las hipótesis de investigación y se relacionan con las variables definidas anteriormente y las técnicas de recolección de información:

Tabla 6. Planteamiento de hipótesis.

Objetivo	Hipótesis	Variables	Técnicas de recolección de información
1. Analizar la contribución de los techos verdes y	El diagnóstico del contexto actual de los techos verdes y jardines	Normativas y políticas	Revisión de fuentes primarias y secundarias de información

jardines verticales como infraestructura verde en la generación de beneficios sociales y ambientales en entornos urbanos.	verticales en Bogotá, basado en fuentes de información primarias y secundarias, permitirá identificar las principales barreras en la implementación y mantenimiento en los mismos, asociados a alta de incentivos económicos, altos costos de mantenimiento, falta de conocimiento técnico y falta de modelos confiables para su implementación, mientras que las oportunidades se relacionan con el potencial costo-beneficio, la posibilidad de la estandarización de un modelo de gestión que derive a un modelo de negocio.	Disponibilidad de datos secundarios	Revisión de fuentes primarias y secundarias de información
		Cultura y percepción ciudadana	Revisión de fuentes primarias y secundarias de información
		Especies vegetales adecuadas	Revisión de fuentes primarias y secundarias de información
		Condiciones climáticas y ambientales de Bogotá	Revisión de fuentes primarias y secundarias de información
		Problemática ambiental local	Revisión de fuentes primarias y secundarias de información
		Estado actual de los techos verdes y jardines verticales	Revisión de fuentes primarias y secundarias de información

Fuente: propia.

5.2. Modelo de gestión

A continuación, se presentan los enfoques metodológicos, actividades e instrumentos de recolección de información para el segundo objetivo específico planteado.

Tabla 7. Tipo de investigación.

Objetivo específico		Actividades	Instrumentos de recolección de informas
2. Evaluar la viabilidad económica y la escalabilidad de un modelo de negocio sostenible para la	Enfoque: Mixto (Sampieri, 2014)	- Analizar las oportunidades de mercado identificando la oferta y demanda actual de infraestructura verde (específicamente techos	- Estudios de costos - Datos de estudio de caso planteado

implementación y mantenimiento de techos verdes y jardines verticales en contextos urbanos.	Alcance: Correlacional y explicativo (Sampieri, 2014)	verdes y jardines verticales) en Bogotá. - Analizar los incentivos económicos y idoneidad mediante la integración de la información recolectada en la fase de revisión bibliográfica. - Definir la propuesta de valor integrando las características y beneficios diferenciadores que aporta el modelo de gestión propuesto. - Establecer los costos de implementación, operación y mantenimiento - Analizar la viabilidad financiera considerando la valoración económica de los beneficios ambientales y sociales generados	- Revisión de fuentes primarias de información - Encuestas de percepción del mercado

Fuente: propia.

Diseño de variables y planteamiento de hipótesis.

A continuación, se presentan las variables identificadas para cada una de las preguntas de investigación:

Tabla 8. Diseño de variables.

¿De qué forma puede un modelo de gestión optimizar los recursos técnicos y económicos en la implementación y mantenimiento de techos verdes y jardines verticales, maximizando simultáneamente sus beneficios ambientales y sociales?	Cumplimiento normativo	Cualitativa	Independiente	Definido por el grado de identificación y cumplimiento de las normativas aplicables.
	Selección de especies vegetales	Cualitativa	Independiente	Se define del proceso de la selección de especies.
	Costos operativos	Cuantitativa	Dependiente	Su disminución o incremento es el resultado de una selección eficiente de especies y de herramientas informáticas.
	Viabilidad financiera y social	Cualitativa	Dependiente	Es el resultado de la valoración económica y el uso de herramientas financieras con los datos obtenidos por el modelo de gestión.
	Ahorro energético	Cuantitativa	Dependiente	Depende de la regulación térmica del sistema.
	Valorización de las propiedades	Cuantitativa	Dependiente	Depende de la percepción del sistema en el ambiente local.
	Estandarización de procesos técnicos y operativos	Cualitativa	Independiente	Constituye el insumo base para estructurar el modelo de gestión. Requiere revisión técnica y bibliográfica para definir procedimientos aplicables, y permite establecer criterios uniformes que mejoran la

				eficiencia, reducen costos y aseguran calidad desde las fases iniciales del proyecto.

Fuente: propia.

Con base en el análisis de las preguntas de investigación, se postulan las hipótesis de investigación y se relacionan con las variables definidas anteriormente y las técnicas de recolección de información:

Tabla 9. Planteamiento de hipótesis.

2. Diseñar un modelo de gestión que optimice los recursos técnicos y económicos en la implementación y mantenimiento de techos verdes y jardines verticales, maximizando simultáneamente sus beneficios ambientales y sociales.	El diseño de un modelo de gestión estratégico optimizará la implementación, análisis, mantenimiento y expansión del sistema, aumentando los beneficios ambientales y sociales derivados y a la reducción de costos operativos, asegurando además su sostenibilidad en el tiempo.	Lineamientos de políticas públicas	Revisión de fuentes primarias de información
		Evidencia científica	Revisión de fuentes primarias de información
		Efectividad en el mantenimiento	Indicadores de desempeño
		Efectividad en la implementación	Indicadores de cumplimiento

Fuente: propia.

5.3. Modelo de negocio

A continuación, se presentan los enfoques metodológicos, actividades e instrumentos de recolección de información para el tercer objetivo específico planteado.

Tabla 10. Tipo de investigación.

Objetivo específico		Actividades	Instrumentos de recolección de informas
	Enfoque: Mixto	- Analizar las oportunidades de mercado	- Estudios de costos

3. Evaluar la viabilidad económica y la escalabilidad de un modelo de negocio sostenible para la implementación y mantenimiento de techos verdes y jardines verticales en contextos urbanos.	(Sampieri, 2014) Alcance: Correlacional y explicativo (Sampieri, 2014)	identificando la oferta y demanda actual de infraestructura verde (específicamente techos verdes y jardines verticales) en Bogotá. - Analizar los incentivos económicos y idoneidad mediante la integración de la información recolectada en la fase de revisión bibliográfica. - Definir la propuesta de valor integrando las características y beneficios diferenciadores que aporta el modelo de gestión propuesto. - Establecer los costos de implementación, operación y mantenimiento - Analizar la viabilidad financiera considerando la valoración económica de los beneficios ambientales y sociales generados	- Datos de estudio de caso planteado - Revisión de fuentes primarias de información - Encuestas de percepción del mercado

Fuente: propia.

Diseño de variables y planteamiento de hipótesis.

A continuación, se presentan las variables identificadas para cada una de las preguntas de investigación:

Tabla 11. Tipo de investigación.

¿Cuál es la viabilidad económica y la escalabilidad de un modelo de negocio sostenible para la implementación y mantenimiento de techos verdes y jardines verticales en contextos urbanos?	Alianzas público-privadas	Cualitativo	Dependiente	Puede aumentar el alcance del modelo de gestión mediante la apertura al relacionamiento con diferentes actores
	Viabilidad financiera	Cuantitativo	Dependiente	La viabilidad y escalabilidad del modelo de negocio dependerá de la viabilidad técnica, ambiental, social y financiera.
	Sostenibilidad	Cualitativo	Dependiente	La sostenibilidad del modelo de negocio dependerá de la viabilidad del modelo de gestión que permitirá que el sistema instalado se mantenga en el tiempo y pueda ser escalable.
	Oportunidades de mercado	Cualitativo	Dependiente	El mercado colombiano de infraestructura sostenible debe mostrar aumento y estabilidad para conseguir viabilidad financiera en el modelo de negocio, por ello es importante la regulación y estructuración de este mercado.

Con base en el análisis de las preguntas de investigación, se postulan las hipótesis de investigación y se relacionan con las variables definidas anteriormente y las técnicas de recolección de información:

Tabla 12. Planteamiento de hipótesis.

3. Evaluar la viabilidad económica y la escalabilidad de un modelo de negocio sostenible para la implementación y mantenimiento de techos verdes y jardines verticales en contextos urbanos.	La propuesta de un modelo de negocio para techos verdes y jardines verticales en Bogotá que considera factores económicos, sociales, científicos y ambientales, garantizará su viabilidad integral lo que además lo volverá adaptable a diferentes contextos y sostenible en el tiempo, será viable y efectivo asegurando su adaptabilidad y replicabilidad.	Alianzas público-privadas	Revisión de fuentes bibliográficas primarias y secundarias (artículos, normatividad y casos de estudio). Entrevistas a actores clave
		Viabilidad financiera	Estudios de costos Datos de estudio de caso planteado
		Sostenibilidad	Indicadores de sostenibilidad de acuerdo con los aspectos ambientales y servicios ecosistémicos a impactar Revisión de fuentes primarias de información Datos del estudio de caso planteado
		Oportunidades de mercado	Encuestas a actores Encuestas de percepción del mercado

Fuente: propia.

Diseño metodológico del instrumento.

Para abordar el objetivo específico número uno de esta investigación, se propone realizar una revisión exhaustiva de fuentes primarias y secundarias, incluyendo casos de estudio, legislación, normativa, guías técnicas, documentos oficiales y estudios académicos. Este análisis permitirá identificar las variables de investigación y comprender sus interrelaciones, facilitando la evaluación de riesgos y oportunidades en proyectos de infraestructura verde. A partir de estos hallazgos, se establecerán las bases, principios rectores y aspectos diferenciadores del modelo de gestión a desarrollar. Posteriormente, estos insumos servirán para estructurar un modelo de negocio que demuestre su viabilidad técnica, económica y ambiental. Evaluar la viabilidad económica y la escalabilidad de un modelo de negocio sostenible para la implementación y mantenimiento de techos verdes y jardines verticales en contextos urbanos.

En cuanto al objetivo específico número dos, se incorporarán los datos recopilados en la fase de revisión documental y se analizarán las variables identificadas para definir criterios de selección que optimicen la viabilidad técnica del modelo. Esto permitirá materializar beneficios económicos, ambientales y sociales mediante el diseño de protocolos de mantenimiento, la selección de especies vegetales adecuadas y la evaluación de condiciones meteorológicas, entre otros aspectos clave. Como resultado, se obtendrá un diseño estratégico de gestión para proyectos de techos verdes y jardines verticales.

Finalmente, para el objetivo específico número tres, se formulará la propuesta del modelo de negocio, precedida por un estudio de mercado que analizará la oferta y demanda actual de infraestructura verde en Bogotá. Se aplicarán encuestas para evaluar la percepción del mercado y se examinarán los incentivos económicos disponibles, con el fin de integrarlos en la estructura del modelo y fomentar su implementación. La propuesta de valor incluirá beneficios ambientales y sociales, reducciones de costos y maximización de beneficios derivados del modelo de gestión. Asimismo, se realizará una evaluación integral del impacto social y ambiental del proyecto, estableciendo un marco de viabilidad económica, ambiental y social que garantice su sostenibilidad y escalabilidad.

6. RESULTADOS

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en el desarrollo de este estudio, estructurados según los objetivos planteados.

6.1. Diagnóstico y análisis de la contribución los techos verdes y jardines verticales

Esta sección detalla los hallazgos relacionados con el primer objetivo específico, el cual se enfoca en el análisis de la contribución de los techos verdes y jardines verticales a los beneficios sociales y ambientales en entornos urbanos.

Cultura, percepción ciudadana y beneficios sociales.

En el estudio "Social Impact of Green Roofs" (Nguyen et al., 2022) se desarrolló una investigación centrada en los efectos sociales de las azoteas verdes. A través de herramientas de encuesta, se evaluó el nivel de interacción de los usuarios con estos espacios, construyendo un marco de análisis compuesto por siete variables de impacto social: bienestar social, impacto económico, beneficios físicos, identidad colectiva, identidad con el lugar, estado de ánimo y desarrollo sostenible.

Bienestar social: Se evaluó mediante indicadores como la posibilidad de encuentro social, contribución a la construcción comunitaria, reducción del aislamiento, observación de otras personas y animales, interacción con la naturaleza, y aumento de la sensación de seguridad, protección y accesibilidad.

Impacto económico: Se midió a partir de la percepción de los participantes sobre el valor de las propiedades vecinas, la reducción de costos energéticos y el potencial de generación de actividad económica.

Beneficios físicos: Esta dimensión consideró la percepción del fortalecimiento físico, mejora de la postura, circulación, metabolismo, agilidad y respiración, como resultado del uso del techo verde.

Identidad colectiva: Se evaluó el grado de identificación de los usuarios con otros visitantes del espacio, el sentido de pertenencia, el compromiso con el grupo y la lealtad hacia la comunidad de usuarios. Para su medición se empleó la escala de Budruk, que permite identificar la significancia emocional del lugar y el nivel de apego colectivo.

Estado de ánimo: Se utilizó la escala Profile of Mood States (McNair), que evalúa aspectos como relajación, reducción de la tensión, disminución de la fatiga y aumento de la vitalidad en los usuarios.

Desarrollo sostenible: Esta variable se abordó a partir de ocho ítems que exploran la relación percibida entre las infraestructuras verdes y el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). Se analizaron percepciones sobre estilos de vida saludables, accesibilidad, seguridad e inclusión, motivación, espacios de conexión con la naturaleza, mitigación del cambio climático, acción climática y conservación de la biodiversidad.

El estudio evidenció que la frecuencia de las visitas a los techos verdes tiene un efecto significativo en el fortalecimiento de la identidad con el lugar, generando vínculos emocionales y una conexión profunda con el entorno natural. Estos espacios verdes integrados en edificaciones fomentan un sentido de apego, particularmente cuando permiten interacciones repetidas y prolongadas con el ambiente.

Si bien los beneficios en salud pública y en términos ambientales fueron reconocidos, el estudio no encontró evidencia de mejoras físicas directamente asociadas a la práctica de actividad física dentro de estos espacios, a diferencia de lo observado en parques y zonas verdes tradicionales. No obstante, se registró una mejora general en el estado de ánimo de los usuarios frecuentes, así como un mayor sentido de pertenencia y cohesión comunitaria.

Los resultados también indicaron que los estudiantes representan el grupo que más frecuentemente ocupa este tipo de espacios, lo que sugiere una posible afinidad generacional con los entornos naturales urbanos. Aunque no se identificó una relación directa entre la frecuencia o duración de las visitas y la percepción de beneficios económicos o ambientales, sí se encontró una relación clara con los beneficios emocionales y sociales percibidos.

Estos hallazgos respaldan la hipótesis de la biofilia, que plantea que una exposición continua y significativa a la naturaleza fortalece el vínculo afectivo con el entorno natural, promoviendo no solo bienestar emocional sino también un aumento en la interacción social entre los usuarios.

Beneficios ambientales derivados

Los techos verdes desempeñan un papel fundamental en la retención y manejo de aguas lluvias, posicionándose como Sistemas Sostenibles de Drenaje Urbano que buscan replicar los procesos de drenaje natural. Estos sistemas permiten la reducción de la escorrentía total al retener el agua de lluvia, retardar el inicio de la escorrentía y distribuirla durante un período más prolongado, lo que contribuye a mitigar los efectos de las lluvias intensas. Esta capacidad depende de factores como la porosidad del sustrato, la absorción y almacenamiento de agua por parte del tejido vegetal, así como el proceso de evapotranspiración. La eficiencia en la retención varía según las características del techo verde y las condiciones climáticas locales. Estudios indican que los techos intensivos retienen entre el 27% y el 81% de la precipitación (promedio del 75%), mientras que los techos extensivos retienen entre el 27% y el 81% con un promedio de 45%, en lluvias que oscilan entre los 11 y 350 mm/h.

El tiempo entre eventos de lluvia es crucial para que el sistema recupere su capacidad de almacenamiento, ya que, si el contenido de agua supera esta capacidad, no se reducirá la escorrentía. Asimismo, variables como la humedad del suelo y la estación del año afectan el comportamiento hidrológico: en primavera y verano, donde hay mayor evapotranspiración, la reducción de escorrentía alcanza el 76%, mientras que en otoño e invierno se reduce al 37%. Además, una mayor profundidad del sustrato incrementa la capacidad de reducción de escorrentía, al igual que la altura, densidad y características morfológicas de la vegetación que favorecen la captura de agua y la evapotranspiración

Otra función destacada de los techos verdes es la disminución del efecto isla de calor, fenómeno que describe el aumento de la temperatura del aire en áreas urbanas frente a las rurales, producto del reemplazo de superficies naturales por materiales impermeables como asfalto y concreto, así como la emisión de contaminantes. En ecosistemas boscosos, las temperaturas pueden ser hasta 5.5°C más bajas que en entornos construidos, mientras que, en áreas urbanas como Bogotá, el incremento puede alcanzar hasta 3°C en las zonas centrales frente a la periferia. La implementación de techos verdes puede contribuir a reducir el consumo energético en hasta un 25% al disminuir la temperatura ambiente, lo que reduce la necesidad de sistemas de climatización artificial (Correa. D., 2013).

En cuanto a la mejora de la calidad del aire, los techos verdes representan una solución innovadora frente a la polución urbana. Su capacidad de capturar gases de efecto invernadero, atrapar material particulado y reducir la temperatura a través del aumento del albedo y la evapotranspiración, contribuye a disminuir la contaminación local. Además, al reducir la temperatura interna de los edificios, disminuyen la necesidad del uso de aire acondicionado, lo que a su vez reduce la demanda energética y la emisión de contaminantes atmosféricos. Estudios como el de Currie (2005) (citado por Correa. D., 2013) demuestran que estos sistemas pueden remover 0.35 toneladas de monóxido de carbono, 3.14 toneladas de ozono y 2.17 toneladas de partículas menores a 10 micrómetros, lo que equivale a un impacto económico estimado en 43.106 dólares. Asimismo, la investigación de Speak et al. (2012) (citado por Correa. D., 2013) estima una remoción del 2.3% de PM10, destacando que, si bien los árboles urbanos tienen efectos importantes, los techos verdes presentan una capacidad de descontaminación comparable con menores costos.

En el marco de la atenuación del impacto del cambio climático, los techos verdes y jardines verticales también juegan un rol relevante mediante el secuestro de dióxido de carbono tanto en los tejidos vegetales como en el sustrato. Su capacidad de reducir el uso de energía en los edificios contribuye de forma indirecta a la disminución de emisiones de gases contaminantes. Es común el uso de especies CAM, como las crasuláceas, que absorben CO_2 durante la noche y lo transforman internamente para utilizarlo en la fotosíntesis, maximizando la captación de carbono y optimizando el uso del agua. Asimismo, la reducción del efecto isla de calor contribuye a disminuir la producción de CO_2 en zonas urbanas densamente pobladas (Correa. D., 2013).

Desde una perspectiva ecológica, los techos verdes promueven el aumento de la biodiversidad y la conservación de hábitats al proporcionar refugio, alimento y espacios de reproducción para aves, insectos, artrópodos y otros organismos que cumplen funciones clave como la polinización, el control biológico y la descomposición de materia orgánica. La capacidad del sistema para sostener comunidades faunísticas dependerá de factores estructurales como el tipo de vegetación, la altura del sustrato, la conectividad ecológica con otras zonas verdes y las condiciones ambientales del lugar.

Finalmente, estos sistemas también ofrecen beneficios acústicos, al funcionar como aislantes del ruido urbano. La vegetación y el sustrato actúan como absorbentes de ondas sonoras, lo cual los convierte en una herramienta eficaz para mitigar la contaminación

auditiva en entornos urbanos densos. Se ha evidenciado que capas vegetales adecuadamente diseñadas pueden reducir entre 3 y 4 decibelios (dB(A)), alcanzando hasta 9.5 dB en sistemas con mayor volumen de sustrato (Correa. D., 2013), estableciendo una correlación entre la densidad de vegetación y la capacidad de atenuación sonora.

Aspectos técnicos derivados de la planificación e instalación

Esta sección presenta los aspectos técnicos clave que deben considerarse durante la planificación e instalación de techos verdes y jardines verticales. Se abordan criterios estructurales, selección de sistemas, materiales y condiciones ambientales que influyen directamente en el rendimiento y sostenibilidad de estas soluciones.

Techos verdes

Los techos verdes son sistemas que integran vegetación sobre cubiertas construidas, con el objetivo de aportar beneficios ambientales, térmicos y estéticos en entornos urbanos. Su diseño e instalación requieren la incorporación de distintos elementos funcionales que aseguren su estabilidad, eficiencia y durabilidad. A continuación, se presentan los principales componentes que conforman este tipo de infraestructura verde.

Factores estructurales

Algunos factores críticos estructurales que deben considerarse en la instalación de techos verdes son:

- Inclinación del techo: La pendiente del techo es un factor determinante para la elección adecuada del tipo de vegetación, especialmente en función de las precipitaciones. En techos planos se pueden presentar problemas de estancamiento de agua, lo que afecta la oxigenación de las raíces. Por ello, se recomienda que la construcción del techo tenga una inclinación mínima del 5%; en caso contrario, deben instalarse sistemas de drenaje. Además, si la inclinación supera el 40% (aproximadamente 22°), se deben tomar precauciones especiales debido al riesgo de deslizamiento del sustrato.
- Consideraciones de carga: Es fundamental evaluar el peso total del techo, considerando la masa del sustrato en condiciones de saturación de agua y la vegetación instalada. Se debe garantizar que la carga aplicada no exceda la capacidad estructural admisible. Para referencia, una capa de sustrato de 10 cm de espesor y saturada puede alcanzar un peso de aproximadamente 100 kg/m².
- Altura del techo y orientación: La radiación solar y la fuerza del viento influyen directamente en los procesos de evaporación y, por ende, en la selección de las especies vegetales. Un techo ubicado a mayor altura estará sometido a una mayor carga e impacto del viento, lo que incrementa la evaporación. Del mismo modo, los techos con una orientación inclinada hacia el sol reciben una radiación solar más intensa, lo cual debe tenerse en cuenta al escoger la vegetación.

Factores determinantes en la selección de especies vegetales

La elección de especies vegetales para techos verdes debe realizarse con base en criterios técnicos y ecológicos que garanticen su sostenibilidad y funcionalidad. Es fundamental considerar el tipo de techo verde (extensivo, intensivo o semi-intensivo), su propósito (ornamental, productivo, ecológico, etc.), las condiciones climáticas del lugar y la biota local que forma parte de la estructura ecológica del entorno. Es importante considerar los siguientes aspectos:

- Espesor y efectividad del sustrato: El sustrato debe tener la profundidad y la composición adecuada para garantizar el anclaje de las raíces, la disponibilidad de nutrientes y la retención de humedad necesaria para el desarrollo de las plantas seleccionadas.
- Inclinación del techo: A mayor inclinación del techo, mayor será la eficiencia en el escurrimiento del agua, pero menor la capacidad de retención hídrica del sistema. Esto implica la necesidad de seleccionar especies que se adapten a condiciones de humedad más variables y sustratos con buena capacidad de retención. En techos muy inclinados también se deben considerar sistemas de fijación para el sustrato y la vegetación.

Las especies vegetales comúnmente utilizadas en techos verdes son:

- Suculentas: se caracterizan por la retención de agua en tallos, hojas y raíces lo que lo hace resistente a sequías e ideales para techos verdes en lugares con poca disponibilidad de agua.
- Herbáceas perennifolias: se caracterizan por no formar tejido leñoso permanente. Crecen y florecen en estación cálida y el follaje muere cada invierno. Tienen una larga esperanza de vida.
- Vivaces: tienen una vida larga y no requieren cuidados específicos. El primer año deben regarse con frecuencia.
- Arbustivas: de tipo leñoso con tallos y ramas duras y lignificadas, sin estructura central y gran tamaño. Cuenta con adaptabilidad y resistencia a los cambios del clima.
- Árboles: compuestos de un tallo principal de tipo leñoso. Sus alturas pueden llegar desde los 4.5m de altura a los 110m de altura.

Impermeabilización y protección anti-raíces

La impermeabilización y la protección contra raíces son aspectos fundamentales en la construcción de techos verdes, ya que garantizan la estanqueidad del sistema y evitan filtraciones al interior de la edificación. A diferencia de los techos convencionales, los techos verdes deben incorporar una barrera anti-raíces que impida el deterioro de las capas inferiores por penetración del sistema radicular de las plantas.

La membrana impermeabilizante debe estar compuesta por materiales sintéticos como PVC o poliéster libres de compuestos orgánicos, y debe aplicarse de forma continua y uniforme sobre toda la superficie del techo. Es crucial que cubra zonas sensibles como bordillos y áreas de tránsito, sin dejar puntos expuestos ni elementos punzantes que puedan comprometer su integridad. El espesor mínimo recomendado para estas membranas es de 12 mm, y no deben presentar perforaciones.

Los mantos de impermeabilización más comunes son de base asfáltica o bituminosa, tratados químicamente para inhibir el crecimiento de raíces. Estos suelen estar reforzados con poliéster de 200 g/m² y tener un espesor de al menos 4 mm. Para garantizar una protección mecánica adecuada, se debe incluir una capa adicional de geotextil no tejido y una lámina rígida continua de alta densidad.

Antes de la instalación definitiva, se recomienda realizar pruebas de funcionalidad de la membrana durante al menos dos años en condiciones controladas o de campo, a fin de comprobar su resistencia física y durabilidad a largo plazo. En puntos específicos donde se prevea desplazamiento o movimiento estructural, es necesario aplicar tratamientos especiales que aseguren flexibilidad sin comprometer la impermeabilidad.

Es importante también considerar la exposición a radiación solar. Si no es posible cubrir completamente la membrana, esta debe tener resistencia a los rayos UV para evitar su degradación. En el caso de utilizar especies vegetales con raíces altamente agresivas, como el bambú, se requiere un refuerzo estructural adicional. Asimismo, debe evitarse el uso de herbicidas que puedan dañar los materiales de impermeabilización.

Drenaje

Una de las funciones clave del sistema de drenaje en techos verdes es manejar el excedente de agua y al mismo tiempo retener parte de ella, permitiendo así conservar condiciones aeróbicas en el sustrato. Para lograrlo, se pueden usar materiales livianos como arcilla expandida, escoria de ladrillo o piedra pómez, que no solo drenan el exceso de agua, sino que ayudan a reducir la carga sobre la estructura.

En techos con poca inclinación, es recomendable cubrir el sistema de drenaje con un fieltro o una tela que actúe como filtro, evitando que el lodo del sustrato obstruya la capa drenante. En cambio, cuando la pendiente es alta, generalmente no se requiere un sistema de drenaje tan complejo. En estos casos, la mezcla del sustrato con materiales drenantes no solo evita el deslizamiento del sustrato, sino que también mejora la retención de humedad alrededor de las raíces (SDA, 2023).

El medio de crecimiento debe estar diseñado para permitir el flujo vertical del agua en eventos de lluvias intensas, al tiempo que asegura una buena aireación de las raíces. También debe facilitar el flujo horizontal del agua retenida en el sustrato, lo que ayuda a evitar encharcamientos y mejora la eficiencia general del sistema. Esta capa influye directamente en la tasa de escorrentía del techo.

Existen varios materiales que se pueden emplear como medios drenantes, entre ellos:

- Materiales granulares como gravas, arcilla expandida y otros agregados livianos.
- Materiales reciclados, como ladrillo triturado, escoria o lana de roca.
- Tapetes drenantes hechos de plásticos, mantos, filtros o espumas especiales.
- Láminas drenantes fabricadas en plástico de alta densidad.

- Paneles drenantes y sustratos especiales, como espumas modificadas.
- Geocompuestos, formados por combinaciones de materiales sintéticos.
- Filamentos entrecruzados de plástico de alta densidad.
- Losetas porosas, fabricadas con materiales aglutinados o bloques de concreto permeable.

El sistema de drenaje debe tener una capacidad mínima de evacuación de 5 litros por metro cuadrado por segundo (5 L/m²/s). Además, si el techo incluye bajantes para dirigir el agua, estas deben estar aisladas y protegidas para evitar bloqueos por sustrato u otros materiales.

En cuanto a la estructura completa del techo verde, se recomienda que tenga una permeabilidad mínima de 0.005 cm/s para asegurar un adecuado drenaje. Es importante tener en cuenta que un alto contenido de partículas finas como limos y arcillas mejora la retención de agua, pero también puede disminuir la capacidad de drenaje, generando taponamientos con el tiempo.

La vida útil del sistema puede optimizarse al seleccionar especies vegetales adecuadas y considerando la calidad del aire local. Lugares con alta carga de partículas en suspensión (más del 20%) pueden afectar negativamente el funcionamiento del sistema.

Finalmente, toda área vegetalizada del techo debe contar con una pendiente mínima del 2%, lo cual garantiza un flujo de agua efectivo y ayuda a evitar estancamientos.

Retención de agua

La retención de agua en los techos verdes cumple una función fundamental: almacenar el agua necesaria para satisfacer los requerimientos hídricos y nutricionales de las especies vegetales. Esta capacidad está directamente relacionada con las propiedades del sustrato, ya que es este el que actúa como medio de almacenamiento y suministro para las plantas.

Para evaluar la capacidad de retención, se analiza cuánta agua puede almacenar el sustrato bajo condiciones de compactación, considerando un periodo previo de escurrimiento de aproximadamente dos horas. Los factores que determinan esta capacidad incluyen la distribución granulométrica, el área superficial de las partículas y la porosidad efectiva del sustrato.

Es importante encontrar un equilibrio adecuado: una capacidad de retención demasiado baja puede llevar a estrés hídrico, mientras que una retención excesiva podría saturar el sistema, generando anoxia (falta de oxígeno en las raíces) o incluso la muerte de las plantas. Por eso, el diseño del sustrato debe ser cuidadosamente ajustado a las condiciones climáticas locales, al tipo de vegetación seleccionada y al propósito del techo verde.

Nutrición

El medio de crecimiento es el soporte físico en el que se desarrolla la vegetación en un techo verde. Su función principal es permitir el anclaje de las raíces y proporcionar un

entorno adecuado para su desarrollo, cumpliendo con propiedades físicas, químicas y biológicas esenciales.

Este sustrato, compuesto por materiales granulares, debe ser capaz de alojar una concentración densa de raíces y garantizar un equilibrio entre retención y drenaje de agua, manteniendo niveles óptimos de materia orgánica, pH, conductividad eléctrica, y presencia de nutrientes mayores y menores. El espesor del sustrato se determina en función de las especies vegetales seleccionadas para el sistema.

En cuanto a su composición, el contenido mineral debe ser lo suficientemente elevado como para conformar una estructura duradera que permita la retención de agua y el intercambio de nutrientes. Se recomienda que el contenido mineral sea al menos del 85% en techos verdes autorregulados y del 75% en techos ajardinados.

De acuerdo con Secretaría Distrital de Ambiente (2011) las características ideales del sustrato son:

- Capacidad de intercambio catiónico: entre 10 y 40 meq/100g.
- Porosidad de aireación: no inferior al 10%.
- Materia orgánica: entre 3% y 15%, sin exceder el 20%. Puede incluir compost, humus, fibra de coco o turba.
- Contenido de agua: debe ser máximo, pero manteniendo un volumen de aire no menor al 10%.
- pH: entre 6 y 8.
- Conductividad eléctrica: entre 1 y 2 mS/cm.

  En cuanto a los nutrientes esenciales (macronutrientes), los valores de referencia se plantean como:

- Nitrógeno (N): ≤ 80 mg/litro
- Fósforo (P_2O_5): ≤ 200 mg/litro
- Potasio (K_2O): ≤ 700 mg/litro
- Magnesio (Mg): ≤ 160 mg/litro

Selección del sustrato

El sustrato constituye el mayor volumen dentro de un sistema de techo verde, y su correcta selección es fundamental para garantizar el buen desempeño del sistema. Se recomienda utilizar un sustrato con bajo contenido de sales, un pH levemente ácido, y características que aseguren un buen drenaje, bajo peso y una cantidad moderada de materia orgánica. No es aconsejable utilizar tierra común como sustrato, ya que presenta baja permeabilidad, elevada retención de agua, peso excesivo y tendencia a la lixiviación, lo que afecta negativamente el desarrollo de las plantas y la durabilidad del sistema.

La composición ideal del sustrato debe estar basada en una mezcla de 80% de materiales inorgánicos, como zeolita, vermiculita y perlita, que proporcionan estructura, aireación y drenaje; y un 20% de materiales orgánicos tipo compost, que aportan nutrientes esenciales para el crecimiento vegetal. El espesor del sustrato dependerá directamente del objetivo del sistema de cobertura (extensivo, semi-intensivo o intensivo) y del tipo de vegetación seleccionada, ya que diferentes especies requieren distintas profundidades para un adecuado desarrollo radicular.



Imagen 5. Techos verdes. Fuente: Ascencio. L., 2022.

La siguiente tabla resume los aspectos técnicos al considerar en la planificación e instalación de un techo verde:

Tabla 13. Aspecto técnicos en techos verdes.

Función / requerimientos	Propósito	Aspectos clave	Requisitos	Propiedades y unidades
Estanqueidad	Impedir penetración del agua a la estructura de soporte y evitar filtraciones o deterioro por humedad.	Resistencia de la impermeabilización - Protección ante el daño mecánico (raíces) - Protección ante el daño por la irradiación solar	Garantizar mínimo 3 años sobre la calidad de la instalación - Garantía de 10 años de los materiales - Certificado de resistencia UV para impermeabilizantes	Espesor (mm), densidad (kg/m2), resistencia a la tracción (N/m2), porcentaje de elongación antes de rotura (%), resistencia al punzonamiento (lb), resistencia a penetración de raíces, resistencia a microorganismos, resistencia a variaciones de temperatura
Drenaje	Permitir flujo de agua lluvia o riego a través del sistema y conducción/ evacuación por medio de	- Permeabilidad de componentes activos - Volumen de aire - Capacidad de	-Diseño, cálculo de ubicación y distribución de bajantes y canaletas -Diseño y cálculo de pendientes - No se debe tener estancamiento de agua	Porcentaje volumen de vacío (%), capacidad de drenaje efectiva del medio de drenaje y cobertura vegetal (l/m2 /seg), porcentaje máximo de limos y arcillas,

	bajantes, sumideros o canaletas.	drenaje - Sistema de recolección y evacuación de agua -Drenaje vertical - Drenaje horizontal		distribución granulométrica (mm), coeficiente de caudal (Kv)
Retención de agua	Captar y almacenar el agua necesaria en el sistema	-Capacidad de retención de agua de componentes activos y de los estables	Se sugiere que capacidad de retención sea de 30- 60% del volumen de sustrato en compactación. Los que superen el porcentaje deben incluir un mecanismo de retención de agua artificial.	Capacidad retención agua sustrato(l/m2), capacidad de retención agua del sistema (%), peso del sistema en estado de saturación (kg/m2)
Consistencia	Garantizar la estabilidad formal y dimensional del techo verde y sus componentes cuidando el deterioro por la humedad.	-Resistencia mecánica de componentes estables ante esfuerzos - Consistencia del medio de crecimiento - Unión y fijación de componentes y piezas.	Resistencia a fuerzas de compresión dependiendo del tipo de la cubierta.	Resistencia a compresión (kg/cm2), resistencia al esfuerzo de corte, resistencia al esfuerzo de flexión, resistencia al punzonamiento, resistencia a la tensión, resistencia al rasgado, elongación (%)
Nutrición	Proporcionar equilibrio fisicoquímico y nutrientes requeridos para mantener la cobertura vegetal viva y sana.	-pH de medio crecimiento - Conductividad eléctrica - Contenido de nutrientes - Contenido de materia orgánica - Contenido de aire	-Diseño de mezcla de sustrato propuesto - Ensayo de curva granulométrica	Contenido materia orgánica (%), Contenido aire (%), conductividad eléctrica, contenido nutrientes, contenido de finos (arcillas), contenido elementos extraños, tamaño máximo de partículas
Filtración	Permitir el paso de agua a través del sistema restringiendo el paso de partículas finas.	-Retención partículas finas - Filtración mecánica efectiva - Permeabilidad al agua	-Continuidad de función filtrante -Filtración partículas menores a 2mm de diámetro - Permeabilidad de 2- 1s -Tamaño apertura 0.25 mm -Resistencia química a microorganismos	Peso(g/m), apertura efectiva (mm), resistencia a la tracción (kN/m2), resistencia a la penetración (N)

Fuente: propia con información de Secretaría Distrital de Ambiente. (2021).

Jardines verticales

Los jardines verticales son sistemas que incorporan vegetación sobre superficies verticales, como muros o fachadas. Su implementación exige una planificación técnica que integre estructuras de soporte, sistemas de riego y sustratos adecuados para garantizar el desarrollo saludable de las plantas y la sostenibilidad del sistema. A continuación, se describen los elementos esenciales que conforman este tipo de infraestructura verde.

Componentes

Los jardines verticales están compuestos por una serie de elementos que trabajan en conjunto para sostener la vegetación, permitir su desarrollo y asegurar la durabilidad del sistema en condiciones urbanas. De acuerdo con Sueiro. A (2023), sus componentes principales son:

- Estructura portante: Es el elemento base que brinda estabilidad y rigidez al sistema completo. Debe ser resistente a la humedad y a la corrosión, por lo que comúnmente se emplean materiales como acero inoxidable, acero galvanizado o aluminio. Esta estructura soporta el peso del jardín y garantiza su seguridad estructural en el tiempo.
- Soporte: Se encarga de sostener el sustrato o medio de crecimiento. Generalmente consiste en bandejas, paneles o módulos que contienen las plantas y su medio de cultivo. Es fundamental que incluya una capa impermeabilizante entre el soporte y la superficie vertical (pared) para evitar filtraciones de humedad que puedan dañar la infraestructura del edificio.
- Sustrato: El medio de crecimiento debe ser ligero, poroso y con buena capacidad de retención de agua y aireación. Se utilizan mezclas de materiales como perlita, fibra de coco y arlita. Algunos sistemas utilizan sustratos hidropónicos, como lana de roca o espumas técnicas, que son medios inertes y estables químicamente. Estos requieren un suministro controlado de nutrientes y un monitoreo continuo de variables como pH y conductividad eléctrica. También se pueden emplear sustratos mixtos, que combinan materiales inertes con componentes orgánicos, buscando un balance entre durabilidad y capacidad nutritiva. Cabe destacar que algunos sustratos tienen una vida útil limitada y requieren reposición periódica.
- Capa vegetal: Corresponde a la selección de especies vegetales que se desarrollarán en el sistema. La elección debe tener en cuenta factores como la exposición solar, viento, microclima local, peso del sistema, mantenimiento requerido y estética deseada. Es clave seleccionar especies adaptadas a las condiciones específicas del entorno urbano vertical.
- Sistema de riego y drenaje: Para el suministro de agua y nutrientes, se utilizan sistemas de riego por goteo o riego automatizado integrado en la estructura. Existen dos enfoques principales:
- Sistema de recirculación de agua: recomendado para jardines verticales de más de 30 m², permite recuperar y reutilizar el agua tras cada ciclo de riego, lo que contribuye al ahorro hídrico. Requiere un control constante del pH y de la conductividad eléctrica del agua para evitar acumulación de sales.
- Sistema de aguas perdidas: más simple y de menor costo, el agua se drena después de cada riego. Aunque implica mayor consumo, es útil en sistemas pequeños o en condiciones donde no se justifica la recirculación.

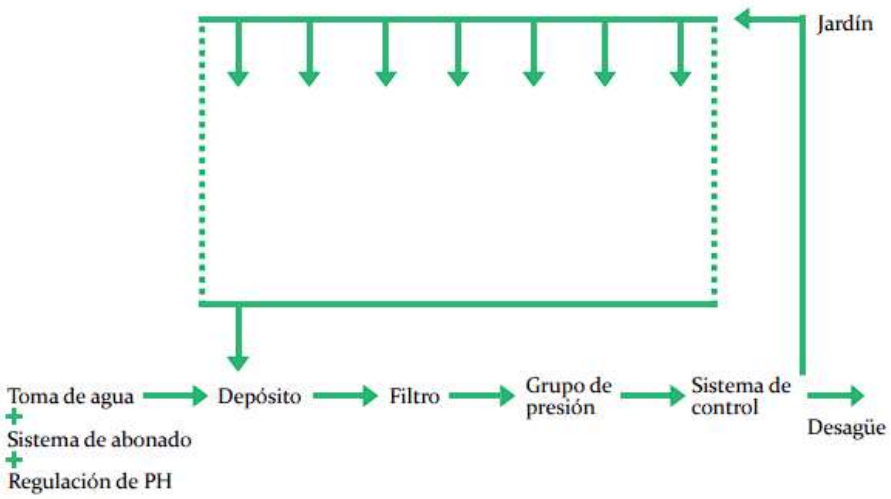


Imagen 6. Sistema de aguas perdidas. Fuente: Sueiro. A., 2023.

El sistema de aguas perdidas se utiliza en jardines de menor tamaño. Se mide el número de goteros y frecuencia de goteo, calculando la evapotranspiración del jardín

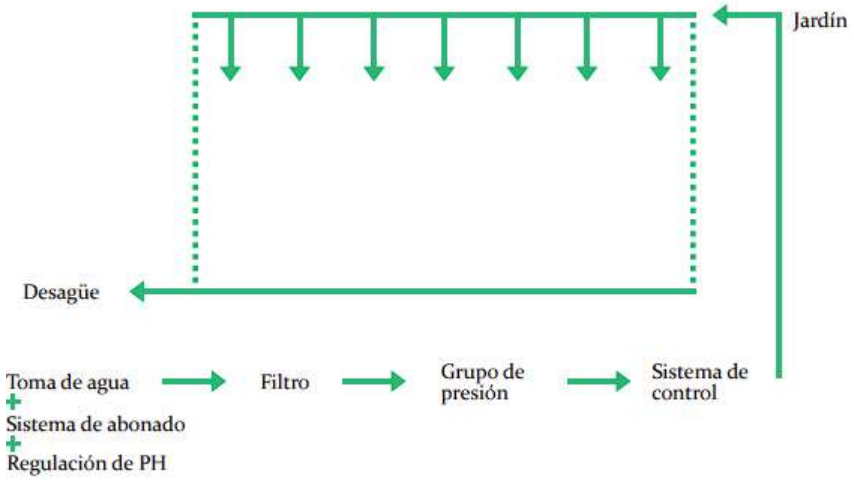
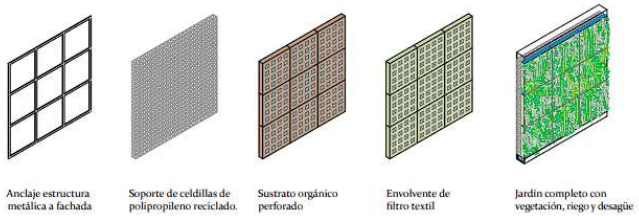
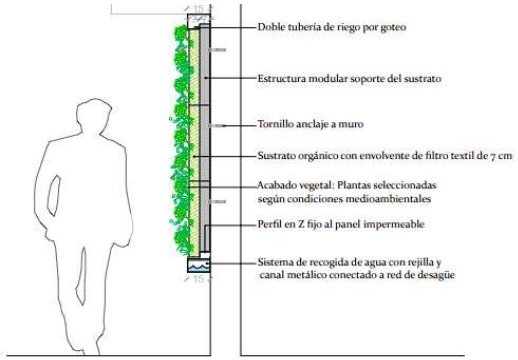


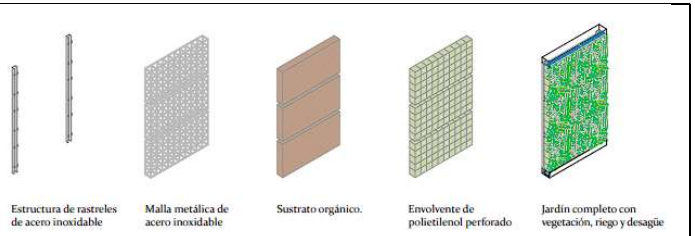
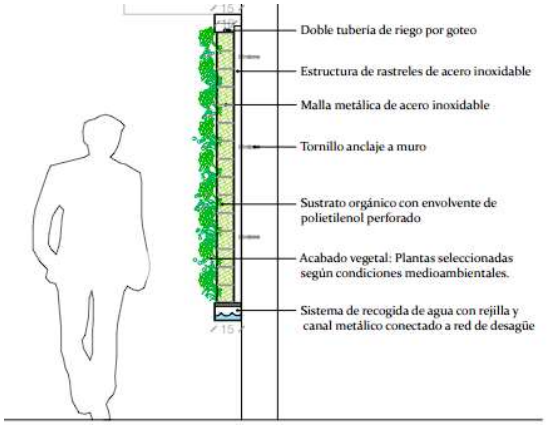
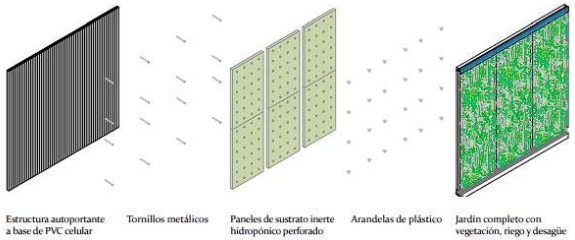
Imagen 7. Sistema de aguas perdidas. Fuente: Sueiro. A., 2023.

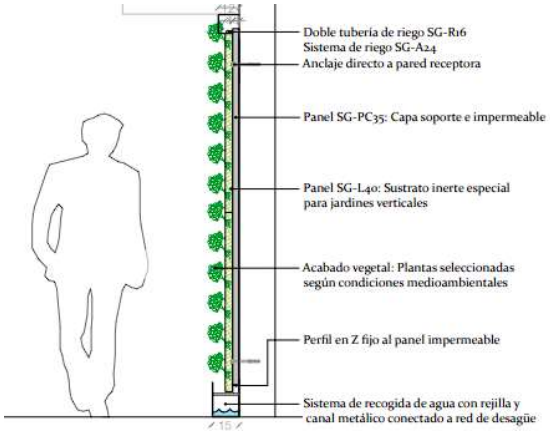
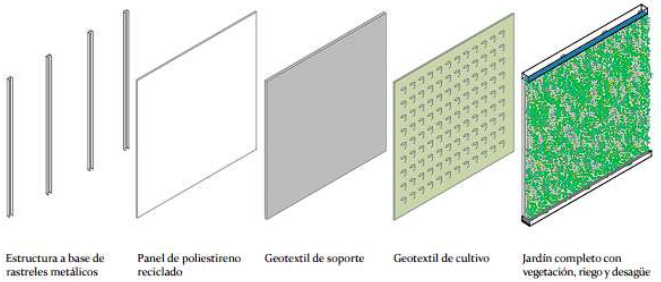
Sistemas de jardines verticales en el mercado.

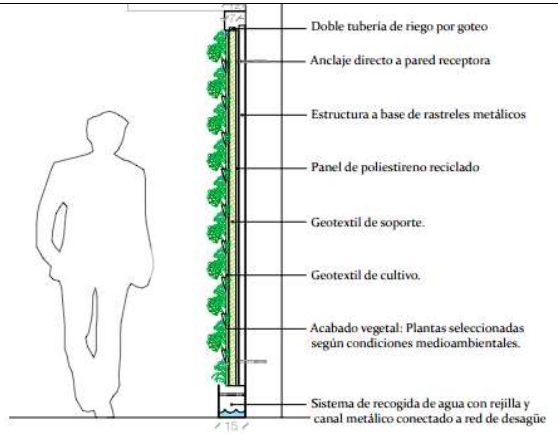
A continuación, se presenta, de acuerdo con la revisión realizada por Sueiro. A (2023), sistemas comercializados de jardines verticales cuyas características ofrecen ventajas en su instalación y mantenimiento.

Tabla 14. Sistemas comercializados.

Sistema	Componentes	Consideraciones	Ilustración técnica
BioFiver	Utiliza sustrato orgánico, conformada por soportes de acero galvanizado. Cuenta con un módulo tridimensional de celdillas de polipropileno reciclado y de celdilas con sustrato orgánico recubierta con una capa de filtro textil. El sistema de riego es por exudación y permite que la superficie en cualquier punto tenga la misma cantidad de riego. Su tamaño es de 500x500x100mm, con un peso de 48 Kg/m2	Debido a la carga de material orgánico del sustrato, el sistema tiene una menor dependencia del agua ya que este aprovecha el 90% del consumo de agua, por esta razón disminuye la dependencia de fertilizantes químicos. Su instalación es favorable en cualquier superficie.	 *Nota.* Elaboración propia basada en los datos técnicos del sistema BioFiver de la empresa Vertiarte. Escala: 1/75. *Imagen 8.Sistema BioFiver.* ***Fuente:*** *Sueiro. A., 2023.*  *Imagen 9. Sistema BioFiver.* ***Fuente:*** *Sueiro. A., 2023.*
Babylon CréArt	Compuesto por un sustrato de mezcla orgánica y mezcla mineral	El sistema de riego por goteros asegura la distribución homogénea	

	ligera. Posee propiedades estables y se caracteriza por una fuerte capilaridad. Posee perfiles de acero inoxidable y fijación de módulos vegetales, posee una cámara de aire ventilada que permite la respiración. Cuenta con una malla de acero inoxidable que rodea y retiene el sustrato orgánico con perforaciones y en la capa de polietileno para introducir la capa vegetal. Cuenta con distribuidores de riego en cada módulo con tubos de riego por goteo con goteros auto compensados, seis goteros por cada metro , además cuenta con un canal de recogida de aguas en aluminio. Cuenta con dimensiones de 1000x500x100mm y un peso de 50 Kg/m2, soporta una densidad de plantación de 30/m2 y una velocidad de crecimiento moderada.	de agua, además, el sistema de recogida de agua recupera el exceso de agua de la fachada. No es necesario el uso de fertilizantes debido a la concentración de nutrientes del sustrato orgánico	 Imagen 10. Babylon CréArt. Fuente: Sueiro. A., 2023.  Imagen 11. Babylon CréArt. Fuente: Sueiro. A., 2023.
Sistema F+P	Utiliza un sustrato hidropónico compuesto por materia inerte que son paneles de lana de roca. La estructura está conformada por PVC con espesor de 35mm, impermeable y anclado mediante tornillería. El sustrato es fijado mecánicamente. Se requiere un flujo constante de agua debido al sistema hidropónico. Posee un peso	Requiere dosificación de fertilizante constante ya que el sustrato no posee concentraciones de nutrientes. Su instalación es sencilla, cuenta con sistemas de monitorización de humedad y pH. Debido al uso de sustratos hidropónicos, puede generarse desarrollo excesivo y desorganizado de la vegetación.	 Imagen 12.Sistema F+P. Fuente: Sueiro. A., 2023.

	aproximado de 50 Kg/m2, con capacidad de densidad de plantación de 30/m2.		 Imagen 13.Sistema F+P. Fuente: Sueiro. A., 2023.
iPanel	Utiliza geotextil de cultivo para el crecimiento de plantas, utiliza sustrato orgánico para el desarrollo de raíces. Está compuesto por rastreles metálicos, con un panel de poliestireno reciclado que actúa como impermeabilizante entre la estructura y el sustrato geotextil que actúan como soporte y medio de cultivo	Utiliza riego por sensores. Requiere un sistema de dosificación moderada de fertilizante. La instalación es sencilla y permite la instalación de sensores de iluminación, humedad, riego y CO2. Posee un peso de 23 Kg/m2 con una capacidad de densidad de plantación de 42/m2 y un crecimiento moderado equilibrado	 Imagen 14. Sistema F+P. **Fuente:** Sueiro. A., 2023.

			 Imagen 15. **Fuente:** Sueiro. A., 2023.

Fuente: propia, con información de Sueiro. A., 2023.

Cultura, percepción ciudadana y beneficios sociales

En el estudio "Social Impact of Green Roofs" (Nguyen et al., 2022) se desarrolló una investigación centrada en los efectos sociales de las azoteas verdes. A través de herramientas de encuesta, se evaluó el nivel de interacción de los usuarios con estos espacios, construyendo un marco de análisis compuesto por siete variables de impacto social: bienestar social, impacto económico, beneficios físicos, identidad colectiva, identidad con el lugar, estado de ánimo y desarrollo sostenible.

Bienestar social: Se evaluó mediante indicadores como la posibilidad de encuentro social, contribución a la construcción comunitaria, reducción del aislamiento, observación de otras personas y animales, interacción con la naturaleza, y aumento de la sensación de seguridad, protección y accesibilidad.

Impacto económico: Se midió a partir de la percepción de los participantes sobre el valor de las propiedades vecinas, la reducción de costos energéticos y el potencial de generación de actividad económica.

Beneficios físicos: Esta dimensión consideró la percepción del fortalecimiento físico, mejora de la postura, circulación, metabolismo, agilidad y respiración, como resultado del uso del techo verde.

Identidad colectiva: Se evaluó el grado de identificación de los usuarios con otros visitantes del espacio, el sentido de pertenencia, el compromiso con el grupo y la lealtad hacia la comunidad de usuarios. Para su medición se empleó la escala de Budruk, que permite identificar la significancia emocional del lugar y el nivel de apego colectivo.

Estado de ánimo: Se utilizó la escala Profile of Mood States (McNair), que evalúa aspectos como relajación, reducción de la tensión, disminución de la fatiga y aumento de la vitalidad en los usuarios.

Desarrollo sostenible: Esta variable se abordó a partir de ocho ítems que exploran la relación percibida entre las infraestructuras verdes y el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). Se analizaron percepciones sobre estilos de vida saludables, accesibilidad, seguridad e inclusión, motivación, espacios de conexión con la naturaleza, mitigación del cambio climático, acción climática y conservación de la biodiversidad.

El estudio evidenció que la frecuencia de las visitas a los techos verdes tiene un efecto significativo en el fortalecimiento de la identidad con el lugar, generando vínculos emocionales y una conexión profunda con el entorno natural. Estos espacios verdes integrados en edificaciones fomentan un sentido de apego, particularmente cuando permiten interacciones repetidas y prolongadas con el ambiente.

Si bien los beneficios en salud pública y en términos ambientales fueron reconocidos, el estudio no encontró evidencia de mejoras físicas directamente asociadas a la práctica de actividad física dentro de estos espacios, a diferencia de lo observado en parques y zonas verdes tradicionales. No obstante, se registró una mejora general en el estado de ánimo de los usuarios frecuentes, así como un mayor sentido de pertenencia y cohesión comunitaria.

Los resultados también indicaron que los estudiantes representan el grupo que más frecuentemente ocupa este tipo de espacios, lo que sugiere una posible afinidad generacional con los entornos naturales urbanos. Aunque no se identificó una relación directa entre la frecuencia o duración de las visitas y la percepción de beneficios económicos o ambientales, sí se encontró una relación clara con los beneficios emocionales y sociales percibidos.

Estos hallazgos respaldan la hipótesis de la biofilia, que plantea que una exposición continua y significativa a la naturaleza fortalece el vínculo afectivo con el entorno natural, promoviendo no solo bienestar emocional sino también un aumento en la interacción social entre los usuarios.

Beneficios ambientales derivados

Los techos verdes desempeñan un papel fundamental en la retención y manejo de aguas lluvias, posicionándose como Sistemas Sostenibles de Drenaje Urbano que buscan replicar los procesos de drenaje natural. Estos sistemas permiten la reducción de la escorrentía total al retener el agua de lluvia, retardar el inicio de la escorrentía y distribuirla durante un período más prolongado, lo que contribuye a mitigar los efectos de las lluvias intensas. Esta capacidad depende de factores como la porosidad del sustrato, la absorción y almacenamiento de agua por parte del tejido vegetal, así como el proceso de evapotranspiración. La eficiencia en la retención varía según las características del techo verde y las condiciones climáticas locales. Estudios indican que los techos intensivos retienen entre el 27% y el 81% de la precipitación (promedio del 75%), mientras que los techos extensivos retienen entre el 27% y el 81% con un promedio de 45%, en lluvias que oscilan entre los 11 y 350 mm/h.

El tiempo entre eventos de lluvia es crucial para que el sistema recupere su capacidad de almacenamiento, ya que, si el contenido de agua supera esta capacidad, no se reducirá la escorrentía. Asimismo, variables como la humedad del suelo y la estación del año afectan el comportamiento hidrológico: en primavera y verano, donde hay mayor evapotranspiración, la reducción de escorrentía alcanza el 76%, mientras que en otoño e invierno se reduce al 37%. Además, una mayor profundidad del sustrato incrementa la capacidad de reducción de escorrentía, al igual que la altura, densidad y características morfológicas de la vegetación que favorecen la captura de agua y la evapotranspiración

Otra función destacada de los techos verdes es la disminución del efecto isla de calor, fenómeno que describe el aumento de la temperatura del aire en áreas urbanas frente a las rurales, producto del reemplazo de superficies naturales por materiales impermeables como asfalto y concreto, así como la emisión de contaminantes. En ecosistemas boscosos, las temperaturas pueden ser hasta 5.5°C más bajas que en entornos construidos, mientras que, en áreas urbanas como Bogotá, el incremento puede alcanzar hasta 3°C en las zonas centrales frente a la periferia. La implementación de techos verdes puede contribuir a reducir el consumo energético en hasta un 25% al disminuir la temperatura ambiente, lo que reduce la necesidad de sistemas de climatización artificial (Correa. D., 2013).

En cuanto a la mejora de la calidad del aire, los techos verdes representan una solución innovadora frente a la polución urbana. Su capacidad de capturar gases de efecto invernadero, atrapar material particulado y reducir la temperatura a través del aumento del albedo y la evapotranspiración, contribuye a disminuir la contaminación local. Además, al reducir la temperatura interna de los edificios, disminuyen la necesidad del uso de aire acondicionado, lo que a su vez reduce la demanda energética y la emisión de contaminantes atmosféricos. Estudios como el de Currie (2005) (citado por Correa. D., 2013) demuestran que estos sistemas pueden remover 0.35 toneladas de monóxido de carbono, 3.14 toneladas de ozono y 2.17 toneladas de partículas menores a 10 micrómetros, lo que equivale a un impacto económico estimado en 43.106 dólares. Asimismo, la investigación de Speak et al. (2012) (citado por Correa. D., 2013) estima una remoción del 2.3% de PM10, destacando que, si bien los árboles urbanos tienen efectos importantes, los techos verdes presentan una capacidad de descontaminación comparable con menores costos.

En el marco de la atenuación del impacto del cambio climático, los techos verdes y jardines verticales también juegan un rol relevante mediante el secuestro de dióxido de carbono tanto en los tejidos vegetales como en el sustrato. Su capacidad de reducir el uso de energía en los edificios contribuye de forma indirecta a la disminución de emisiones de gases contaminantes. Es común el uso de especies CAM, como las crasuláceas, que absorben CO_2 durante la noche y lo transforman internamente para utilizarlo en la fotosíntesis, maximizando la captación de carbono y optimizando el uso del agua. Asimismo, la reducción del efecto isla de calor contribuye a disminuir la producción de CO_2 en zonas urbanas densamente pobladas (Correa. D., 2013).

Desde una perspectiva ecológica, los techos verdes promueven el aumento de la biodiversidad y la conservación de hábitats al proporcionar refugio, alimento y espacios de reproducción para aves, insectos, artrópodos y otros organismos que cumplen funciones clave como la polinización, el control biológico y la descomposición de materia orgánica. La capacidad del sistema para sostener comunidades faunísticas dependerá de factores estructurales como el tipo de vegetación, la altura del sustrato, la conectividad ecológica con otras zonas verdes y las condiciones ambientales del lugar.

Finalmente, estos sistemas también ofrecen beneficios acústicos, al funcionar como aislantes del ruido urbano. La vegetación y el sustrato actúan como absorbentes de ondas sonoras, lo cual los convierte en una herramienta eficaz para mitigar la contaminación auditiva en entornos urbanos densos. Se ha evidenciado que capas vegetales adecuadamente diseñadas pueden reducir entre 3 y 4 decibelios (dB(A)), alcanzando hasta 9.5 dB en sistemas con mayor volumen de sustrato (Correa. D., 2013), estableciendo una correlación entre la densidad de vegetación y la capacidad de atenuación sonora.

Estado de los teches verdes y jardines verticales en Bogotá

En Bogotá, el desarrollo de techos verdes y jardines verticales ha cobrado impulso gracias a la implementación de políticas como el Acuerdo Distrital 418 de 2009, que establece la necesidad de incorporar estas tecnologías en nuevas construcciones y remodelaciones.

Hasta la fecha, se han registrado un total de 96 proyectos de jardines verticales en diversas localidades, destacando Chapinero con 41 proyectos y Usaquén con 27, que representan las áreas con mayor concentración de estas iniciativas.

El informe también informa que se han implementado parcelas demostrativas de 1x1 m en el techo de la Secretaría Distrital de Ambiente, donde se están evaluando cinco especies comerciales para determinar su rusticidad y adaptabilidad al clima bogotano. Con ello, se busca optimizar la práctica de los techos verdes, que, según el Cuarto Reporte de Evaluación del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC), desempeñan un papel crucial en la mitigación del cambio climático, considerando que las ciudades, a pesar de ocupar solo el 2% de la superficie del planeta, son responsables de más del 75% de las emisiones globales. Este contexto implica que la gestión eficiente de estos espacios verdes es fundamental para garantizar la sostenibilidad ambiental en la capital colombiana.

El informe sobre el inventario y desarrollo de techos verdes y jardines verticales en Bogotá revela datos significativos que subrayan la importancia de estas iniciativas para la sostenibilidad urbana:

- Cobertura Verde: Según el informe, el área de techos verdes y jardines verticales en Bogotá ha sido objeto de un monitoreo que alimenta el indicador de Área de Techos Verdes y Jardines Verticales (ATVJV). Este indicador es crucial para comprender la extensión actual de estas prácticas sostenibles en la ciudad. Aunque no se especifica un número exacto de áreas verdes en el documento, se sabe que estas prácticas contribuyen a mitigar una parte de las emisiones de CO_2, que, específicamente en Bogotá, requieren de estrategias eficientes para su reducción.
- Iniciativas Normativas: El Acuerdo Distrital de 2009 establece que los techos verdes deben ser implementados en construcciones nuevas y en remodelaciones. Esto significa que todos los edificios que se construyan a partir de su vigencia, así como aquellos ya existentes, deben adoptar estas tecnologías de manera progresiva hasta 2020. Se han fijado metas que incluyen que al menos el 40% de las nuevas edificaciones incorporen elementos de infraestructura verde.
- Evaluación de Especies: Hasta la fecha de la última actualización en el informe técnico, se están evaluando al menos cinco especies de plantas específicas en parcelas demostrativas para establecer su adaptabilidad en techos verdes en Bogotá, con un enfoque en encontrar opciones que se mantengan viables con el clima local y que requieran un bajo mantenimiento.
- Impacto en la Reducción de Emisiones: Según el Cuarto Informe de Evaluación del IPCC, las ciudades son responsables del 75% de las emisiones globales de gases de efecto invernadero, a pesar de ocupar solo el 2% de la superficie terrestre. Esto pone de relieve la necesidad crítica de que ciudades como Bogotá implementen soluciones como los techos verdes para contribuir a la mitigación del cambio climático.
- Colaboración Interinstitucional: El proyecto ha sido impulsado por la Secretaría Distrital de Ambiente en colaboración con diversas entidades, lo que permite la recolección de

información y la creación de una base de datos robusta sobre los servicios de infraestructura verde en la ciudad.

Entonces, la implementación y el monitoreo constante de techos verdes y jardines verticales en Bogotá no solo son una respuesta a las presiones ambientales contemporáneas, sino una estrategia que busca transformar el entorno urbano para crear espacios más sostenibles y resilientes a los efectos del cambio climático.

Ejes temáticos

Esta sección profundiza en los fundamentos teóricos, ambientales, económicos, institucionales y culturales que sustentan la implementación y el mantenimiento de techos verdes y jardines verticales en contextos urbanos, particularmente en Bogotá. Se analizan los marcos conceptuales y la evidencia que demuestran su viabilidad y beneficios multidimensionales.

Eje Teórico: Fundamentos conceptuales de techos verdes y modelos de negocio sostenibles.

Los techos verdes y jardines verticales se inscriben en las Soluciones Basadas en la Naturaleza (SBN), transformando significativamente los entornos urbanos al aprovechar los ecosistemas para mitigar desafíos como el cambio climático y la contaminación, generando beneficios multidimensionales (Herrero, 2020; UICN; Getter & Rowe, 2006; Manso et al., 2021). Estas infraestructuras no solo contribuyen a la regulación térmica de edificios y la captura de carbono atmosférico (Getter & Rowe, 2006; Wesołowska & Laska, 2019), sino que también abren oportunidades económicas cuando se integran en modelos de negocio estructurados (Manso et al., 2021; Ibañez, 2008). Los jardines verticales, en particular, optimizan el uso de espacios limitados en áreas densamente pobladas, mejorando la estética urbana y la calidad del aire (Asik, 2024; Puyuelo Cazorla et al., 2022).

Desde una perspectiva técnica, los techos verdes se clasifican en extensivos e intensivos. Los extensivos, con sustratos delgados y bajo mantenimiento, son ideales para climas como el de Bogotá, ofreciendo un retorno de inversión (IRR) del 8% al 12% en diez años debido a sus menores costos de instalación y mantenimiento (Beltran & Gallego, 2021). Los intensivos, aunque implican una mayor inversión, permiten una mayor biodiversidad y un impacto ambiental y estético ampliado. Los jardines verticales, por su parte, destacan por su versatilidad en fachadas y muros interiores, brindando beneficios comparables en regulación térmica y captura de contaminantes.

Ambientalmente, estos sistemas actúan como reguladores climáticos naturales, reduciendo el efecto isla de calor entre 0.5°C y 2°C en zonas urbanas y capturando hasta 2 kg de CO_2 por m² anualmente (Santamouris et al., 2018; Getter & Rowe, 2006). Estos hallazgos son consistentes con la percepción de autoridades y expertos, quienes resaltan su impacto en la calidad del aire y la biodiversidad urbana. Económicamente, el enfoque de triple impacto (económico, social y ambiental) ha demostrado ser efectivo: propiedades con infraestructura verde pueden aumentar su valor hasta en un 20% (Banoy & Osorio, 2021), y estudios de caso confirman tasas internas de retorno superiores al 10%. La creciente

valoración social, evidenciada en encuestas de Bogotá donde el 65% de los residentes estaría dispuesto a pagar un 5% más por una vivienda con techos verdes, subraya el potencial comercial de estas soluciones sostenibles.

Eje Ambiental: Impacto en captura de carbono, biodiversidad y regulación térmica.

Las Soluciones Basadas en la Naturaleza (SBN) han emergido como estrategias clave para mitigar los desafíos ambientales urbanos en Bogotá, demostrando impactos significativos en tres dimensiones interrelacionadas. Su capacidad de captura de carbono se ha cuantificado en aproximadamente 1.2 kg de CO_2 por metro cuadrado anual en proyectos locales (Jardín Botánico de Bogotá, 2020), cifra que se alinea con los rangos globales reportados por Getter y Rowe (2006), quienes documentaron valores entre 0.5 y 2 kg CO_2/m²/año. Este potencial se complementa con hallazgos en Frankfurt (Alemania), donde sistemas similares redujeron la concentración de CO_2 entre un 17% y 18% (Banoy & Osorio, 2021). No obstante, persiste una brecha crítica: mientras estudios internacionales han precisado el secuestro de carbono en especies como Seden, Bogotá carece de mediciones detalladas para sus jardines verticales emblemáticos, como el caso Santalaia.

En cuanto a la regulación térmica, la evidencia confirma que estas tecnologías mitigan el efecto isla de calor urbano. El edificio Santalaia, con sus 3,017 m² de jardines verticales, logró reducir 4◦C la temperatura interior y un 25% el consumo de aire acondicionado (Contreras-Bejarano & Villegas-González, 2019), resultados coherentes con las reducciones de 3◦C a 7◦C documentadas por Santamouris et al. (2018) en climas tropicales. Esta eficiencia térmica se explica por mecanismos como la evapotranspiración vegetal y el aislamiento térmico, variables que pueden monitorearse mediante herramientas como el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI). Un estudio reciente sobre los corredores verdes de Medellín demostró que esta estrategia de infraestructura verde logró atenuar la isla de calor urbana entre 1.5◦C y 2◦C (Alcaldía de Medellín, 2021), constituyendo un precedente valioso para su implementación en Bogotá.

Finalmente, desde la perspectiva de la biodiversidad, investigaciones del Jardín Botánico de Bogotá (2022) revelaron que techos verdes en la Universidad Nacional atraen al menos 12 nuevas especies de aves, mientras que en Medellín, los corredores verdes incrementaron un 40% la presencia de polinizadores como abejas y mariposas (Alcaldía de Medellín, 2021). Estos datos se refuerzan con la preferencia por especies nativas como el Carretón (Senna spectabilis) y la Lengua de Suegra (Sansevieria trifasciata), reconocidas por su adaptabilidad y bajo mantenimiento (Beltran & Gallego, 2021). Cabe destacar que el 65% de los bogotanos encuestados asociaron estos sistemas con beneficios para la fauna local, una percepción que valida los hallazgos técnicos pero que requiere mayor divulgación para impulsar su adopción masiva.

Eje Económico: Viabilidad financiera, incentivos y retorno de inversión.

La implementación de techos y jardines verticales en Bogotá presenta un modelo económicamente viable al analizar integralmente costos, beneficios e incentivos. Aunque estos sistemas requieren una inversión inicial significativa, generan retornos atractivos a mediano y largo plazo, especialmente al considerar sus externalidades positivas. Los costos

de instalación varían según el tipo de sistema, diseño y complejidad, con estimaciones para techos verdes extensivos en Bogotá en torno a los 218,000 COP/m² (CYPE Ingenieros, s.f.). Los sistemas intensivos y los jardines verticales (especialmente los modulares o prevegetados) suelen implicar mayores costos iniciales debido a la complejidad de la estructura de soporte y los sistemas de riego automatizados. Los componentes clave de esta inversión inicial incluyen capas impermeabilizantes, geotextiles, sistemas de drenaje y retención de agua, sustrato y vegetación, elementos que también contribuyen a prolongar la vida útil de la estructura edilicia.Si bien la inversión inicial puede ser una barrera, la incorporación de estas soluciones desde la etapa de diseño puede optimizar los costos, haciéndolos más comparables a los de construcciones convencionales.

Además, generan ahorros compensatorios significativos, con reducciones documentadas en el consumo energético para refrigeración que oscilan entre el 10% y más del 30% (RAND Engineering & Architecture). Un beneficio adicional es la prolongación de la vida útil de las membranas de cubierta, que pueden extenderse de dos a cuatro veces (EQR LLC; Good Earth Plants). El retorno de inversión (ROI) se ve favorecido por la valorización inmobiliaria (la infraestructura verde puede incrementar el valor de las propiedades hasta en un 20%, según Banoy y Osorio, 2021), los ahorros operativos y los incentivos fiscales y no fiscales. Proyectos de infraestructura verde que monetizan externalidades sociales y ambientales, como la reducción de ruido o la mejora de la calidad del aire, demuestran que la Tasa Interna de Retorno (TIR) puede ser muy atractiva (Manso et al., 2021), con periodos de recuperación de 3 a 7 años para techos verdes extensivos en condiciones tropicales húmedas (De la Cruz-Uribe et al., 2023).

El marco normativo colombiano ha comenzado a promover soluciones sostenibles, ofreciendo incentivos tributarios a nivel nacional, como exclusiones de IVA para equipos y servicios que contribuyen a la Gestión Eficiente de la Energía y el mejoramiento ambiental. A nivel local, el Acuerdo 418 de 2009 de Bogotá sentó las bases para posibles descuentos en el impuesto predial, desarrollados en normativas posteriores (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2009; 2019). Sin embargo, persisten barreras como la falta de subsidios directos (comunes en Europa) y la necesidad de modelos financieros más accesibles. Para masificar estas soluciones en Bogotá, es crucial priorizar especies nativas de bajo mantenimiento, ampliar y simplificar los incentivos fiscales, comunicar eficazmente los beneficios a largo plazo (como la valorización inmobiliaria), e integrar estos sistemas con planes de drenaje urbano para acceder a fondos climáticos internacionales. La viabilidad económica está demostrada, pero su masificación requiere políticas públicas más audaces y alianzas estratégicas entre los sectores público y privado.

Eje Institucional: Normativas, políticas públicas y actores clave.

El marco institucional para techos y jardines verticales en Bogotá se ha construido a través de instrumentos normativos que, si bien no imponen obligaciones específicas en metros cuadrados, establecen lineamientos claros para su promoción como estrategias de sostenibilidad urbana. A nivel nacional, la Resolución 0549 de 2015 del Ministerio de Vivienda, aunque no exige áreas verdes por unidad habitacional, fija estándares de ahorro de agua y energía donde estos sistemas son reconocidos como medidas viables (MinVivienda, 2015). Este enfoque indirecto ha permitido que proyectos como el edificio Santalaia en Bogotá, con 3,017 m² de jardines verticales, los incorporen voluntariamente

para cumplir con metas ambientales.En Bogotá, el Decreto 566 de 2014 sentó las bases para la construcción sostenible con un alcance general, recomendando techos o jardines verticales como parte de estrategias de reverdecimiento sin obligatoriedad específica (Alcaldía de Bogotá, 2014). La evolución de esta política se consolidó con el Plan de Ordenamiento Territorial (POT) 2022 (Decreto 555 de 2021) y su actualización en 2023 (Decreto 582), que integran superficies verdes en áreas libres privadas y fachadas como criterio para proyectos de renovación urbana.

Un ejemplo es el tratamiento urbanístico de la Carrera 7ª, que exige compensaciones ambientales y ha derivado en 12 edificios con techos verdes, aunque sin un porcentaje fijo de cobertura (Secretaría de Planeación, 2023).Los actores institucionales juegan un papel determinante, con la Secretaría Distrital de Ambiente (SDA) liderando iniciativas de reverdecimiento urbano y promoción de Soluciones Basadas en la Naturaleza, brindando asesoría técnica. Sin embargo, la implementación enfrenta desafíos como recursos limitados. Por otro lado, las Curadurías Urbanas, encargadas de expedir licencias de construcción, pueden rechazar proyectos por incumplimientos normativos urbanísticos y ambientales, incluyendo aspectos de gestión hídrica y eficiencia energética, áreas donde techos y jardines verticales son relevantes.

Los motivos de rechazo suelen asociarse a la falta de cumplimiento de estudios técnicos o de requisitos del POT. La falta de sanciones efectivas y la dispersión de los incentivos siguen siendo obstáculos significativos para la construcción sostenible. Mientras ciudades como Medellín exploran mecanismos de fomento mediante subsidios o beneficios directos, Bogotá ofrece descuentos en el impuesto predial para edificaciones sostenibles (derivados del Acuerdo 418 de 2009 y decretos posteriores como el Decreto Distrital 613 de 2015 y el POT actual). No obstante, la adopción de estos beneficios es limitada, una situación que CAMACOL ha señalado consistentemente, atribuyéndola a la complejidad burocrática y la falta de difusión efectiva. En conclusión, Bogotá posee herramientas normativas suficientes, pero su efectividad depende de la voluntad política para articularlas. La Resolución 0549 y el POT son marcos valiosos, pero sin metas coercitivas ni recursos dedicados, su impacto seguirá siendo marginal, como señala un informe reciente de la Universidad de los Andes (2023), indicando que la infraestructura verde en Bogotá avanza lentamente por falta de una implementación audaz.

Eje Cultural: Percepción social, disposición a pagar y valor simbólico.

Los habitantes de Bogotá han comenzado a reconocer el valor de los techos verdes y jardines verticales, no solo por sus beneficios ambientales, sino por su impacto en la calidad de vida. Las construcciones sostenibles que integran estas tecnologías son percibidas positivamente, asociándose con mayor bienestar, mejoras estéticas y beneficios para el medio ambiente, trascendiendo lo utilitario para tocar aspectos emocionales y simbólicos que vinculan a las personas con su espacio vital (Ojo-Fafore et al., 2018). La evidencia internacional sugiere que los proyectos de diseño urbano sensible al agua, que incluyen infraestructura verde, generan valor a través de servicios ecosistémicos que impactan

directamente la percepción y calidad de vida de los residentes (Irvine et al., 2020). Proyectos emblemáticos como el edificio Santalaia en Chapinero, con su impresionante jardín vertical de más de 3,000 metros cuadrados, demuestran cómo estas intervenciones pueden convertirse en símbolos de identidad barrial y mejorar la calidad de vida urbana (Cazorla et al., 2022).Los residentes de zonas con estas soluciones reportan un mayor orgullo por su entorno, similar a lo observado en los corredores verdes de Medellín, que contribuyen a la cohesión social y a la percepción de un ambiente más saludable (Secretaría Distrital de Ambiente, s.f.; Herrero, 2020). Sin embargo, persisten barreras significativas como la falta de conocimiento e información clara sobre los beneficios específicos y el mantenimiento de estos sistemas, un desafío tanto para constructores como para ciudadanos (Mesquita, 2019; Transformaciones y desafíos, 2025). En términos económicos, estudios revelan datos alentadores sobre el valor percibido. A nivel internacional, existe una creciente evidencia de la disposición de los ciudadanos a pagar más por propiedades que incorporan sostenibilidad y diseño sensible al agua, reconociendo el valor de los servicios ecosistémicos (Irvine et al., 2020).

Esta tendencia se refleja en la valorización de inmuebles con certificaciones sostenibles, como el edificio Novartis en Colombia, sugiriendo que las características de "edificio verde" actúan como un diferenciador en el mercado inmobiliario (Ojo-Fafore et al., 2018). Si bien la disposición a pagar varía según el contexto, la percepción general es que estos elementos añaden un valor tangible a la propiedad. Para superar las resistencias culturales, talleres educativos del Jardín Botánico han demostrado efectividad al despejar mitos y enseñar técnicas básicas de mantenimiento (Bernal & Cucaita, 2022). Asimismo, campañas de comunicación que destacan beneficios tangibles y medibles, como las reducciones de temperatura interior en viviendas (entre 2◦C y 5◦C dependiendo del sistema y clima), han probado ser particularmente efectivas para generar confianza (Getter & Rowe, 2006; Wang, Xu, An, & Guo, 2024; Małyszko, 2019). El reto principal radica en transformar la percepción de los techos verdes de elemento decorativo a componente esencial de la infraestructura urbana sostenible. Cuando los ciudadanos comprenden los beneficios concretos —desde el ahorro energético y el aislamiento térmico/acústico hasta la mitigación del efecto de isla de calor urbano y la contribución a la calidad del aire— su disposición a apoyar e invertir en estos proyectos aumenta significativamente, reconociendo el valor de los servicios ecosistémicos urbanos (Irvine et al., 2020; Reid et al., 2005). Este cambio cultural, aunque gradual, resulta fundamental para el futuro verde de Bogotá (Secretaría Distrital de Ambiente, s.f.).

Encuestas

Esta sección presenta el planteamiento y los resultados obtenidos a través de las encuestas realizadas a diferentes grupos de interés en Bogotá, con el fin de comprender sus percepciones, conocimientos e intereses sobre la implementación de techos verdes y jardines verticales. Se incluyen encuestas dirigidas a la comunidad en general, a expertos en el campo de las Soluciones Basadas en la Naturaleza, y a autoridades y representantes institucionales, proporcionando una visión integral de la viabilidad y el potencial de estas infraestructuras verdes en el contexto urbano.

Diseño de encuesta

Según los ejes fundamentados previamente, se desarrollaron las siguientes encuestas para realizar a los diferentes actores:

- Encuesta a comunidades locales

Esta encuesta comunitaria, dirigida a los habitantes de Bogotá, busca comprender la percepción, conocimiento e interés de la ciudadanía en la implementación de jardines verticales y techos verdes en espacios urbanos. La información recopilada será fundamental para desarrollar la propuesta de una forma más alineada con la realidad de la ciudad y con un mayor impacto para la comunidad, garantizando que los datos sean utilizados exclusivamente con fines académicos y de forma confidencial. La encuesta, aborda aspectos como la ubicación y estrato socioeconómico de la vivienda, situación de la vivienda, sexo y edad de los participantes, además de indagar sobre su conocimiento y experiencia visual con estos sistemas, los beneficios percibidos, las sensaciones experimentadas al estar cerca de ellos, la disposición a pagar por su implementación, el interés en participar en talleres o proyectos piloto, la viabilidad a largo plazo de estas soluciones y el papel de las autoridades en su masificación.

Tabla 15. Encuesta a comunidades locales.

N°	Pregunta	Tipo de respuesta	Variable revisada	Escala de respuesta
1	¿En qué localidad de Bogotá se encuentra su vivienda?	Opción única	Localidad	Categorías cerradas (20 localidades)
2	¿A qué estrato socioeconómico pertenece su vivienda?	Opción única	Estrato socioeconómico	Estratos 1 a 6, NS/NR
3	¿Cuál es su situación actual de vivienda?	Opción única	Tipo de tenencia de vivienda	Categorías cerradas
4	Sexo	Opción única	Género	Masculino, Femenino, No binario, Prefiero no decirlo
5	Edad	Opción única	Rango de edad	18–24, 25–35, etc.
6	¿Ha oído hablar o visto techos/jardines? ¿Dónde?	Abierta (Sí/No/¿Dónde?)	Conocimiento y exposición	Abierta categórica
7	Clasifique beneficios del 1 al 5	Escala Likert por fila	Percepción de beneficios	Escala ordinal 1 a 5
8	Clasifique beneficios del 1 al 5	Escala Likert por fila	Percepción de beneficios	Escala ordinal 1 a 5
9	¿Estaría dispuesto a pagar más por estas soluciones?	Opción única	Disposición a pagar	Escala Likert (1 a 5)
10	¿En qué caso estaría dispuesto a pagar más?	Múltiple selección	Preferencias de inversión	Categorías cerradas
11	¿Qué alternativa prefiere tener?	Opción única	Preferencia entre soluciones	Jardines/Techos/Ambas/Ninguna
12	¿Participaría en talleres o campañas?	Opción única	Interés en educación	4 opciones cerradas

13	¿Es viable el mantenimiento a largo plazo?	Opción única	Percepción de viabilidad	Escala Likert (1 a 5)
14	¿Cómo pueden ayudar las autoridades?	Múltiple selección	Estrategias sugeridas	Categorías cerradas
15	¿Cómo le gustaría participar en un piloto?	Múltiple selección	Disposición a participar	Categorías cerradas + abierta
16	¿Promovería estas iniciativas con vecinos?	Opción única	Actitud comunitaria	4 opciones cerradas

- Encuesta Técnica (Expertos)

Esta sección detalla la encuesta dirigida a expertos en el campo de las Soluciones Basadas en la Naturaleza (SBN), busca evaluar la viabilidad técnica, ambiental y económica de implementar estas soluciones en zonas urbanas densas. A través de la experiencia profesional de los encuestados, se pretende obtener percepciones y criterios técnicos que permitan construir un modelo de negocio realista, eficiente y adaptado al contexto urbano de la ciudad. Las respuestas serán tratadas de manera confidencial y utilizadas únicamente con fines investigativos, siendo su participación clave para enriquecer el análisis con insumos valiosos desde el sector especializado.

Tabla 16. Encuesta a comunidades locales.

N°	Pregunta	Tipo de respuesta	Variable revisada	Escala de respuesta
1	Clasificación profesional	Opción única + abierta	Campo profesional	Categorías cerradas + otro
2	Viabilidad técnica por tipo de edificio	Escala Likert por fila	Viabilidad técnica	Escala ordinal 1 a 5
3	Factores técnicos críticos	Múltiple selección (máx. 3)	Barreras técnicas	Categorías cerradas
4	Limitaciones técnicas/mantenimiento	Múltiple selección (máx. 3)	Limitaciones percibidas	Categorías cerradas
5	Estimación de costos por m²	Opción única	Costo percibido	Rango cerrado
6	¿Existe innovación suficiente?	Abierta	Percepción sobre innovación	Texto abierto
7	Principales beneficios ambientales	Múltiple selección (máx. 3)	Impacto ambiental percibido	Categorías cerradas, escala del 1 al 5
8	Estrategias sostenibles	Múltiple selección (máx. 2)	Estrategias de sostenibilidad	Respuesta múltiple
9	Elementos clave para un modelo exitoso	Múltiple selección (máx. 2)	Factores de éxito	Categorías cerradas
10	Rol de ciudadanía en implementación	Múltiple selección (máx. 2)	Participación ciudadana	Categorías cerradas
11	Apoyos institucionales más críticos	Múltiple selección (máx. 2)	Apoyos necesarios	Categorías cerradas
12	Viabilidad en proyectos nuevos	Opción única + justificación	Integración potencial	Escala de viabilidad
13	¿Participaría en un piloto? ¿En qué rol?	Opción única + abierta	Disposición a colaborar	Categorías cerradas + texto

- Encuesta Institucional

Esta sección describe la encuesta diseñada para recopilar la percepción de autoridades y representantes institucionales en Bogotá sobre el potencial de los techos verdes y jardines verticales como Soluciones Basadas en la Naturaleza (SBN) en el contexto urbano. La información obtenida servirá como insumo crucial para el diseño de un modelo de gestión y negocio contextualizado, que integre aspectos técnicos, sociales, económicos y normativos. La participación de estas entidades es fundamental para comprender su rol en la promoción, regulación y apoyo de estas infraestructuras verdes.

Tabla 17. Encuesta a comunidades locales.

N	Pregunta	Tipo de respuesta	Variable revisada	Escala de respuesta
1	¿A qué entidad pertenece?	Opción única + abierta	Tipo de institución	Categorías cerradas
2	¿Está familiarizado con SBN?	Opción única	Conocimiento sobre SBN	Sí/No
3	Integración en planeación territorial	Opción única	Nivel de integración	Escala ordinal (1 a 5)
4	¿Existe normativa/incentivo?	Opción única	Presencia de marco regulatorio	Sí/No/En trámite/NS
5	¿Cuenta con personal y recursos?	Opción única	Capacidad técnica	Escala ordinal (1 a 5)
6	¿Hay voluntad institucional? ¿Por qué?	Opción única + abierta	Voluntad institucional	Sí/No/Depende
7	Puntúe beneficios de estas soluciones	Escala Likert por fila	Percepción de beneficios	Escala 1 a 5
8	¿Es factible la cofinanciación pública?	Opción única + abierta	Viabilidad financiera	Factible/No factible
9	¿Se han hecho procesos participativos?	Opción única + abierta	Participación comunitaria	Sí/No/En proceso
10	¿Con qué frecuencia coordina con otras entidades?	Opción única	Nivel de coordinación	Nunca a Siempre
11	¿Conoce experiencias previas?	Opción única + abierta	Experiencia previa	Sí/No
12	¿Qué incentivos serían más efectivos?	Opción única + abierta	Mecanismos de fomento	Categorías cerradas + otro
13	¿Apoyaría un proyecto piloto?	Opción única + abierta	Disposición institucional	Sí/No/Depende

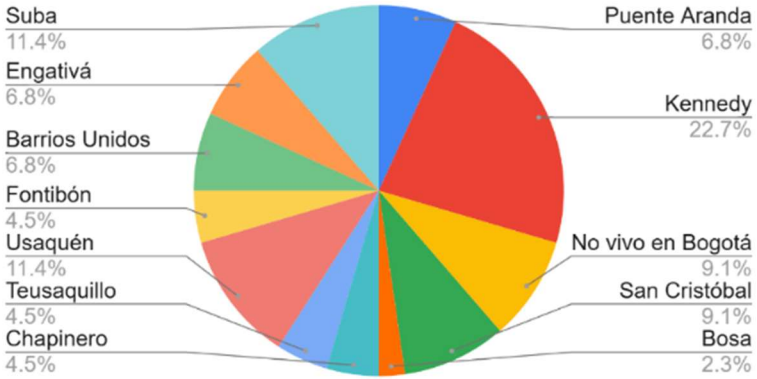
Resultados de las encuestas

A continuación, se presentan los resultados de las encuestas realizadas. Para la encuesta comunitaria se obtuvo una participación total de 44 personas, para expertos y comunidades, y una participación total de 4 expertos y 4 representantes de instituciones públicas.

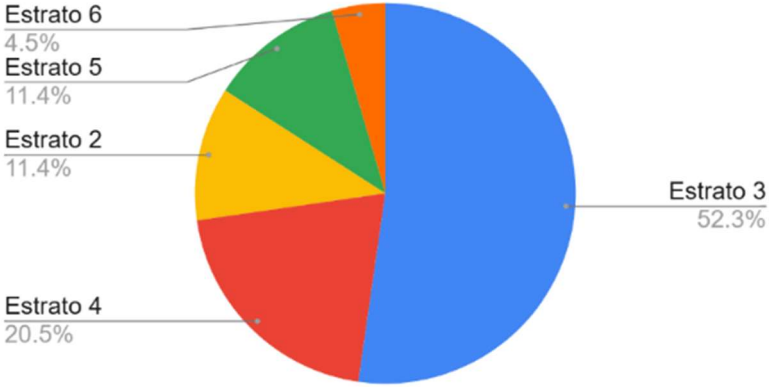
Percepción comunitaria sobre techos verdes y jardines verticales en Bogotá

A continuación, se presentan los resultados a las encuestas realizadas a actores comunitarios.

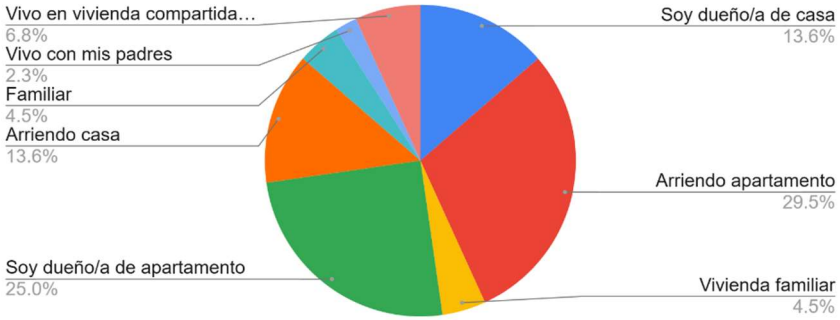
Pregunta 1: ¿En qué localidad de Bogotá se encuentra su vivienda?



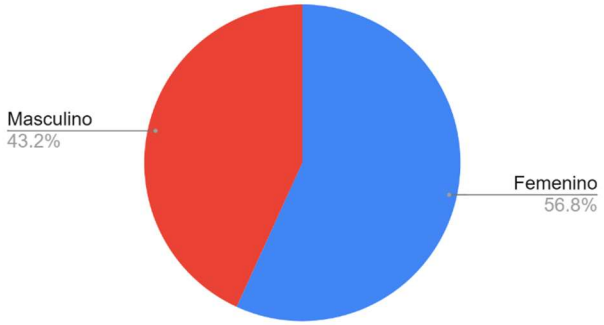
Pregunta 2: ¿A qué estrato socioeconómico pertenece su vivienda?



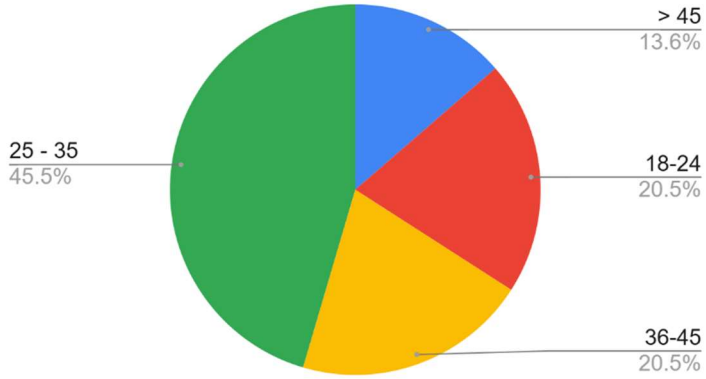
Pregunta 3: ¿Cuál es su situación actual de vivienda?



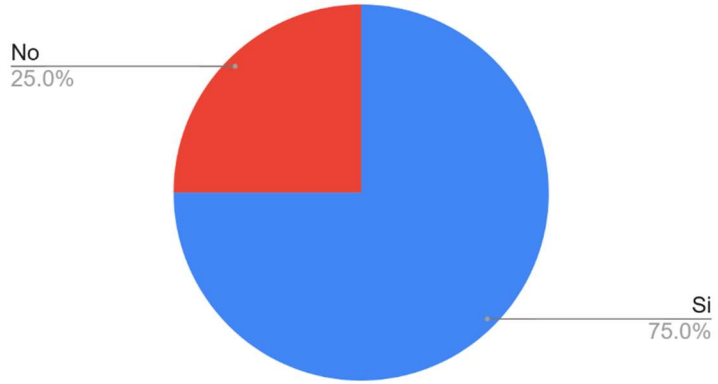
Pregunta 4: Sexo



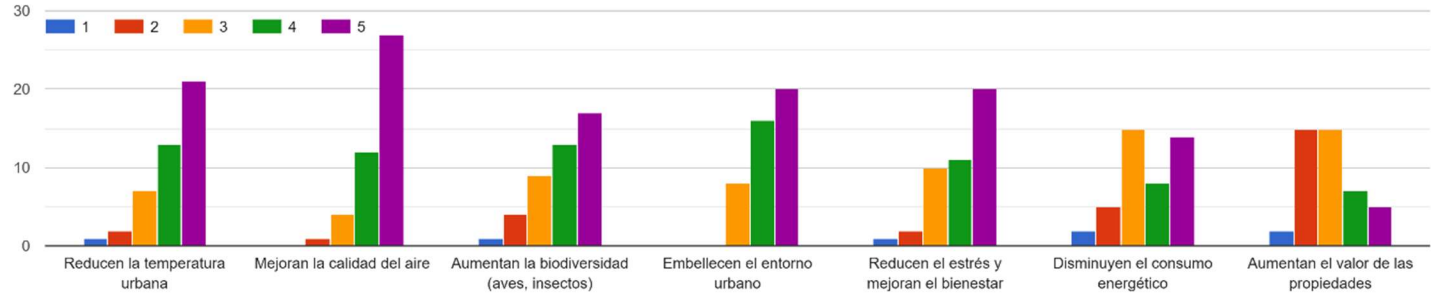
Pregunta 5: Edad



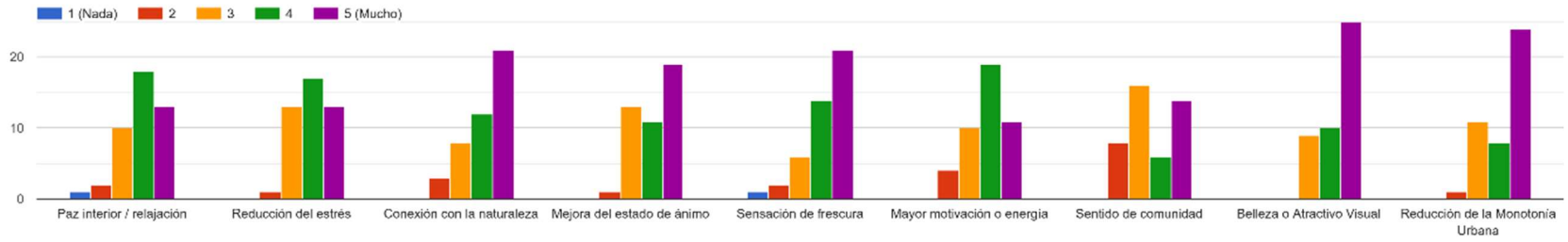
Pregunta 6: ¿Ha oído hablar de los jardines verticales o techos verdes? ¿Ha visto alguna vez un jardín vertical o techo verde en su localidad? ¿Donde? ej: (parque, edificio, centro comercial)



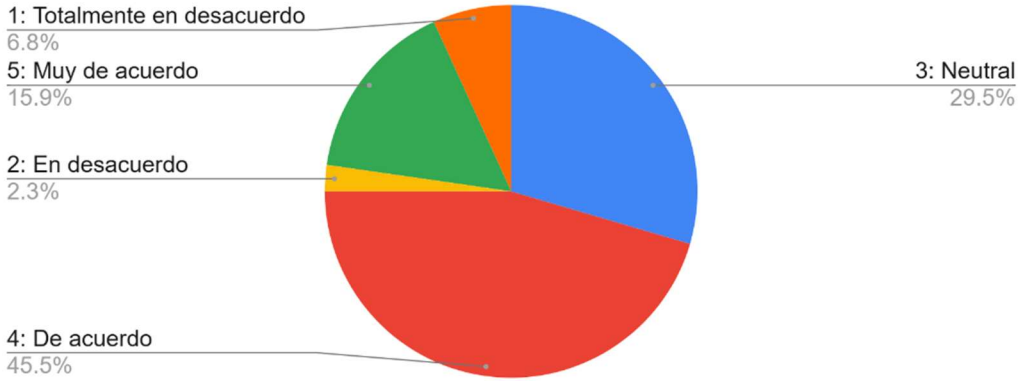
Pregunta 7: A continuación, clasifique los siguientes beneficios que considero del menos relevante (1) al más relevante (5) de los jardines verticales y techos verdes.



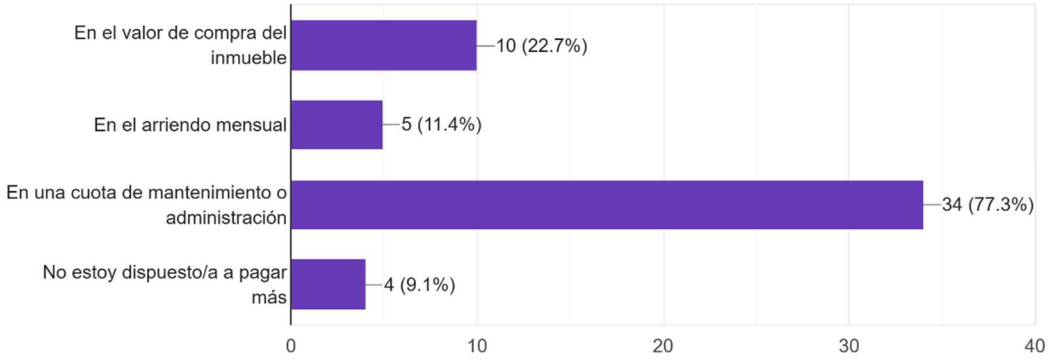
Pregunta 8: ¿En qué medida cree que experimentaría las siguientes sensaciones al estar cerca de ellos en un entorno diario?



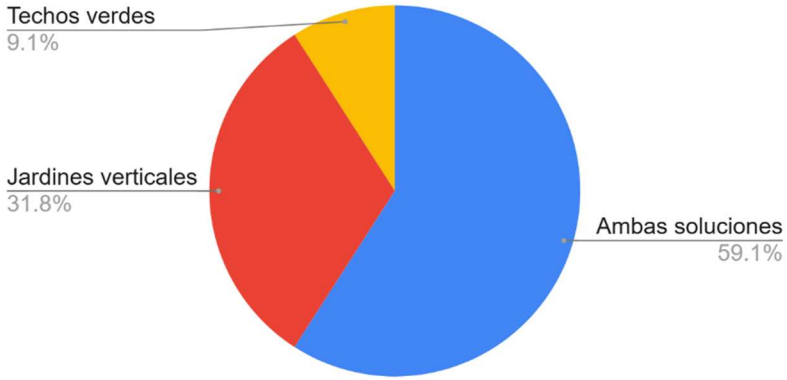
Pregunta 9: ¿Estaría dispuesto/a pagar un poco más por vivir en un edificio que cuente con jardines verticales o techos verdes, si eso se refleja en el costo total del inmueble o el canon de arriendo? *Considere que este sobrecosto sería moderado (por ejemplo, entre un 3% y un 5%) y se usaría para la instalación y mantenimiento de estas soluciones.*



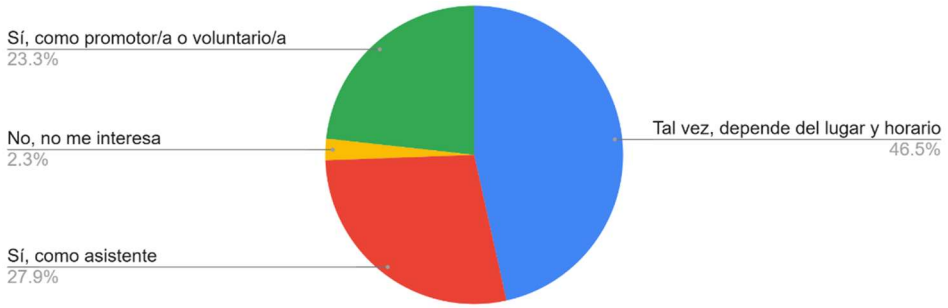
Pregunta 10: ¿En cuál de los siguientes casos estaría más dispuesto/a asumir un pago adicional por estas soluciones?



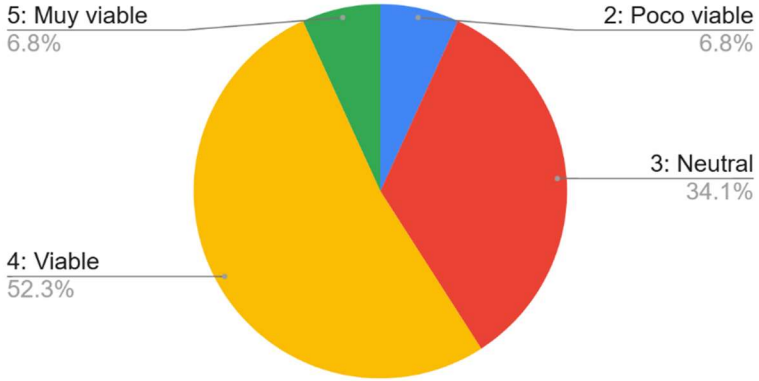
Pregunta 11: ¿Qué alternativa preferiría tener en su entorno habitacional y/o laboral?



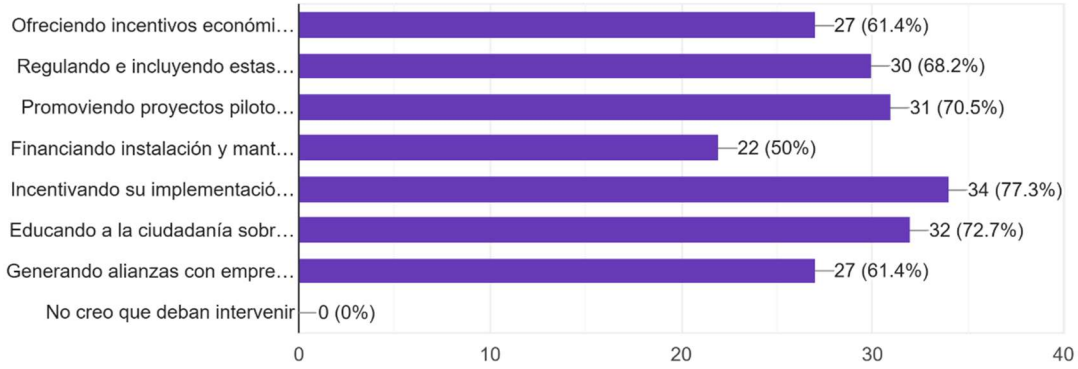
Pregunta 12: ¿Estaría interesado en participar en talleres o campañas para aprender más sobre jardines verticales o techos verdes?



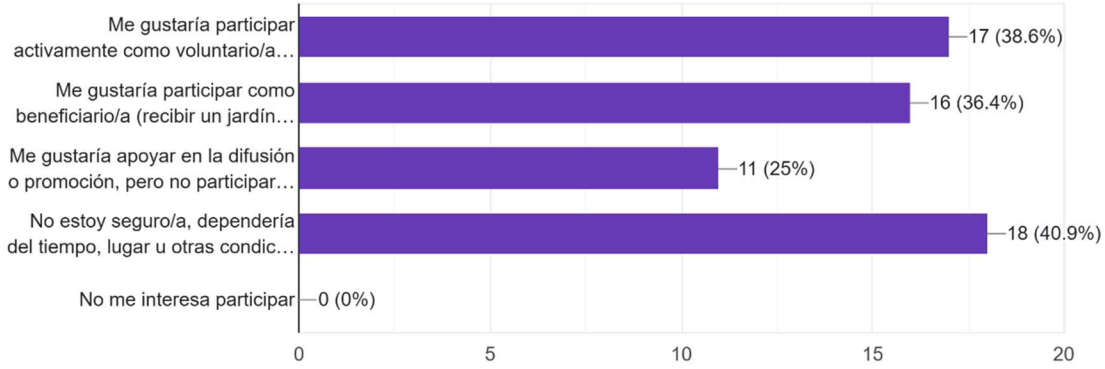
Pregunta 13: Desde su perspectiva, ¿es posible garantizar el funcionamiento y mantenimiento efectivo de estas soluciones a largo plazo?



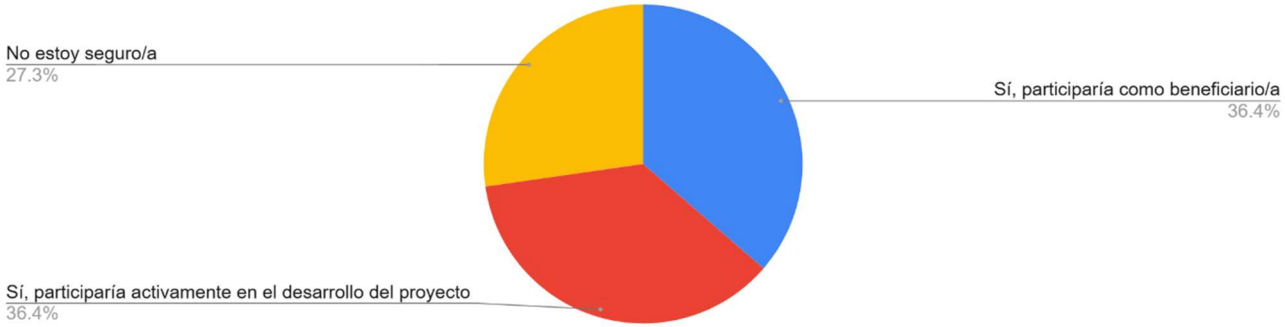
Pregunta 14: ¿De qué manera cree que las autoridades podrían contribuir a que estas soluciones se implementen?



Pregunta 15: Un proyecto piloto de jardines verticales o techos verdes en su comunidad podría incluir actividades como siembra, mantenimiento, seguimiento ambiental o participación en talleres. En ese contexto, ¿cómo le gustaría involucrarse?



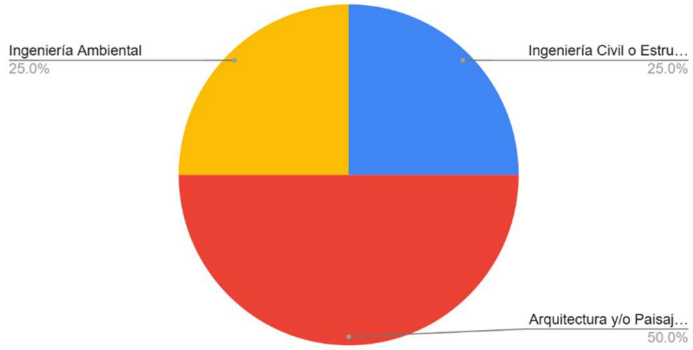
Pregunta 16: ¿Estaría dispuesto/a a participar o promover este tipo de iniciativas con sus vecinos en el desarrollo de un proyecto piloto?



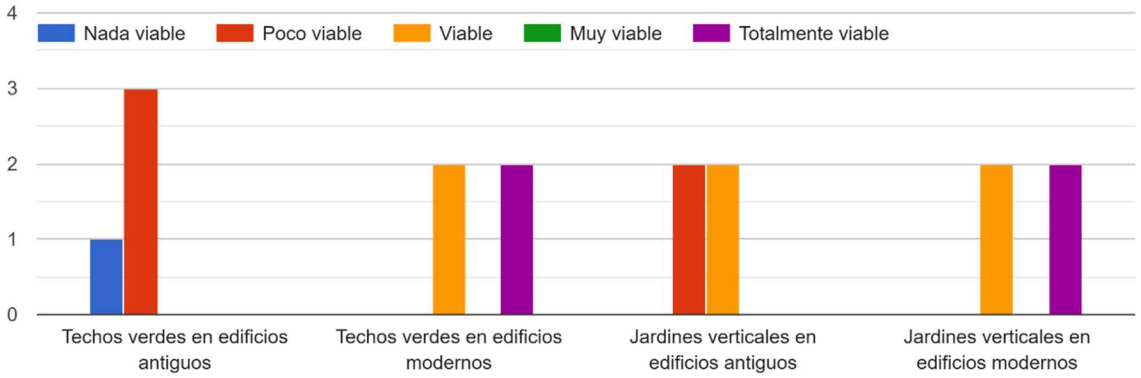
Percepción técnica sobre la viabilidad e implementación de techos verdes y jardines verticales en Bogotá – Expertos

A continuación, se presentan los resultados de las encuestas realizadas a expertos, que son personas naturales con estudios profesionales en medio ambiente, estructuras y/o paisajismo con conocimiento y/o experiencia en infraestructura verde.

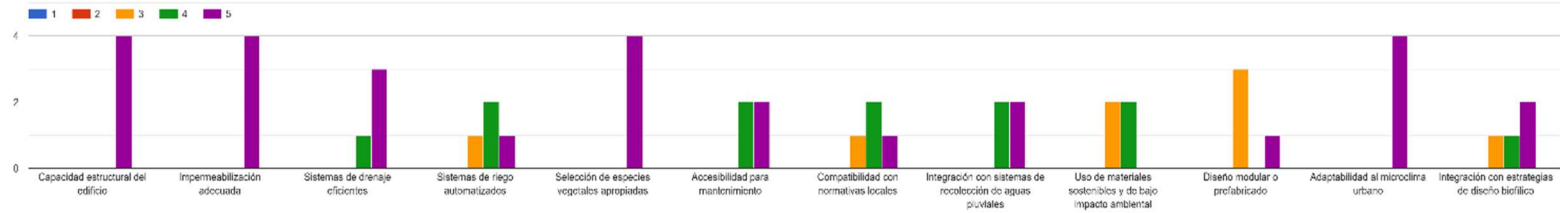
Pregunta 1: ¿En qué área principal del conocimiento se desempeña actualmente?



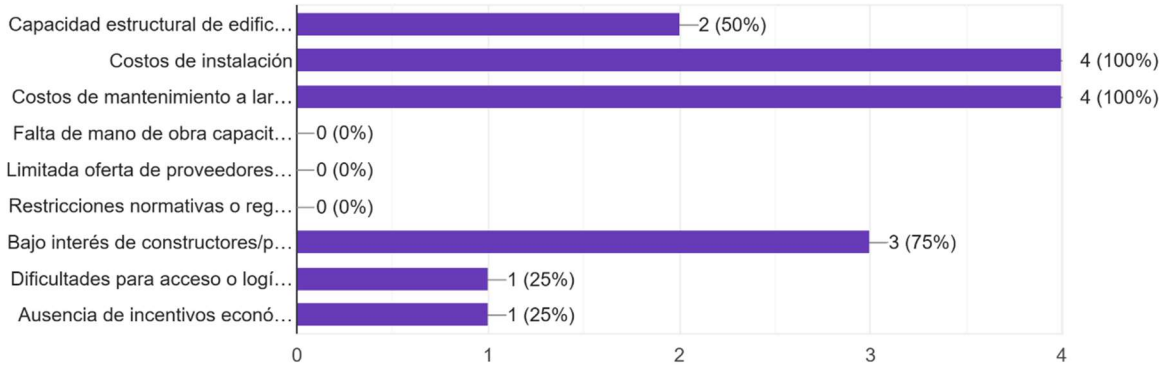
Pregunta 2: Teniendo en cuenta las condiciones estructurales y urbanas de la ciudad de Bogotá, le solicitamos evaluar la viabilidad técnica de implementar soluciones basadas en naturaleza (SBN), específicamente techos verdes y jardines verticales, en diferentes tipos de edificaciones urbanas densas. ¿Qué tan viable considera técnicamente la implementación de las siguientes soluciones en los tipos de edificación mencionados?



Pregunta 3: A continuación, valore cada aspecto según su relevancia, usando una escala del 1 al 5 (siendo 1 poco relevante y 5 muy relevante).



Pregunta 4: ¿Cuáles considera que son las principales limitaciones técnicas o de mantenimiento para implementar techos verdes o jardines verticales en contextos urbanos densos?



Pregunta 5: Con su conocimiento actual ¿Considera que existe innovación suficiente en el mercado colombiano para el desarrollo de jardines verticales y techos verdes en contextos urbanos?

(Describa brevemente su percepción sobre el nivel de innovación, ejemplos conocidos o barreras percibidas, también, indique en caso de no poseer conocimiento adicional).

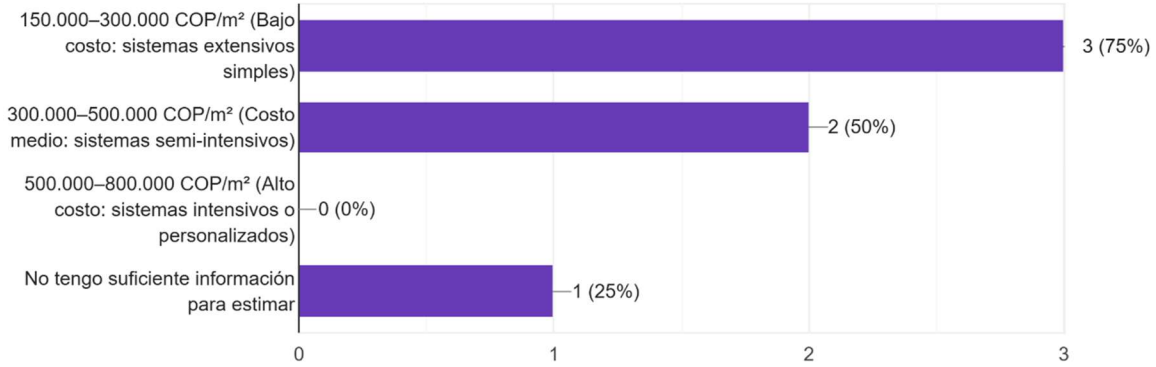
Participante 1:"Personalmente no promuevo los muros verdes porque es costoso, generan alto mantenimiento, y la sostenibilidad en el tiempo es limitada, prefiero recomendar especies trepadoras o que estén en jardineras directamente en mampostería que tengan más sustrato, si bien los techos verdes son interesantes en mis proyectos de colegios del distrito se han limitado por problemas técnicos de impermeabilización por lo tanto se han sugerido elementos sobrepuestos, como mobiliario para huertas o materas."

Participante 2: "En Colombia existe un creciente interés por jardines verticales y techos verdes en contextos urbanos, con ejemplos destacados como el edificio Santalaia en Bogotá y el trabajo de empresas como Groncol. Sin embargo, la innovación aún es limitada y concentrada en ciertos sectores. Las principales barreras incluyen altos costos, falta de normativas técnicas claras, escasa capacitación especializada y una percepción de exclusividad que restringe su adopción masiva. Aunque hay avances y potencial, se requiere mayor articulación entre políticas públicas, academia e industria para consolidar estas soluciones como infraestructura urbana sostenible."

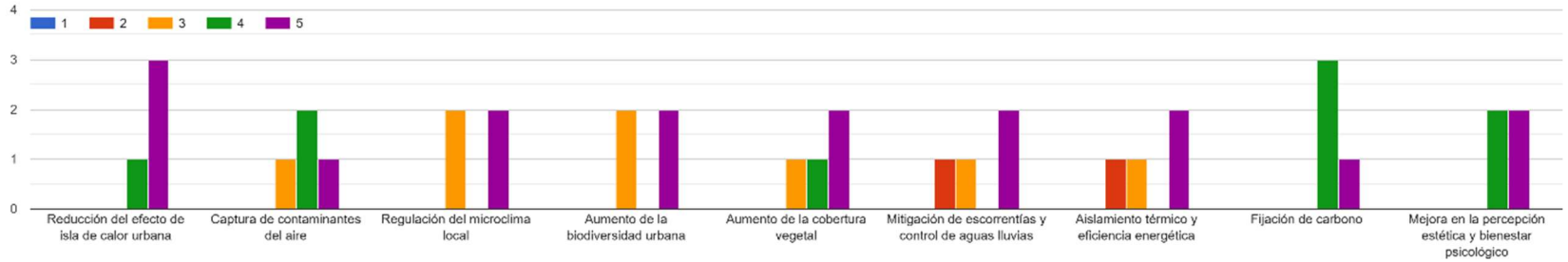
Participante 3: "Han habido intentos por crear jardines verticales, pero, estos intentos han fracasado por los costos de mantenimiento. Un ejemplo puede ser el centro comercial parque colina en el cual se decidió luego de una década reemplazar fachadas verdes deterioradas por materiales sintéticos que simulan plantas. El mayor reto puede estar en el mantenimiento a largo plazo de las especies

vegetales y sus costos, esto puede ser minimizado con la elección de especies adecuadas e innovaciones que permitan un fácil mantenimiento. Otra innovación puede estar en diseños que reduzcan los costos directos de la instalación y en generar campañas de sensibilización que fomenten el uso de estas soluciones para reducir la huella de carbono y las islas de calor en las ciudades, entre otros beneficios que merecen ser socializados."

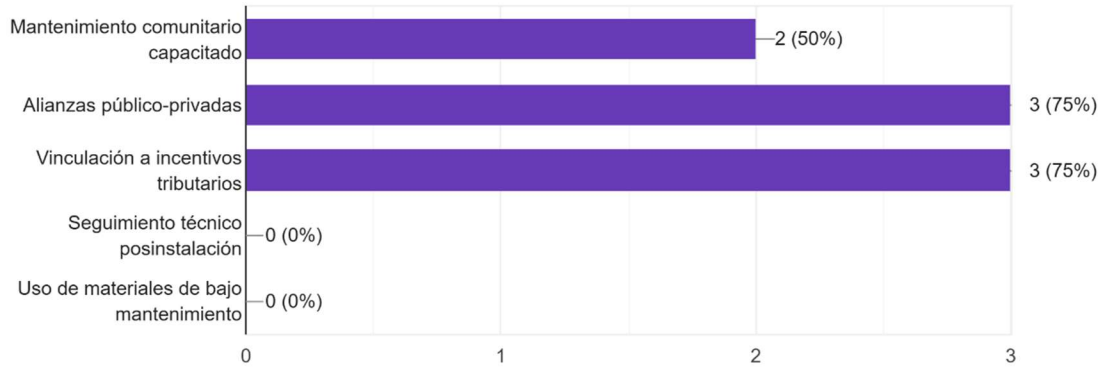
Pregunta 6: Según su conocimiento técnico, ¿en qué rango de costos estimaría usted que se encuentra la instalación por metro cuadrado (m²) de techos verdes o jardines verticales en Bogotá, considerando materiales y mano de obra?



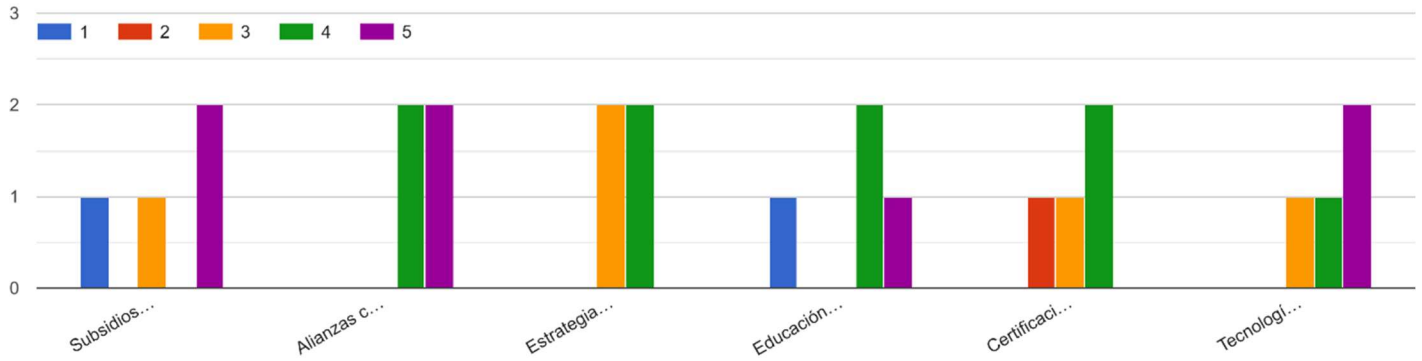
Pregunta 7: ¿Cuáles considera que son los principales beneficios ambientales de los jardines verticales y techos verdes en contextos urbanos?



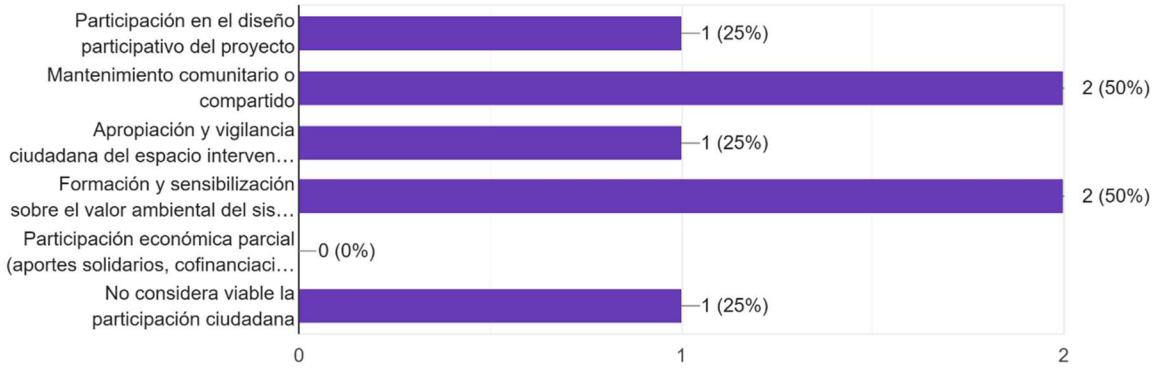
Pregunta 8: ¿Qué estrategias considera más efectivas para garantizar la sostenibilidad técnica y financiera a largo plazo de un proyecto de infraestructura verde urbana? (Seleccione hasta 2)



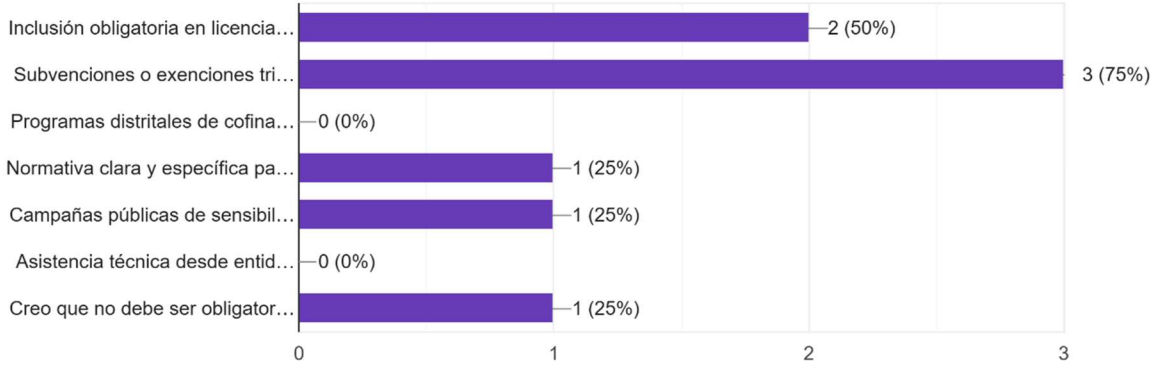
Pregunta 9: Para que un modelo de negocio de techos verdes o jardines verticales sea exitoso en Bogotá, ¿cuáles de los siguientes elementos considera más relevantes?



Pregunta 10: ¿Cuál(es) de los siguientes roles considera más viables o efectivos para la ciudadanía en proyectos de techos verdes y jardines verticales en Bogotá?



Pregunta 11: Desde su experiencia, ¿cuáles son los dos apoyos institucionales más críticos para impulsar la implementación y escalabilidad de techos verdes y jardines verticales en Bogotá?



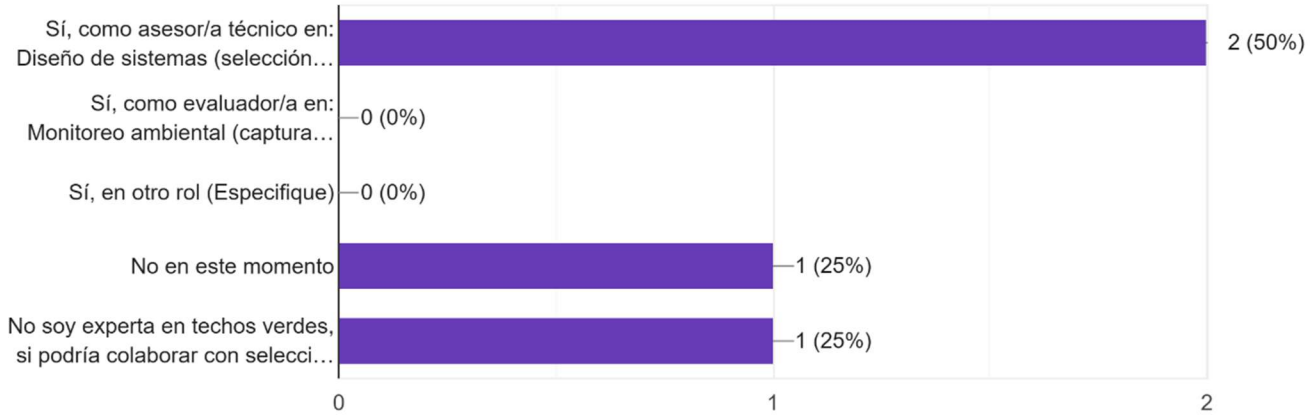
Pregunta 12: Desde su perspectiva técnica, ¿considera que los techos verdes y jardines verticales pueden integrarse en proyectos de construcción nuevos en Bogotá, considerando aspectos técnicos, normativos y financieros?

Participante 1: "Si pueden integrarse, pero como menciono con anterioridad desde mi perspectiva es mejor que sea obligatorio plantar un árbol o dos en el antejardín o en los retrocesos que poner techos y fachadas verdes, dejar sin construir zonas dentro del lote, por que las recargas acuíferas no se dan por techos verdes."

Participante 2: "No, actualmente la integración de techos verdes y jardines verticales en nuevos proyectos de construcción en Bogotá no es generalizada, debido a limitaciones técnicas y financieras. Aunque son soluciones viables desde el diseño estructural, muchos proyectos no las contemplan desde el inicio. Además, el marco normativo carece de exigencias obligatorias y los incentivos son limitados. A esto se suman los altos costos de instalación y mantenimiento, lo que restringe su adopción principalmente a proyectos de alto presupuesto o con enfoque ambiental específico."

Participante 3: "Si se puede si hay descuentos tributarios y normatividad obligatoria en el sector de la construcción"

Pregunta 13: ¿Estaría dispuesto/a a participar en un proyecto piloto de techos verdes y jardines verticales en Bogotá?

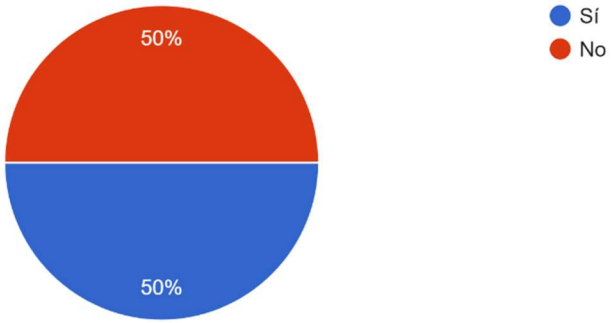


Percepción técnica sobre la viabilidad e implementación de techos verdes y jardines verticales en Bogotá – Expertos

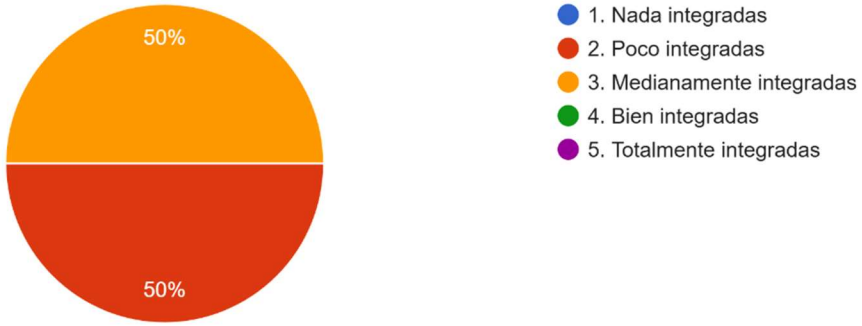
Pregunta 1: ¿A qué tipo de entidad pertenece?



Pregunta 2: ¿Está familiarizado/a con los techos verdes y jardines verticales en el concepto de Soluciones Basadas en la Naturaleza (SBN)?



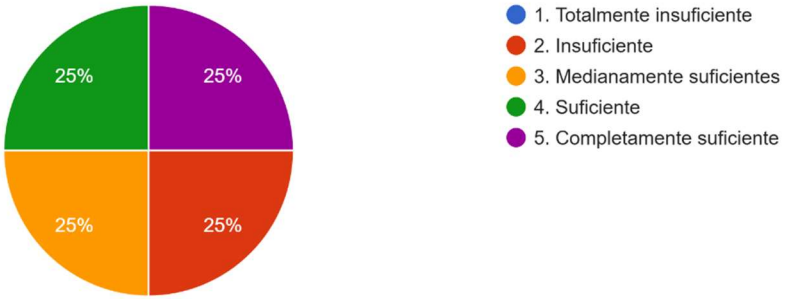
Pregunta 3: Según su conocimiento actual ¿En qué medida las SBN están integradas en los instrumentos de planeación territorial de su entidad (como POT, u otros)?



Pregunta 4: ¿Existe alguna normativa o incentivo fiscal que regule o promueva estas soluciones en su entidad?



Pregunta 5: ¿Considera que su institución cuenta con el personal técnico y los recursos necesarios para acompañar proyectos de SBN?



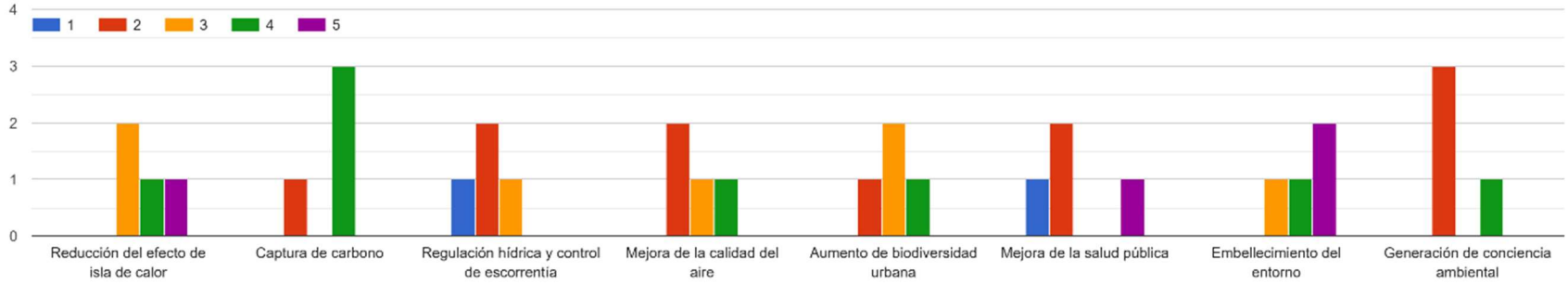
Pregunta 6: ¿Considera que existe voluntad institucional para implementar estas soluciones en el espacio público o edificaciones oficiales?

Participante 1: "No. Si no hay una obligación normativa que obligue el uso de jardines verticales entonces la entidad no lo hace, por tratarse más que todo de temas estéticos y paisajisticos."

Participante 2: "Si, se instalaron muros verdes alrededor de la alcaldia local hace una semana"

Participante 3: "Si, hay prioridad para la protección del ambiente y los recursos naturales"

Pregunta 7: ¿Cuáles considera que son los principales beneficios de estas soluciones?



Pregunta 8: ¿Qué tan factible considera que es la financiación o cofinanciación pública de proyectos de SBN en su entidad? (Factible / no factible. ¿Por qué?)

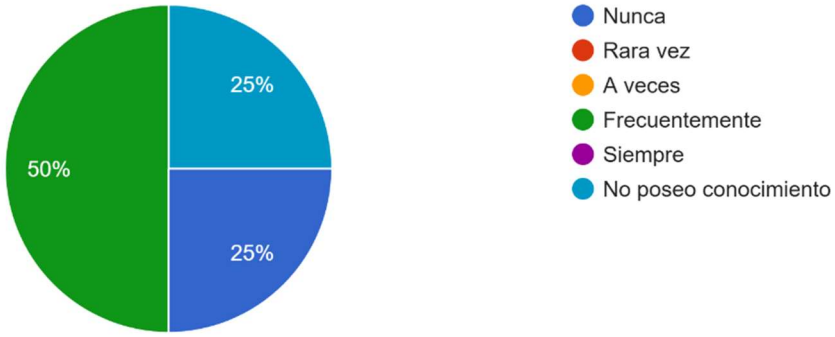
Participante 1: "Medianamente factible, la financiación se da por convocatorias, pero no específicamente por ser temas de SBN"

Participante 2: "Factible, porque se instaló, sin embargo, depende de cada administración que se mantenga, lo cual genera un problema en cuanto a los recursos destinados a su cuidado y mantenimiento"

Participante 3: "Factible, como cabeza del sector ambiente, el ministerio promueve las soluciones basadas en la naturaleza."

Pregunta 9: ¿Se han realizado procesos participativos o pedagógicos con la comunidad para dar a conocer estas soluciones?
Si
No tengo conocimiento
No
No poseo información al respecto

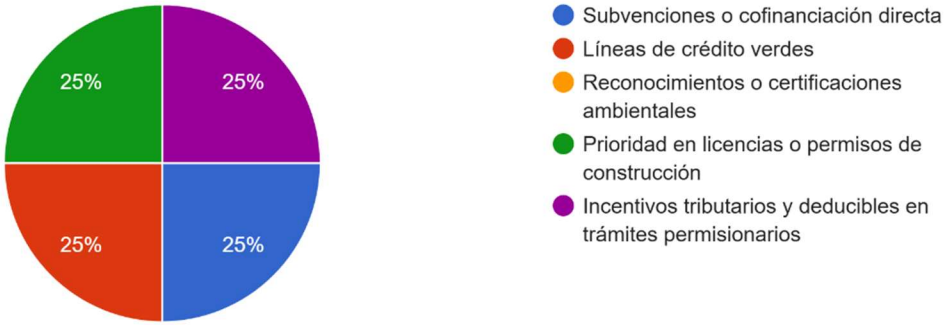
Pregunta 10: ¿Con qué frecuencia su entidad coordina acciones con otras instituciones (ambientales, de planeación, educativas, etc.) para promover soluciones basadas en la naturaleza?



Pregunta 11: ¿Conoce experiencias previas de implementación de techos verdes o jardines verticales en su entidad o en el país?

"Si, en el año 2019 se instaló, por problemas de descuido administrativo no se destinaron recursos suficientes a mantenerlos, lo que se causó su retiro, en esta administración se puso de nuevo pero de igual forma se aclara que los recursos solo son para esta vigencia"

Pregunta 12: ¿Qué tipo de incentivos o mecanismos considera más efectivos para promover la implementación de techos verdes o jardines verticales en su territorio?



Pregunta 13: ¿Estaría su institución dispuesta a apoyar un proyecto piloto de techos verdes o jardines verticales?

En la totalidad de las encuestas se recibió un “No sé”.
Perspectiva de un experto: Entrevista a Diana Salazar Moreno.

Esta sección recoge los principales hallazgos de una entrevista en profundidad con Diana Salazar Moreno, arquitecta y magíster en Arquitectura Paisajista, con más de 15 años de experiencia en diseño y planificación del paisaje en Colombia. Ha liderado proyectos urbanos y académicos de alto impacto, entre ellos su paso por el Jardín Botánico de Bogotá, y actualmente se desempeña como docente y consultora independiente en diseño de espacios exteriores.

Durante la entrevista, Salazar resaltó la necesidad de una mirada crítica sobre la sostenibilidad de los sistemas de infraestructura verde, especialmente en contextos urbanos como el colombiano, donde las tecnologías importadas no siempre se ajustan a las condiciones climáticas, ecológicas y sociales locales. Señaló que muchos sistemas de muros y techos verdes fracasan por una dependencia excesiva de tecnologías artificiales de riego, falta de mantenimiento y una selección de especies vegetales dependientes al riego constante (a menudo exóticas y no del todo adaptadas), lo que compromete su viabilidad a largo plazo. “Hay un desfase entre lo que se diseña desde la arquitectura y lo que realmente puede sostenerse con los recursos y condiciones locales”, afirmó.

Desde su perspectiva, es fundamental priorizar especies nativas y estrategias de bajo consumo hídrico, así como rediseñar los modelos actuales para integrar principios de equidad ecológica, accesibilidad comunitaria y resiliencia territorial. Destacó que las SbN deben trascender lo ornamental y convertirse en herramientas funcionales para mejorar la habitabilidad urbana, considerando también su dimensión social, normativa y pedagógica. En sus palabras, “no se trata solo de poner plantas en una pared o un techo, sino de entender cómo ese sistema dialoga con el entorno, con la comunidad y con el clima”.

Uno de los vacíos críticos identificados fue la limitada disponibilidad comercial de ciertas especies nativas, lo que restringe su integración en diseños paisajísticos a gran escala. Para contrarrestar esta brecha, compartió experiencias exitosas, donde se promovió la creación de viveros dedicados a la propagación de especies locales, resaltando su capacidad de adaptación, su bajo requerimiento hídrico y su potencial para fortalecer los ecosistemas urbanos. A su juicio, este enfoque permitiría desarrollar una “tecnología del paisaje” más orgánica, auto-gestionable y sensible a los ciclos de vida natural de las plantas.

También abordó el desfase entre las soluciones de infraestructura verde propuestas y su viabilidad estructural o económica dentro de proyectos reales. Indicó que, en la práctica, muchos constructores eliminan o minimizan estos componentes debido a su costo, la falta de lineamientos claros o la percepción de que son un lujo prescindible. Además, advirtió que en proyectos públicos (como instituciones educativas) los presupuestos suelen ser limitados, lo que reduce el alcance e implementación del paisajismo sostenible. Ante esto, insistió en la necesidad de prototipos accesibles, experimentales y de bajo costo, discutiendo la posibilidad de que puedan ser escalados a contextos de mayor vulnerabilidad.

A nivel urbanístico, subrayó que la expansión descontrolada de la impermeabilización del suelo representa una amenaza estructural para el ciclo hídrico urbano. En este sentido, las cubiertas verdes pueden cumplir un rol clave en la regulación hídrica, la generación de hábitat para polinizadores y aves, y la mitigación del efecto isla de calor. No obstante, recalcó que estas soluciones deben ir acompañadas de cambios normativos que impidan la ocupación total de los lotes o predios, y exijan la inclusión de zonas permeables en las nuevas construcciones. Sin esta transformación en la política de uso del suelo, los esfuerzos aislados resultarán insuficientes para lograr impactos ecosistémicos significativos.

Finalmente, se dialogó acerca de la importancia del componente comunitario como determinante de la sostenibilidad de los proyectos en el tiempo. Desde su experiencia, iniciativas exitosas han incorporado procesos participativos desde el diseño hasta la implementación, fomentando la apropiación social del espacio y su cuidado continuo, asegurando su sostenibilidad en el mediano-largo plazo. En este sentido, las SbN no solo deben pensarse como elementos técnicos, sino como vehículos para fortalecer el capital social, impulsar la equidad en el acceso al paisaje y responder de forma más justa a las condiciones urbanas diferenciales.

Matriz de priorización

A continuación, se sintetizan los principales resultados obtenidos a partir del análisis de encuestas aplicadas a comunidades, autoridades y expertos, organizados por bloques temáticos.

Tabla 18. Encuesta a comunidades locales.

Bloque temático	Indicador	Fuente	Resultado clave	Nivel de prioridad	Observaciones o interpretación
Impacto socioambiental	Beneficios percibidos	Comunidades	Se observa reconocimiento de lo espacios físicos destinados a la infraestructura verde, presentándose un desconocimiento del 25%. Se observa un mayor reconocimiento de los beneficios relacionados la mejora de la calidad del aire, la reducción de la temperatura urbana, el embellecimiento del entorno y la reducción del estrés. Frente a las emociones que genera la presencia de estos espacios en la ciudad se encuentra mayor valoración de la belleza o atractivo visual, la reducción de la monotonía urbana, la conexión con la naturaleza y la sensación de frescura.	Alto	La comunidad valora de forma diferente los beneficios ambientales de la infraestructura sostenible.
		Autoridades	Se reconoce principalmente la reducción del efecto de isla de calor, la mejora en la calidad del aire y el embellecimiento del entorno.	Alto	Se observa que, al manejar mayor conocimiento en materia, se da mayor reconocimiento a los beneficios ambientales de las soluciones. Sin embargo, y considerando preferencias personales, se reconoce el embellecimiento de entorno.
		Expertos	Se destacan como beneficios más reconocidos la reducción del efecto de isla de calor urbana, el aumento de la biodiversidad urbana, el incremento en la cobertura vegetal y la mejora en la percepción estética y el bienestar psicológico.	Alto	
Costo y economía	Disposición a pagar	Comunidades	Se evidencia una disposición positiva a pagar valores adicionales por el acceso a estas soluciones en un 45.5%, presentándose una indisposición a pagar valores adicionales en un 6.8%. Siendo preferible el medio de pago por el disfrute de estos espacios en cuotas de mantenimiento o administración (77.3%).	Alto	Se encuentran opiniones divididas en cuanto a la disposición por pagar por vivir en infraestructuras que cuenten con techos verdes o jardines verticales

		Comunidades	Se identifica que la modalidad más aceptada para realizar pagos por los beneficios percibidos es mediante la compra o el arriendo.	Alto	De igual forma se observa división en las respuestas en los casos de pago por la inclusión de techos verdes o jardines verticales en la infraestructura
	Preferencias	Comunidades	Frente a las dos soluciones (techos verdes y jardines verticales), se manifiesta una preferencia por la implementación de ambas soluciones, aunque se valora positivamente la instalación de jardines verticales (31.8%) por encima de techos verdes (9.1%).	Media	
		Expertos	Se considera que el costo por metro cuadrado debería ubicarse entre los $150.000 y $300.000 COP.	Alto	Seguido de un resultado de $300.000 a $500.000 por lo que se estima un rango de costo ideal entre $150.000 y $500.000.
		Expertos	Se considera que los elementos clave para un modelo de negocio exitoso son los subsidios, las alianzas estratégicas y la implementación de tecnología.	Alto	
Rol de la ciudadanía	Formas de participación ciudadana	Comunidad	Existe interés en participar en talleres y campañas como promotor o voluntario, aunque condicionado por la disponibilidad de tiempo de los asistentes.	Medio	
		Autoridades	Se evidencia heterogeneidad en la realización de procesos participativos o pedagógicos con la comunidad para dar a conocer estas soluciones.	Medio	Se observa que el compromiso entre ambas autoridades es de diferente alcance en materia, esto podría relacionarse con la disponibilidad de recursos y jurisdicción.
Viabilidad	Sostenibilidad	Comunidad	Se considera viable el funcionamiento y mantenimiento a largo plazo de las soluciones, aunque persiste cierta desconfianza en su sostenibilidad.	Alto	El conocimiento de experiencias fallidas genera desconfianza frente a la sostenibilidad de estas soluciones a largo plazo.
		Expertos	Se estima que las estrategias más efectivas para asegurar la sostenibilidad de las iniciativas son las alianzas público	Medio	Se reconoce la importancia del mantenimiento como factor clave

			privadas, vinculación a incentivos tributarios y mantenimiento comunitario capacitado.		en la sostenibilidad de las iniciativas.
		Expertos	Se considera que la implementación en edificios antiguos es poco y nada viable, mientras que en edificaciones modernas es viable y totalmente viable.	Medio	Se identifica la poca o nula viabilidad de la instalación de los sistemas en los edificios antiguos.
		Expertos	Desde el punto de vista técnico, se considera que los techos verdes y jardines verticales pueden integrarse adecuadamente a las condiciones constructivas existentes. Sin embargo se considera que hay otras estrategias que pueden generar los mismos beneficios, además se considera que las limitaciones técnicas y financieras generan que su implementación en Bogotá no sea integrada, considerando además la carencia de exigencias obligatorias y los altos costos de instalación y mantenimiento.	Alto	No se considera que deban hacerse cambios importantes en las estructuras existentes para la implementación de las estrategias.
Apoyo institucional	Incentivos sugeridos	Comunidad	Se identifica que las principales formas de apoyo esperadas de las autoridades son a través de incentivos económicos, educación, promoción de proyectos y regulación clara.	Bajo	Se reconoce que los incentivos económicos son fundamentales para motivar proyectos de implementación de las soluciones.
		Autoridades	Se reconoce heterogeneidad en la efectividad de los incentivos ofrecidos para la promoción de estas soluciones.	Alto	Se observa que el compromiso entre ambas autoridades es de diferente alcance en materia, esto podría relacionarse con la disponibilidad de recursos y jurisdicción.
		Autoridades	La diversidad en el enfoque hacia las Soluciones Basadas en la Naturaleza (SbN) genera diferencias en la percepción institucional respecto a la voluntad de implementación.	Baja	En instituciones con mayor manejo del tema, se identifica una actitud más positiva hacia estas soluciones.

		Expertos	Se considera que para impulsar la implementación y escalabilidad de estas iniciativas es fundamental contar subvenciones o exenciones tributarias e inclusión obligatoria en licencia de construcción.	Bajo	Se identifica la percepción de la necesidad de ayuda institucional y subsidiaria y tributaria en la instalación de los sistemas.
	Nivel de articulación institucional	Autoridades	Se identifica la existencia de mecanismos de coordinación y acción conjunta entre instituciones para promover estas soluciones.	Baja	La comprensión y aplicación del enfoque de Soluciones Basadas en la Naturaleza (SbN) es dispersa entre las autoridades.
	Voluntad política y capacidad institucional	Autoridades	Las autoridades manifiestan una percepción negativa respecto al nivel de integración de las SbN en los instrumentos de planificación territorial de las entidades gubernamentales.	Bajo	A pesar del conocimiento técnico disponible, no existe un nivel ideal de integración institucional que facilite el desarrollo de iniciativas como los jardines verticales o techos verdes.
		Autoridades	Se observa una heterogeneidad en la promoción de las iniciativas entre las entidades, tanto en liderazgo como en la disposición de recursos y apoyo a proyectos piloto.	Bajo	Se observa que el compromiso entre ambas autoridades es de diferente alcance en materia, esto podría relacionarse con la disponibilidad de recursos y jurisdicción.
		Autoridades	También se presentan opiniones divididas en torno a los mecanismos de financiamiento y cofinanciamiento.	Bajo	
Rol de la ciudadanía	Formas de participación ciudadana	Comunidad	Se percibe una reacción igualitaria entre el interés de participación en el desarrollo de un proyecto piloto (36.4%) y la recepción de beneficios generados por el mismo (36.4%).	Bajo	El reconocimiento de beneficios sociales y ambientales se asocia con un interés latente, aunque condicionado.
		Expertos	Se considera que los roles más viables para la ciudadanía son la participación en el diseño de los proyectos y la contribución económica parcial.	Medio	La ciudadanía debe ser tanto receptora como participante activa del mercado de este tipo de estrategias. Sin embargo, es fundamental que la ciudadanía sea consultada y escuchada en los procesos de implementación.
		Expertos	Se identifica que los factores menos relevantes para la implementación son la	Alto	Se espera obtener más opiniones de expertos para evaluar más

			capacidad estructural de los edificios y la automatización de los sistemas de riego.		objetivamente los factores técnicos relevantes.
		Expertos	Entre las principales limitantes técnicos se encuentran los altos costos de mantenimiento, la capacidad estructural, la falta de mano de obra especializada, el bajo interés, la limitada disponibilidad logística y la ausencia de incentivos económicos.	Alto	Los altos costos de mantenimiento son una de las principales causas de fracaso de estos proyectos. Estos costos se relacionan con problemas logísticos, escasez de mano de obra especializada y falta de apoyo gubernamental.
		Expertos	Se considera que la promoción y reconocimiento por parte de entidades gubernamentales contribuye al fortalecimiento del mercado colombiano.	Medio	La otorgación de reconocimientos públicos se percibe como una estrategia efectiva para incentivar proyectos de infraestructura verde. Estos reconocimientos pueden fortalecer el mercado, fomentar la innovación y facilitar la adopción de nuevas tecnologías.
		Expertos	Se evidencia una general disposición a participar en proyectos piloto en la ciudad de Bogotá, en posiciones de asesoría técnica y como apoyo.	Medio	Se espera obtener más opiniones de expertos para evaluar más objetivamente los factores técnicos relevantes.

Fuente: propia.

6.2. Modelo de gestión

A continuación se presenta el desarrollo del planteamiento del modelo de gestión aplicado en un estudio de caso teórico.

Contextualización del estudio de caso

A continuación, se presenta el estudio de caso, el cual plantea ser realizado en el Edificio Fernando Barón S.J.

Ubicación geográfica y condiciones ambientales

El estudio de caso planteado es el Edificio Fernando Barón S.J., ubicado en el campus de la Pontificia Universidad Javeriana (Bogotá, Colombia), una zona urbana de alta densidad en la localidad de Chapinero. Bogotá presenta un clima templado frío, con temperaturas promedio entre 10°C y 20°C, alta humedad relativa (70–80%) y lluvias frecuentes, especialmente en abril-mayo y octubre-noviembre. Estas condiciones climáticas influyen directamente en la selección de especies vegetales y sistemas de riego, ya que se requieren plantas resistentes a heladas ocasionales y lluvias intensas.

Tipo de edificio y uso

El edificio es de carácter institucional, utilizado principalmente para aulas, salas de cómputo y espacios académicos. Su diseño original, construido en 1993, combina estructura de concreto y muros exteriores de granito, un material denso y no poroso que plantea desafíos técnicos para la implementación de un jardín vertical.

Características arquitectónicas relevantes

- Altura del muro: 25 metros (equivalente a ~10 pisos).
- Ancho disponible: 4 metros (área total: 100 m²).
- Material predominante: Granito (superficie lisa y dura, sin capacidad de retención de humedad).
- Orientación: Según la ubicación del muro seleccionado, podría estar expuesto a vientos fuertes o sombra parcial, lo que afecta el diseño del jardín.

Condiciones de la edificación

Tabla 19. Condiciones de la edificación.

Aspecto	Existente
Número de plantas	SI
Red de agua	SI
Alcantarillado	SI
Energía eléctrica	SI
Pavimentación	SI
Facilidad de construcción	SI

Facilidad de mantenimiento	SI
Presencia de elementos constructivos	NO

Fuente: propia.

Contextualización del estudio de caso

El proyecto de implementación de un jardín vertical en el Edificio Fernando Barón S.J. de la Pontificia Universidad Javeriana en Bogotá se justifica por su relevancia estratégica como solución basada en la naturaleza (SBN) frente a los desafíos ambientales urbanos. Ubicado en la densa localidad de Chapinero, este edificio institucional representa un caso de estudio ideal para demostrar la viabilidad técnica y los beneficios de la infraestructura verde en un clima templado frío con alta humedad y lluvias frecuentes, condiciones que exigen una selección de especies y sistemas de riego específicos. A pesar de las características arquitectónicas desafiantes, como un muro de granito de 25 metros de altura y 4 metros de ancho sin capacidad de retención de humedad, la edificación cuenta con la infraestructura esencial (red de agua, alcantarillado, energía eléctrica) y la facilidad para la construcción y el mantenimiento, lo que permite una implementación controlada y monitoreable. Este proyecto no solo contribuirá directamente a mitigar el efecto isla de calor y mejorar la calidad del aire en una zona urbana crítica, sino que también generará datos empíricos valiosos sobre el desempeño de los jardines verticales en un contexto bogotano, sirviendo como un modelo replicable y un catalizador para futuras iniciativas de reverdecimiento urbano y construcción sostenible en la ciudad.

Actores clave

A continuación, se presenta la tabla correspondiente a los actores clave identificados en el planteamiento del estudio de caso en cuestión

Tabla 20.Identificación de actores clave

Actor	Rol en el Proyecto	Nivel de Interés (Alto/Medio/Bajo)	Poder de Influencia (Alto/Medio/Bajo)
Pontificia Universidad Javeriana (PUJ)	Propietaria del edificio y principal tomadora de decisiones.	Alto (sostenibilidad institucional)	Alto (aprobación presupuestal y técnica).
Dirección de Infraestructura PUJ	Responsable de autorizar modificaciones estructurales y mantenimiento.	Medio-Alto (cumplimiento normativo)	Alto (puede vetar o aprobar diseños).
Facultades/Estudiantes	Usuarios directos del edificio; potenciales beneficiarios y promotores.	Medio (depende de divulgación)	Bajo-Medio (incidencia mediante protestas o apoyo).
Secretaría de Ambiente de Bogotá	Regula proyectos ambientales urbanos (ej.: licencias de uso de agua o áreas verdes).	Medio (si el proyecto escala)	Alto (exigencia de permisos).
Empresas Proveedoras (ej.: Greenwall S.A.S.)	Ejecutoras técnicas del jardín vertical.	Alto (interés económico)	Medio (asesoría técnica, pero no decisión final).

Comunidad Local (Chapinero)	Vecinos y organizaciones ambientales.	Bajo-Medio (depende de impacto visual)	Bajo (incidencia indirecta).

Fuente: propia.

Análisis de Poder e Interés

El análisis de poder e interés en el proyecto revela la existencia de tres grupos principales de actores. En primer lugar, se encuentran aquellos con alto poder e interés, como la Pontificia Universidad Javeriana (PUJ) y su Dirección de Infraestructura, quienes son decisivos para la aprobación e implementación del proyecto. Un segundo grupo lo conforman los actores con alto poder, pero bajo interés, como la Secretaría de Ambiente, cuya atención es crucial para asegurar el cumplimiento normativo. Finalmente, existen actores con bajo poder, pero alto interés, como los estudiantes y la comunidad académica, quienes pueden ejercer presión social y participar activamente en el desarrollo del proyecto.

Posibles alianzas, resistencias y estrategias.

A continuación, se presentan las alianzas clave y resistencias identificadas en la implementación del proyecto.

Alianzas clave

A partir del análisis de actores, se identifican posibles alianzas y resistencias clave para el proyecto. Entre las alianzas potenciales, destaca la colaboración entre la Pontificia Universidad Javeriana (PUJ) y sus Facultades de Arquitectura y Ambiente para llevar a cabo investigaciones conjuntas sobre el impacto del jardín, como el monitoreo de temperatura o biodiversidad. Asimismo, se prevén asociaciones con empresas proveedoras y la Dirección de Infraestructura, donde el financiamiento parcial podría obtenerse a cambio de visibilidad, por ejemplo, mediante el patrocinio con materiales. Una tercera alianza importante es la de estudiantes y la comunidad académica, quienes podrían ofrecer voluntariados para el mantenimiento, contribuyendo a la reducción de costos operativos. Sin embargo, también se anticipan resistencias. La Dirección de Infraestructura de la PUJ podría manifestar preocupación por posibles daños al granito o filtraciones, lo cual se abordaría presentando estudios de impermeabilización y garantías. La Secretaría de Ambiente, por su parte, podría exigir permisos complejos, para lo cual se propone incluir abogados ambientales en el equipo. Finalmente, los proveedores podrían presentar sobreprecios en las cotizaciones, lo que se mitigaría mediante una licitación transparente con un mínimo de tres cotizaciones.

Como medio de gestión social, se proponen diversas estrategias de gobernanza. Se establecerá un Comité de Gestión que integre representantes de la PUJ (tanto de Infraestructura como de la Vicerrectoría Académica), líderes ambientales estudiantiles y asesores técnicos de los proveedores. La comunicación continua será fundamental, implementando informes semestrales dirigidos a la comunidad universitaria para dar a conocer los resultados ambientales y económicos del proyecto, y realizando reuniones

trimestrales con la Dirección de Infraestructura. Además, se desarrollarán mecanismos de participación, tales como encuestas a los usuarios del edificio para validar el diseño y talleres de co-creación con estudiantes, por ejemplo, para la selección de plantas, fomentando así la apropiación y el compromiso con la iniciativa.

Resistencias potenciales

Sin embargo, también se anticipan resistencias potenciales. La Dirección de Infraestructura de la PUJ podría manifestar preocupación por posibles daños al granito o filtraciones, lo cual se abordaría presentando estudios de impermeabilización y garantías. La Secretaría de Ambiente, por su parte, podría exigir permisos complejos, para lo cual se propone incluir abogados ambientales en el equipo. Finalmente, los proveedores podrían presentar sobreprecios en las cotizaciones, lo que se mitigaría mediante una licitación transparente con un mínimo de tres cotizaciones.

Como medio de gestión social, se proponen diversas estrategias de gobernanza. Se establecerá un Comité de Gestión que integre representantes de la PUJ (tanto de Infraestructura como de la Vicerrectoría Académica), líderes ambientales estudiantiles y asesores técnicos de los proveedores. La comunicación continua será fundamental, implementando informes semestrales dirigidos a la comunidad universitaria para dar a conocer los resultados ambientales y económicos del proyecto, y realizando reuniones trimestrales con la Dirección de Infraestructura. Además, se desarrollarán mecanismos de participación, tales como encuestas a los usuarios del edificio para validar el diseño y talleres de co-creación con estudiantes, por ejemplo, para la selección de plantas, fomentando así la apropiación y el compromiso con la iniciativa.

Estrategias de gobernanza

Como medio de gestión social, se proponen diversas estrategias de gobernanza. Se establecerá un Comité de Gestión que integre representantes de la PUJ (tanto de Infraestructura como de la Vicerrectoría Académica), líderes ambientales estudiantiles y asesores técnicos de los proveedores. La comunicación continua será fundamental, implementando informes semestrales dirigidos a la comunidad universitaria para dar a conocer los resultados ambientales y económicos del proyecto, y realizando reuniones trimestrales con la Dirección de Infraestructura. Además, se desarrollarán mecanismos de participación, tales como encuestas a los usuarios del edificio para validar el diseño y talleres de co-creación con estudiantes, por ejemplo, para la selección de plantas, fomentando así la apropiación y el compromiso con la iniciativa.

Para el desarrollo y propuesta del modelo de gestión y de negocios en el caso de estudio, se plantea la planeación la instalación de un jardín vertical de tipo plantas precultivadas en sistema de módulos o bolsillos que se compone de una estructura anclada a las fachadas del edificio Fernando Barón SJ, ubicado en la Pontificia Universidad Javeriana.

Modelo de gestión técnica

El modelo de gestión operativa busca establecer una estructura clara para ejecutar, controlar y mejorar las operaciones relacionadas con la instalación y mantenimiento de techos verdes, garantizando calidad, eficiencia, seguridad y sostenibilidad.

Aspectos de consideración

En esta etapa del modelo de gestión, y con base en la revisión bibliográfica y los aportes de los actores entrevistados, se abordan las consideraciones técnicas necesarias para maximizar los beneficios de la infraestructura verde. Aunque el enfoque principal se centrará en dos beneficios clave —el embellecimiento del espacio y la reducción del estrés—, reconocidos como prioritarios por los participantes, la implementación del jardín vertical también generará otros beneficios ambientales y sociales, que, si bien no serán el foco principal, serán materializados con la instalación del sistema.

A continuación, se presenta de forma generalizada los componentes de consideración que deben abordarse para realizar una correcta instalación del jardín vertical en el área de interés.

Tabla 21. Componentes de consideración.

Componentes de consideración	Detalles
Sistema de plantación	La elección del sistema de plantación es imprescindible ya que influye en la adaptación de las plantas, mantenimiento, consumo de agua y vida útil del jardín.
Definición del micro-clima en el sitio de instalación	Se deben escoger las plantas que mejor se adapten al micro-clima de la localización del proyecto.
Inclinación del tejado	Para edificios con inclinación considerable, es ideal seleccionar plantas con gran capacidad de almacenar agua.
Exposición al viento	A mayor exposición del viento se recomienda plantas de bajo porte y con capacidad de retención de agua.
Orientación de la luz solar	A mayor exposición solar se requieren plantas con pocas necesidades hídricas, si hay sombra deberán escoger plantas de zonas húmedas.
Precipitaciones	Además del sistema de riego, deben considerarse las precipitaciones de la zona.
Estructura portante	Debe ser resistente a la humedad y corrosión.
Soporte	Debe incluir capa impermeabilizante entre el soporte y la superficie para evitar filtraciones de humedad.
Sustrato	El sustrato dependerá de la capacidad de carga del tejado para así determinar el tipo de vegetación. El sustrato debe generar un buen drenaje y permeabilidad, retención de agua, ligereza, composición y nutrientes y resistencia a la erosión.
Capa vegetal	Selección de especies vegetales.
Sistema de riego y drenaje	Sistema de riego automatizado con recirculación.

Fuente: propia.

Sistema de plantación

Se propone el uso de sistema de filtro hidropónico patentado por la empresa española Paisajismo Urbano. Este sistema, apto para instalaciones superiores a 12 m2, ofrece bajo peso por metro cuadrado instalado de aproximadamente 32 Kg/m2 debido al uso de paneles de PVC reciclados, posee una cámara de aire que no permite que las plantas crezcan en contacto con el edificio. Requiere mínimo mantenimiento y permite el reemplazo individual de unidades de plantas, además de un bajo consumo de agua con tiempos cortos de riego manteniendo humedad constante del jardín.



Imagen 16. Sistema de plantación. Fuente: Paisajismo Urbano, s.f.

Condiciones climáticas.

Para atender las consideraciones técnicas, debe identificarse las características climáticas del área de estudio. A continuación, se presenta la categorización de las zonas microclimáticas:

Tabla 22. Componentes de consideración.

Zonas microclimáticas	Descripción
Zonas semisecas (C1)	Precipitaciones medias anuales entre 600 a 700mm. Presentan mayores oscilaciones de temperaturas extremas que indican alta probabilidad de bajas temperaturas en la zona.
Zonas semihúmedas (C2)	Precipitaciones medias anuales entre los 700 y 800mm. Temperaturas máximas con más horas sol, menor nubosidad y humedad. Se caracteriza por ser más propensa a ocurrencia de fenómenos de niebla que generan temperaturas bajas y heladas.
Zonas ligeramente húmedas (B1)	Precipitaciones que oscilan entre 700 y 900mm.
Zonas moderadamente húmedas (B2)	Precipitaciones que oscilan entre 900 a 1000mm.
Zonas húmedas (B3)	Precipitaciones entre 1000 y 1100mm con un periodo seco.
Zonas muy húmedas (B4)	Precipitaciones entre los 1100 y 1300mm.
Zonas superhúmedas (A)	Precipitaciones entre los 1200 y 1400mm.

Fuente: Pedraza. L., Jiménez. M., 2021.

Considerando la información de la tabla anterior, se presenta la información de microclimas por localidades de la ciudad de Bogotá.

Tabla 23. Componentes de consideración.

Localidad		Microclimas
1	Usaquén	Encontramos hacia el oriente, sobre los cerros microclima tipo B4 y B3, predomina el tipo B2, hacia el extremo norte de la localidad se encuentra tipo A y en la parte más occidental de la localidad se encuentra tipo B1
2	Chapinero	De oriente a occidente en la localidad encontramos microclima tipo B4, B3 y B2. Teniendo una mayor proporción el B4 sobre el lado oriental.
3	Santa Fe	Aquí encontramos microclimas tipos A, B4, B3 y B2. Se encuentran del más húmedo al menos húmedo de oriente a occidente.
4	San Cristóbal	Se encuentran igualmente microclimas desde el A en la parte más oriental bajando hacia el occidente pasando por B4, B3 Y B2. En la parte más cercana a la localidad 5de Rafael Uribe también encontramos una parte con m6icroclima B1
5	Usme	En Usme vemos microclima tipo A en la parte alta límite con san Cristóbal y en la parte sur de la localidad. Vemos a través de toda la localidad en su mayoría microclima B4 seguido de B3. Más cerca de la localidad de ciudad bolívar vemos microclima B2 y una pequeña parte B1.
6	Tunjuelito	La mayor parte de la localidad presenta microclima tipo C1, hacia su límite sur encontramos una parte con tipo B1
7	Bosa	En la localidad de Bosa solo encontramos microclima tipo C1
8	Kennedy	La mayor parte de la localidad presenta microclima tipo C1, hacia su límite norte encontramos una parte con tipo B1
9	Fontibón	Más de la mitad occidental de la localidad presenta microclima tipo C2, hacia el oriente encontramos tipo B1 y un poco de B2
10	Engativá	La mitad occidental de la localidad presenta microclima tipo C2 y la otra mitad B1. En la parte que limita con Teusaquillo y barrios unidos, encontramos también tipo B2
11	Suba	La mitad occidental de la localidad presenta microclima tipo C2 y la otra mitad B1. Sobre la laguna artificial de Juan Amarillo, el microclima es tipo B3
12	Barrios Unidos	En la localidad predomina el microclima tipo B2, en el límite compartido con Engativá y suba se ve también u poco tipo B1
13	Teusaquillo	En la localidad predomina el microclima tipo B2, en el límite compartido con puente Aranda y los mártires se ve también un poco tipo B1
14	Los Mártires	Predomina el microclima B1 con un poco de B2 en el límite junto a Santa fe y Teusaquillo
15	Antonio Nariño	Predomina el microclima B1 con un poco de C1 hacia el occidente
16	Puente Aranda	La localidad tiene en su mayoría microclima tipo B1, hacia el límite sur occidental se encuentra tipo C1 también y hacia el norte cerca a Teusaquillo y Fontibón presenta tipo B2
17	La Candelaria	Tiene principalmente microclima tipo B2 con un poco B3
18	Rafael Uribe Uribe	La mayor parte de la localidad se encuentra microclima tipo B1, la parte noroccidental presenta tipo C1 y hacia la parte suroriental B2
19	Ciudad Bolívar	Esta localidad en su límite sur occidental presenta microclima tipo B3. Un poco más de la mitad sur de la localidad se ve microclima B1 y B2. En su parte que esta más al norte limitando con Bosa encontramos microclima C1 y en el centro norte de la localidad se ve microclima C2.

Fuente: Pedraza. L., Jiménez. M., 2021.

La figura presentada a continuación, presenta la dispersión de micro-climas en la ciudad de Bogotá.

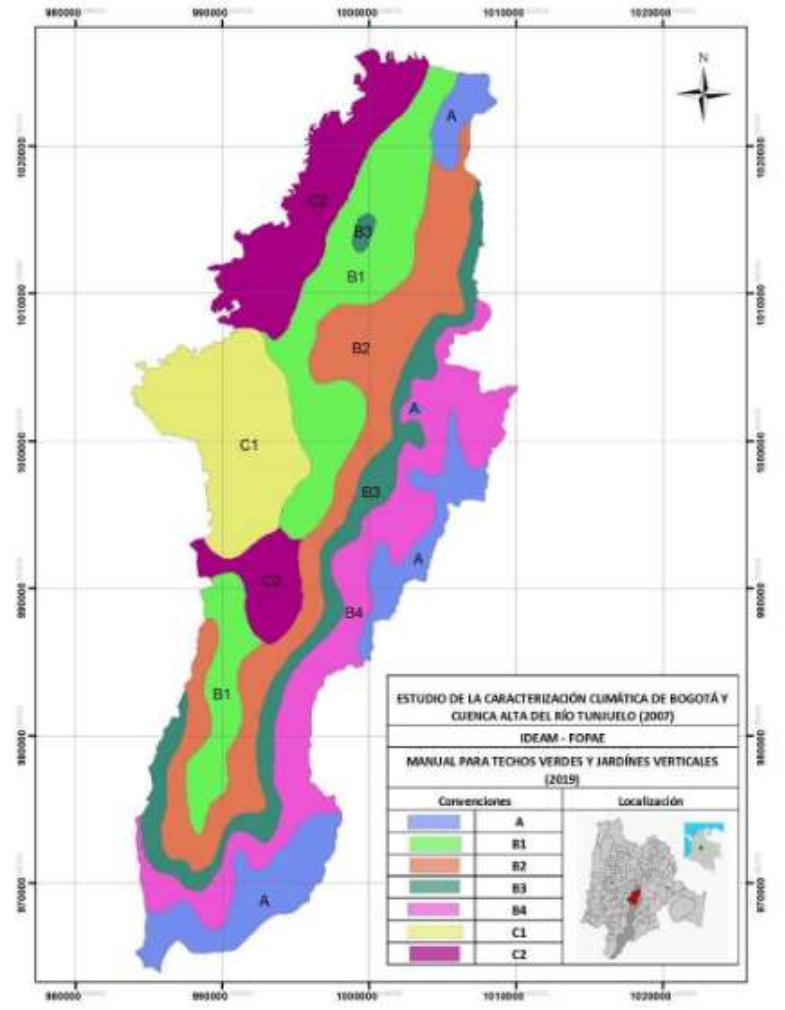


Imagen 17. Dispersión de micro-climas en la ciudad de Bogotá. Fuente: Pedraza. L., Jiménez. M., 2021.

Selección de especies de flora.

Considerando que la Universidad Pontificia Javeriana se encuentra en la localidad de Chapinero, se observa que en esta localidad predomina los microclimas B2, B3 y B4, sin embargo, específicamente en el lugar de ubicación del área de estudio se presenta el microclima B4. A continuación se presentan las especies de flora que son ideales para el microclima B4 en las condiciones predominantes de la ciudad de Bogotá.

Tabla 24. Selección de especies de flora.

ESPECIE	CONDICIONES DE CUIDADO
 Menta piperita o menta negra. *Mentha x piperita*	**Naturaleza:** herbácea. **Riego:** una vez cada dos días, manteniendo húmedo el sustrato. **Microclima ideas:** B2-B3-B4-A **Abono:** fertilización periódica. Puede utilizarse estiércol. **Luz solar:** semisombra. **Temperaturas:** templado a frío.
 Rúcula o Arugula *Eruca sativa*	**Naturaleza:** herbácea. **Riego:** una vez a la semana. **Microclima ideas:** C2-B1-B2-B3 **Luz solar:** plena exposición o muy soleado. **Abono:** las fertilizaciones deben aportar nitrógeno moderadamente. **Temperaturas:** suabes o templadas. Debe protegerse del frío intenso. **Cuidado:** deben eliminarse las malas hierbas.

 Romero *Rosmarinus officinalis*	**Naturaleza:** herbácea. **Riego:** una vez por semana sin encharcamiento. **Abono:** abono orgánico en la tierra antes de la plantación. **Microclima:** todas las categorías. **Luz solar:** mucha luz, plena exposición. **Temperaturas:** temperaturas altas.
 Orquídea con flor de mazorca *Elleanthus wageneri*	Naturaleza: herbácea. Riego: en época de crecimiento y floración riega 2 veces por semana. Abono: requiere poco mantenimiento. Microclima: Interior, B4 y A. Luz solar: lugares bien iluminados o con poca sombra. Temperaturas: 12° a 18°C.
 Orquidea pecosa *Stenorhynchus speciosa*	Naturaleza: herbácea. Riego: una vez por semana. Debe mantenerse riego moderado. Abono: fertilización mensual. Microclima: B2, B3 y B4. Luz solar: lugares iluminados o con poca sombra. Temperaturas: 15° a 20°C.

 Estragón o Dragoncillo *Artemisia dracunculus*	Naturaleza: herbácea. Riego: dos veces por semana en época seca y una vez por semana en invierno. Abono: debe abonarse durante crecimiento y floración. Microclima: Interiores, B4 y A. Luz solar: exposición a pleno sol. Temperaturas: 10°C, aguanta diferencia de temperaturas pero no heladas.
 Hierbabuena o menta de jardin Mentha spicata	Naturaleza: herbácea. Riego: riego moderado, 2 veces por semana. Abono: fertilización 1 o 2 veces al mes. Microclima: B3, B4 y A. Luz solar: pleno sol, no muy interno. Temperaturas: No más de 18°C. Con temperaturas muy altas no florecen. Deben mantenerse sobre los 12°C en las noches y 25°C durante el día.
 Gomphichis *Gomphichis cundinamarcae*	Naturaleza: herbácea. Riego: dos veces por semana en época seca y una vez en invierno. Abono: fertilización durante la etapa de establecimiento. Microclima: B3 y B4. Luz solar: pleno sol, no muy interno. Temperaturas: 2° a 8°C, baja tolerancia a heladas.

Fuente: propia, con información obtenida de Pedraza. L., Jiménez. M., 2021.

Estructura portante

La estructura portante que da soporte al jardín vertical está compuesta por perfiles de aluminio dispuestos en vertical de 20x10 mm y 1.5 mm de espesor, con una distancia de 40 cm entre perfiles. Sobre los perfiles se plantea la instalación de placas de PVC impermeables sujetas a los perfiles.

Encima de las placas de PVC se instalan dos capas de geotextil, para ello puede emplearse el geotextil del sistema hidropónico F+P de la empresa Paisajismo Urbano o el sistema Fibertex de la empresa Geomatrix, que es un tejido geotextil no tejidos de fibras de polipropileno para la filtración, drenaje y separación de suelos en infraestructuras.

El sistema hidropónico de la empresa Paisajismo Urbano posee 13 componentes:

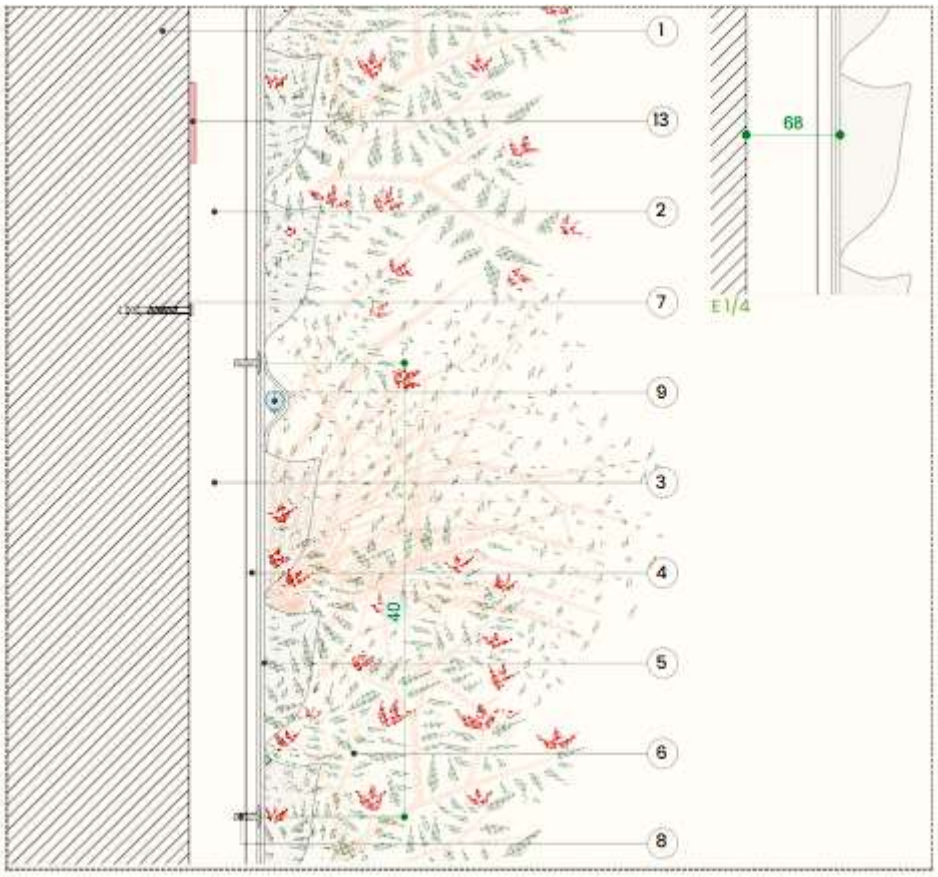


Imagen 18. Sistema hidropónico- Empresa Paisajismo Urbano. Fuente: Paisajismo Urbano, s. f.

1. Soporte: Estructura metálica con peso de 0.35 kN/m2.

2. Subestructura: Entramado metálico con una sección estándar de 50x50 mm y 1mm de espesor.

3. Cámara de aire: 50 mm de espesor.

4. Capa soporte: Se compone del Panel P-URB/751 patentado por la marca.

5. Capa de plantación: Se compone de la lámina bicapa P-URB 702.

6. Cobertura vegetal

7. Fijación mecánica de subestructura

8. Fijación mecánica de capa soporte

9. Línea de riego: En función del caudal solicitado.

10. Canalón a pie de jardín

11. Canalón en dintel de huecos

12. Evacuación de aguas

13. Lámina intumescentente: Contra propagación de incendios.

Sustrato

Dado que el uso de tierra común no es recomendable como sustrato para sistemas de infraestructura verde, se propone una mezcla compuesta por un 80% de perlita, que proporciona estructura, aireación y un excelente drenaje, y un 20% de material orgánico tipo compost, encargado de aportar los nutrientes esenciales para el crecimiento vegetal. Esta combinación permite lograr un sustrato ligero, con buena capacidad de retención de humedad y al mismo tiempo con el drenaje necesario para evitar encharcamientos, uno de los principales riesgos para muchas especies vegetales.

Teniendo en cuenta que las especies seleccionadas requieren aproximadamente un riego semanal, el sustrato debe garantizar una hidratación prolongada, sin comprometer la oxigenación de las raíces. Por lo tanto, es fundamental que el sustrato mantenga un equilibrio entre retención de agua y drenaje eficiente.

Respecto al espesor del sustrato, se reconoce que, a mayor profundidad, mayor será la reserva hídrica disponible, lo cual resulta beneficioso para especies con altos o medianos requerimientos de agua, especialmente en comparación con sistemas que dependen únicamente de agua lluvia. En este contexto, se establece un espesor ideal de entre 120 mm y 1500 mm, adecuado para sistemas ajardinados que requieren cuidados y mantenimiento regulares.

Sistemas de riego y drenaje

Se establece un sistema de riego por recirculación el cual es favorable para evitar sobrecostos en agua proveniente del acueducto y además, mediante un sistema de control de programación de riegos, se disminuye la dependencia del control operacional en el sistema. Se estructura un sistema de riego que permita la cobertura de las necesidades hídrica y nutricionales del sistema mediante el riego semanal de agua y agua con fertilizante.

Semana 1: riego con fertilizante

Semana 2: riego con agua limpia

Semana 3: riego con fertilizante

Semana 4: riego con agua limpia

De esta forma se evita la sobresaturación de sales en el sistema que puede generar alteraciones en el pH, quema de las raíces y reducción de la vida útil de las especies de flora.

El agua con el que se realiza el sistema de riego se recomienda que se encuentre en un pH 5.8. En el caso del fertilizante, un pH mayor a 7.5 puede generar precipitación de algunos nutrientes siendo no disponibles para las unidades vegetales, por otro lado, si se encuentra por debajo de 5 puede producir daños radiculares, por lo que se recomienda un pH de 5 a 6.2 para asegurar la disponibilidad de nutrientes en la planta. En cuanto a la conductividad, la cual es un indicador de la cantidad de sales, la concentración excesiva de iones de sales dificulta el paso de agua a las raíces, por lo que se recomienda una conductividad de en promedio 400 us/cm, recomendando el uso de fertilizantes NPK-15/15/15 (Calvo. E, 2021). Para lograr los valores de pH y conductividad recomendados, se recomienda a 1L de agua añadir el fertilizante e ir realizando mediciones de conductividad con adicione de fertilizante y si es necesario bajar el pH.

Tabla 25. Rangos recomendados de pH y conductividad.

Parámetro	Rango recomendado
pH	5 a 6.2
Conductividad	400 us/cm

Fuente: propia.

Se propone el sistema de riego patentado por la empresa Paisajismo Urbano que se compone de lo siguiente:

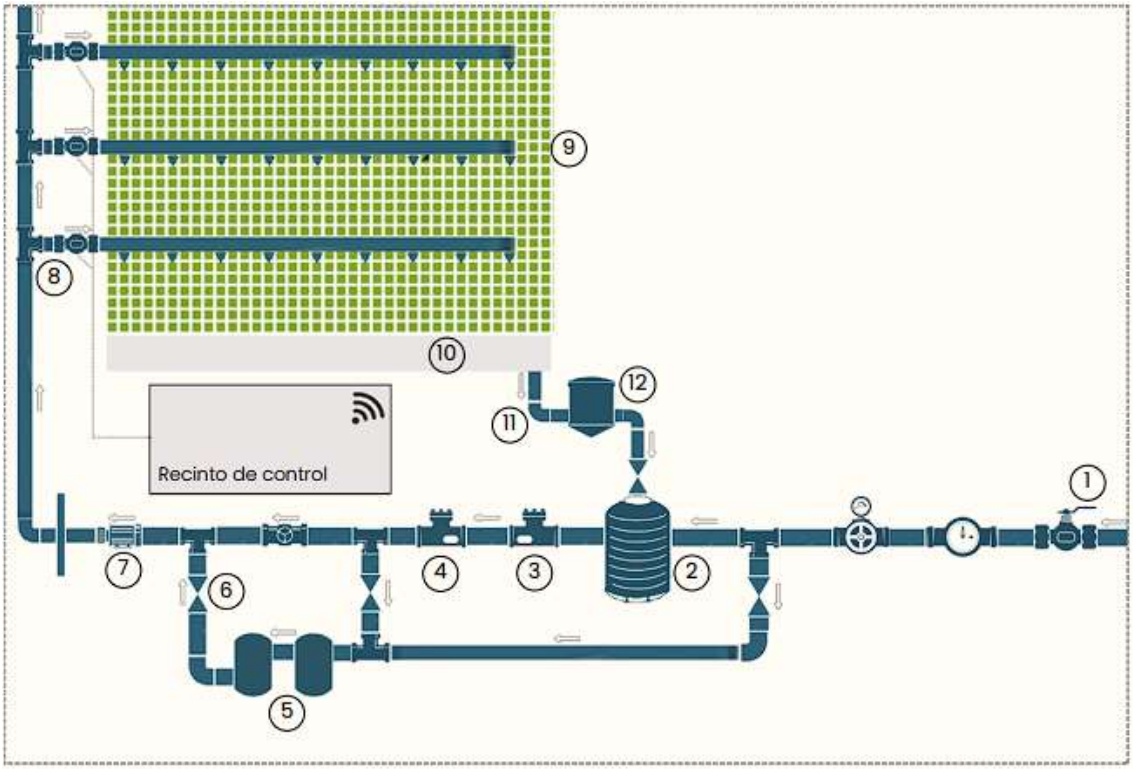


Imagen 19. Sistema de riesgo - Empresa Paisaje Urbano. Fuente: Paisajismo Urbano,s .f.

1. Suministro de agua potable

2. Depósito de acumulación

3. Control químico: ajuste parámetros de Ph.

4. Control por telegestión: Dispositivo de monitoreo remoto.

5. Depósitos de fertilizante: Almacenamiento de soluciones nutritivas, para dosificación de fertilizante.

6. Sistema de inyección de fertilizante: Dosificación de fertilizante en el caudal de riego.

7. Bombas: Impulsan el agua por el sistema de riego.

8. Línea de alimentación

9. Jardín vertical: Estructura modular compuesta por vegetación y geosustrato.

10. Canaleta de recogida de agua: Recoge y conduce el exceso de agua para recirculación.

11. Circuito de recirculación: conduce el agua y la reintroduce al sistema.

12. Depósito de decantación: Genera tratamiento del agua residual para separar y concentrar los sólidos presentes.

Plan de plantación

El plan de plantación consta de la organización y detalle de todo lo necesario para la siembra o instalación de vegetación. Su objetivo principal es asegurar que el proceso de plantación sea efectivo, estético, funcional y sostenible.

Diseño de la plantación

Se diseña la distribución de las plantas a lo largo del jardín vertical, considerando su instalación en 4 paredes, para un tamaño total del jardín de 14.4 m2, 3.6m de ancho y 4m de alto, con una densidad de plantación de 25 plantas por m2 para un total de 360 plantas. A continuación, se presenta la distribución por especie.

Tabla 26. Diseño de la plantación.

Nombre de la planta	Número de plantas	Cobertura total
Menta negra	50	14%
Rúcula	30	8%
Romero	40	11%
Orquídea con flor de mazorca	80	22%
Orquídea pecosa	60	17%
Estragón o Dragoncillo	30	8%
Hierbabuena	50	14%
Gomphichis	20	6%

Fuente: propia.

Proceso de instalación

Considerando el tipo de jardín vertical seleccionado, a continuación, se presenta el proceso de construcción planteado para el edificio de interés.

- Fijación de la estructura base: Atornillar la estructura metálica a la pared, garantizando nivelación y estabilidad.
- Instalación de las capas que conforman el sistema: Adecuación de las dos capas que conforman la estructura del jardín vertical.
- Montaje del sistema de riesgo: Instalar las líneas de riego por goteo conectándolas a la bomba y al sistema de control (temporizador).
- Preparación del sustrato: Mezclar y preparar el sustrato.
- Relleno de los bolsillos: Agregar el sustrato en cada uno de los bolsillos.
- Plantación: Introducción de las plantas precultivadas en los bolsillos, asegurando el contacto con el sustrato.

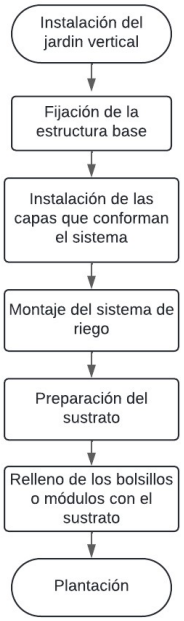


Imagen 20. Proceso de instalación del jardín vertical. Fuente: propia.

Evaluación de condiciones de implementación.

Para el seguimiento y control de las condiciones de implementación definidas anteriormente, se propone el uso de una lista de verificación que incluye los componentes clave y sus respectivos criterios de evaluación. Esta herramienta permite asegurar que la instalación del jardín vertical se realice en condiciones óptimas, considerando factores climáticos y ambientales, técnicos y estructurales, así como aspectos operativos y de mantenimiento.

Tabla 27. Lista de chequeo.

Componente	Criterio de evaluación	Cumple	No cumple	Observaciones
Microclima del sitio	¿Se ha identificado adecuadamente el microclima del sitio para seleccionar especies vegetales compatibles?	X		Predomina los microclimas B2, B3 y B4
Inclinación del tejado	¿El tipo de vegetación se adapta a la inclinación del tejado (alta inclinación requiere plantas con buena retención de agua)?	X		
Exposición al viento	¿Se han considerado plantas de bajo porte y buena retención de agua en zonas con alta exposición al viento?	X		
Orientación solar	¿Se ha definido la orientación solar y se han escogido especies con requerimientos hídricos adecuados a dicha exposición (sol/sombra)?	X		
Régimen de precipitaciones	¿Se ha evaluado el régimen de lluvias local y se ha integrado esta información con el diseño del sistema de riego?	X		
Espesor y composición del sustrato	¿El sustrato propuesto se ajusta a la capacidad de carga del tejado y cumple con criterios de drenaje, permeabilidad, retención de agua, ligereza y nutrientes?	X		
Requerimientos de mantenimiento	¿Se han identificado las necesidades de mantenimiento según el clima, la exposición solar y las especies vegetales seleccionadas?	X		
Accesibilidad y seguridad	¿Se han contemplado condiciones seguras y accesibles para realizar mantenimiento periódico del techo verde?	X		
Condiciones estructurales del techo	¿El estado de la cubierta, impermeabilización previa y otros aspectos estructurales han sido verificados y son compatibles con la instalación del sistema?	X		
Compatibilidad del sistema de riego	¿El sistema de riego es compatible con las fuentes de agua disponibles en el sitio (lluvia, red pública, almacenamiento)?	X		Fuente de agua proveniente del acueducto

Fuente: propia.

Monitoreo y mantenimiento.

El monitoreo y mantenimiento en un techo verde se realiza para asegurar que el sistema funcione correctamente, se mantenga saludable y cumpla con los objetivos ambientales, estéticos y técnicos para los que fue diseñado.

Planificación y diseño del mantenimiento

La planificación del mantenimiento en sistemas de jardines verticales (y en general de los sistemas de infraestructura verde) constituye una fase estratégica dentro del modelo de gestión, ya que garantiza la operatividad, sostenibilidad y longevidad de la infraestructura vegetal instalada. Este componente no solo involucra tareas rutinarias como el riego o la poda, sino que requiere un diseño técnico estructurado que permita monitorear el estado del sistema, anticiparse a fallos, optimizar recursos y articular la participación de actores técnicos y comunitarios.

El diseño del mantenimiento debe contemplar una programación calendarizada, basada en el tipo de especies vegetales, las condiciones ambientales locales, la tecnología instalada (sistemas de riego, sensores, drenajes), y la interacción con los usuarios. Asimismo, debe incluir mecanismos de verificación técnica, herramientas de registro y criterios de evaluación cuantificables para permitir el seguimiento efectivo y la mejora continua.

Modelo de gestión operativa

El modelo de gestión operativa tiene como finalidad estructurar y coordinar de manera eficiente todas las actividades relacionadas con su diseño, instalación, mantenimiento y monitoreo. Este modelo permite definir responsabilidades, recursos, protocolos técnicos y frecuencias de intervención, asegurando el funcionamiento óptimo del sistema, la salud de las plantas y la prolongación de su vida útil. Además, contribuye a garantizar la calidad del servicio, reducir costos operativos y fortalecer la sostenibilidad ambiental y estética del jardín a lo largo del tiempo.

Objetivo

Establecer un esquema operativo para la planificación y ejecución del mantenimiento de jardines verticales y techos verdes, que permita garantizar su funcionalidad, sostenibilidad y eficiencia a lo largo del tiempo, mediante el monitoreo sistemático de variables clave, la aplicación de métodos de verificación confiables y el uso de indicadores que orienten la toma de decisiones, el ajuste de rutinas operativas y la implementación de acciones correctivas oportunas.

Desarrollo

A continuación, se presentan las principales variables necesarias para estructurar un plan de mantenimiento integral, así como una serie de indicadores operacionales que permiten evaluar el desempeño del sistema, identificar desviaciones y activar procesos correctivos de manera oportuna.

El modelo se estructura en cinco dimensiones interdependientes que permiten una evaluación holística del sistema:

- Técnica: Eficiencia en el diseño, instalación y funcionamiento estructural del sistema.
- Operativa: Capacidad logística, cumplimiento del mantenimiento, respuesta ante fallos.
- Ambiental: Impacto ecológico positivo, eficiencia hídrica, control climático, biodiversidad.
- Económica: Relación costo-beneficio, eficiencia de recursos, sostenibilidad financiera.
- Social: Aceptación ciudadana, participación, educación ambiental y apropiación comunitaria.

Dimensión técnica

Esta dimensión evalúa el estado físico, funcional y estructural de los jardines verticales y techos verdes. Incluye el análisis de la cobertura vegetal, la integridad de los elementos constructivos (como anclajes, sustratos, sistemas de riego y drenaje), y la capacidad del sistema para mantenerse operativo bajo condiciones climáticas normales. Su correcta evaluación garantiza la durabilidad del sistema y previene fallos que comprometan su estabilidad o estética.

Tabla 28. Indicador de cobertura vegetal.

Indicador	Índice de cobertura vegetal viva (%)					
Descripción:	Porcentaje de área cubierta por plantas vivas, sin zonas secas ni perdidas.					
Fórmula:	(Área con vegetación viva / Área total del sistema) × 100					
Rango:	META Mayor igual que	**100%**	ATENCIÓN, entre	**90%**	ALERTA, Menor igual que	**80%**
Fuente de datos:	Inspecciones visuales					
Frecuencia de medición:	Semanal		**Evidencia**		Registro fotográfico	

Fuente: propia.

Tabla 29. Indicador de especies en buen estado.

Nombre del indicador:	Especies en buen estado (%)					
Descripción:	Indicador de cantidad de plantas que se encuentran en buen estado fisiológico visual, que no presentan marchitamiento, color y firmeza del follaje, ausencia de enfermedades visuales, tallo y raíces firmes.					
Fórmula:	(No. de especies sanas / Total de especies instaladas) × 100					
Rango:	META Mayor igual que	**100%**	ATENCIÓN, entre	**95%**	ALERTA, Menor igual que	**90%**
Fuente de datos:	Inspecciones visuales					
Frecuencia de medición:	Mensual		**Evidencia**		Informes de seguimiento	

Fuente: propia.

Tabla 30. Indicador de frecuencia de riegos.

Nombre del indicador:	Frecuencia de riegos (%)					
Descripción:	Indicador de frecuencia de riegos cumplidos					
Fórmula:	(No. de riegos realizados / No. de riegos programados) × 100					
Rango:	META Mayor igual que	**100%**	ATENCIÓN, entre	**95%**	ALERTA, Menor igual que	**90%**
Fuente de datos:	Bitacoras con evidencia de funcionalidad de riego					
Frecuencia de medición:	Semanal		**Evidencia**		Informes de seguimiento	

Fuente: propia.

Tabla 31. Indicador de eficiencia de sistema de riego.

Nombre del indicador:	Eficiencia del sistema de riego (%)					
Descripción:	Indicador de eficiencia de volumen de agua utilizado en el sistema de riego					
Fórmula:	(Volumen de agua utilizado / Volumen estimado necesario) × 100					
Rango:	META Mayor igual que	**100%**	ATENCIÓN, entre	**95%**	ALERTA, Menor igual que	**90%**
Fuente de datos:	Bitácoras con evidencia de funcionalidad de riego					
Frecuencia de medición:	Semanal		**Evidencia**		Informes de seguimiento	

Fuente: propia.

Tabla 32. Indicador de incidencia de plaga o enfermedades.

Nombre del indicador:	Incidencia de plagas o enfermedades (casos/mes)					
Descripción:	Indicador que presenta la incidencia de plagas o enfermedades en las especies vegetales					
Fórmula:	Conteo de casos detectados por especie o sistema					
Rango:	META Mayor igual que	**0**	ATENCIÓN, entre	**1**	ALERTA, Menor igual que	**10**
Fuente de datos:	Bitácora y evidencia fotográfica					
Frecuencia de medición:	Mensual		**Evidencia**		Registro fotográfico	

Fuente: propia.

Tabla 33. Indicador de reposición de plantas.

Nombre del indicador:	Índice de reposición de plantas (%)					
Descripción:	Presenta el porcentaje de plantas, frente al total, que debieron ser repuestas debido a daño o mal estado					
Fórmula:	(Plantas reemplazadas / Total de plantas) × 100					
Rango:	META Igual que	**0%**	ATENCIÓN, entre	**5%**	ALERTA, Mayor igual que	**10%**
Fuente de datos:	Bitácora y evidencia fotográfica					
Frecuencia de medición:	Mensual		**Evidencia**		Informes de seguimiento, órdenes de compra de plántulas	

Fuente: propia.

Dimensión operativa

Esta dimensión se refiere a la capacidad logística y administrativa del sistema para mantenerse en funcionamiento mediante acciones planificadas de mantenimiento, provisión de insumos, gestión de cuadrillas y atención de incidencias. Evalúa el cumplimiento del cronograma, la eficiencia de las rutas de mantenimiento, la respuesta ante fallas y la disponibilidad de recursos clave. Esta dimensión es clave para asegurar la continuidad y confiabilidad del sistema a lo largo del tiempo.

Tabla 34. Indicador de cumplimiento del plan de mantenimiento.

Nombre del indicador:	Cumplimiento del plan de mantenimiento (%)					
Descripción:	Porcentaje de actividades ejecutadas frente a las programadas.					
Fórmula:	(Actividades realizadas / Actividades programadas)x100					
Rango:	META Mayor igual que	**90%**	ATENCIÓN, entre	**80%**	ALERTA, Menor igual que	**60%**
Fuente de datos:	Bitácora de seguimiento comparada con el cronograma					

Frecuencia de medición:	Trimestral	**Evidencia**	Registro fotográfico

Fuente: propia.

Tabla 35. Indicador de tiempos de atención a incidencias.

Nombre del indicador:	Tiempos de atención a incidencias (horas promedio)					
Descripción:	Tiempo promedio entre reporte de falla y atención (horas hábiles)					
Fórmula:	Tiempo promedio entre reporte de falla y atención (horas hábiles)					
Rango:	META Mayor igual que	**72 horas**	ATENCIÓN, entre	**100 horas**	ALERTA, Menor igual que	**150 horas**
Fuente de datos:	Bitácora de seguimiento con tiempo tomado para brindar solución.					
Frecuencia de medición:	Trimestral		**Evidencia**		Reporte	

Fuente: propia.

Dimensión ambiental

Evalúa el impacto ecológico y climático del sistema. Analiza la contribución del jardín o techo verde en la regulación térmica, la eficiencia hídrica, el aumento de la biodiversidad urbana y la generación de servicios ecosistémicos como captura de CO_2 o amortiguación de lluvias. Esta dimensión permite valorar si el sistema cumple con su propósito ambiental y si mejora las condiciones ecológicas del entorno inmediato.

Tabla 36. Indicador de cobertura vegetal.

Nombre del indicador:	Reducción de temperatura superficial (°C)					
Descripción:	Diferencia de temperatura entre el jardín vertical y superficie dura adyacente.					
Fórmula:	(Temperatura del jardín vertical - Temperatura de la superficie)					
Rango:	META Mayor igual que	**2,5°C**	ATENCIÓN, entre	**1°C**	ALERTA, Menor igual que	**0,5°C**
Fuente de datos:	Mediciones de temperatura					
Frecuencia de medición:	Trimestral		**Evidencia**		Reporte	

Fuente: propia.

Dimensión social

Esta dimensión analiza la interacción de la comunidad o usuarios con el sistema verde. Incluye aspectos como la participación ciudadana en el cuidado del sistema, la percepción social, la apropiación simbólica del espacio y su uso como herramienta educativa o de cohesión. Esta dimensión es esencial para asegurar que el sistema no solo funcione técnicamente, sino que también sea valorado y defendido por quienes lo rodean.

Tabla 37. Nivel de participación comunitaria.

Nombre del indicador:	Nivel de participación comunitaria					
Descripción:	Presenta el porcentaje de personas activas frente a las personas convocadas en sesiones o jornadas de sensibilización o pedagogía.					
Fórmula:	(N.º personas activas / N.º total de personas convocadas) × 100					
Rango:	META Mayor igual que	**60%**	ATENCIÓN, entre	**40%**	ALERTA, Menor igual que	**30%**
Fuente de datos:	Registros de asistencia					
Frecuencia de medición:	Trimestral		**Evidencia**		Registros de asistencia	

Fuente: propia.

Tabla 38. Indicador de cobertura vegetal.

Nombre del indicador:	Índice de percepción comunitaria (1-5)					
Descripción:	Nivel de agrado, orgullo y valoración del sistema.					
Fórmula:	Escala linkert en encuestas realizadas					
Rango:	META Mayor igual que	**4**	ATENCIÓN, entre	**3**	ALERTA, Menor igual que	**2.5**
Fuente de datos:	Encuestas con escala Likert					
Frecuencia de medición:	Trimestral		**Evidencia**		Reporte	

Fuente: propia.

Modelo de gestión logística.

El modelo de gestión logística para jardines verticales se enfoca en planificar, coordinar y optimizar el flujo de materiales, equipos, plantas y personal necesario para su implementación y mantenimiento. Lo cual garantiza una operación eficiente y continua del sistema verde, adaptada a las condiciones del sitio y a los requerimientos del proyecto.

Objetivo

Establecer un modelo integral de gestión logística para jardines verticales y techos verdes que articule la planificación operativa, la distribución eficiente de recursos, la ejecución técnica en campo, el monitoreo sistemático y la participación comunitaria, con el fin de garantizar la sostenibilidad, funcionalidad y continuidad del sistema en condiciones urbanas complejas.

Planificación operativa

La planificación operativa constituye el punto de partida para la ejecución eficiente del mantenimiento de jardines verticales y techos verdes. Esta fase implica la organización sistemática de tareas, recursos humanos y validaciones previas que garanticen la continuidad del servicio, la cobertura vegetal y la seguridad operativa. Un cronograma estructurado, la asignación adecuada de cuadrillas y la emisión clara de órdenes de trabajo permiten anticiparse a eventualidades y optimizar el uso del tiempo y los recursos.

Tabla 39. Planificación operativa.

Componente	Acción logística
Cronograma de mantenimiento	Elaborar un plan semanal o quincenal por zonas o sectores, según necesidades técnicas de cada módulo.
Asignación de cuadrillas	Establecer equipos de trabajo por rutas fijas. Cada cuadrilla debe tener responsables definidos y formados.
Orden de trabajo	Emitir órdenes por jornada con actividades detalladas: riego, fertilización, poda, reposición vegetal.
Validación de condiciones	Evaluar accesibilidad, seguridad en alturas, disponibilidad de agua y soporte estructural antes de cada jornada.

Fuente: propia.

Distribución de insumos y herramientas

La logística de insumos y herramientas es esencial para asegurar que cada jornada de mantenimiento cuente con los recursos necesarios en el momento y lugar adecuados. El establecimiento de centros de acopio, la implementación de inventarios mínimos y el uso de medios de transporte apropiados para entornos urbanos permiten mantener la continuidad operativa, reducir tiempos improductivos y garantizar la trazabilidad del uso de materiales.

Tabla 40. Planificación operativa.

Componente	Acción logística
Bodega o centro de acopio	Establecer un punto zonal para almacenamiento de insumos: plantas de reemplazo, fertilizantes, herramientas.
Inventario mínimo operativo	Mantener stock rotativo de especies frecuentes, abonos orgánicos, EPP y piezas de repuesto.
Transporte operativo	Disponer de medios ligeros (bicicleta de carga, motos eléctricas, carros compactos) para zonas urbanas.

Componente	Acción logística
Kit técnico por cuadrilla	Cada equipo debe portar un kit estándar: tijeras, regaderas, pulverizadores, fichas técnicas, bitácoras.

Fuente: propia.

Ejecución en campo

La ejecución en campo agrupa todas las acciones prácticas que garantizan la salud vegetal, la integridad del sistema y el cumplimiento de estándares de mantenimiento. Actividades como riego, fertilización, control fitosanitario y reposición vegetal deben realizarse bajo protocolos definidos, con frecuencias ajustadas a las condiciones climáticas y con seguimiento técnico para cada intervención.

Tabla 41. Planificación operativa.

Tarea	Frecuencia recomendada	Indicaciones operativas
Riego	2 a 3 veces por semana	Ajustado por clima. Usar agua lluvia o reciclada cuando sea posible.
Fertilización	2 veces al mes	Aplicación localizada. Preferencia por abonos orgánicos y compost.
Control fitosanitario	Quincenal o por demanda	Inspección visual, uso de control biológico. Reporte inmediato de plagas o anomalías.
Poda y limpieza vegetal	Mensual	Eliminación de material vegetal seco o invasivo. Recolección clasificada.
Reposición de especies	Trimestral o por contingencia	Reemplazar plantas secas o dañadas con especies equivalentes previamente aprobadas.

Fuente: propia.

Registro, monitoreo y trazabilidad

El registro detallado y trazable de las actividades permite el seguimiento del estado del sistema verde, la evaluación del cumplimiento operativo y la generación de alertas tempranas. Herramientas como bitácoras, fichas por módulo y reportes consolidados permiten sistematizar la información, mejorar la toma de decisiones y facilitar auditorías técnicas o comunitarias.

Tabla 42. Planificación operativa.

Instrumento	Función
Bitácora digital o física	Registrar fecha, tareas realizadas, insumos usados, responsables y observaciones.

Instrumento	Función
Fichas de mantenimiento	Documento estandarizado por módulo para seguimiento histórico de intervenciones.
Reporte mensual	Consolidado con indicadores técnicos, incidencias y cumplimiento del cronograma operativo.

Fuente: propia.

Participación comunitaria y apoyo local

La sostenibilidad logística de un sistema verde urbano no depende únicamente de actores técnicos, sino también del grado de apropiación y corresponsabilidad de la comunidad usuaria. Integrar a la ciudadanía mediante formación, herramientas compartidas, canales de reporte y reconocimiento simbólico permite reducir cargas operativas, prevenir deterioros y fortalecer la relación entre las personas y el entorno construido.

Tabla 43. Planificación operativa

Estrategia	**Acción logística concreta**
Corresponsabilidad ciudadana	Formación de líderes vecinales en tareas básicas (riego, revisión, reporte).
Kits comunitarios compartidos	Herramientas básicas disponibles en puntos seguros o compartidos por turnos.
Alertas ciudadanas	Canal digital para reporte de daños, vandalismo, necesidades de reposición.
Reconocimiento	Certificados, estímulos o difusión pública de participación activa.

Fuente: propia.

6.3. Modelo de Negocio

A continuación, se presenta el modelo de negocio para jardines verticales, donde se define la propuesta de valor, los segmentos de clientes, las fuentes de ingreso y la estructura de costos que hacen viable económica y comercialmente este tipo de soluciones verdes. Este modelo permite identificar oportunidades de mercado, establecer estrategias de venta, alianzas clave y canales de distribución, así como estimar el retorno de la inversión. Su objetivo es demostrar que los jardines verticales y techos verdes no solo generan beneficios ambientales y estéticos, sino que también pueden ser sostenibles financieramente a través de servicios de diseño, instalación, mantenimiento y asesoría especializada.

Resumen Ejecutivo

"Verdea" busca ser una empresa innovadora dedicada al diseño, instalación y mantenimiento de sistemas de vegetación vertical y cubiertas verdes en entornos urbanos y rurales. Nuestra propuesta de valor se centra en transformar espacios estériles en ecosistemas vivos que no solo embellecen, sino que también ofrecen beneficios tangibles como la mejora de la calidad del aire, la reducción de la temperatura (efecto isla de calor), el aislamiento acústico y la valorización de las propiedades. Integrando tecnología IoT y blockchain, buscamos maximizar el impacto ambiental y económico, permitiendo la monetización de servicios ecosistémicos como la captura de carbono.

Propuesta de Valor

Ofrecemos soluciones de infraestructura verde que van más allá de la estética, proporcionando una mejora significativa de la calidad del aire al actuar como filtros naturales que absorben contaminantes atmosféricos (material particulado, CO_2) y liberan oxígeno, contribuyendo a un ambiente urbano más saludable (Manso et al., 2021; Małyszko, 2019). Además, mitigamos el efecto isla de calor urbano al reducir la temperatura de las superficies, lo que disminuye la necesidad de aire acondicionado y genera ahorros energéticos sustanciales (Getter & Rowe, 2006; Wong et al., 2003, citado en Mesquita, 2019). También ofrecemos aislamiento acústico, ya que las capas de vegetación y sustrato absorben el ruido, creando espacios más tranquilos y confortables (Velis et al., 2011; Azkorra et al., 2015, citado en Małyszko, 2019). Fomentamos el aumento de la biodiversidad urbana al crear hábitats para insectos polinizadores y aves, contribuyendo a la salud de los ecosistemas urbanos (Cazorla et al., 2022). Nuestros sistemas permiten una gestión sostenible del agua lluvia al retener y filtrar el agua, reduciendo la escorrentía superficial y la carga sobre los sistemas de alcantarillado, lo que disminuye el riesgo de inundaciones (Mojica et al., 2017; Dunnett, 2008). Adicionalmente, estudios demuestran que las propiedades con elementos verdes aumentan su valor de mercado y atractivo (Irvine et al., 2020; Manso et al., 2021). Finalmente, estas soluciones ofrecen beneficios directos para la salud y el bienestar, ya que la exposición a la naturaleza mejora la salud mental, reduce el estrés y fomenta la actividad física (Mesquita, 2019; Reid et al., 2005; De Ridder et al., 2005).

Segmento de clientes

Nuestros segmentos de clientes se exponen a continuación cómo:

- Sector Residencial (Premium): Propietarios de viviendas o apartamentos de lujo en zonas como Chapinero, Usaquén y Teusaquillo, interesados en mejorar la calidad de vida, la estética y la valorización de su inmueble.
- Sector Comercial e Institucional: Empresas, hoteles, centros comerciales, hospitales y universidades que buscan mejorar su imagen corporativa, reducir costos operativos (energía, agua), cumplir con normativas de sostenibilidad y ofrecer un ambiente más saludable a sus empleados y clientes.

- Desarrolladores Inmobiliarios: Constructoras que desean incorporar infraestructura verde en sus proyectos desde la fase de diseño para obtener certificaciones de sostenibilidad, diferenciar sus ofertas y atraer compradores conscientes del medio ambiente.
- Entidades Gubernamentales: Alcaldías y secretarías distritales interesadas en implementar proyectos de infraestructura verde a gran escala para mejorar la calidad de vida urbana y cumplir con objetivos de sostenibilidad y cambio climático (Política Pública de Ecourbanismo y Construcción Sostenible de Bogotá).

Caneles de distribución y comunicación.

Para la distribución y comunicación de nuestras soluciones, emplearemos diversas estrategias. Contaremos con un equipo comercial especializado en ventas directas, enfocado en la asesoría y venta consultiva. Estableceremos alianzas estratégicas con arquitectos, paisajistas, constructoras y promotores inmobiliarios. Desarrollaremos una plataforma web y redes sociales que incluirán contenido educativo, casos de éxito, simuladores de costos y beneficios, y un catálogo de productos. Participaremos activamente en eventos y ferias del sector de la construcción, sostenibilidad y diseño. Implementaremos un programa de incentivos por referidos de clientes satisfechos. Finalmente, el proyecto piloto teórico con la Pontificia Universidad Javeriana servirá como un potente canal de demostración y comunicación de nuestros servicios.

Relaciones con clientes

Nuestras relaciones con los clientes se basarán en un enfoque integral y de largo plazo, buscando construir confianza y asegurar la satisfacción. Ofreceremos asesoría personalizada desde la concepción del proyecto hasta la instalación y el mantenimiento, garantizando que cada solución se adapte a las necesidades específicas del cliente y del entorno. Un pilar fundamental será el servicio post-venta y mantenimiento, que incluirá planes preventivos y correctivos, apoyados eventualmente por el monitoreo remoto mediante tecnología IoT para asegurar el óptimo funcionamiento y la longevidad de los sistemas.

Además, nos enfocaremos en la educación y concienciación a través de talleres y charlas sobre los múltiples beneficios de los jardines verticales y techos verdes, empoderando a los clientes y a la comunidad. Implementaremos programas de fidelización que ofrecerán descuentos y beneficios por la implementación de nuevos proyectos o extensiones, incentivando la continuidad y la expansión de la infraestructura verde. Este enfoque holístico busca no solo vender un producto, sino establecer una relación duradera basada en el valor y el impacto positivo.

Fuentes de ingresos

Nuestras fuentes de ingresos se diversifican para asegurar la sostenibilidad y el crecimiento del negocio. La principal fuente es la venta e instalación de jardines verticales y techos verdes, con márgenes estimados entre el 25% y el 40% sobre el costo del proyecto. Los precios oscilarán entre $300.000 y $600.000 COP por metro cuadrado para jardines verticales, dependiendo de la complejidad, las especies vegetales y el sistema de riego.

Los techos verdes, aunque ligeramente menos costosos (entre $250.000 y $400.000 COP/m²), se ofrecerán como una extensión de los beneficios de los jardines verticales. Propondremos paquetes personalizados que incluyen: un paquete Básico con especies locales resistentes y sistema de riego manual o semiautomático; un paquete Estándar con variedad de especies y sistema de riego automatizado con temporizador; y un paquete Premium con diseño personalizado, especies exóticas/nativas de alto valor, sistema de riego y fertilización IoT, y monitoreo ambiental en tiempo real.

Adicionalmente, generaremos ingresos recurrentes y estables a través de contratos de mantenimiento anual/semestral, estimados en un 10-15% del costo de instalación anual. También ofreceremos asesorías y consultorías especializadas en diseño, viabilidad y estudios de impacto para proyectos de terceros. Finalmente, la venta de insumos y accesorios, como componentes de sistemas de jardines verticales, sustratos especiales y fertilizantes orgánicos, complementará nuestro flujo de ingresos.

Recursos clave

Los recursos clave para el éxito de nuestro modelo de negocio abarcan diversas áreas fundamentales. En primer lugar, el equipo humano es esencial, compuesto por ingenieros agrónomos, arquitectos paisajistas y técnicos especializados en instalación y mantenimiento, garantizando la pericia técnica en cada etapa del proyecto.

En segundo lugar, los sistemas tecnológicos son un pilar central, incluyendo un eventual uso de plataforma IoT para el monitoreo remoto de los sistemas, así como hardware y software avanzados para la gestión eficiente de proyectos y relaciones con clientes. La infraestructura física también es crucial, abarcando oficinas para la gestión administrativa, un almacén para el manejo de materiales y un vivero para el pre-cultivo de especies, lo que asegura la calidad y disponibilidad de la vegetación.

El conocimiento y la propiedad intelectual representan un activo intangible de gran valor, incluyendo posibles patentes de sistemas de instalación y un *know-how* especializado en la selección de especies vegetales y la optimización de los sistemas para el clima local.

Finalmente, el capital financiero es indispensable, comprendiendo la inversión inicial, el capital de trabajo necesario para las operaciones diarias y el acceso a líneas de crédito verde que permitan la expansión y el desarrollo de nuevos proyectos.

Actividades clave

Las actividades clave de nuestro modelo de negocio se centran en asegurar la excelencia operativa y la innovación constante. La Investigación y Desarrollo (I+D) es fundamental, enfocándose en la selección de especies nativas y resistentes para el clima bogotano (Guleira et al., 2024), la optimización de sistemas de riego y fertirrigación (Sarkar, 2018), el desarrollo de sustratos ligeros y eficientes, y la integración en el mediano plazo de nuevas tecnologías como sensores, inteligencia artificial y blockchain.

El Diseño e Ingeniería implica la creación de propuestas personalizadas y planos técnicos detallados para cada proyecto. La Suministro y Logística garantiza la adquisición de materiales y plantas de proveedores certificados. La Instalación se ejecuta con equipos especializados, siguiendo estrictos estándares de seguridad. El Mantenimiento incluye visitas periódicas, monitoreo de la salud vegetal, ajuste de riego y control de plagas y enfermedades.

Las actividades de Marketing y Ventas abarcan la prospección de clientes, negociación y elaboración de propuestas. La Gestión de Proyectos asegura la planificación, ejecución y supervisión eficiente de cada instalación.

Finalmente, la Certificación y Cumplimiento Normativo es crucial para asegurar que todos los proyectos cumplan con los estándares ambientales y de construcción, como los establecidos por la Secretaría Distrital de Ambiente y la Política Pública de Ecourbanismo y Construcción Sostenible.

Alianzas clave y socios estratégicos

Para el desarrollo y escalabilidad del negocio, estableceremos alianzas estratégicas con diversos actores clave. En el ámbito de la Academia, buscaremos colaborar con la Pontificia Universidad Javeriana para el proyecto piloto de medición de impacto ambiental (temperatura, CO_2, biodiversidad) y el desarrollo de tesis aplicadas, formalizando un convenio de investigación.
Asimismo, estableceremos vínculos con otras universidades que cuenten con programas de Arquitectura y Urbanismo/Ambiental para colaboración en Investigación y Desarrollo (I+D), prácticas estudiantiles y acceso a mano de obra cualificada.

En cuanto a Asociaciones y Cámaras, buscaremos asociarnos con Camacol Bogotá para facilitar el networking y el acceso a desarrolladores inmobiliarios. También buscaremos la colaboración con el Consejo Colombiano de Construcción Sostenible (CCCS) para acceder a información de mercado, normativas y certificaciones relevantes.

Respecto a las Certificadoras Ambientales, trabajaremos con US Green Building Council (LEED) para proyectos comerciales e institucionales de alto perfil, y con Colombia Green Building Council (CASA Colombia / EDGE) para certificaciones locales y más accesibles, especialmente para el sector residencial y proyectos medianos. Finalmente, la Secretaría Distrital de Ambiente será un socio fundamental para obtener el Sello Ambiental Bogotá y

facilitar el acceso a subsidios y programas distritales, asegurando el cumplimiento normativo y el apoyo institucional.

En cuanto a los proveedores, estaremos en contacto con viveros con alto vagaje en especies nativas y resistentes para implementar en jardines verticales y techos verdes, y con los fabricantes directos de sistemas modulares para jardines verticales, sustratos y sistemas de riego. Junto con el contacto constante en empresas de tecnología para el desarrollo de nuestra propia plataforma de monitoreo y tokenización.

Finalmente, con el objetivo de buscar apalancamiento de entidades financieras, estaremos en contacto con Bancos Verdes y Findeter para obtener acceso a líneas de crédito con tasas preferenciales para proyectos sostenibles (Decreto 531). Junto con la evaluación de fondos de Inversión Verde para atraer capital que impulse la expansión y el desarrollo de nuevos proyectos, especialmente aquellos con potencial de monetización de carbono.

Estructura de costos

Nuestra estructura de costos se compone de elementos variables y fijos, diseñados para optimizar la eficiencia operativa y la rentabilidad. Los costos variables incluyen la adquisición de plantas y sustratos, que dependerán del volumen y la complejidad de cada proyecto, así como de las relaciones con proveedores y las economías de escala. También se consideran los materiales de instalación (módulos, sistemas de riego, estructura de soporte), cuya calidad y especificaciones técnicas influirán directamente en el costo por metro cuadrado. La mano de obra directa para la instalación variará según la duración y la complejidad de cada proyecto, así como el tamaño del equipo requerido. Finalmente, el transporte y la logística asociados a cada proyecto, incluyendo el traslado de materiales y personal, serán costos variables.

Por otro lado, los costos fijos comprenden los salarios del personal administrativo, de diseño y de ventas, los cuales se mantendrán relativamente estables independientemente del número de proyectos. El alquiler de oficinas y del vivero, esenciales para la operación y el pre-cultivo de especies, representa un gasto fijo recurrente. El mantenimiento preventivo y correctivo de equipos y herramientas, así como los gastos de marketing y publicidad para el posicionamiento de la marca y la prospección de clientes, son también costos fijos necesarios para la operación continua. La inversión en Investigación y Desarrollo (I+D), específicamente para la mejora de sensores IoT y el desarrollo de la plataforma blockchain, se considera un costo fijo estratégico para mantener la ventaja competitiva. Finalmente, los seguros (de responsabilidad civil, laborales, etc.) y las licencias necesarias para la operación legal del negocio constituyen costos fijos esenciales. Esta diferenciación nos permite gestionar eficazmente los gastos y ajustar la producción según la demanda del mercado, optimizando la asignación de recursos.

Métricas clave

Para evaluar el desempeño y el impacto de nuestro modelo de negocio, utilizaremos un conjunto de métricas clave que abarcan tanto aspectos operativos y ambientales como financieros y de satisfacción del cliente.

En el ámbito operativo y ambiental, inicialmente monitorearemos el número de metros cuadrados instalados de jardines verticales y techos verdes, posteriormente el porcentaje de retención de agua en los proyectos (medido por sensores), la reducción de temperatura en las superficies con vegetación versus superficies sin vegetación (también medida por sensores), y la captura de CO_2 (estimada y, si es posible, medida con sensores).

Desde una perspectiva financiera, las métricas clave incluirán el margen de beneficio por proyecto, el costo de adquisición de cliente (CAC) y el valor de vida del cliente (LTV), que nos permitirán evaluar la rentabilidad y la eficiencia de nuestras estrategias de negocio.

Adicionalmente, para medir el impacto y la credibilidad en el mercado de la sostenibilidad, registraremos el número de certificaciones obtenidas por los clientes (como LEED, CASA Colombia, EDGE) y el volumen de NFTs de carbono generados y vendidos, lo que reflejará nuestra contribución a la economía verde y la monetización de servicios ecosistémicos. Finalmente, la satisfacción del cliente se medirá a través de encuestas y la tasa de renovación de contratos de mantenimiento, asegurando que nuestras soluciones no solo sean efectivas, sino también valoradas por quienes las utilizan.

Ventaja competitiva y diferenciación.

Nuestras ventajas competitivas se fundamentan en una combinación de especialización, innovación tecnológica, experiencia y enfoque en la sostenibilidad local. Nos distinguimos por un enfoque exclusivo en jardines verticales, lo que nos permite una especialización y optimización de procesos que un enfoque generalista no podría ofrecer, aunque los techos verdes se incluirán como un servicio complementario. La integración tecnológica de IoT y blockchain nos posiciona como líderes en el mercado, ofreciendo beneficios cuantificables y monetizables, además de un valor añadido único para los clientes, lo cual representa una diferenciación clave.

Contamos con una sólida experiencia y conocimiento técnico, respaldados por un equipo multidisciplinario con *expertise* en agronomía, paisajismo, ingeniería y tecnología. Ofrecemos sistemas modulares y personalizables, lo que nos brinda flexibilidad para adaptarnos a diversas estructuras y necesidades del cliente, tanto en diseño como en presupuesto. Nuestro énfasis en especies nativas y resilientes garantiza una mayor sostenibilidad, un menor mantenimiento y una mejor adaptación al ecosistema local. Finalmente, el proyecto piloto estratégico con la Pontificia Universidad Javeriana proporcionará datos empíricos robustos y validación académica, generando confianza y credibilidad inigualables en el mercado.

Estrategia de crecimiento

Nuestra estrategia de crecimiento se basa en una expansión gradual y diversificada, capitalizando nuestras ventajas competitivas y la creciente demanda de soluciones sostenibles. Inicialmente, nos enfocaremos en la expansión geográfica dentro de Bogotá, priorizando zonas de alta densidad urbana y demanda de soluciones sostenibles como Chapinero, Usaquén y Teusaquillo. Posteriormente, planeamos expandirnos a otras ciudades principales de Colombia, como Medellín, Cali y Barranquilla, que presentan desafíos ambientales urbanos similares y un mercado receptivo.

Paralelamente, buscaremos la diversificación de servicios, explorando la implementación de "green facades" (fachadas verdes con trepadoras) y muros comestibles en entornos urbanos, lo que ampliará nuestra oferta y atenderá nichos de mercado específicos. El desarrollo de productos incluirá la creación de líneas estandarizadas de jardines verticales y techos verdes para segmentos residenciales más amplios, facilitando la accesibilidad y la adopción masiva.

Fortaleceremos nuestras alianzas con el sector público, participando activamente en licitaciones y proyectos de infraestructura verde urbana impulsados por el gobierno, lo que nos permitirá acceder a proyectos de mayor escala y contribuir al desarrollo de políticas públicas. A largo plazo, evaluaremos un modelo de franquicia para una rápida expansión a nivel nacional o regional, aprovechando el conocimiento y la experiencia adquiridos para replicar nuestro éxito en diferentes mercados. Esta estrategia integral nos permitirá consolidar nuestro liderazgo y maximizar nuestro impacto en la construcción de ciudades más verdes y resilientes.

Consideraciones de techos verdes

Aunque nuestro modelo de negocio se centra en los jardines verticales, los techos verdes se considerarán una extensión lógica y complementaria de nuestros servicios, capitalizando la infraestructura de instalación y mantenimiento ya existente. Ambos sistemas comparten numerosos beneficios, como el aislamiento térmico, la gestión del agua, el fomento de la biodiversidad y la mejora estética (Cazorla et al., 2022; Mesquita, 2019; Bernal & Cucaita, 2022).

Además, los techos verdes ofrecen una diferenciación técnica importante: suelen tener un menor costo por metro cuadrado y una menor complejidad estructural en algunos casos, lo que los hace particularmente atractivos para proyectos con limitaciones presupuestarias o estructurales que no permiten la instalación de jardines verticales. La experiencia en selección de plantas, sustratos, sistemas de riego y monitoreo es directamente aplicable a ambos, lo que genera sinergias operativas. Por lo tanto, se ofrecerán como un complemento valioso al diseñar una solución integral para el cliente, o como una alternativa viable cuando el espacio vertical disponible sea limitado.

Riesgos y mitigación

A continuación, se presenta la tabla correspondiente a los posibles riesgos y la estrategia para su mitigación.

Tabla 44. Riesgos, descripción y mitigación del modelo de negocio.

Riesgo	Descripción	Mitigación
Altos costos iniciales	Percepción de que la inversión es muy alta para el cliente.	Ofrecer planes de financiamiento, paquetes escalables, mostrar ROI claro con ahorro energético y valorización de la propiedad.
Mantenimiento y Durabilidad	Preocupación por la vida útil y el mantenimiento.	Ofrecer contratos de mantenimiento transparentes, monitoreo proactivo con IoT, usar especies resistentes y sistemas de calidad.
Resistencia al cambio / Falta de conocimiento	El mercado puede no estar completamente familiarizado con los beneficios.	Campañas de marketing educativo, demostraciones (piloto Javeriana), testimonios de clientes, alianzas con influenciadores del sector.
Competencia	Surgimiento de nuevos competidores.	Diferenciación a través de la tecnología (IoT, blockchain), certificaciones, especialización, servicio al cliente superior y alianzas estratégicas.
Regulaciones y permisos	Barreras burocráticas para la instalación.	Conocimiento profundo de la normativa local (Decreto 531, Política de Ecourbanismo), asesoramiento en la gestión de permisos para los clientes.
Condiciones climáticas extremas	Daños a la vegetación por sequías, lluvias excesivas o plagas.	Selección de especies nativas y resilientes, sistemas de riego inteligentes, mantenimiento preventivo, uso de pólizas de seguro para daños mayores.
Volatilidad en el precio de los materiales	Fluctuaciones en el costo de sustratos, plantas y estructuras.	Acuerdos a largo plazo con proveedores, diversificación de fuentes de suministro, optimización de la cadena de valor.
Aceptación de la tokenización de carbono	El mercado de NFTs de carbono es incipiente en Colombia.	Iniciativas piloto con empresas líderes, educación sobre el valor del carbono, búsqueda de alianzas con plataformas de blockchain y mercados de carbono establecidos.

Fuente: propia.

Modelo Canvas

A continuación, se presenta a modo de resumen el modelo de negocio en formato CANVAS.



Imagen 21. Modelo de negocio CANVAS.

Fuente: propia.

Sostenibilidad y Viabilidad del Modelo de Negocio

El modelo de negocio propuesto para "Jardines Verticales" en Bogotá se fundamenta en un enfoque de triple impacto, buscando no solo la rentabilidad económica, sino también un significativo beneficio social y ambiental. Esta visión integral es crucial para asegurar su sostenibilidad a largo plazo en un mercado cada vez más consciente de la importancia de la infraestructura verde urbana.

Sostenibilidad Financiera

La viabilidad financiera del modelo se apoya en una estructura de ingresos diversificada y en la optimización de costos. Los ingresos provendrán principalmente de la venta e instalación (con rangos de $300.000 a $600.000 COP/m² para jardines verticales y $250.000 a $400.000 COP/m² para techos verdes), así como de contratos de mantenimiento anuales/semestrales (estimados en 10-15% del costo de instalación anual), que generan ingresos recurrentes y estables.

Además, en estadíos posteriores, la monetización de servicios ecosistémicos, particularmente la tokenización de la captura de carbono a través de tecnología blockchain, representa una fuente de ingreso innovadora. Aunque este mercado es incipiente en Colombia, el potencial es considerable. Proyectos de infraestructura verde pueden capturar aproximadamente 1.2 kg de CO_2 por m² anual (Jardín Botánico de Bogotá, 2020), lo que, a un precio de carbono de $10-$50 USD por tonelada, abre una nueva vía de valorización económica progresiva para los clientes y para la empresa. La inversión inicial estimada para poner en marcha el negocio se sitúa entre $10.000.000 COP y $50.000.000 COP, un rango que permite una operación inicial robusta y la capacidad de abordar proyectos de mediana escala.

Los beneficios económicos directos para el cliente, como la reducción del consumo energético en hasta un 25% por el aislamiento térmico (Contreras-Bejarano & Villegas-González, 2019) y la valorización del inmueble hasta en un 15-20% (Irvine et al., 2020; Ojo-Fafore et al., 2018), son argumentos sólidos para la inversión. Estos ahorros y la plusvalía contribuyen a un retorno de la inversión (ROI) atractivo, con estudios que estiman periodos de recuperación entre 3 y 7 años para techos verdes extensivos en climas tropicales (De la Cruz-Uribe et al., 2023). La Tasa Interna de Retorno (TIR) se proyecta superior al 10% al considerar la monetización de externalidades positivas, haciendo el negocio financieramente viable a mediano plazo (Manso et al., 2021).

La viabilidad financiera se fortalecerá con la implementación de una metodología de Medición, Reporte y Verificación (MRV) robusta y certificable para los servicios ecosistémicos, lo que aumentará la credibilidad de los tokens de carbono. Además, el modelo buscará acceder a líneas de crédito verde ofrecidas por entidades como Bancolombia o Findeter, y explorará fondos de inversión verde para escalar las operaciones y capitalizar proyectos con alto potencial de impacto y monetización de carbono.

Sostenibilidad Social

La dimensión social es intrínseca a la propuesta de valor. La implementación de jardines verticales y techos verdes no solo embellece los espacios, sino que contribuye directamente al bienestar y la salud urbana. Estudios confirman que la exposición a la naturaleza mejora la salud mental y reduce el estrés (Mesquita, 2019; Reid et al., 2005). La creación de espacios verdes accesibles en entornos densamente poblados fomenta la interacción social, la identidad colectiva y la apropiación del lugar, elementos esenciales para el tejido comunitario. La encuesta comunitaria realizada en Bogotá muestra que los ciudadanos valoran altamente la belleza o atractivo visual, la reducción de la monotonía urbana, la conexión con la naturaleza y la sensación de frescura que estos espacios aportan.

El modelo promueve la participación ciudadana activa a través de talleres de co-creación, formación en mantenimiento básico y programas de voluntariado. Los resultados de la encuesta comunitaria indican un interés latente en participar como promotor/voluntario (23.3%) o como asistente (27.9%) en talleres o campañas, lo que valida esta estrategia. Además, el 77.3% de los encuestados preferiría pagar por estos beneficios mediante una cuota de mantenimiento o administración, lo que refuerza la viabilidad de los contratos de servicio post-venta y la corresponsabilidad. La Javeriana como caso piloto no solo generará datos técnicos, sino que también será un espacio de aprendizaje y validación social para la comunidad universitaria y los vecinos de Chapinero.

Análisis de Replicabilidad

El modelo de negocio está diseñado con una alta replicabilidad, tanto a nivel local en Bogotá como en otras ciudades con condiciones similares.

- Escala del Proyecto Piloto: El estudio de caso en la Universidad Pontificia Javeriana (Edificio Fernando Barón) de 100 m² de jardín vertical sirve como un modelo a pequeña escala que permite validar tecnologías (IoT), metodologías de medición (captura de CO_2, reducción de temperatura) y procesos operativos antes de la expansión.
- Modularidad de las Soluciones: La oferta de sistemas modulares para jardines verticales y las tipologías de techos verdes (extensivos, semi-intensivos, intensivos) facilita la adaptación a diversas estructuras y capacidades de carga. Esto es crucial en Bogotá, donde el 50% de los expertos encuestados consideran viable o muy viable la implementación en edificios modernos, aunque persisten desafíos en edificios antiguos.
- Tecnología Adaptable: El uso de SIG para el diagnóstico territorial y de IoT para el monitoreo permite una planificación y gestión eficientes que pueden escalarse fácilmente a proyectos de mayor envergadura o a múltiples ubicaciones simultáneamente.
- Expansión Geográfica: Una vez consolidado en los segmentos premium de Bogotá (Chapinero, Usaquén, Teusaquillo), la estrategia de crecimiento contempla la expansión a otras ciudades principales de Colombia (Medellín, Cali, Barranquilla) que

presentan desafíos ambientales urbanos similares y una creciente demanda de soluciones sostenibles, adaptando el tipo de especie a los microclimas locales.

Alineación con los ODS y la Política Pública Local

El modelo de negocio se alinea fundamentalmente con varios Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y con la política pública de Bogotá, reforzando su impacto y legitimidad:

- ODS 11: Ciudades y Comunidades Sostenibles: Contribuye directamente a crear ciudades más inclusivas, seguras, resilientes y sostenibles mediante la provisión de infraestructura verde, reducción de la contaminación y mejora de la habitabilidad urbana. La promoción de proyectos piloto (avalada por el 70.5% de la comunidad como una forma clave de apoyo de las autoridades) es una vía directa para lograrlo.
- ODS 13: Acción por el Clima: La captura de carbono (1.2 kg CO_2/m²/año) y la mitigación del efecto isla de calor (reducción de 2-4°C en superficies) son contribuciones directas a la lucha contra el cambio climático. La tokenización del carbono busca darle un valor económico a esta acción.
- ODS 15: Vida de Ecosistemas Terrestres: El aumento de la biodiversidad urbana, el fomento de hábitats para polinizadores y aves, y la preferencia por especies nativas, contribuyen a la conservación de los ecosistemas en el entorno construido.
- ODS 3: Salud y Bienestar: La mejora de la calidad del aire, la reducción del ruido y el acceso a espacios verdes que disminuyen el estrés impactan positivamente en la salud física y mental de los habitantes.

A nivel de política pública local en Bogotá, el modelo se integra con:

- Acuerdo Distrital 418 de 2009: Este acuerdo fue pionero en promover las tecnologías de techos verdes en el Distrito Capital, sentando las bases para su implementación. Nuestro modelo capitaliza este marco, ofreciendo soluciones que se ajustan a sus lineamientos.
- Decreto 566 de 2014 y Plan de Ordenamiento Territorial (POT) 2022 (Decreto 555 de 2021 y Decreto 582 de 2023): Aunque la normativa no es siempre obligatoria en cuanto a metros cuadrados específicos, sí promueve la construcción sostenible, la integración de superficies verdes en áreas privadas y fachadas como criterio para proyectos de renovación urbana. Nuestro modelo se alinea con estas recomendaciones y puede servir como un facilitador para que los desarrolladores cumplan con los objetivos de reverdecimiento. La comunidad, de hecho, espera que las autoridades contribuyan regulando e incluyendo estas soluciones (68.2%) e incentivando su implementación (77.3%).
- Política Pública de Ecourbanismo y Construcción Sostenible: El modelo contribuye directamente a los objetivos de esta política, buscando masificar la implementación de infraestructura verde.

A pesar de que la normativa colombiana actual tiende a ser informativa y voluntaria, nuestro modelo de negocio busca capitalizar los incentivos existentes (exenciones tributarias a nivel

nacional, descuentos prediales en Bogotá) y trabajar en alianzas público-privadas (identificadas por el 75% de los expertos como la estrategia más efectiva para la sostenibilidad financiera). La falta de subsidios directos (comunes en Europa) es un desafío, pero el modelo propone superar esta barrera demostrando el ROI intrínseco de la inversión y la generación de valor monetizable a través de servicios ecosistémicos. La inclusión obligatoria en licencias de construcción y subvenciones/exenciones tributarias son, según los expertos, los apoyos institucionales más críticos para la escalabilidad.

El modelo de negocio planteado no solo es una propuesta comercial viable, sino una solución estratégica que contribuye activamente a la resiliencia climática y la mejora de la calidad de vida en Bogotá, alineándose con las directrices nacionales e internacionales de sostenibilidad y desarrollo urbano.

7. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La presente sección tiene como objetivo interpretar los hallazgos derivados del diseño del modelo de gestión y del modelo de negocio propuestos, confrontándolos con los antecedentes teóricos y empíricos presentados en la literatura internacional, nacional y local, así como con las percepciones recabadas a través de las encuestas aplicadas a la comunidad, autoridades y expertos en Bogotá. Esta confrontación busca validar la relevancia, viabilidad y el carácter innovador de la propuesta, al tiempo que identifica las principales consistencias, discrepancias y las oportunidades que la investigación aborda frente a los vacíos existentes.

Contribución a los Beneficios Socioambientales: Consistencia con la Evidencia

Los resultados del estudio confirman la capacidad de los techos verdes y jardines verticales para generar beneficios sociales y ambientales urbanos, lo cual es consistente con la evidencia internacional. La literatura ha demostrado su impacto en la calidad del aire, la regulación térmica, la gestión del agua y el fomento de la biodiversidad. Ciudades como Toronto y Berlín han validado reducciones de temperatura y captura de carbono. Los hallazgos de las encuestas en Bogotá corroboran estas percepciones, destacando la mejora de la calidad del aire, la reducción de la temperatura y el embellecimiento del entorno. Esto valida la aplicabilidad de estas Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN) para los desafíos ambientales de la ciudad.

Superación de Barreras y el Rol del Modelo de Gestión

El planteamiento del problema identificó barreras para la adopción masiva en Bogotá, como la falta de normativas claras, altos costos iniciales y escasez de información. Los antecedentes nacionales y locales confirmaron la naturaleza voluntaria de las disposiciones normativas y la necesidad de investigación local. La investigación, a través de las encuestas, corroboró estas limitaciones técnicas y financieras. El modelo de gestión propuesto aborda estos vacíos al estandarizar procesos técnicos y operativos para instalaciones eficientes y replicables. El estudio de caso en la Universidad Pontificia Javeriana valida la aplicabilidad del modelo, generando lineamientos replicables y mitigando resistencias técnicas y normativas mediante estrategias específicas.

Viabilidad Económica y Escalabilidad: Articulación con Oportunidades

La viabilidad económica de la infraestructura verde, a pesar de los altos costos iniciales, se ha demostrado por sus beneficios a largo plazo. A nivel internacional, los incentivos fiscales han impulsado su adopción. Los resultados de las encuestas en Bogotá muestran una disposición comunitaria a pagar por estas soluciones, preferentemente a través de cuotas de mantenimiento. Los expertos resaltaron los subsidios, alianzas y tecnología como claves para el éxito. El modelo de negocio propuesto aborda estas observaciones con diversas fuentes de ingresos, una estructura de costos detallada y una estrategia de crecimiento que

incluye la expansión y la integración tecnológica. Esto busca superar la resistencia a la inversión, demostrando la infraestructura verde como una inversión con beneficios tangibles.

Rol del Apoyo Institucional y la Participación Ciudadana: Eje de Replicabilidad

Los antecedentes indicaron desafíos en la difusión de políticas y la necesidad de mayor conciencia ciudadana. Las encuestas revelaron el interés de la comunidad en participar y la expectativa de apoyo institucional mediante incentivos y regulación. Las autoridades mostraron heterogeneidad en su compromiso. La propuesta del modelo de negocio reconoce la importancia de alianzas estratégicas con entidades gubernamentales y académicas. El énfasis en la educación y concienciación busca abordar la necesidad de mayor sensibilización. La alineación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y la política pública de Bogotá refuerza la legitimidad del modelo, buscando un marco con incentivos más robustos y requisitos obligatorios, tal como sugieren los expertos.

Contribuciones Únicas del Estudio y Futuras Líneas de Investigación

Esta investigación contribuye a llenar vacíos en la investigación local, al diseñar un modelo de gestión y negocio contextualizados para Bogotá e integrar las percepciones de diversos actores. La selección del edificio Fernando Barón como caso de estudio es fundamental para la validación empírica en un entorno real. Si bien el estudio sienta bases sólidas, futuras investigaciones podrían profundizar en el análisis de ciclo de vida en el clima bimodal de Bogotá, el desarrollo de materiales y especies nativas, la cuantificación precisa de ahorros energéticos y el retorno de inversión en proyectos reales, y una estrategia detallada para la monetización de servicios ecosistémicos. En síntesis, el modelo propuesto está en sintonía con la evidencia global y nacional, ofreciendo soluciones concretas para superar las barreras específicas de Bogotá y promover un desarrollo urbano sostenible.

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Este estudio ha permitido extraer conclusiones fundamentales a partir del análisis del modelo de gestión y del modelo de negocio sostenible para la implementación y mantenimiento de techos verdes y jardines verticales en Bogotá, contrastando los hallazgos con la literatura existente y las percepciones de los grupos de interés.

Se ha confirmado que los techos verdes y jardines verticales constituyen soluciones altamente efectivas para generar beneficios sociales y ambientales tangibles en entornos urbanos. Los resultados de las encuestas realizadas en Bogotá, que resaltan la mejora de la calidad del aire, la reducción de la temperatura urbana, el embellecimiento del entorno y el bienestar psicológico, son plenamente consistentes con la evidencia científica global. Esta concordancia valida la significativa contribución de estas infraestructuras verdes a la resiliencia climática y a la calidad de vida en la ciudad.

El modelo de gestión formulado en esta investigación aborda de manera integral las barreras técnicas y operativas previamente identificadas en la implementación de estas soluciones. Al centrarse en la estandarización de procesos, la selección rigurosa de especies y sistemas, y un monitoreo continuo, el modelo garantiza la eficiencia, sostenibilidad y replicabilidad de los proyectos. El estudio de caso en la Pontificia Universidad Javeriana ha servido como un valioso piloto para validar estos procesos en un contexto real, contribuyendo a superar la escasez de información técnica local.
El modelo de negocio diseñado demuestra una clara viabilidad económica, sustentada en fuentes de ingresos diversificadas que incluyen la instalación, el mantenimiento, las asesorías y la monetización de servicios ecosistémicos. A pesar de los costos iniciales, los beneficios a largo plazo, como el ahorro energético y la valorización inmobiliaria, sumados a la disposición de la comunidad a invertir en estos servicios, refuerzan su potencial. La integración tecnológica, particularmente el uso futuro de IoT y blockchain, junto con una estrategia de expansión geográfica y diversificación de servicios, posiciona al modelo para alcanzar una escalabilidad significativa tanto en Bogotá como en otras ciudades colombianas.

Aunque Colombia cuenta con un marco normativo para la infraestructura verde, su carácter predominantemente voluntario ha limitado su adopción masiva. Las encuestas revelaron una clara expectativa tanto de la ciudadanía como de los expertos hacia un mayor apoyo institucional, que abarque incentivos económicos, una regulación obligatoria y la promoción activa de proyectos piloto. La voluntad de participación comunitaria se presenta como un activo valioso que, si se articula con estrategias efectivas de educación y sensibilización, puede potenciar significativamente la apropiación y la sostenibilidad de estas iniciativas.

El modelo de gestión y de negocio propuesto se alinea fundamentalmente con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS 3, 11, 13, 15) y con la política pública de ecourbanismo y construcción sostenible de Bogotá. Esta alineación estratégica no solo refuerza la legitimidad del modelo, sino que también facilita la búsqueda de alianzas público-privadas

y el acceso a mecanismos de financiación verde, elementos que resultan críticos para su éxito y continuidad a largo plazo.

A partir de las conclusiones previamente expuestas, se plantean recomendaciones estratégicas para la implementación y escalabilidad del modelo de gestión y de negocio de jardines verticales y techos verdes en Bogotá.

Es crucial impulsar la inclusión de requisitos obligatorios para la infraestructura verde (jardines verticales y techos verdes) en las licencias de construcción de nuevos proyectos y remodelaciones de gran escala en Bogotá, en línea con las sugerencias de los expertos. Paralelamente, se recomienda ampliar y difundir de manera más efectiva los incentivos tributarios existentes, como los descuentos en el impuesto predial, y explorar nuevos mecanismos de fomento, tales como subsidios directos o líneas de crédito verde con tasas preferenciales, con el fin de reducir la barrera de los costos iniciales para los potenciales adoptantes.

Se sugiere encarecidamente la realización de análisis de ciclo de vida específicos para techos verdes y jardines verticales adaptados al clima bimodal de Bogotá, lo que permitirá cuantificar con mayor precisión sus beneficios ambientales y económicos a largo plazo. Asimismo, es fundamental invertir en la investigación y desarrollo de sustratos ligeros y eficientes, así como en la identificación y propagación de especies nativas y resilientes, optimizadas para las condiciones climáticas y estructurales de la ciudad. La implementación de sistemas de monitoreo robustos, basados en tecnología IoT, en todos los proyectos es esencial para cuantificar de manera precisa y verificable la captura de CO_2, la reducción de temperatura, la gestión del agua y el aumento de la biodiversidad, generando datos empíricos que fortalezcan la propuesta de valor del negocio.

Se recomienda consolidar alianzas estratégicas con entidades gubernamentales como la Secretaría Distrital de Ambiente y el Jardín Botánico, el sector privado (constructoras, promotores inmobiliarios) y la academia (universidades). Estas alianzas deben enfocarse en la co-creación de proyectos, el intercambio de conocimiento y la búsqueda de financiación conjunta. Adicionalmente, es vital diseñar y ejecutar campañas de comunicación y talleres educativos dirigidos a la ciudadanía, constructores y tomadores de decisiones, que destaquen los beneficios tangibles de la infraestructura verde y desmitifiquen las percepciones negativas sobre su costo y mantenimiento. Fomentar la participación activa de la comunidad en el diseño, instalación y mantenimiento de los proyectos piloto, promoviendo la apropiación y corresponsabilidad, y explorando modelos de mantenimiento comunitario capacitado, será clave para la sostenibilidad social.

Se sugiere desarrollar herramientas de comunicación que demuestren claramente el retorno de inversión (ROI) a los clientes potenciales, haciendo énfasis en los ahorros energéticos, la valorización de la propiedad y los beneficios para la salud y el bienestar. Es importante continuar la investigación y las iniciativas piloto para la monetización de servicios ecosistémicos a través de la tokenización de la captura de carbono (NFTs o créditos de

carbono), buscando establecer un marco de verificación y un mercado viable en Colombia. Finalmente, se recomienda explorar activamente la diversificación hacia "green facades" y muros comestibles, así como la creación de líneas de productos estandarizados y más accesibles para el segmento residencial, lo que permitirá ampliar el mercado y generar nuevas fuentes de ingresos.

9. BIBLIOGRAFÍA

- Alcaldía de Bogotá. (2014, 26 de agosto). Decreto 566 de 2014. Por medio del cual se reglamenta el Acuerdo 418 de 2009 y se dictan otras disposiciones para el fomento de los techos verdes en el Distrito Capital. Secretaría General de la Alcaldía Mayor de Bogotá. https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=59604
- Alcaldía de Bogotá. (2019). Decreto 531 de 2019: Incentivos para la construcción sostenible. Recuperado de https://www.alcaldiabogota.gov.co
- Alcaldía Mayor de Bogotá. (2009, 22 de diciembre). Acuerdo 418 de 2009. Por el cual se promueve la implementación de tecnologías arquitectónicas sustentables, como techos o terrazas verdes, entre otras en el D. C. y se dictan otras disposiciones. Secretaría General de la Alcaldía Mayor de Bogotá. https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=38262
- Ascencio, L. (2022). Evaluación potencial de la construcción de un techo verde en la Universidad de América ECOCAMPUS. Fundación Universidad de América. Bogotá, Colombia. Recuperado de https://repository.uamerica.edu.co/items/2c45e449-c039-4902-a672-8cf9b07f2887.
- Asik, M. M. M., & Arunkumar, M. (2024). Chapter 16 – Evergreen evolution: Vertical gardens through the ages. En Trends and innovations in agricultural sciences. JPS Scientific.
- Banoy, C., & Osorio, A. (2021). Análisis Costo Beneficio Ambiental de Las Fachadas Verdes Estudio de Caso: Proyecto Cubo Verde. Recuperado de https://repository.udem.edu.co/handle/11407/6870
- Beltrán, M., & Gallego, L. (2021). Soluciones basadas en la naturaleza: Experiencias internacionales. Revista de Urbanismo Sostenible, 15 (2), 45-60.
- Bernal, D., & Cucaita, D. (2022). Estudio de factibilidad técnica, ambiental y económica de techos verdes intensivos en la Universidad Distrital sede Bosa Porvenir. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia. Recuperado de https://repository.udistrital.edu.co/items/10f53fc3-5b70-4407-8ddc-ebc9c0fb330c
- Breuste, J., Niemelä, J., & Snep, R. (2008). Applying landscape ecological principles in urban environments. Landscape Ecology, 23(1), 1-15. Recuperado de https://link.springer.com/article/10.1007/s10980-008-9273-0
- Calvo, E. (2021). Proyecto de diseño y construcción de un jardín vertical en el edificio E de la Escuela Técnica Superior de Ingenierías Agrarias, Campus de la Yutera (Palencia). Universidad de Valladolid. Recuperado de https://uvadoc.uva.es/handle/10324/50777
- Carvajal, R. (2019). Análisis de la isla de calor urbana a nivel de superficie y de dosel en el periodo de 1981 a 2015 para la ciudad de Bogotá, Colombia. Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales UDCA. Bogotá, Colombia. Recuperado de https://repository.udca.edu.co/entities/publication/66090633-2db9-4788-922e-bc61b9036278
- Cazorla, M. P., Merino, L., & Val Fiel, M. (2022, January). Green roofs, vertical gardens and small gardens in the construction of a sustainable city [Poster]. DOI: 10.13140/RG.2.2.23268.69767.

- Contreras-Bejarano, L., & Villegas-González, J. (2019). Evaluación del impacto ambiental de los techos verdes en la reducción del efecto isla de calor en Chapinero, Bogotá. Revista de Medio Ambiente y Sostenibilidad Urbana, 5, (2), 45-60.
- Correa, D. (2013). Valoración del costo-beneficio de la implementación de techos verdes: aplicación a un caso de la ciudad de Bogotá. Universidad de Los Andes. Bogotá, Colombia. Recuperado de https://repositorio.uniandes.edu.co/server/api/core/bitstreams/79910cba-86de-4c9f-ab81-09568b319dcc/content
- CYPE Ingenieros. (s.f.). Recuperado de https://info.cype.com/es/
- De la Cruz-Uribe, A., García-Santos, G., Cruz-Gómez, A., & López-Díaz, A. (2023). Análisis beneficio-costo de techos verdes extensivos en condiciones del trópico húmedo en Villahermosa, México. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios, 10 (1), e3586. https://doi.org/10.19136/era.a10n1.3586
- De Ridder, K., Adamec, V., Bañuelos, A., Bruse, M., Bürger, M., Damsgaard, O., Dufek, J., Hirsch, J., Lefebre, F., Pérez-Lacorzana, J. M., Thierry, A., & Weber, C. (2004). An integrated methodology to assess the benefits of urban green space. Landscape and Urban Planning, 68 (2–3), 109–123. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2003.08.002
- EQR LLC. (s.f.). Environmental Quality Resources. Recuperado de https://www.eqrllc.com/
- El Espectador. (2015, 23 de junio). Bogotá tiene el jardín vertical más alto de América Latina. https://www.univision.com/noticias/citylab-arquitectura/bogota-tiene-el-jardin-vertical-mas-alto-de-america-latina
- Getter, K. L., & Rowe, D. B. (2006). The role of extensive green roofs in sustainable development. HortScience, 41*(5), 1276-1285. https://doi.org/10.21273/HORTSCI.41.5.1276
- Good Earth Plants. (s.f.). Good Earth Plants & Flowers. Recuperado de https://goodearthplants.com/
- Herrero, M. (2020). La infraestructura verde urbana como herramienta de planificación territorial: análisis de casos y propuesta metodológica. [Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Madrid]. Archivo Digital UPM. https://oa.upm.es/64973/
- Ibañez, R. (2008). Manual de techos verdes extensivos. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/43950167_Techos_vivos_extensivos_una_practica_sostenible_por_descubrir_e_investigar_en_Colombia
- Irvine, K. N., Warber, S. L., & Devine-Wright, P. (2020). Green infrastructure and human well-being: A review of the evidence. Routledge.
- Jardín Botánico de Bogotá. (2020). Proyectos de infraestructura verde en Bogotá. Recuperado de https://www.jbb.gov.co
- Manso, M., Castro-Gomes, J., & Silva, P. (2021). Green roofs and vertical gardens: A meta-analysis of their environmental benefits. Journal of Urban Ecology, 7*(1), 1-15.
- Manso, M., Teotónio, I., Silva, C. M., & Cruz, C. O. (2021). Green roof and green wall benefits and costs: A review of the quantitative evidence. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 135, 110111. https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110111
- Mesquita, A. (2019). Wellbeing: Green Roofs & Vertical Gardens [Disertación de maestría, Middlesex University]. ResearchGate.

https://www.researchgate.net/publication/339366455_Wellbeing_Green_Roofs_Vertical_Garde

- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2015, 24 de septiembre). Resolución 0549 de 2015. Por la cual se establecen los porcentajes mínimos y medidas de ahorro en agua y energía a alcanzar en las nuevas edificaciones y se adopta la guía de construcción sostenible para el ahorro de agua y energía en edificaciones.
- Nguyen, D. H.-A., Legg, R., Khan, A., Wilkinson, S., Ibbett, N., & Doan, A.-T. (2022). Social impact of green roofs. Frontiers in Built Environment, 8, 1047335. https://doi.org/10.3389/fbuil.2022.1047335
- Ojo-Fafore, O. A., Ogunrinde, A. T., & Olaniyan, O. O. (2018). Economic benefits of green infrastructure in urban areas. Journal of Environmental Science and Technology, 11*(2), 114-121.
- Paisajismo Urbano. (s.f.). Sistema Hidropónico F+P. Recuperado de: https://paisajismourbano.com/sistema-hidroponico-fp/
- Plataforma Arquitectura. (2012, 13 de julio). Jardín Vertical en el Hotel B3 Virrey (Bogotá). ArchDaily Colombia. https://www.archdaily.co/co/02-349031/en-detalle-jardines-verticales.
- Pineda-Herrera, J. C., Pineda-Jaimes, J. A., & Larrañaga-Rubio, S. C. (2022). Development of a Hybrid Coconut Fiber - Biochar Biomantle for Bioengineering Applications. In Education, Research and Leadership in Post-pandemic Engineering: Resilient, Inclusive and Sustainable Actions. Boca Raton, FL.
- Pontificia Universidad Javeriana. (2024). Historia. Recuperado de: https://www.javeriana.edu.co/medio-universitario/historia-verde
- Puyuelo Cazorla, M., Merino, L., & Val Fiel, M. (2022, January). Green roofs, vertical gardens and small gardens in the construction of a sustainable city. XXXVI International Exhibition “Research in Building Engineering – EXCO 22”. https://doi.org/10.13140/RG.2.2.23268.69767
- RAND Engineering & Architecture, DPC. (s.f.). RAND Engineering & Architecture, DPC. Recuperado de https://randpc.com/
- Reid, W. V., Mooney, H. A., Capistrano, A. C., Carpenter, S. R., Chopra, K., Cropper, A., & Sarukhan, J. (2005). Millennium Ecosystem Assessment: Ecosystems and human well-being: Synthesis. Island Press.
- Sampieri, R. H., Collado, C. F., & Lucio, P. B. (2014). Metodología de la investigación (6.ª ed.). McGraw-Hill.
- Santamouris, M., Ding, L., & Fiorito, F. (2018). Cooling the cities: A review of reflective and green roof mitigation technologies to fight heat island and improve comfort in urban environments. Solar Energy, 103, 682-703.
- Santamouris, M., Kolokotsa, D., & Römhild, A. (2018). Mitigating urban heat islands through green infrastructure. Energy and Buildings, 174, 1-19. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.06.024
- Sarkar, A. N. (2018). Fertigation and irrigation management systems of vertical gardens and green roofs. International Journal of Soil Science and Agronomy, 5*(2), 179-199.

https://advancedscholarsjournals.org/journal/ijssa/articles/fertigation-and-irrigation-management-systems-of-vertical-gardens-and-green-roofs
- Secretaría Distrital de Ambiente (SDA). (2011). Guía de techos verdes en Bogotá.
- Secretaría Distrital de Ambiente (SDA). (2021). Guía práctica de infraestructura vegetada. Bogotá, Colombia.
- Secretaría Distrital de Ambiente (SDA). (2023). Informe de Gestión Ambiental de Bogotá 2023: Avances en infraestructura verde y sostenibilidad urbana. https://www.ambientebogota.gov.co/web/sda/informes-de-gestion
- Secretaría Distrital de Ambiente (SDA). (s.f.). Techos verdes y jardines verticales. Recuperado de https://www.ambientebogota.gov.co/techos-verdes-y-jardines-verticales
- Secretaría Distrital de Ambiente. (2021). Plan de Gestión Ambiental de Bogotá 2020-2050. Recuperado de https://www.ambientebogota.gov.co
- Secretaría Distrital de Planeación. (2023). Decreto 582 de 2023. Por medio del cual se adopta la revisión general del Plan de Ordenamiento Territorial de Bogotá D.C. y se dictan otras disposiciones. Alcaldía Mayor de Bogotá. https://www.sdp.gov.co/normatividad/decretos/decreto-582-de-2023
- Sueiro, A. (2023). Transformar la ciudad en un jardón: GreenUp. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, España. Recuperado de https://oa.upm.es/76015/
- Torres, A. M., Castellanos Vega, R., Bonilla, C. H., & Villa, A. (2025). Transformaciones y desafíos: Changes and challenges. Digycopy FECEM, Facultad de Economía y Empresa, Universidad de Zaragoza. https://doi.org/10.5281/zenodo.15123698
- Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN). (2020). Soluciones basadas en la Naturaleza: Una guía para la acción. UICN. https://www.iucn.org/sites/dev/files/content/documents/soluciones_basadas_en_la_naturaleza_una_guia_para_la_accion_es.pdf
- Universidad de los Andes. (2023). Reporte de sostenibilidad 2023. Dirección de Sostenibilidad, Universidad de los Andes. https://uniandes.edu.co
- Valencia, J., & Grajales, L. (2019). Factores que influyen en la adopción de techos verdes en Colombia. Revista de Ingeniería Ambiental, 12*(3), 78-92.
- Wang, D., Xu, P.-Y., An, B.-W., & Guo, Q.-P. (2024). Urban green infrastructure: Bridging biodiversity conservation and sustainable urban development through adaptive management approach. Frontiers in Ecology and Evolution.
- Wesolowska, M., & Laska, M. (2019). The use of green walls and the impact on air quality and life standards. ESB Web of Conferences. https://doi.org/10.1051/e3sconf/201911600096
- Zucchetti, A., Hartmann, N., Alcantara, T., Gonzales, P., Cánepa, M., & Gutierrez, C. (2020). Infraestructura verde y soluciones basadas en la naturaleza para la adaptación al cambio climático. Prácticas inspiradoras en ciudades de Perú, Chile y Argentina. Plataforma MiCiudad, Red AdaptChile y ClikHub.

ANEXO A: FOTOGRAFÍAS DE JARDINES VERTICALES EN BOGOTÁ

Este anexo presenta una selección de fotografías que ilustran diversos ejemplos de jardines verticales encontrados en recorridos por Bogotá, así como imágenes relevantes de los jardines verticales ubicados en la Pontificia Universidad Javeriana. Estas imágenes complementan la descripción de los sistemas y sus beneficios, ofreciendo una referencia visual de las soluciones discutidas en el cuerpo del documento.

Figura A.1: Jardín Vertical en recibidor de edificio residencial en Bogotá.



Figura A.2: Jardín Vertical en la fachada del centro comercial el retiro, en Bogotá.



Figura A.3: Jardín Vertical de bolsillos plásticos en pasaje comercial ubicado en Usaquén, Bogotá.



Figura A.4: Jardín Vertical en parqueadero del hotel Casa Dan Carlton, Bogotá.

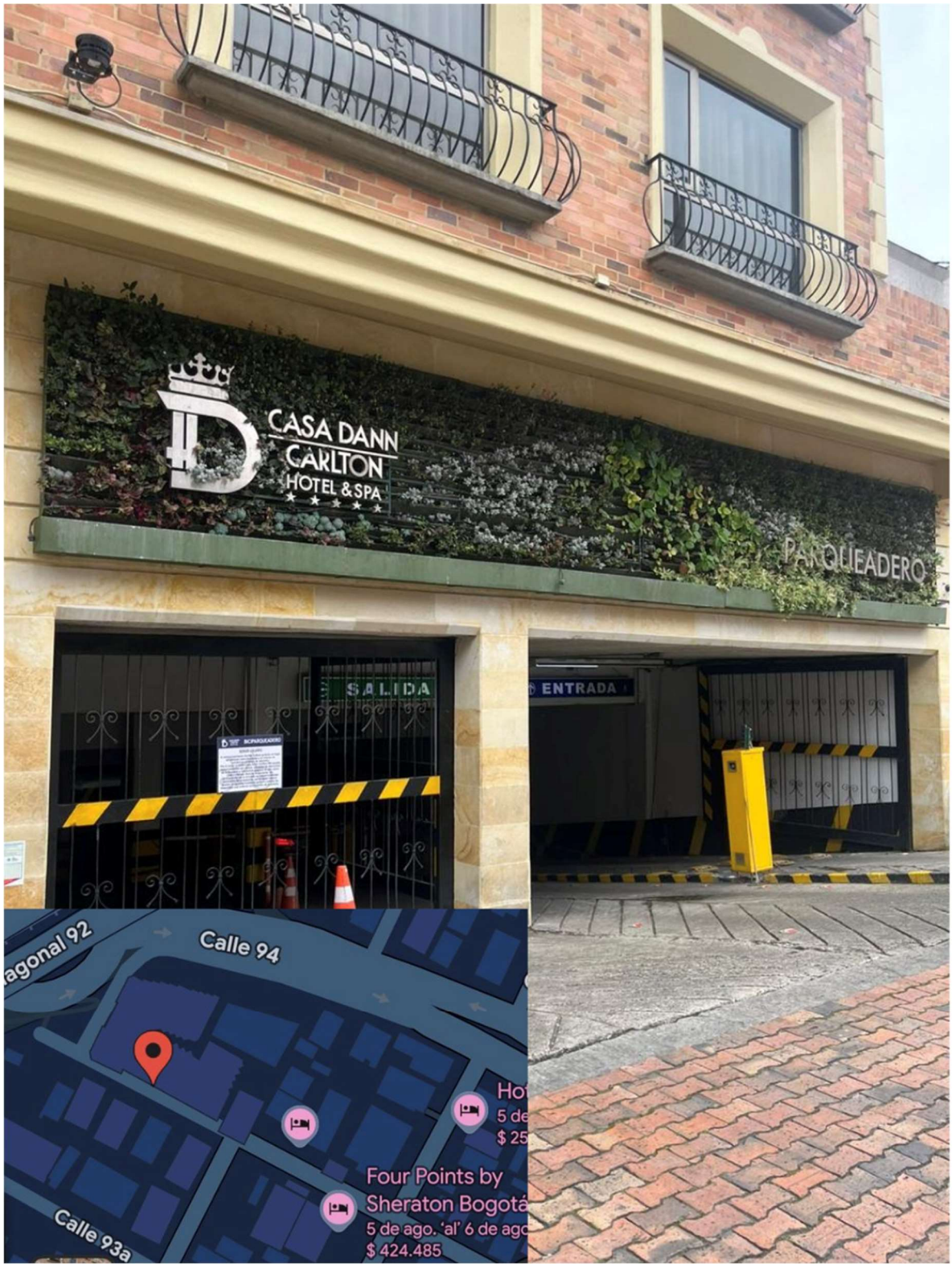


Figura A.5: Jardín Vertical en pasaje interno del edificio Bacatá, Bogotá.



Figura A.6: Jardín Vertical artificial en la fachada del centro comercial Parque la Colina, Bogotá.



Figura A.7: Jardín Vertical artificial en la fachada del centro comercial Parque la Colina, Bogotá.



Figura A.8: Jardín Vertical artificial interno en librería Casa Santo & Seña, Bogotá.


Calle 56
Avenida Carrera 7
Calle 55
Calle 56
Calle 57
Avenida Circ
Estación de Policía Chapinero
Santo & Seña
Visto recientemente
Calle 54a
Famiglia Pizzería
Mejor valorados
Diagonal 55
Transversal 3C
Carrera 3
Carrera 2
Transversal 1b
Transversal 1 Este
Transversal
Ferretería Divara
Carrera 6
Carrera 4a
Calle 55
Google Maps

ANEXO B: FOTOGRAFÍAS DE JARDINES VERTICALES EN LA PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA

Este anexo presenta una selección de fotografías que ilustran ejemplos existentes de jardines verticales instalados en el campus de la Pontificia Universidad Javeriana en Bogotá. Estas imágenes muestran una visual de la magnitud de la implementación de infraestructura verde en un entorno universitario.

Figura B.1: Jardín Vertical Existente en edificio administrativo y banco. PUJ.



Figura B.2: Jardín Vertical Existente en edificio de biblioteca. PUJ.

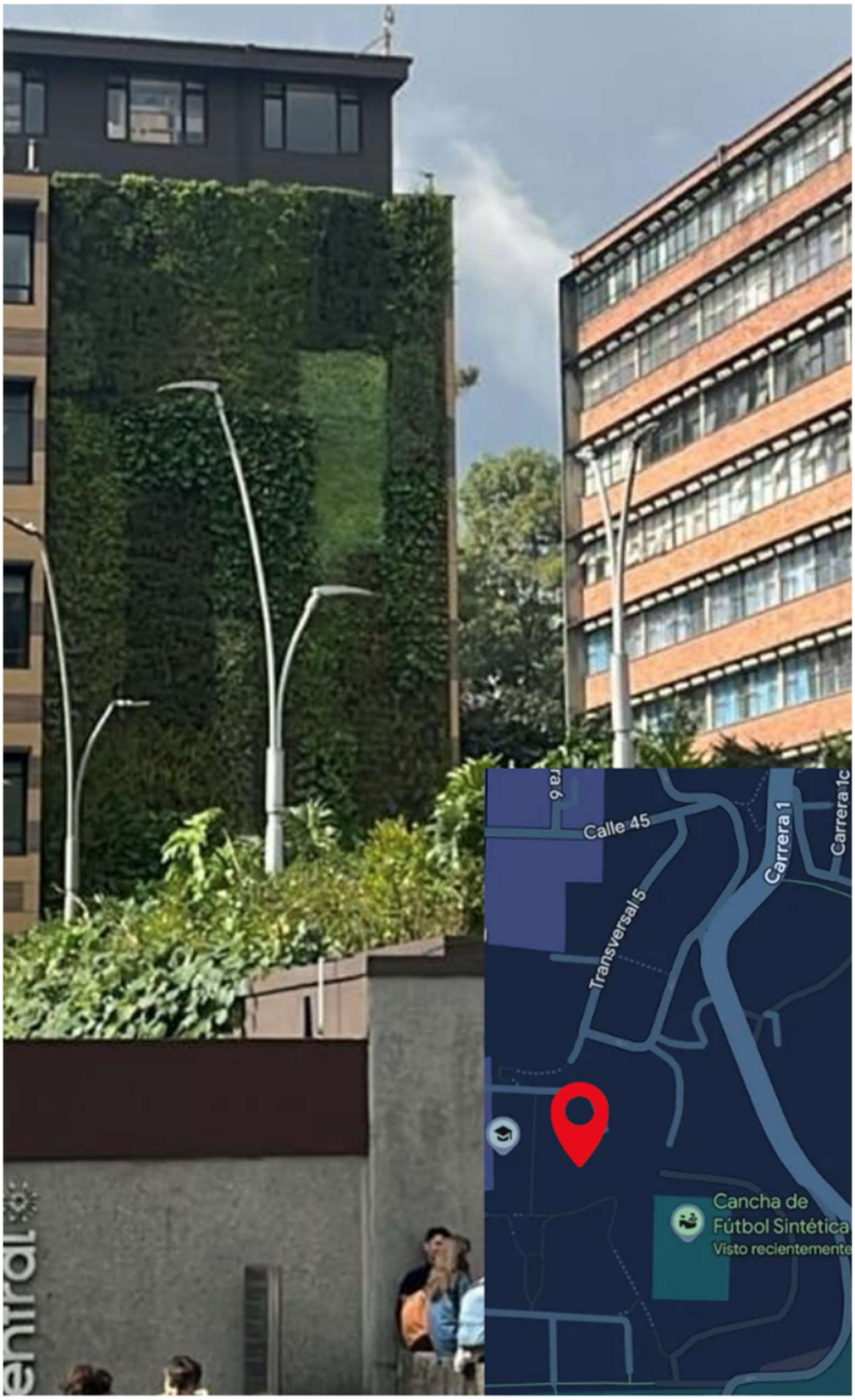


Figura B.3: Jardín Vertical Existente en edificio administrativo externo. PUJ.

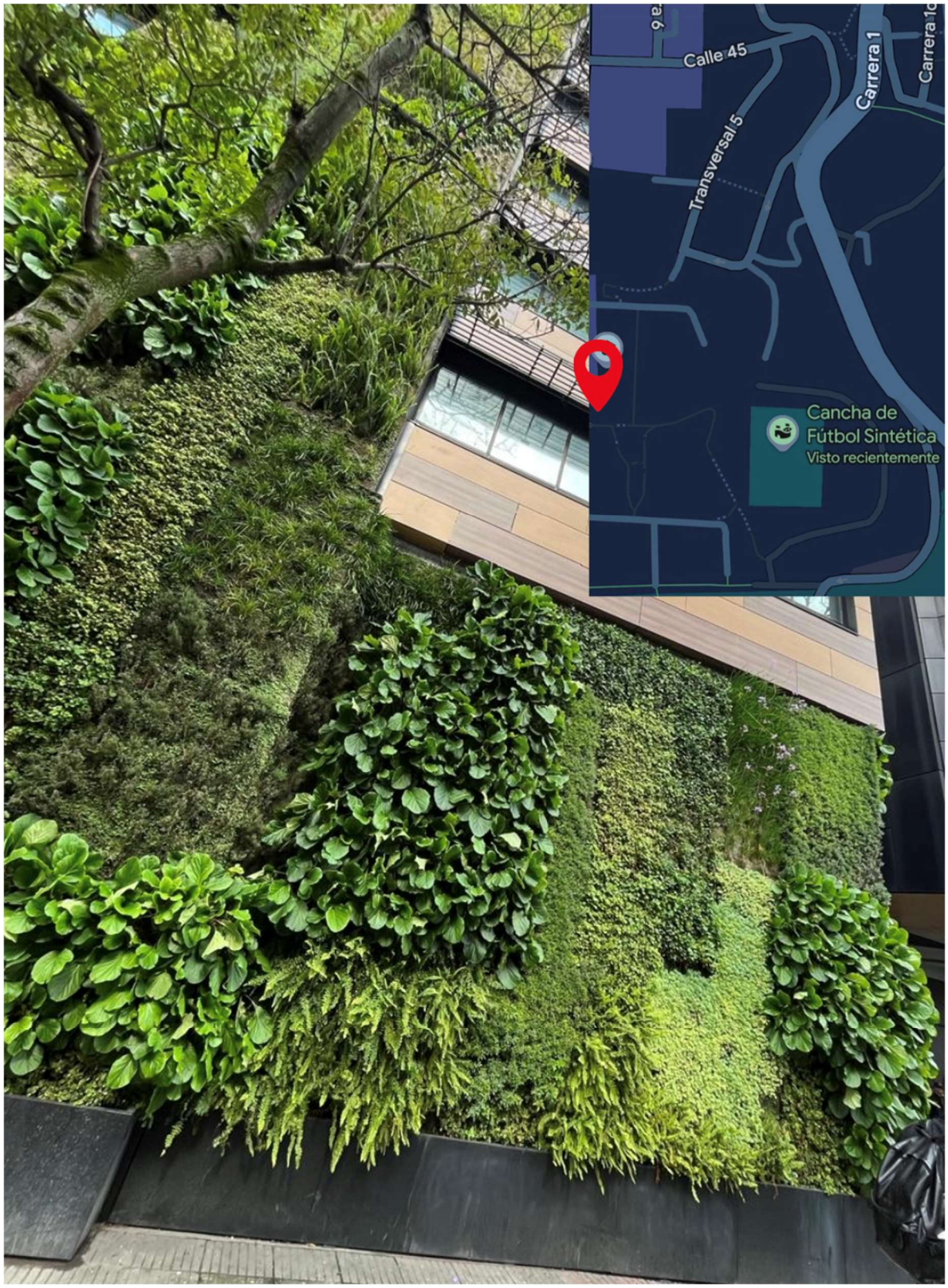


Figura B.4: Jardín Vertical Existente en corredor interno del edificio de ingeniería. PUJ.

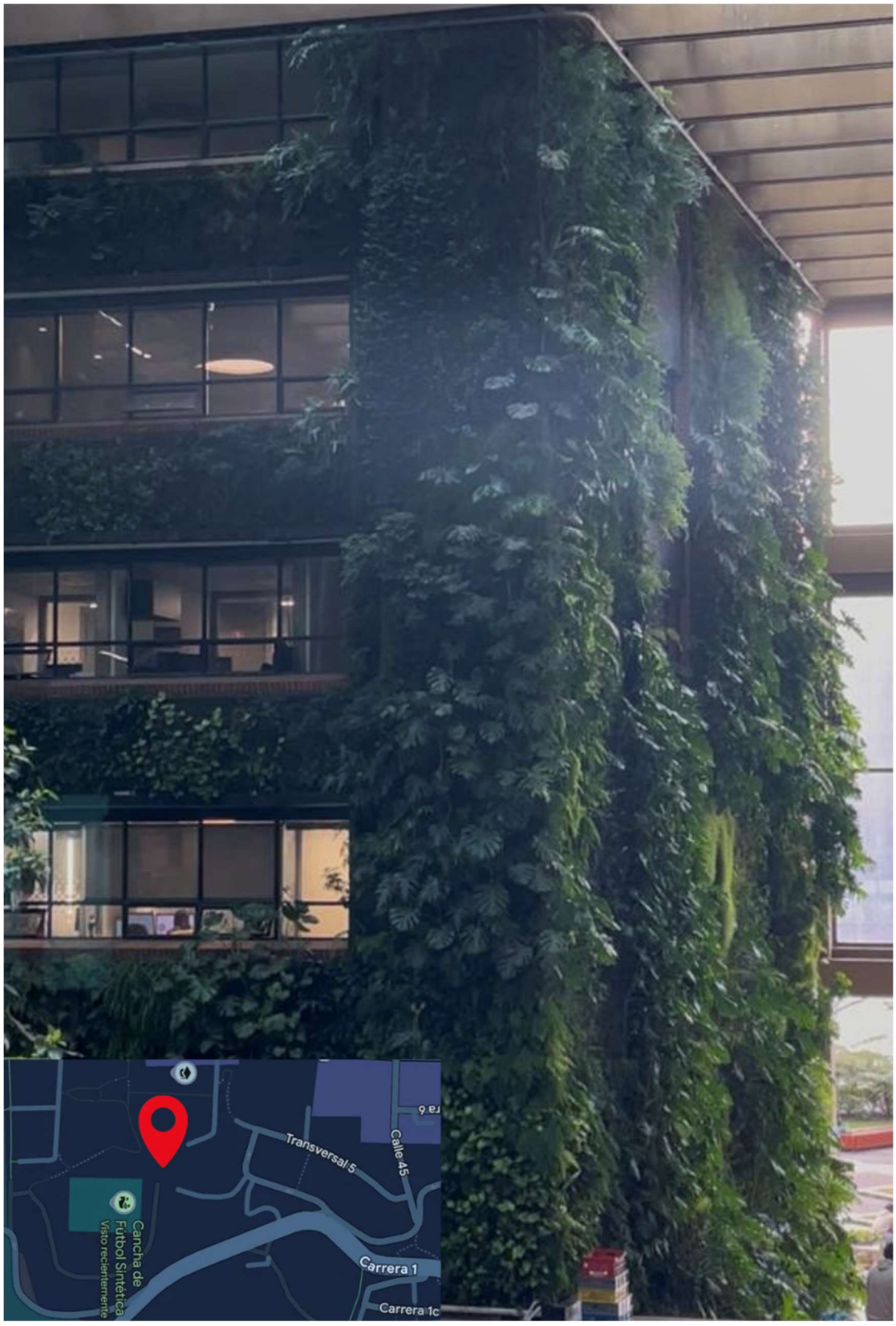


Figura B.5: Jardín Vertical Existente en el nuevo edificio de ciencias. PUJ.

