

**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICA, AMBIENTAL Y ECONÓMICA DE
TECHOS VERDES INTENSIVOS EN LA UNIVERSIDAD DISTRITAL SEDE BOSA
PORVENIR**



**UNIVERSIDAD DISTRITAL
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS**

AUTORES

DAVID ALEJANDRO BERNAL SANTOFIMIO

DAVID MATEO CUCAITA SUAREZ

**UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
FACULTAD DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES
TECNOLOGÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL Y SERVICIOS PÚBLICOS**

BOGOTÁ D.C

2022

**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICA, AMBIENTAL Y ECONÓMICA DE
TECHOS VERDES INTENSIVOS EN LA UNIVERSIDAD DISTRITAL SEDE BOSA
PORVENIR**

AUTORES

DAVID ALEJANDRO BERNAL SANTOFIMIO 20171081002

DAVID MATEO CUCAITA SUAREZ 20171081037

**TRABAJO DE GRADO EN MODALIDAD DE MONOGRAFÍA PARA OBTENER EL
TÍTULO DE TECNOLOGÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL Y SERVICIOS PÚBLICOS**

DIRECTOR:

CAROLINA MARIA LOZANO BARRERO

MASTER EN ESTUDIOS AMAZÓNICOS

**UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
FACULTAD DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES
TECNOLOGÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL Y SERVICIOS PÚBLICOS
BOGOTÁ D.C**

2022

Agradecimientos

David Alejandro Bernal Santofimio

Esta monografía culminada representa el esfuerzo de muchas personas que me han acompañado a lo largo de mi vida educacional, por lo cual agradezco primeramente a mi madre Lucia S. porque sin su apoyo no hubiese podido continuar estudiando en la Distrital y mucho menos ser una persona integral como lo soy hoy en día.

Le agradezco al Estado Colombiano por permitir que la educación superior pública fuese accesible a una persona que contaba con muy pocas oportunidades y a la Universidad Distrital Francisco José de Caldas me brindó la chance de tener una Educación de calidad.

Mil gracias a mi novia Danna M. la cual me incentivó a continuar a pesar de las dificultades, a mi hermano Ángel S. el cual es un motivo a superarme para ser un ejemplo a seguir, por último y no menos importante le doy gracias a Dios que me ha permitido la Vida y a mis compañeros de la universidad que me ayudaron mucho en momentos de incertidumbre.

David Mateo Cucaita Suarez

Le agradezco a mi familia por su apoyo infinito, a mi mamá, hermana y compañeros de la universidad que sin ellos no hubiese podido aprender tanto y compartir tantos buenos momentos.

Le agradezco a Dios por permitirme tener este éxito y le doy gracias a la Universidad Distrital Francisco José de Caldas por permitirme acceder a la educación superior.

Resumen

En esta monografía se tomó como estudio de caso los tres bloques de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas sede Porvenir, donde se describió el espacio por medio de visita técnica, se hallaron árboles, arbustos y plantas ornamentales que soportan la características meteorológicas de Bogotá y la región las cuales se pudieran utilizar en una propuesta de techos verdes intensivo por este motivo en el trabajo se analizaron los aspectos técnicos como materiales y especificaciones o requerimientos del sistema de techos verdes, aspectos ambientales como los beneficios que pueden tener los techos verdes como estrategia de reducción de la huella de carbono de la comunidad educativa y otros beneficios. Por último se realizó un análisis de costeo para saber el precio que podría tener un proyecto de esta magnitud y saber de dónde se podrían obtener los recursos necesarios para llevarlo a cabo.

De esta misma manera se realizó un diseño paisajístico para mostrar el aprovechamiento y reverdecimiento de zonas duras como lo son las terrazas de la sede dando así un imaginativo de cómo se podría ir un paso más allá en el desarrollo sostenible de las ciudades por medio de un plano en AutoCAD y el rol de las universidad en la búsqueda de nuevas tecnologías o alternativas para apoyar al medio ambiente y transmitir la importancia de transformar nuestros espacios en ambientes más conectados con la naturaleza y su entorno.

- **Palabras Claves:** Desarrollo sostenible, sistema de techos verdes intensivos, gases de efecto invernadero, huella de carbono, dióxido de carbono (CO₂), factibilidad técnica, factibilidad ambiental y económica.

Abstract

In this monograph we took as a case study the three blocks of the Universidad Distrital Francisco José de Caldas Porvenir, where the space was described through a technical visit, we found trees, shrubs and ornamental plants that could withstand the meteorological characteristics of Bogota and the region, which could be used in a proposal for an intensive green roof, the technical aspects such as materials and specifications or requirements of the green roof system, environmental aspects such as the benefits that green roofs can have as a strategy to reduce the carbon footprint of the educational community and other benefits were analyzed in the work. Finally, a cost analysis was carried out to determine the price that a project of this magnitude could have and to know where the necessary resources could be obtained to carry it out.

In the same way, a landscape design was made to show the use and greening of hard areas such as the terraces of the headquarters, thus giving an imaginative of how we could go a step further in the sustainable development of cities through a plan in AutoCAD and the role of universities in the search for new technologies or alternatives to support the environment and convey the importance of transforming our spaces in environments more connected with nature and its surroundings.

- **Keywords:** Sustainable development, intensive green roof system, greenhouse gasses, carbon footprint, carbon dioxide (CO₂), technical feasibility, environmental and economic feasibility.

Tabla de Contenido

Introducción	13
Planteamiento del Problema.....	14
Justificación	18
1. Objetivos.....	20
1.1 Objetivo General.....	20
1.2 Objetivos Específicos.....	20
2. Marcos Referenciales	20
2.1 Antecedentes.....	20
2.1.1 Nivel Internacional	21
2.1.2 Nivel Nacional	22
2.1.3 Nivel Local	23
2.2 Marco Conceptual.....	24
2.2.1 Techos Verdes.....	24
2.2.2 Componentes de un Techo Verde	25
2.2.3 Factores Determinantes de una Correcta Selección de Especies Vegetales en un Techo Verde.....	26
2.2.4 Esquema de los Componentes de un Sistema Típico de Naturación en Cubiertas	27
2.2.5 Tipos de Techos Verdes.....	28
2.2.6 Construcción Sostenible de la Arquitectura y el Hábitat.....	31
2.2.7 Urbanismo ecológico	32
2.2.8 Huella de carbón	32
2.2.9 Gases Efecto Invernadero (GEI)	32
2.3 Marco Geográfico	32
2.4 Marco Institucional	33
2.5 Marco Normativo.....	35
3. Metodología.....	37

	7
3.1	Enfoque Metodológico37
3.2	Diseño Metodológico38
3.3	Técnicas e Instrumentos de Recolección de Información38
3.3.1	<i>Revisión Documental</i>38
3.3.2	<i>Recolección y Análisis de la información</i>39
3.4	Fases Metodológicas40
3.4.1	<i>Fase No 1. Recopilación de información preliminar y análisis de tecnologías de techos verdes intensivos.</i>40
3.4.2	<i>Fase No 2. Selección de capa vegetal y diseño paisajístico.</i>40
3.4.3	<i>Fase No 3. Presupuesto y Cronograma.</i>41
3.4.4	<i>Fase No. 4. Presentación de la Propuesta.</i>41
4.	Capítulo 1. Estudio Técnico.....41
4.1	Estado Actual de la Estructura.....41
4.2	Condición Estructural.....42
4.2.1	<i>Restricciones por Cargas vivas</i>42
4.2.2	<i>Identificación de Áreas Disponibles en las Azoteas</i>42
4.3	Condiciones Climáticas y Meteorológicas59
4.4	<i>Comportamiento del viento</i>59
4.4.1	<i>Humedad del Aire</i>61
4.4.2	<i>Temperatura</i>62
4.4.3	<i>Mapa Brillo Solar de Colombia</i>63
4.4.4	<i>Región Andina</i>64
4.4.5	<i>Promedio Brillo Solar Anual Bosa Bogotá</i>64
4.4.6	<i>Precipitación</i>66
4.5	Tecnologías para Implementación de Techos Verdes Intensivos.....66
4.6	Clasificación de Techos Verdes Intensivos en Bogotá70
4.7	Selección del Sistema de Techos Verdes72
4.8	Propuestas de Terrazas Verdes73
4.8.1	<i>Diseño Laboratorio</i>73
4.8.2	<i>Diseño Bloque Académico</i>76

	8
4.8.3 <i>Diseño Bloque Administrativo</i>	80
4.9 Evaluación Técnica.....	83
4.10 Criterios de Calificación.....	83
4.10.1 <i>Importancia</i>	83
4.10.2 <i>Recursos económicos (E)</i>	84
4.10.3 Normatividad aplicable (N).....	84
4.10.4 <i>Tiempo requerido (T)</i>	85
4.11 Grado de Viabilidad.....	85
4.12 Resultado y Análisis de la matriz de Evaluación Técnica	86
4.13 Selección de Propuesta.....	87
4.14 Materiales Requeridos.....	88
4.14.1 <i>Capa Vegetal</i>	88
4.14.2 <i>Capa de sustrato</i>	89
4.14.3 <i>Capa Filtrante</i>	89
4.14.4 <i>Capa Drenante</i>	90
4.14.5 <i>Membrana Impermeable y Protección Anti Raíz</i>	90
4.14.6 <i>Sistema de riego</i>	90
4.14.7 <i>Elementos auxiliares o Complementarios</i>	91
4.15 Plan básico de mantenimiento	91
5. Capítulo 2. Estudio Ambiental	92
5.1 Cálculo de Huella de Carbono de los Integrantes de la Sede Porvenir.....	92
5.2 Proyección de la Huella de Carbono	100
5.2.1 <i>Método Aritmético</i>	100
5.2.2 <i>Método Geométrico</i>	101
5.2.3 <i>Método Exponencial</i>	102
5.3 Caracterizar las Plantas Herbáceas y Arbóreas que Brindan Mayor Beneficio Ambiental 104	
5.4 Plantas Ornamentales	113
5.5 Compensación Ambiental del Sistema de Techos Verdes	116
5.6 Diseño Paisajístico de Techo Verde	120

	9
6. Capítulo 3 Estudio Económico	120
6.1 Cálculo de Costos Promedio	121
6.1.1 Costos de Materiales.....	121
6.1.2 Costos Mano de Obra	123
6.1.3 Costo Total del Proyecto.....	125
6.2 Tiempo Estimado Constructivo	126
6.2.1 Fases del Proyecto.....	127
6.3 Cronograma de Actividades	128
6.4 Disponibilidad de Recursos Financieros	128
6.4.1 Fuente de Financiación Propia	128
6.4.2 Fuentes Nacionales de Financiación	129
6.4.3 Fuente Internacionales de Financiación	130
6.5 Viabilidad Financiera del Proyecto.....	130
6.6 Ahorro en Costos por Emisiones de CO ₂	131
6.7 Ahorro por Reutilización de Agua Lluvia.....	132
6.8 Relación Costo-Beneficio.....	133
7. Conclusiones.....	134
8. Recomendaciones	135
9. Referencias	136

Lista de Figuras

Figura 1 Componentes de un techo verde	26
Figura 2 Gráfico de cubierta vegetal biodiversa	29
Figura 3 Tamaño de Plantas que puede soportar cada sistema de techos verdes y características	31
Figura 4 Localización de la Sede Bosa Porvenir.....	33
Figura 5 Organigrama General de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas.....	34
Figura 6 Sistema de gestión ambiental de la UDFJC.....	34
Figura 7 Planos de la Azotea Primer Bloque, Laboratorios	43
Figura 9 Extractores de Aire	44
Figura 8 Acceso Principal a la Azotea del Bloque 1.....	44

	10
Figura 10 <i>Salida de Emergencia en Azotea</i>	44
Figura 11 <i>Extractores de aire y panel solar</i>	44
Figura 12 <i>Área vacía y con claraboyas</i>	44
Figura 13 <i>Lámparas Tecno Lite Mini Poste LED</i>	45
Figura 14 <i>Plano de la Azotea del Segundo Bloque, Bloque Académico</i>	48
Figura 15 <i>Acceso principal a Azotea segundo Bloque</i>	48
Figura 16 <i>Salidas de emergencias de la Azotea en el Segundo Bloque</i>	49
Figura 17 <i>Claraboyas en la Azotea en el Segundo Bloque</i>	49
Figura 18 <i>Extractores de aire y Motores de Aire Acondicionado Segundo Bloque</i>	49
Figura 19 <i>Cuarto Técnico en la terraza del segundo bloque</i>	50
Figura 20 <i>Motor de Aire Acondicionado Segundo Bloque y Tanque de Agua Potable</i>	50
Figura 21 <i>Estructuras Protectoras de Tuberías en la Azotea del Segundo Bloque</i>	51
Figura 22 <i>Plano de la azotea del Tercer Bloque, Bloque Administrativo</i>	54
Figura 23 <i>Acceso Principal y Cuarto Técnico en la Tercer Azotea</i>	54
Figura 24 <i>Extractores de Aire en la Tercer Azotea</i>	55
Figura 25 <i>Claraboyas de la Azotea del Tercer Bloque</i>	55
Figura 27 <i>Motores de Aire Acondicionado</i>	56
Figura 26 <i>Plataformas que hacen de claraboyas</i>	56
Figura 28 <i>Rosa de los vientos para el Aeropuerto el Dorado</i>	59
Figura 29 <i>Rosa de los vientos para el Aeropuerto el Dorado</i>	60
Figura 30 <i>Valores Medios Multianuales de Tensión de Vapor para Bogotá (Hp)</i>	62
Figura 31 <i>Marcha anual de la temperatura máxima, mediana y mínima para Bogotá</i>	63
Figura 32 <i>Brillo Solar Anual</i>	64
Figura 33 <i>Brillo solar en Bogotá</i>	65
Figura 34 <i>Precipitación Bogotá</i>	66
Figura 35 <i>Propuesta 1, Laboratorio</i>	74
Figura 36 <i>Propuesta 2, Laboratorio</i>	75
Figura 37 <i>Propuesta 3, Laboratorio</i>	76
Figura 38 <i>Propuesta 1, Bloque Académico</i>	77
Figura 39 <i>Propuesta 2, Bloque Académico</i>	78
Figura 40 <i>Propuesta 3, Bloque Académico</i>	79
Figura 41 <i>Propuesta 1, Bloque Administrativo</i>	80
Figura 42 <i>Propuesta 2, Bloque Administrativo</i>	81
Figura 43 <i>Propuesta 3, Bloque Administrativo</i>	82
Figura 44 <i>Vista a los Alcances y Emisiones a través de la Cadena de Valor de la Institución</i> ...	93
Figura 45 <i>Resultados de Encuesta de Sección Consumo Energético</i>	96
Figura 46 <i>Resultados de Encuesta de Medio de Transporte</i>	97
Figura 47 <i>Resultados de Encuesta de Estilo de vida</i>	98
Figura 48 <i>Formula Método Aritmético</i>	100
Figura 49 <i>Fórmula Método Geométrico</i>	101

	11
Figura 50 <i>Fórmula Método Exponencial</i>	102
Figura 51 <i>Higuera de Hoja estrecha</i>	105
Figura 52 <i>Carbonero</i>	106
Figura 53 <i>Chicalá Amarillo</i>	107
Figura 54 <i>Falso Pimentero</i>	108
Figura 55 <i>Hayuelo</i>	108
Figura 56 <i>Sangregado</i>	109
Figura 57 <i>Abitulon</i>	110
Figura 58 <i>Cayeno o San Joaquín</i>	110
Figura 59 <i>Chilco</i>	111
Figura 60 <i>Mermelada</i>	112
Figura 61 <i>Mortiño</i>	112
Figura 62 <i>Acanto Griego</i>	113
Figura 63 <i>Azucena Blanca</i>	114
Figura 64 <i>Borraja</i>	114
Figura 65 <i>Carretón</i>	115
Figura 66 <i>Lengua de suegra</i>	116
Figura 67 <i>Diagrama de Gantt</i>	128

Lista de Tablas

Tabla 1 Principales características de cada una de las cubiertas verdes	30
Tabla 2 Normatividad Colombiana en el Área de Construcción Sostenible.....	35
Tabla 3 Normatividad Colombiana en el Área de Calidad del Aire	36
Tabla 4 Normatividad Colombiana en el Área de Uso racional del Agua	37
Tabla 5 Áreas de la Primera Terraza y Elementos que la Componen.....	45
Tabla 6 Áreas de la Segunda Terraza y Elementos que la Componen	51
Tabla 7 Áreas de la Tercera Terraza y Elementos que la Componen.	56
Tabla 8 Medidas de las 3 Azoteas de la sede Bosa Porvenir.....	58
Tabla 9 Valores Medios Multianuales de Humedad Relativa en % Promedio desde 1981-2010 .61	61
Tabla 10 Valores medios multianuales de temperatura media en °c - periodo 1981 - 2010.....	63
Tabla 11 Valores medios multianuales de brillo solar diario en horas y décimas - promedio 1981-2010.....	65
Tabla 12 Valores medios multianuales de precipitación total en mm- periodo 1981 - 2010.....	66
Tabla 13 Tecnologías empleadas en Europa específicamente Alemania de Techos Verdes Intensivos.....	67
Tabla 14 Tecnologías empleadas en Estados Unidos de Techos Verdes Intensivos	68
Tabla 15 Tecnologías empleadas en Colombia de Techos Verdes Intensivos	69
Tabla 16 Clasificación de los techos verdes en Bogotá.....	71
Tabla 17 Selección del sistema de techos verdes intensivos	72

	12
Tabla 18 Datos propuesta 1, Laboratorios.....	73
Tabla 19 Datos propuesta 2, Laboratorios.....	74
Tabla 20 Datos propuesta 3, Laboratorios.....	75
Tabla 21 Datos propuesta 1, Bloque Académico.....	77
Tabla 22 Datos propuesta 2, Bloque Académico.....	78
Tabla 23 Datos propuesta 3, Bloque Académico.....	79
Tabla 24 Datos propuesta 1, Bloque Administrativo.....	80
Tabla 25 Datos propuesta 2, Bloque Administrativo.....	81
Tabla 26 Datos propuesta 3, Bloque Administrativo.....	82
Tabla 27 Valoración de importancia del proyecto para la matriz de evaluación técnica.....	83
Tabla 28 Valoración de la inversión económica.....	84
Tabla 29 Valoración del factor normativo.....	84
Tabla 30 Valoración del factor tiempo.....	85
Tabla 31 Rangos de viabilidad para la Evaluación técnica.....	86
Tabla 32 Resultado de Evaluación Técnica.....	86
Tabla 33 Selección del sistema de techos verdes intensivos.....	98
Tabla 34 Integrantes de la Sede Porvenir 2021-3.....	99
Tabla 35 Integrantes de la Sede Porvenir 2018 III.....	103
Tabla 36 Cantidad de C02 que se podría absorbido para 2021.....	119
Tabla 37 Valor de Componentes Estables en el Sistema de Techos Verdes Intensivos.....	121
Tabla 38 Valor de Componentes Activos en el Sistema de Techos Verdes Intensivos.....	122
Tabla 39 Valor de Elementos Auxiliares en el Sistema de Techos Verdes Intensivos.....	123
Tabla 40 Costos de mano de Obra en el proyecto.....	124
Tabla 41 Costos subtotales.....	125
Tabla 42 Otros costos y totalidad.....	125

Anexos

Anexo 1 <i>Matriz de Evaluación Técnica de Propuesta 1</i>	1
Anexo 2 <i>Matriz de Evaluación Técnica de Propuesta 2</i>	3
Anexo 3 <i>Evaluación Técnica Propuesta 3</i>	5
Anexo 4 <i>Diseño final de Laboratorios</i>	8
Anexo 5 <i>Diseño final del Bloque Académico</i>	9
Anexo 6 <i>Diseño final Bloque Administrativo</i>	10
Anexo 8 <i>Leyenda Árboles y Arbustos</i>	11
Anexo 7 <i>Leyenda Plantas Ornamentales</i>	11
Anexo 9 <i>Huella de Carbono</i>	13

Introducción

La contaminación del aire y el cambio climático causados por las actividades humanas ponen en amenaza la salud e impactos de gran magnitud a los ecosistemas explicando así Coelho S. et al, (2020), que en el caso de los países miembros de Europa se han comprometido en reducir la emisiones de gases de efecto invernadero para el año 2030, por lo cual se están optando por medidas que favorezcan la calidad del aire, como lo es el caso de Hamburgo Alemania que para el 2020 cerca de 168 hectáreas de techos verdes fueron implementados como estrategia del Ministerio de Ambiente, Clima, Energía y Agricultura para cumplir con la agenda dando 3 millones de euros hasta finales del 2024.

De esta misma manera el Vicepresidente y Canciller reiteró en el senado en el 2021 el compromiso de Colombia para la reducción de las emisiones CO₂ en el año 2030 convirtiéndose así en un país carbono neutral en el 2050, pero por otro lado las cifras que el órgano internacional Greenpeace ha dado en el 2020 son preocupantes ya que señalan que en Bogotá el 80% de la población vive con déficit de áreas verdes, lo cual significa que de 19 localidades 13 presenta este faltante. Como punto de referencia se tiene que según la Organización Mundial de la Salud como mínimo cada ciudadano debería contar con 10 m² de espacio verde lo que para las localidades se cuentan con 4 a 8 m² por habitante.

Exponiendo lo anterior en la presente monografía se pretende mostrar una alternativa de desarrollo sostenible y reducción de emisiones de gases de efecto invernadero que podría adoptar también la Universidad Distrital Francisco José de Caldas en su sede de Porvenir como centro de desarrollo y educación para la localidad de Bosa en Bogotá. Es por esto que el objetivo de este trabajo es estudiar la viabilidad técnica, económica y ambiental de un proyecto de techos verdes

intensivos adaptado para una posible implementación de manera paisajística en los tres bloques de la sede de la Bosa Porvenir.

Este trabajo pretende ofrecer datos y análisis de la posibilidad de una implementación de techos verdes intensivos porque estos brindan una mayor cercanía a la naturaleza dentro de las ciudades siendo espacios de esparcimiento recreativo, visual, control de lluvias, absorción de gases efecto invernadero y muchos otros beneficios que se encuentran explicados más adelante.

Planteamiento del Problema

El cambio climático es una situación que influye en la toma de decisiones de los países desarrollados y en vías de desarrollo, ya que se ha demostrado que el aumento de temperaturas promedio conllevan a un sin número de alteraciones en las estaciones anuales, con lluvias más intensas, sequías prolongadas, veranos más calientes e inviernos extremos, resultando en pérdidas de vidas, inversión económica en mitigación y adaptación, en problemas de salud por incremento de polución (Rowshon, 2016). Las alteraciones en el clima conlleva también a inseguridad alimentaria para futuras generaciones donde en el 2017 se estimaba que 821 millones de personas se encontraban con problemas de desnutrición lo cual se traduce en más tierras para uso de agricultura y menos para servicios ecológicos (Molotoks, Smith y Dawson, 2021).

Otro factor importante a considerar es la contaminación del aire que se comprende como la principal carga mundial de enfermedades especialmente en países de bajos y medianos ingresos (Benavides & Mojica, 2019). De acuerdo con la Agencia Europea de Medio Ambiente (EEA, por sus siglas en inglés), más del 96 % de la población europea están expuestos a material

particulado y niveles de polvos finos que excede el permitido, adicionalmente de los gases de efecto invernadero liberado en el transporte convencional y fábricas. El calentamiento global ha producido en Estados Unidos entre el 2000 al 2009, alrededor de 14 billones de dólares en vidas perdidas y costos en salud (Patella et al., 2018).

La contaminación del aire se considera proporcional al crecimiento poblacional por muchos autores, pero no siempre es el caso ya que se ha evidenciado en el occidente europeo que se encuentran países con cero o casi nula las emisiones de gases efecto invernadero (GEI) gracias ha inversiones y políticas que favorecen el desarrollo sostenible. Los cambios de la cubierta forestal o natural para uso urbano tiene diferencias geográficas, como en el caso de expansión de tierras en India y África que se debe al crecimiento rápido de la población mientras en China, Norteamérica y Europa es principalmente por el crecimiento del GDP (crecimiento del producto interno, por sus siglas en inglés), (Seto, et al., 2011).

La expansión urbana sin planificación o con poca dirección al desarrollo sostenible urbano tiene un mayor impacto en los sistemas naturales perdiendo su capacidad de absorción de CO₂ por necesidad de la población en cuestión de vivienda, energía, alimentación, infraestructura de bienes y servicios, desplazamiento alargados en sistemas descentralizados entre otros (Valbuena y Tibasosa, 2016). Esto afecta la calidad de vida de la población al no contar con espacios verdes naturales como también la salud, mayor necesidad de recursos, refugiados ambientales que podría llegar a ser alrededor de 150 a 250 millones e incertidumbre para futuras generaciones (Díaz, 2012).

En el caso colombiano vemos que la calidad del medio ambiente se ha deteriorado de una manera acelerada en los últimos 20 años, donde se encuentran alta tasas de deforestación,

ocupación de áreas protegidas, degradación de ecosistemas reguladores de recursos (Páramos y humedales), deterioro de suelos, contaminación hídrica y atmosférica. Sin contar que la calidad del aire en ciudades como Barranquilla, Bogotá, Cali, Medellín y Sogamoso cuentan con niveles que exceden las normas, siendo las emisiones principales de material particulado, óxidos de azufre y óxidos de nitrógeno que son generados por diferentes industrias (Sánchez, 2002).

Dando como un punto de referencia, en Bogotá y Medellín el aire con material particulado ≤ 2.5 micras (PM 2.5) y el black carbon son las causas principales de morbilidad y mortalidad producidos en un 80% por el parque automotor y 90% por combustión diésel siendo el doble determinado por la OMS (Isaza et al., 2019). Otro factor a considerar en la contaminación del aire presente en las principales ciudades de Colombia, son los incendios de áreas forestales localizados en el Amazonas, la Orinoquia y el Caribe, los cuales para el año 2020 con el aislamiento preventivo y reducción en la movilidad no permitió la disipación de material particulado tan rápido como se esperaba (Paz, 2020).

Bogotá al ser la capital del país cuenta con características de desarrollo y crecimiento demográfico particulares, como para dar un recuento histórico para el año 1970 la ciudad tuvo una inmigración del 49% a su población, en 1993 la densidad promedio era de 130 hab/ha y en la actualidad ya Bogotá cuenta con alrededor 7'200.000 habitantes (DANE, 2018) y tiene una escala metropolitana implicando municipios como Soacha, Chía, Madrid entre otros. Esto hace que el uso del suelo cambie de ser natural o de agricultura a usos de vivienda e infraestructura (Derau, 2015). Bogotá para el año 2020 según la secretaria de planeación contaba con un índice de Gini de 0.504, lo que significa segregación económica en el espacio, desigualdad y pobreza multidimensional lo cual hace difícil la sostenibilidad (Jiménez & González 2013).

Estas condiciones llevan a que la ciudad cuente con pocos espacios verdes dentro de la zonas urbanas con alta densidad poblacional y baja calidad del aire en general, acorde a Gaitán et al, el PM10 se excede por encima del 40% de los días del año lo cual duplica el límite aconsejado por la EPA y la OMS (2007, p.11). Se ha logrado determinado que los principales responsables de la contaminación del aire es la industria aportando aproximadamente el 60% y las fuentes móviles in 40% (Rojas & Néstor, 2007), pero la que afecta más directamente a la población como peatones ciclistas y conductores, son las fuentes móviles por su cercanía siendo también las causales del 60% del PM10 (Segura & Franco, 2015).

La localidad de Bosa cuenta con 753.496 habitantes (SIS, 2018) lo que significa que acorde a la OMS ya debería tener un sistema propio de monitoreo pero aún se deben tomar datos de las estaciones de Carvajal y Kennedy para tener un estimado. Estas han mostrado altos niveles de contaminación donde alrededor de un 48,3 % de la población afirman que la calidad del aire en su barrio es mala, el 44 % es baja y un 7.7% dice que es buena (Muños, 2017). Entre el año 2009 y 2004 Ortegón Pinilla, señala que en esta localidad de las 10.629 muertes el 24,76% fueron a causas de enfermedades cardiopulmonares asociadas a exposición de concentración de contaminantes (2018 p.1).

En un estudio de la cámara de comercio de inversión, se encontró que hay deficiencias en educación, gran tamaño de familia, hacinamiento, poca disponibilidad de espacios verdes y largos trayectos del trayecto para la cumplir con las actividades diaria lo cual significa mayor susceptibilidad a los impactos ambientales y menor calidad de vida comparado al promedio de la ciudad (2011, p.2). Según la alcaldía local de Bosa en el sector fluyen cuencas del río Tunjuelito y río Bogotá cuya cobertura vegetal nativa se encuentra deteriorada lo cual es un aspecto

negativo en el momento de adaptarse al cambio climático, equilibrio de ecosistemas y conservación paisajística, todo esto causado por disposición de escombros y residuos sólidos, quemas, asentamientos humanos, consumo de drogas en otras problemáticas (2017).

Teniendo en cuenta los problemas de contaminación del aire, deterioro paisajístico y cambio climático surge la siguiente pregunta de investigación: ¿Qué tan factible en los componentes técnico, ambiental y económico es un sistema de techos verdes con especímenes arbóreos nativos en los tres bloques de la universidad distrital sede Bosa Porvenir?

Justificación

La necesidad de hacer un estudio de factibilidad de techos verdes surge al evidenciar la contaminación del aire que afronta la ciudad de Bogotá, los pocos espacios verdes que se encuentra en el área urbana en especial zonas de menor estrato económico y densidad poblacional que fomentan a enfermedades cardiorrespiratorias, sumado a esto la creciente población flotante académica de la universidad distrital Francisco José de Caldas sede Porvenir que genera un aumento en la huella de carbono en sus actividades diarias. Por ende como parte del desarrollo integral en el programa de Tecnología en Gestión Ambiental y Servicios Públicos se encuentra de gran importancia brindar las bases teóricas y análisis de un sistema que puede ayudar a escala local para la mitigación y adaptación del cambio climático.

La implementación de techos verdes en nuevas construcciones hacen parte de la política de países desarrollados como Alemania, Francia entre otros, siendo leyes que propician el desarrollo sostenible y sirven de camino a seguir por Colombia donde la secretaría distrital de ambiente en la guía para techos verdes una piel natural para Bogotá fomenta toma una

perspectiva eco urbanística. Por lo tanto la sede Porvenir al ser el epicentro de desarrollo académico y cultural de Bosa puede ser un promotor de estas iniciativas.

Las tecnologías de techos verdes se han venido desarrollando por más de 50 años (López, M. 2010) ya siendo variadas según su magnitud y complejidad, observándose sistemas con plantas gramíneas o con bajo requerimiento de mantenimiento las cuales se pueden implementar en tejados sin refuerzo, casas antiguas o techos de poco acceso a sistemas que pueden contener un gran peso estructural pero que puede albergar mayor variedad de especies como árboles, plantas decorativas y plantas para consumo humano donde es fácil el acceso para el esparcimiento. Esto hace que un proyecto de techos verdes sea atractivo para la sede Porvenir como medio de reducir la huella de carbono producida.

La investigación aporta datos, esquemas, tecnologías e información importante acerca de un sistema intensivo de techos verdes con especímenes arbóreos el cual ha sido poco investigado o poco implementado en instituciones académicas de Bogotá como alternativa para la reducción de la huella de carbono combatiendo activamente el cambio climático y fortaleciendo la educación ambiental empleando sistemas que apoya al desarrollo sostenible. Este proyecto beneficiará a todo aquel interesado en sistemas de techos verdes intensivos y a la población académica de la sede porvenir que deseen tomar la propuesta como base para la implementación del sistema de techos verdes.

Los beneficios de un proyecto ambiental de esta índole se relacionan con, la producción de oxígeno, sumidero de carbono, reducción de isla de calor, confort térmico, reducción de huella de carbono, control de lluvias, educación ambiental entre muchos más. (Rhodes, M. 2012).

1. Objetivos

1.1 Objetivo General

Realizar un estudio de factibilidad técnico, ambiental y económico de un sistema de techos verdes con árboles y capa vegetal en la Universidad Francisco José de Caldas sede Bosa Porvenir.

1.2 Objetivos Específicos

- Identificar la tecnología más apropiada para el sistema de techos verdes intensivos según la arquitectura de las azoteas de los tres bloques de la Universidad Distrital Sede Bosa Porvenir.
- Caracterizar las plantas herbáceas y arbóreas que brindan mayor beneficio ambiental para proyectar paisajísticamente los techos verdes en la sede Porvenir.
- Analizar la factibilidad económica del sistema de techos verdes seleccionado para su elaboración en la sede.

2. Marcos Referenciales

2.1 Antecedentes

En este apartado se presentará cortamente diferentes investigaciones en el campo internacional, nacional y local acerca de la problemática planteada de la factibilidad de techo verdes como estrategia para la adaptación y mitigación del cambio climático.

2.1.1 Nivel Internacional

(López, M. 2010) en su trabajo de investigación, *Un acercamiento a las cubiertas verdes* expone que en Alemania desde 1960 se viene implementando sistemas de techos verdes siendo el precursor de esta práctica y probablemente hoy en día el más avanzado en el área de techos verdes. Este país generó la primera guía técnica más completa y comprensible para la planeación, ejecución y mantenimiento de los techos verdes en el año 1998 por la FLL (Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau), una organización de paisajismo de este país.

Alemania desde los 80 ha tenido una expansión rápida en la implementación de estas tecnologías verdes pasando de un millón a diez millones de metros cuadrados con estas cubiertas gracias al estímulo de la legislación y estímulos de los estados federados inspirando a otros países europeos que llevan desarrollando la tecnología desde hace 50 años.

La ingeniera ambiental López concluyó que los beneficios ambientales que suministran los techos verdes son múltiples tanto para el sector privado como público ya que mejora la calidad de vida de las ciudades, siempre y cuando se cumplan con las especificaciones técnicas necesarias.

(Goud, R. et al., 2018) en su artículo de investigación, *Bosque vertical en residencial comercial de varios pisos para eliminar la contaminación por método hidropónico*, hace referencia al proyecto realizado en Milán, Italia por el arquitecto Stefano Boeri el cual consiste en dos torres residenciales una de 85 y otra de 117 metros con balcones voladizos donde se plantaron diferentes especies de plantas. El objetivo de este proyecto fue replicar una hectárea de bosque en el edificio para reducir el ruido de la ciudad, purificación del aire, sistema natural de

calefacción y mejora estética, donde se utilizaron cerca de 20.000 especímenes de árboles y arbustos incluidos 700 árboles de más de 6 metros de altura.

En el artículo se expone que el sustrato utilizado en el proceso de siembra conlleva a un mayor peso a la estructura del edificio y se propone el método Hidropónico basado en la hidro cultura que es hacer plantaciones utilizando solamente soluciones de nutriente mineral en el agua ya que las plantas terrestres al estar expuestas sus raíces y minerales puede permitir el normal crecimiento. Como conclusión se determinó que la utilización del método hidropónico es útil para hacer crecer plantas a pequeña escala y para plantas que pueden ser fuente de alimento para facilitar la seguridad alimentaria y mejora de la calidad del aire.

2.1.2 Nivel Nacional

(Rhodes, M. 2012) en su tesis *Implementación de un modelo de techo verde y su beneficio térmico en un hogar de Honda, Tolima (Colombia) para optar a título de ecólogo en la universidad Javeriana*, realizó un trabajo experimental en una casa de Honda en el cual utilizó un tipo de sistema indirecto con guaduas como recipientes para aumentar el confort térmico observándose una disminución de la temperatura de 0,52°C a 0,94° C dependiendo la hora del día y el techo disminuyó en promedio su temperatura de 5,82°C a 12,29 ° C demostrando así uno de sus beneficios el cual es de regulación de temperatura, disminución de efecto reflector de los tejados y económicamente no se requiere gran cantidad de presupuesto para llevar a cabo alternativas básicas para el desarrollo sostenible.

(Zielenski, S., et al., 2012) en su estudio de factibilidad publicado en la revista gestión y ambiente, *Techos verdes: ¿Una herramienta viable para la gestión ambiental en el sector hotelero del rodadero, Santa Marta?* En su metodología utilizaron esencialmente información

secundaria y entrevistas para el desarrollo de la investigación teniendo en cuenta los resultados en estudios de techos verdes de diferentes países con condiciones similares a Colombia como lo son casos de estudio en Australia y el sur de España. En el estudio se tomaron los planos y materiales de los techos para seleccionar los que serían aptos para implementar techos verdes y se obtuvo que la factibilidad para la implementación del sistema son, económicos, naturales, psicológicos y normativos.

En conclusión los techos verdes pueden ser una herramienta viable para la gestión ambiental ya que su variedad de beneficios van desde retención de aguas lluvia, ahorro de energía, filtración de partículas contaminantes en el aire, producción de oxígeno, beneficios psicológicos y sociales. En contraparte el alto costo y largo tiempo de recuperación de la inversión son poco atractivos para los dueños de la edificación ya que pueden verse mayores beneficios después de 10 años.

2.1.3 Nivel Local

(Mosquera J, y Solano L. 2018) en su tesis de *Diseño de modelo para techos verdes en dirección a la compensación de dióxido de carbono (co2), generado por los vehículos particulares que visitan la zona rosa de Bogotá D.C.*, de la universidad libre para optar al título de ingeniero ambiental realizaron un diagnóstico de las áreas adecuadas y estimación de gases de efecto invernadero producido por los vehículos que transitan en la zona establecida utilizando una metodología mixta entre cuantitativa y cualitativa abordando dos tipos de investigación siendo descriptiva y explicativa. En el estudio se llegó a la conclusión de que la implementación de techos verdes puede lograr una disminución de un 40% de los gases liberados por los vehículos y que en las edificaciones de 11.110,4 m² dentro de Bogotá solo es posible utilizar un 45.2 % del área por falta de planeación a tecnologías verdes.

(Valbuena S, y Tibasosa A. 2016) realizaron su trabajo de grado, *Estudio de pre-factibilidad técnica, ambiental y económica para la implementación de terrazas verdes en el centro empresarial la castellana de Bogotá*, para optar por el título de administrador ambiental redactaron un análisis de costo-beneficio y los impactos ambientales que pueden tener la implementación de techos verdes dentro del complejo empresarial utilizando una metodología estudio de caso ya que describe las condiciones actuales de las terrazas verdes en Bogotá. Donde se llegó a la conclusión de que un sistema de techos verdes puede disminuir el consumo energético en sistemas de calefacción, en su parte técnica el estudio estructural y de diseño juegan una parte crucial ya para dar cumplimiento económico se encontró que en proporción a inversión en terraza verde se puede ver un retorno en beneficio a plazo de 3 años.

Observando en los trabajos aplicativos y de estudio se encuentran múltiples beneficios en la implementación de techos verdes en edificaciones tanto de gran espacio como en las de pequeña área y de menos resistencias en su tejado ya que según sea el área de estudio se pueden implementar diferentes tipos de tecnologías y a veces puedes ser de condición mixta pero siendo más concreto los ejes importantes son los técnicos, ambientales y económicos ya que de esto depende el éxito de los proyectos ambientales.

2.2 Marco Conceptual

2.2.1 Techos Verdes

Se definen como una capa vegetal sobre un sistema a prueba de agua y anti raíces en la cubierta de una edificación (US National Park), los cuales proveen beneficios ecológicos, económicos y sociales en el manejo de aguas lluvias, conservación de energía, aislación del ruido, mejoramiento de calidad del aire, incremento en biodiversidad urbana y ofrece mayor estándar de calidad de vida por espacios verdes (Ramírez y Bolaños, 2012).

Existen dos formas principales de techos verdes diferenciadas por la cantidad de vegetación en ellos y mantenimiento, las cuales son techos verdes extensivos e intensivos los cuales cuentan con variaciones según uso (Caba, 2018). Vale recalcar que los jardines verticales y techos verdes no es nada nuevo ya que estos han sido práctica de construcción desde hace miles de años.

Algunos ejemplos de techos verdes son, los jardines colgantes en Babilonia obra de paisajismo de gran esplendor en su tiempo, también en Roma se usaron en áreas urbanas densamente pobladas donde colocaban árboles en la parte superior de las edificaciones. En el siglo XVIII Francia usaba los techos verdes para mejoramiento paisajístico pero otros países como México lo usaron debido a que son excelentes protectores del clima, cuentan con cualidades aislantes con el piso y pared; el césped en clima frio ayuda a retener el calor en edificios, y en climas cálidos mantiene el calor afuera haciendo más fresco el interior. (CMHC, 1999).

2.2.2 Componentes de un Techo Verde

En la figura 1 se pueden observar gráficamente cada uno de los componentes de un techo verde donde la función de cada capa o sección del sistema se entiende de la siguiente manera:

- **Soporte Base.** Sirve para el apoyo de todos los componentes.
- **Membrana impermeabilizante anti-raíz.** Inhibe el crecimiento radical de las especies vegetales.
- **Capa Drenante.** Su función es recibir las precipitaciones y conducir las hacia los desagües de la cubierta. También puede servir como almacén de agua.
- **Capa Filtrante.** Evitar el paso de las partículas finas del sustrato hacia la capa drenante.

- **Capa de Substrato.** Tiene como función servir de soporte físico a la capa de vegetación, suministrando los nutrientes, el agua y el oxígeno necesarios.
- **Capa de Vegetación.** La selección de especies vegetales depende del sistema de naturación elegido.

Figura 1

Componentes de un techo verde



Nota. Tomado del estudio de García L, 2010 sobre los beneficios de los sistemas de naturación en las edificaciones.

2.2.3 Factores Determinantes de una Correcta Selección de Especies Vegetales en un Techo Verde

Antes de comenzar con la implantación de cualquier cubierta vegetada se ha de conocer las clases existentes para seleccionar la más adecuada en cada caso; ya que el diseño, la construcción, el mantenimiento y la evolución del tejado estarán supeditados a la clase de tejado que se vaya a implantar.

Tradicionalmente las cubiertas vegetadas se clasificaban en tres tipos diferentes en función de la profundidad del sustrato y de los requerimientos de mantenimiento: Intensivas, Semi-intensivas y Extensivas, además se encuentran las Biodiversas que son menos comunes.

Entrando a lo específico estas cubiertas cuentan con factores determinantes en la selección de especies que en concordancia con la secretaria Distrital son los siguientes tres:

- El tipo de techo verde y su propósito principal.
- Las condiciones climáticas.
- La Biota local que hace parte de la estructura ecológica del lugar donde se localiza el inmueble a intervenir.

Acá se precisan las características que debe tener la cobertura vegetal dependiendo del tipo de techo verde según secretaria Distrital de Ambiente (2011). Los techos verdes en Bogotá se clasifican de acuerdo:

- Su propósito principal y grado de seguimiento pos instalación requerido.
- El grado de robustez del sistema empleado en función del porte y los requerimientos de la vegetación empleada y del peso del sistema en estado saturado.

2.2.4 Esquema de los Componentes de un Sistema Típico de Naturación en Cubiertas

Para saber que materiales se requiere para el diseño de la obra se tiene en cuenta los componentes que la Guía de infraestructura vegetada ofrecida por la secretaria de ambiente de Bogotá donde se encuentran la siguiente clasificación:

- **Componentes Activos.** Se le llaman activos porque estos están predispuestos a cambios fisicoquímicos en su medio durante la vida útil del sistema de techos verdes y soportan la vida del medio natural. De esta manera es compuesta por la cobertura vegetal que cubre el espacio destinado a ser reverdecido y su medio de crecimiento que sería el sustrato que proporciona estos nutrientes requerido para el buen desarrollo de las plantas.

- **Componentes Estables.** Son los elementos que se encargan de mantener las condiciones adecuadas para que se mantengan los parámetros fisicoquímicos del sistema durante su vida útil. Estas son las membranas de impermeabilización, barreras anti raíces, barreras filtrantes, losetas medios de drenaje y elementos del sistema de irrigación.

- **Elementos Auxiliares.** Son todos los artefactos los cuales si se modifican no afectarán la estructura de techos verdes o la terraza. Sus funciones pueden variar desde separación, confinamiento, protección de agua, tránsito, riego, iluminación y mantenimiento entre otros.

- **Cobertura vegetal.** La cobertura vegetal es el componente más activo del techo verde, y está conformado principalmente por el conjunto de especies vegetales que conforman la capa superior del sistema. El objetivo principal de todo techo verde es propiciar las condiciones necesarias para mantener esta cobertura viva y sana durante el ciclo de vida útil del techo o pared verde, una selección adecuada de componentes activos debe propiciar las condiciones para que la cobertura vegetal pueda adaptarse sosteniblemente a dichos cambios medio ambientales.

Secretaría Distrital de Ambiente (2011)

2.2.5 Tipos de Techos Verdes

- **Techos verdes Intensivos.** Este sistema es caracterizado por su variedad de vegetación desde plantas herbáceas a árboles pequeños con mantenimiento constante, nutrientes y sistema de irrigación especial. La profundidad media es de 15 cm o mayor, los cuales ofrecen gran potencial para el diseño paisajístico y biodiversidad sobre ellos (Green roof technology).

- **Techos Verdes Extensivos.** Se entiende como una alternativa ecológica para protección de superficies convencionales como grava y adoquines. Estos son ligeros y contienen plantas herbáceas, especies de Sedum y algunos pastos. Después de que se establece la vegetación

requiere mínimo mantenimiento ya que las plantas por procesos naturales buscan el auto mantenimiento, este sistema puede ser 12 cm o menor (Zinco, 2021).

- **Techos Semi Intensivos.** Este sistema requiere una capa de sustrato más gruesa que la de los extensivos pero ofrece mayor variedad en las plantas ya que se puede sembrar plantas florales, pastos más grandes y pequeños arbustos. El techo semi intensivo requiere un poco más mantenimiento ya que las plantas requieren irrigación, fertilización y poda, su profundidad oscila entre 12 - 25 cm (archtoolbox, 2021).

- **Techos Biodiversos.** Su implementación tiene como propósito atraer diferentes especies de aves e insectos con el uso de plantas seleccionadas cuidadosamente para generar un micro ecosistema, este requiere poco mantenimiento y su profundidad de sustrato es normalmente de 15 cm (Abellán, 2013), en la figura número 2 se puede observar su propósito gráficamente.

Figura 2

Gráfico de cubierta vegetal biodiversa



Nota. La figura muestra el micro ecosistema que se puede lograr a base de una cubierta vegetal biodiversa, tomado de Abellán, A. 2013.

En la tabla 1 se presentan las características de forma visual de los atributos de las tecnologías más comunes y ampliamente usadas en el mundo.

Tabla 1

Principales características de cada una de las cubiertas verdes

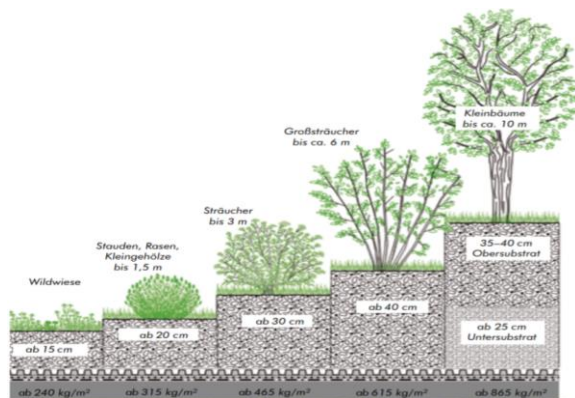
Características	Extensivas	Semi- intensivas	Intensivas
Mantenimiento	Bajo	Periódico	Alto
Riego	No	Periódico	Regular
Comunidades de plantas	Sedum, musgos, herbáceas y césped	Césped, herbáceas y matorrales	Césped, plantas perennes, arbustos y árboles
Altura del sistema	60 – 200 mm	120 – 250 mm	150 – 400 mm. Sobre garajes subterráneos puede ser de más de un metro
Peso	60 – 150 kg/m ²	120 – 200 kg/m ²	180 – 500 kg/m ²
Costes	Bajo	Medio	Alto
Uso	Capa de protección ecológica. Elemento de drenaje urbano	Capa de protección ecológica, uso recreativo. Elemento de drenaje urbano	Uso recreativo. Elemento paisajístico y de drenaje urbano.

Nota. Esta información fue recopilada de Abellán, A. 2013 y adaptada por los autores de la presente monografía.

En la figura 3 podemos observar el espesor del sustrato, el tamaño de las plantas que son capaces de sostener y su altura, junto al peso de la estructura de cada tecnología de techos verdes.

Figura 3

Tamaño de Plantas que puede soportar cada sistema de techos verdes y características



Nota. En la imagen se muestra la pradera silvestre, plantas perennes, césped, pequeñas plantas leñosas, arbustos, arbustos grandes y pequeños árboles de hasta 10 metros. El autor es ZinCo, pg.15.

2.2.6 Construcción Sostenible de la Arquitectura y el Hábitat

El motivo central que proponemos como meta para perseguir la sostenibilidad de la construcción es muy sencillo: resolver los problemas de hoy pensando en mañana. Recordemos que buena parte de nuestros problemas actuales: la pobreza, el decaimiento de las ciudades, los barrios urbanos, son resultado de decisiones, acciones y en buena parte omisiones, emprendidas por generaciones anteriores para resolver los problemas de aquel momento sin pensar demasiado en un mañana que ahora es nuestro. Con lo anterior de acuerdo con Acosta (2009), la ocupación indiscriminada del espacio agota los recursos, destruye el paisaje y aumenta la vulnerabilidad de nuestros asentamientos humanos. Los deslaves y las continuas emergencias por deslizamientos y desbordamientos de quebradas en las zonas de barrios, constituyen un ejemplo claro del impacto de la construcción en el ambiente.

Por ende, se debe hacer un enfoque prospectivo donde nuestra comunidad haga un cambio hacia una construcción sostenible la cual sea rentable a largo plazo y no afectemos las futuras generaciones.

2.2.7 Urbanismo ecológico

Acorde con la secretaría de ambiente, el eco urbanismo tiene un significado muy similar al desarrollo sostenible que pretende satisfacer las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer las suyas. Secretaria Distrital de Ambiente (2011)

2.2.8 Huella de carbón

Es una estimación del total de emisiones de gases efecto invernadero medido en toneladas de dióxido de carbono equivalentes producido en actividades diarias ya sea de forma individual como colectiva en la producción de bienes o servicios (Wiedmann y Minx,2007)

2.2.9 Gases Efecto Invernadero (GEI)

De acuerdo a la EPA,2018 (United States Environmental Protection Agency), son gases que atrapan el calor en la atmósfera como lo son en Dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O) y gases fluorados, todos producidos por actividades humanas y procesos naturales, los cuales aumentan el cambio climático.

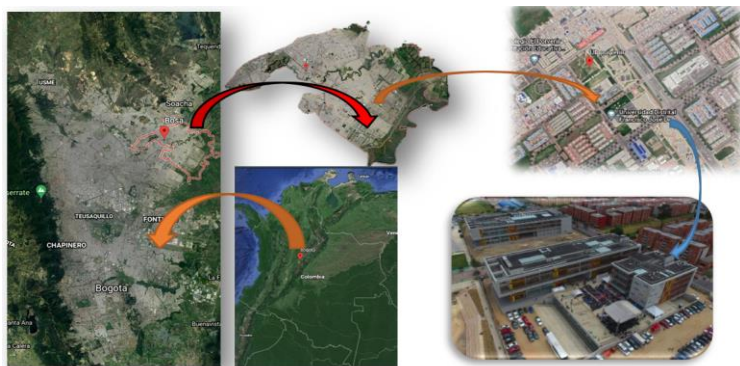
2.3 Marco Geográfico

La sede Bosa Porvenir de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas se encuentra ubicada en la Calle 52 Sur # 92A – 45. Al sur occidente de Bogotá Distrito Capital, en el barrio El Porvenir, de la localidad de Bosa, esta se ve mejor representada en la figura 4.

Ubicación: Latitud 4° 38' 12-52" N; Longitud -74° 11' 8.54"

Figura 4

Localización de la Sede Bosa Porvenir



Nota. Aquí se presenta la ubicación del estudio desde lo macro a lo micro usando google maps, la autoría es propia 2020.

2.4 Marco Institucional

La Universidad Distrital Francisco José de Caldas (UDFJC) tiene como objetivo principal ser una institución de educación tecnológica, universitaria y de postgrado de carácter público que busca ofrecer acceso a la educación superior de calidad a los colombianos cuya creación fue en 1950.

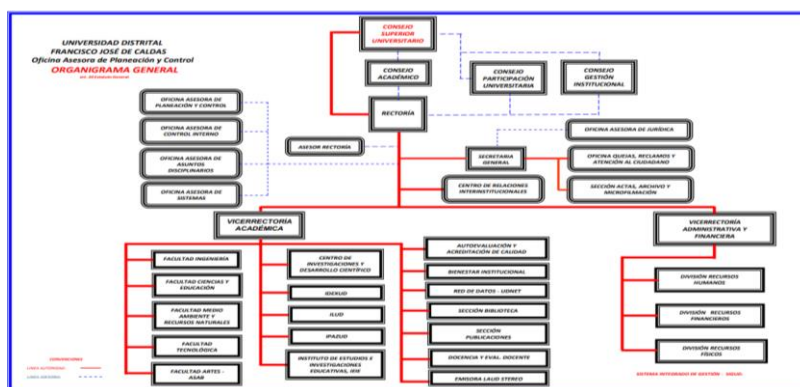
La facultad donde se realizó la propuesta fue la de Medio Ambiente y Recursos Naturales construida 1994 para los programas Ingeniería Forestal, tecnología en Gestión Ambiental y Servicios Públicos, y topografía. Su misión y visión consiste en contribuir al país con recursos humanos profesionales que generen proyectos ambientales seguros, investigación y desarrollo económico sostenible para mejorar el estado actual del medio ambiente colombiano por medio del sector público y privado.

El espacio físico donde se planteó el proyecto es en Sede Porvenir que cuenta con 3 bloques sumando aproximadamente de 28.374 m², cada bloque cuenta con 4 pisos y la azotea,

en el primer edificio cuenta con parqueadero, aulas grupales, aulas de sistemas, laboratorios y la plazoleta principal para los estudiantes, en el segundo bloque encontramos parqueadero, aulas magistrales, hemeroteca, biblioteca, oficinas administrativas y área verde, entre otros. Su capacidad se acerca a 6 mil estudiantes. Para entender la división administrativa y el sistema de gestión se muestra gráficamente en la figura 5 y 6 respectivamente.

Figura 5

Organigrama General de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas



Nota. En la imagen se presenta el orden administrativo dentro de la universidad. Recopilado de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, 2021.

Figura 6

Sistema de gestión ambiental de la UDFJC



Nota. En la mapa conceptual se presenta como se encuentra estructurado el sistema de gestión ambiental de la universidad fuente: Autores, 2021.

2.5 Marco Normativo

En las tablas 2, 3 y 4 se presenta la normatividad e iniciativas legales que fomentan el desarrollo sostenible y contemplan áreas importantes en un estudio de techos verdes en Colombia.

Tabla 2

Normatividad Colombiana en el Área de Construcción Sostenible

Normas	Emisor	Descripción
Constitución Política de 1991	El Pueblo de Colombia	Capítulo 3. De los derechos colectivos y del ambiente. Artículos 79, 80 y 82.
Ley 99 de 1993	El Congreso de Colombia	Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA, y se dictan otras disposiciones.
Decreto 2811 de 1997	El Presidente de la República de Colombia	Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente. Artículos 7, 196, 302 y 304.
Acuerdo 418 de 2009	El Concejo de Bogotá	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.
Resolución 6423 de 2011	La Secretaría Distrital de Ambiente	Por medio de la cual se adopta la Guía Técnica de Techos Verdes.

Resolución 3654 de 2014	La Secretaría Distrital de Ambiente	Por la cual se establece el programa de reconocimiento -BOGOTÁ CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE-”, y se deroga la resolución 5926 de 2011.
-------------------------	-------------------------------------	---

Nota. Autores, 2021.

Tabla 3

Normatividad Colombiana en el Área de Calidad del Aire

Normas	Emisor	Descripción
CONPES 3550 de 2008	Departamento Nacional de Planeación	Trata sobre la Salud Ambiental, con énfasis en los componentes de calidad de aire, calidad de agua y seguridad química.
Acuerdo 391 de 2009	El Concejo de Bogotá	Por medio del cual se dictan lineamientos para la formulación del Plan Distrital de Mitigación y Adaptación al cambio climático y se dictan otras disposiciones.
Decreto 98 de 2011	La Alcaldía Mayor de Bogotá	Por el cual se adopta el Plan Decenal de Descontaminación del Aire para Bogotá.
Resolución 2254 de 2017	Ministerio de Ambiente	Por la cual se adopta la norma de calidad del aire y se dictan otras disposiciones. Art. 10 y Art 19 de concentración de material particulado e índice de calidad del aire.
CONPES 3943 de 2018	Departamento Nacional de Planeación	Conocida como Política para el Mejoramiento de la calidad del aire la cual busca reducir las emisiones contaminantes del aire e incentiva la implementación de estrategias para la mejora del aire.

Nota. Autores, 2021.

Tabla 4

Normatividad Colombiana en el Área de Uso racional del Agua

Norma	Emisor	Descripción
Ley 373 de 1997	El Congreso de Colombia	Por la cual se aprueba el Plan Nacional de Desarrollo 2003-2006, hacia un Estado comunitario. Art. 5, del reuso del agua obligatorio y Art. 9, uso de aguas lluvias en edificaciones nuevas.
Decreto 3930 de 2010	El Presidente de la República de Colombia	Trata sobre los usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones. Art.24, Prohibición de vertimientos de aguas lluvias a alcantarillados.
Decreto 1207 de 2014	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Por la cual se adoptan disposiciones relacionadas con el uso de aguas residuales tratadas.
Proyecto de Ley 48 de 2017	Senado	Por medio de la cual se dictan normas para implementar e incentivar sistemas de recolección, tratamiento y aprovechamiento de aguas lluvias y de captación de energía solar y se dictan otras disposiciones.

Nota. Autores, 2021.

3. Metodología

3.1 Enfoque Metodológico

En el presente proyecto se empleó el enfoque cualitativo para dar cumplimiento al objetivo general y objetivos específicos ya que según Sampieri, Fernández y Baptista (2010), este tipo de investigación se basa en la recolección y análisis de datos, los cuales siguen un

proceso inductivo por medio de la exploración y descripción de una situación que va de lo particular a lo general. Esto se ajusta al proyecto ya que se tomó información de proyectos de implementación realizados nacional e internacionalmente, los estudios acerca de los beneficios de techos verdes, trabajos de grados donde se analizan la factibilidad y artículos relacionados, con fin de realizar un diseño de techos verdes y analizar su factibilidad.

3.2 Diseño Metodológico

El estudio de caso según Rovira (2021), se entiende como un proceso de indagación, búsqueda de información y análisis sistemático de fenómenos únicos de los que se requiere más información o es de interés de investigación, y sus propiedades diferenciadoras son de carácter particularistas, descriptivos, heurísticos e inductivos. Esta base metodología fue aplicada debido a que mediante la recopilación de información secundaria y primaria, descripción de las condiciones físicas, económicas y ambientales de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas sede Porvenir en Bosa, se puede dar un mayor grado de confiabilidad al estudio de factibilidad de techos verdes intensivos mediante el análisis de cada uno de los componentes mencionados.

3.3 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Información

3.3.1 Revisión Documental

En esta parte se realizó la búsqueda de información bibliográfica, levantamiento de información primaria y secundaria: Como principales fuentes de revisión bibliográfica se utilizó datos de los trabajos de grados de diferentes universidades tanto nacionales como internacionales junto a la guía de techos verdes de la secretaría distrital de ambiente y empresas internacionales en la área de construcción de techos verdes.

En cuanto a las guías para los techos verdes se buscaron documentos acerca de estudios sobre factibilidad técnica y económica que ha tenido la influencia sobre los techos verdes en edificaciones con condiciones similares en cuanto a clima, estructura, tipo de plantas, entre otras correspondientes a la universidad Distrital Francisco José de Caldas.

3.3.2 *Recolección y Análisis de la información*

Se realizó una encuesta de opción múltiple donde la población estudiantil de la universidad Distrital sede Bosa tenían una serie de opciones para escoger una sola respuesta en cada pregunta con el fin de proporcionar datos para el cálculo de la huella de carbono. Para ello se utilizó la herramienta virtual de Formularios de google en el cual se diseñó la encuesta y se distribuye el enlace a los estudiantes de la universidad a través de grupos en WhatsApp.

- **AutoCAD.** A través de este programa se hallaron las dimensiones de las terrazas de la sede Porvenir, se hizo la interpretación de los planos y también se hicieron los diseños de los techos verdes.
- **Cálculo de huella:** Se utilizaron tres herramientas para el cálculo de la huella verde gratuitas de carácter público online, las cuales son, Huella de Ciudades, CO2CERO Huella de Carbono, y Parque Arvi Huella de carbono.
- **Observación directa:** Se realizó visita técnica con fin de analizar las áreas disponibles para hacer el diseño de techos verdes, registro fotográfico y reconocimiento del estado de las azoteas.

3.4 Fases Metodológicas

3.4.1 Fase No 1. Recopilación de información preliminar y análisis de tecnologías de techos verdes intensivos.

En esta etapa se buscó obtener la mayor cantidad de información disponible de las áreas adecuadas para la implementación de los techos verdes, el tipo de tecnología indicada y materiales. Esto se llevó a cabo mediante una visita técnica a las azoteas de las tres plantas educativas, revisión de planos estructurales, registros fotográficos, consulta de fuentes primarias y secundarias.

3.4.2 Fase No 2. Selección de capa vegetal y diseño paisajístico.

En esta fase se caracterizó las especies arbóreas y herbáceas que se podrían adecuar al sistema de techos verdes intensivos haciendo un diseño paisajístico que se ajuste a las condiciones existentes de las terrazas en los tres bloques. Se realizó una investigación de las plantas que la secretaría de ambiente ha preestablecido en la guía para techos verdes y otros recursos para diseño paisajístico junto a fichas técnicas de cada especie para así mismo escoger las más apropiadas para las condiciones climáticas de Bogotá y la localidad de Bosa.

Adicionalmente se estimó el beneficio ambiental por medio de un análisis de la huella de carbono el cual se llevó a cabo con el conocimiento de la cantidad de estudiantes activos en la sede provenir y proyecciones estadísticas junto al promedio de emisiones de gases efecto invernadero en la comunidad educativa de la correspondiente sede, utilizando guías de cálculo de huella de carbono en instituciones para así estimar la compensación ambiental que podría generar los techos verdes y se mostraron los beneficios que aportan los techos verdes intensivos en la sede de Bosa Porvenir.

3.4.3 Fase No 3. Presupuesto y Cronograma.

A este punto se proyectaron costos asociados y tiempos aproximados para la propuesta de ejecución de un proyecto de eco urbanización en la sede Bosa Porvenir. Aquí se tuvo información de proveedores de las tecnologías para techos verdes con el cálculo de costos en materiales y mano de obra tanto especializada como personal requerido para ello, teniendo en cuenta las recomendaciones de la secretaría distrital de ambiente y empresas reconocidas como Sika donde se pudo observar las fichas técnicas de los productos para seleccionar los que soportan mejor los árboles y arbustos.

3.4.4 Fase No. 4. Presentación de la Propuesta.

En esta última etapa se llevó a cabo la presentación de la propuesta de techos verdes por medio del diseño en AutoCAD y se organizó el documento con las normas APA de séptima generación para hacer la correcta presentación de la propuesta.

4. Capítulo 1. Estudio Técnico

4.1 Estado Actual de la Estructura

La Universidad Distrital Francisco José de Caldas inauguró la Sede de Bosa Porvenir el 6 de agosto del 2017, con presencia de altos delegados de la ciudad entre ellos el Dr. Enrique Peñalosa por lo tanto es una edificación que se considera nueva y cuenta con una área construida de 28.374 metros cuadrados lo cual es un punto a favor para llevar a cabo un proyecto de estas cualidades.

Cómo generalidades contamos con que esta sede tiene la capacidad para alrededor de 6000 estudiantes según el foro abierto de agosto del 2017, por lo que del área total construida

4.521,67 m² (28%) es destinado a uso académico, 444,91 m² (2%) para el área administrativa, 6.123,44 m² (22%) usados en instalaciones para servicios y 10.974,16 m² (40%) ocupados en espacios comunes (Rodríguez, 2017).

Por otra parte esta sede cuenta con tres bloques cada uno con 6 plantas o pisos, el primero es un semi sótano, cuatro pisos para diferentes usos y el último es la azotea en hormigón que se cuenta como otra planta sismo resistente.

4.2 Condición Estructural

4.2.1 *Restricciones por Cargas vivas*

A través de la consulta con la oficina de planeación de la universidad no se encontraron los estudios estructurales para identificar que peso es capaz de soportar para una implementación de un sistema de techos verdes, teniendo así un factor importante que se tendría que resolver con la ayuda de un ingeniero estructural para hacer una memoria e calculo.

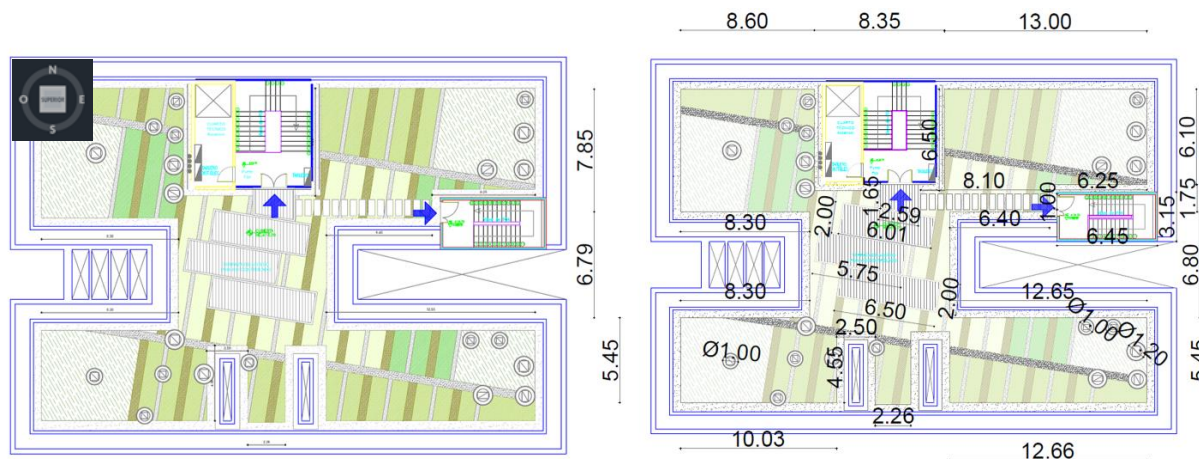
4.2.2 *Identificación de Áreas Disponibles en las Azoteas*

Para hallar la área disponible en donde se podría localizar un proyecto de esta categoría hicimos una visita técnica para comparar los planos y los que se encontraba en las azoteas en Marzo del 2021, y así poder calcular las áreas ocupadas por elementos de la cubierta y también realizar un imaginativo inicial para el diseño de los techos verdes.

- **Bloque 1 Laboratorios.** En la cubierta del bloque 1 encontramos varios equipos y estructuras los cuales ocupan un considerable espacio y se debieron tener en cuenta para sacar las áreas utilizables del proyecto. Mediante el programa de AutoCAD 2021, se halló las área general transitable, la distancia de las canaletas, de cada elemento y se hizo cálculos de áreas usando los planos de las azoteas, en la figura 7 podemos observar la distribución de los elementos del primer bloque.

Figura 7

Planos de la Azotea Primer Bloque, Laboratorios

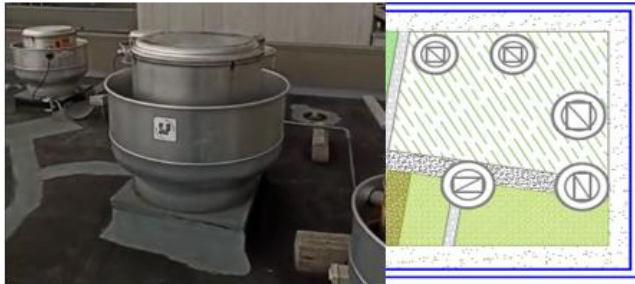


Nota. Autores, 2021 de edición, planos suministrados por el departamento de planeación de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Los elementos que se encontraron fueron, veintiún extractores de aire (ver figura 9), el acceso principal de escaleras cuyo techo es de hormigón (ver figura 8), a un lado de las escaleras principales un cuarto técnico de Ascensor en la misma cubierta de las escaleras (ver figura 8), una salida alterna de emergencia cuyo tamaño es menor al principal (ver figura 10), dos aberturas arquitectónicas (ver figura 12), tres claraboyas , dos paneles solares uno el suelo entre unos extractores y el otro flotante(ver figura 11), también habían unos sistemas de monitoreo de altura pero no de gran área (ver figura 12), y por último se encuentran seis lámparas tecno lite mini poste LED (ver figura 13).

Figura 9

Extractores de Aire



Nota. Autores, 2021.

Figura 8

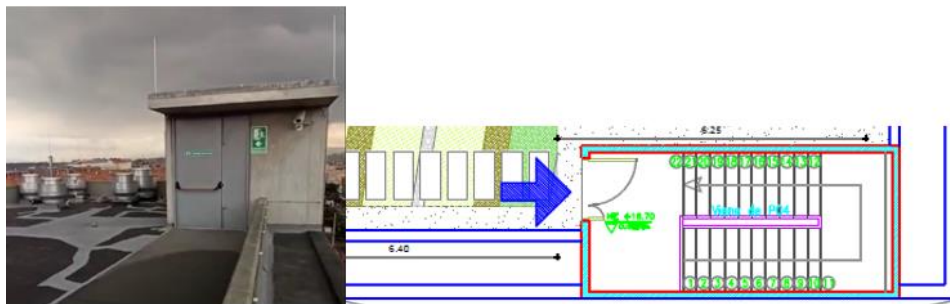
Acceso Principal a la Azotea del Bloque 1



Nota. Autores, 2021.

Figura 10

Salida de Emergencia en Azotea



Nota. Autores, 2021.

Figura 12

Área vacía y con claraboyas

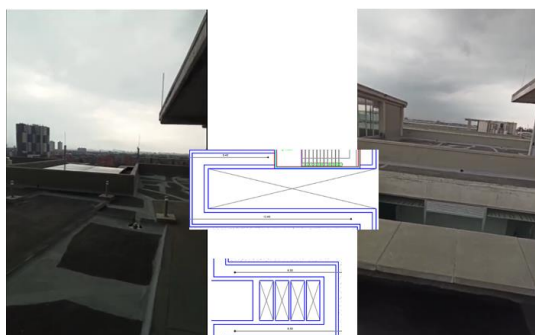
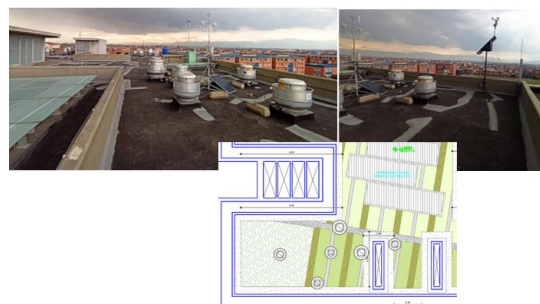


Figura 11

Extractores de aire y panel solar



Nota. Autores, 2021.

Nota. Autores, 2021.

Figura 13

Lámparas Tecno Lite Mini Poste LED



Nota. No se encontraban en el mapa pero estaban ubicadas en el centro de la azotea, autoría propia, 2021.

A partir de la visita técnica y de la recopilación de medidas de la primera terraza se adquirieron los datos de la tabla 5.

Tabla 5

Áreas de la Primera Terraza y Elementos que la Componen

Cantidad	Elemento	Largo (m)	Ancho (m)	Área (m²)	Área No Utilizable (m²)
1	Terraza con Objetos	33,75	24,00	810	-
1	Canaletas de hormigón	147,65	0,90	132,88	132,88
21	Extractores de aire	-	-	1,20	25,2
1	Acceso a escaleras y cuarto técnico	6,50	8,35	54,27	54,27

1	Salida de emergencia	6,45	3,15	20,31	20,31
1	Abertura Mayor	12,60	3,00	37,8	37,8
1	Abertura menor	3,25	3,00	9,75	9,75
2	Claraboyas de mismo tamaño	4,55	2,50	11,37	22,74
1	Claraboya mayor	3,60	5,35	19,26	19,26
2	Paneles Solares	-	-	2	4
6	Lámparas tecno lite mini poste Led			0,20	1,2

Nota. En la tabla se halló la área por la fórmula Área igual a base por altura, la área utilizable de la terraza con objetos no se le ha hecho el descuento todavía de la área no utilizable, Autoría, 2021.

A partir de los datos de la tabla 5 se tomaron los datos de las áreas utilizables y no utilizables para hallar el área disponible como se puede observar en las siguientes ecuaciones simples:

$$\text{Área no utilizable total} = \Sigma \text{áreas no utilizables}$$

$$\text{Área no utilizable total} = 327,31 \text{ m}^2$$

$$\text{Área Disponible} = \text{Terraza 1 con Objetos y espacios vacíos} - \text{Área no utilizable total}$$

$$\text{Área Disponible} = 810 \text{ m}^2 - 327,31 \text{ m}^2$$

$$\text{Área Disponible} = 482,69 \text{ m}^2$$

Después de hallar el área disponible es importante saber que debemos tener un área para transitabilidad en el techo por lo tanto el área apta para el proyecto sería el resultante de descontar el 25% del Área disponible, se decide en los laboratorios este porcentaje para tener suficiente paso para disfrutar de los techos verdes. Así que en la siguiente ecuación simple se ve el resultado final:

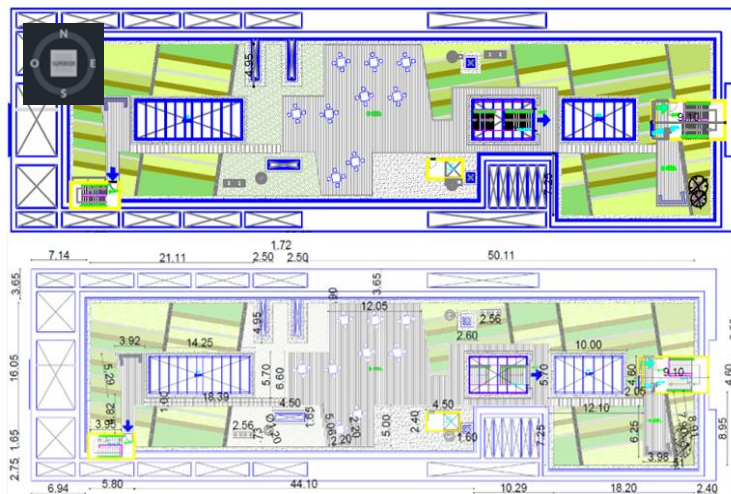
$$\text{Área Apta Laboratorios} = 482,69 \text{ m}^2 - 25\%$$

$$\text{Área Apta Laboratorios} = 362 \text{ m}^2$$

- **Bloque 2 Académico.** El segundo bloque cuenta con una mayor área a comparación con el primero por lo tanto en la visita técnica se encontraron los siguientes elementos, un acceso principal (ver figura 15), dos salidas de emergencias (ver figura 16), ocho claraboyas de diferentes tamaños (ver figura 17), tres extractores de aire y dos motores de aire acondicionado (ver figura 18), Cuarto técnico (ver figura 19), un cerramiento con alambre donde se encuentran un motor de aire acondicionado de gran tamaño junto a un tanque de agua que no se encuentra en plano (ver figura 20), hay tres estructuras no representadas en los planes las cuales contienen tuberías pero son de hormigón también (ver figura 21) y para terminar se observó trece lámparas techno lite mini poste LED ubicadas en su mayoría en el centro de la azotea sólo se exceptúan tres ubicadas al frente del motor principal de aire acondicionado, en la figura 14 vemos representadas sólo nueve de ellas con cuadros blancos en con cuatro mini cuadro en cada lado.

Figura 14

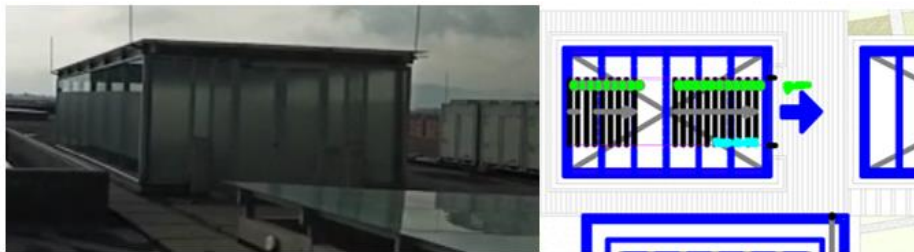
Plano de la Azotea del Segundo Bloque, Bloque Académico



Nota. Autores, 2021 de edición, planos suministrados por el departamento de planeación de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Figura 15

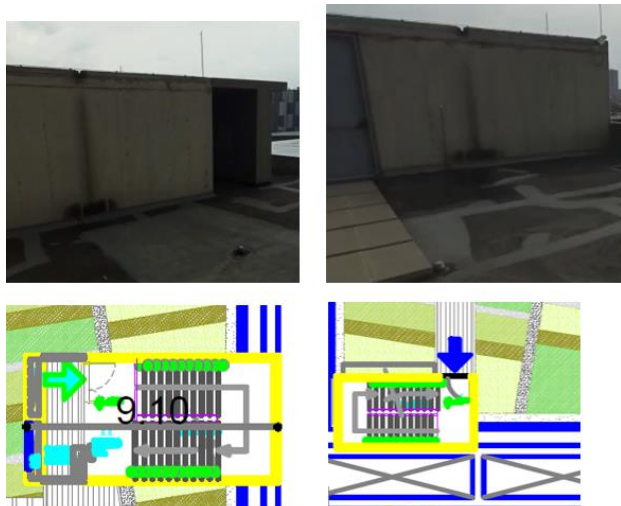
Acceso principal a Azotea segundo Bloque



Nota. La cobertura es de material liviano, Autores, 2021.

Figura 16

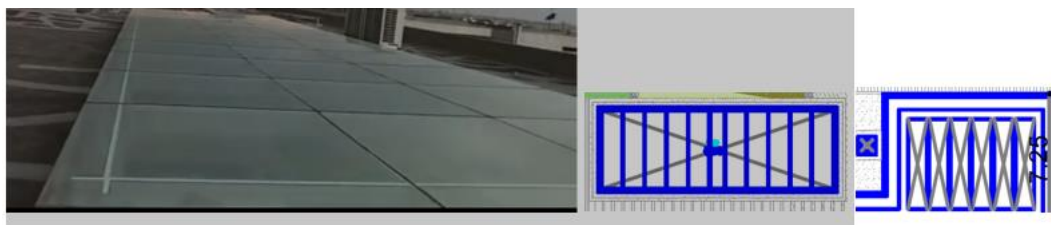
Salidas de emergencias de la Azotea en el Segundo Bloque



Nota. Su cobertura es de hormigón, Autores, 2021.

Figura 17

Claraboyas en la Azotea en el Segundo Bloque



Nota. Las claraboyas son de diferentes áreas o tamaños, Autores, 2021.

Figura 18

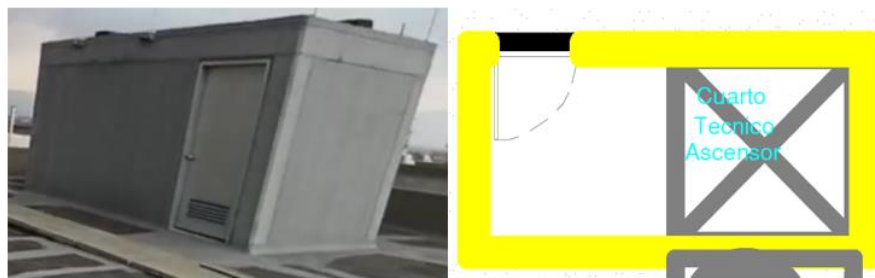
Extractores de aire y Motores de Aire Acondicionado Segundo Bloque



Nota. Autores, 2021.

Figura 19

Cuarto Técnico en la terraza del segundo bloque



Nota. Cobertura de hormigón, Autores, 2021.

Figura 20

Motor de Aire Acondicionado Segundo Bloque y Tanque de Agua Potable



Nota. El cuadro anaranjado representa en el plano el espacio ocupado por los motores dentro de

un encerramiento de alambre y los círculos en el plano de color negro no representan ninguna estructura como se puede ver en la fotografía tomada en la visita. Autores, 2021.

Figura 21

Estructuras Protectoras de Tuberías en la Azotea del Segundo Bloque



Nota. Los rectángulos vino tintos representan en el plano los espacios ocupados por los protectores de tuberías. Autores, 2021.

Después de obtener la visualización de los elementos que componen la terraza del segundo bloque pudimos tomar las medidas siguiendo los planos de la misma y los datos se consignaron en la tabla 6.

Tabla 6

Áreas de la Segunda Terraza y Elementos que la Componen

Cantidad	Elemento	Largo (m)	Ancho (m)	Área (m ²)	Área No Utilizable (m ²)
1	Terraza 2 con Objetos y espacios vacíos	88,74	26,00	2.307,24	-
1	Canaletas de hormigón con espacios vacíos	-	-	361,16	361,16

3	Extractores de aire	-	-	1,20	3,6
1	Acceso principal	7,61	4,65	35,38	35,38
1	Salida de emergencia este	9,10	4,60	41,86	41,86
1	Salida de emergencia Oeste	6,10	3,20	19,52	19,52
2	Motores de aire acondicionado	2,56	0,73	1,86	3,72
8	Claraboyas de diferente tamaño	-	-	244,45	244,45
1	Cuarto Técnico	4,50	2,40	10,80	10,80
1	Encerramiento	-	-	16,6	16,2
3	Estructuras protectoras de tuberías	-	-	4,2	4,2
13	Lámparas tecno lite mini poste LED	-	-	0,20	2,6

Nota. Las áreas para los elementos que eran de diferentes tamaños y eran más de uno se hallaron por medio de suma de áreas para simplificar la tabla, Autores, 2021.

Al igual que en la primera azotea a partir del área de la azotea se hace la sustracción de todo aquel elemento que no pueda ser utilizado en el diseño como se presenta en las siguientes operaciones simples.

$$\text{Área no utilizable total} = \Sigma \text{áreas no utilizables}$$

$$\text{Área no utilizable total} = 949,49 \text{ m}^2$$

$$\text{Área Disponible} = \text{Terraza 1 con Objetos y espacios vacíos} - \text{Área no utilizable total}$$

$$\text{Área Disponible} = 2.307,24 \text{ m}^2 - 949,49 \text{ m}^2$$

$$\text{Área Disponible} = 1.357,75 \text{ m}^2$$

Al igual que con el Área Apta de los laboratorios se hace el mismo proceso para dejar libre un área transitable de 28%:

$$\text{Área Apta Laboratorios} = 1.357,75 \text{ m}^2 - 28\%$$

$$\text{Área Apta Laboratorios} = 978,58 \text{ m}^2$$

- **Bloque 3 Administrativo.** En el tercer bloque se encontró un mayor área disponible como se puede observar la figura veintidós debido a que no había tantos obstáculos comparado con los dos terrazas anteriores, los elementos encontrados fueron, un acceso principal en cuyo mismo techo se encuentra un cuarto técnico (ver figura 23), seis extractores de aire (ver figura 24), tres claraboyas en un espacio abierto de la terraza y nueve de diferente tamaños (ver figura 26), tres motores de aire acondicionado (ver figura 25), diez luminaria bolardo Led, una estructura para protección de tubería y veintiocho estructuras de concreto las cuales permiten entrada de luz por medio de rejillas inferiores (ver figura 22).

Figura 22

Plano de la azotea del Tercer Bloque, Bloque Administrativo.



Nota. Autores, 2021 de edición, planos suministrados por el departamento de planeación de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Figura 23

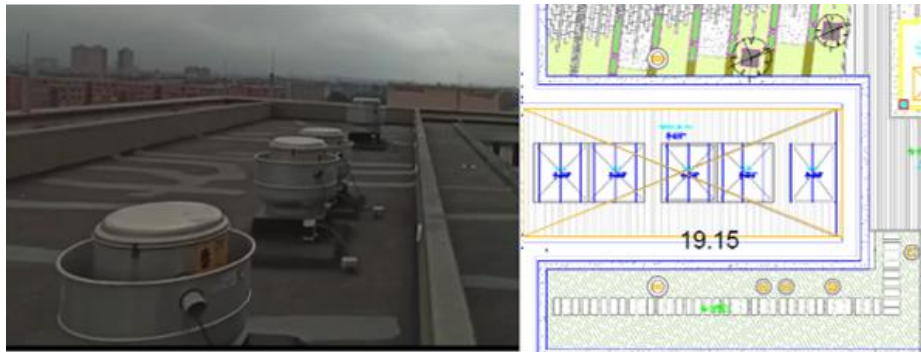
Acceso Principal y Cuarto Técnico en la Tercer Azotea



Nota. Autores, 2021

Figura 24

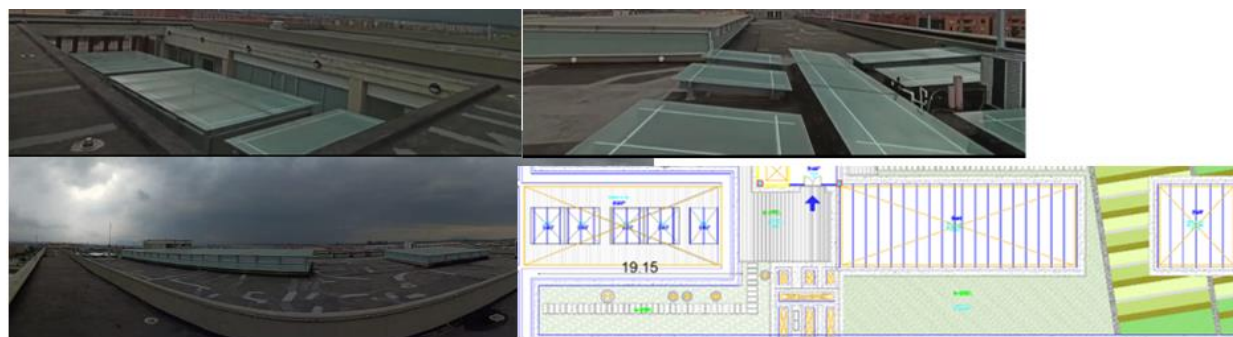
Extractores de Aire en la Tercer Azotea



Nota. Autores, 2021

Figura 25

Claraboyas de la Azotea del Tercer Bloque



Nota. Autores, 2021

Figura 27*Motores de Aire Acondicionado***Figura 26***Plataformas que hacen de claraboyas*

Nota. En la figura 27, se hizo un cuadro vino tinto que representa la estructura que protege los tubos y los cuadros seguidos azules son la estructuras para la iluminación de la Biblioteca, Autores, 2021.

Haciendo énfasis en las azoteas las cuales son las plantas físicas donde el estudio dará a lugar encontramos los siguientes datos después de hallar las medidas en los planos suministrados por el área de planeación. En la tabla 7 podemos encontrar las medidas de las terrazas.

Tabla 7*Áreas de la Tercera Terraza y Elementos que la Componen.*

Cantidad	Elemento	Largo (m)	Ancho (m)	Área (m2)	Área No Utilizable (m2)	Área Utilizable
1	Terraza 3 con Objetos y espacios vacíos	88,58	40,99	3.630,89	-	-

1	Canaletas de hormigón con espacios vacíos	-	-	1.112,62	851,95	260,67
6	Extractores de aire	-	-	1,20	7,2	-
1	Acceso principal y cuarto técnico	7,61	4,65	35,38	35,38	-
3	Motores de aire acondicionado	-	-	3,16	3,16	-
12	Claraboyas de diferente tamaño	-	-	491,31	491,31	-
1	Estructuras protectoras de tuberías	-	-	0,90	0,90	-
10	Lámparas tecno lite mini poste LED	-	-	0,20	2,00	-
28	Plataforma	4,00	1,60	6,4	-	179,20

Nota. Autores, 2021

Al igual que en los anteriores puntos se sacan las medidas a partir de los planos y visita técnica para hallar así el área disponible en la terraza como podemos observar en la siguiente operación matemática:

$$\text{Área no utilizable total} = \Sigma \text{áreas no utilizables}$$

$$\text{Área no utilizable total} = 2.243,85 \text{ m}^2$$

Área Disponible= Terraza 1 con Objetos y espacios vacíos- Área no utilizable total

$$\text{Área Disponible} = 3.630,89 \text{ m}^2 - 2.243,85 \text{ m}^2$$

$$\text{Área Disponible} = 1.387,04 \text{ m}^2$$

Se realiza la misma operación que con bloque académico solo que este al tener mayor área libre se facilita el acceso y se requiere menos área transitable adicional por lo que en determinadas áreas se dejará un 22%:

$$\text{Área Apta Laboratorios} = 1.387,04 \text{ m}^2 - 22\%$$

$$\text{Área Apta Laboratorios} = 1081 \text{ m}^2$$

Para tener una simplicidad en las medidas se toman los datos más importantes para comprender las dimensiones de las terrazas en la Tabla 8. Dónde ponemos observamos que las terrazas tienen un gran potencial para llevar a cabo un proyecto de techos verdes.

Tabla 8

Medidas de las 3 Azoteas de la sede Bosa Porvenir

Bloque	Área Terraza total (m2)	Área ocupada o no utilizable (m2)	Área Apta (m2)
Laboratorio (1)	810	327,31	362
Académico (2)	2.307,24	949,49	978,58
Administrativo (3)	3.630,89	2.243,85	1.081
Totales	6.748,13	3.520,65	2.421,58

Nota. Autores, 2021.

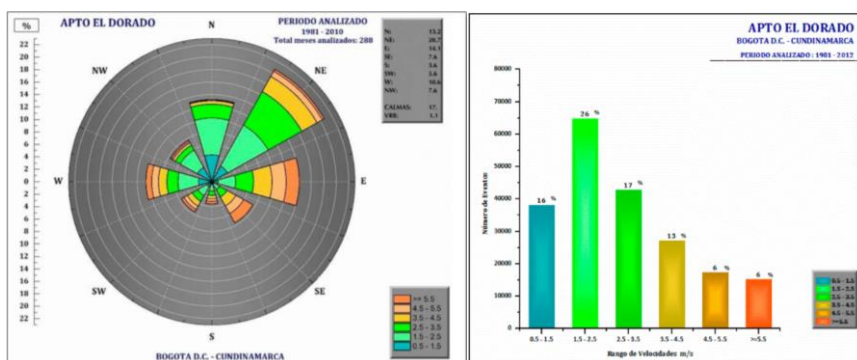
4.3 Condiciones Climáticas y Meteorológicas

4.4 Comportamiento del viento

Para la medición de la velocidad del viento se utiliza generalmente el sistema internacional y su unidad de medida es (m/s), por otro lado lo que es la dirección del viento se calcula a partir de los grados dextrosom los cuales se miden a sentido de las manecillas del reloj y gráficamente se expresa con las dirección es de la rosa de los vientos. (IDEAM, 2017, pg. 33)

Figura 28

Rosa de los vientos para el Aeropuerto el Dorado



Nota. En la imagen se puede observar que en su mayor parte la dirección del viento es hacia el noreste y los vientos alcanzan a ser de brisa débil según la escala de Beaufort. Autores, IDEAM y UPME, 2017.

En el análisis del documento Atlas de vientos de Colombia se observa que alrededor del 26% de los vientos en Bogotá son clasificados como Ventolina, 17 % brisa muy y el 16% como calma, en la escala de Beaufort y esta escala cuenta con doce niveles empezando desde el cero, esto se observa en la figura 28. El instrumento utilizado para tomar estas medidas es un

anemógrafo instalado a 10 metros de altura para evitar el rozamiento del viento con el suelo en el aeropuerto internacional del dorado.

Según los datos tomados por el anemógrafo desde 1981 al 2010 la velocidad promedio anual en toda Bogotá es de 2,31 m/s donde los dos meses con mayor velocidad de viento es en julio y agosto con 2,7 m/s, por lo contrario los menores valores se presentan de octubre a diciembre con 2,1 m/s. Haciendo la comparación con la herramienta Weather online no ha variado tan drásticamente el promedio hasta septiembre del 2021 que sería 2,44 m/s cuando se hace la conversión respectiva esto se puede observar en la figura 29.

Figura 29

Rosa de los vientos para el Aeropuerto el Dorado



Nota. Autores 2021. Obtenido mediante uso de herramienta online,

<https://www.woespana.es/weather/maps/city>

En el diseño de los techos verdes la presión del aire ejercida al sistema debe ser tomada en cuenta donde se han hecho estudios en ciudades alrededor del mundo para calcular una velocidad del aire que pudiese levantar un techo verde, por lo cual en la ciudad de Ajdovščina en Eslovenia

a 160 km/h se levantó una estructura de techos verdes lo cual es convertido a 44.44 m/s por lo cual en Bosa, Bogotá no presenta problema por daño de estructura verde. (Urbanscape, 2016)

4.4.1 *Humedad del Aire*

Acorde al IDEAM la humedad está compuesta por dos componentes el primero es la humedad relativa entendida como el porcentaje de humedad contenida en el aire con respecto al total que es capaz de contener como función de su temperatura y su presión. Por otra parte se encuentra la tensión del vapor la cual es la presión ejercida por el vapor de agua contenido en un volumen de aire húmedo. Se expresa en milibares (mb) o hecto Pascales (hPa).(p,2)

Tabla 9

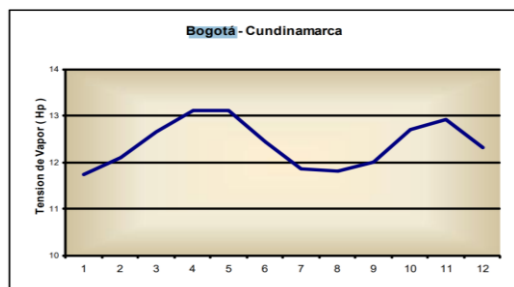
Valores Medios Multianuales de Humedad Relativa en % Promedio desde 1981-2010

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
79	79	81	82	82	79	78	77	79	83	83	81	80

Nota. Datos obtenidos de: http://www.ideam.gov.co/AtlasWeb/info/Tablas/hrel_tab.pdf Autores, 2021.

Figura 30

Valores Medios Multianuales de Tensión de Vapor para Bogotá (Hp)



Nota. Los datos en el eje horizontal son los meses del año donde el promedio del Hp es 12.4

Datos obtenidos del IDEAM: <http://www.ideam.gov.co/AtlasWeb/info/Graficos/tvap-graf.pdf>.

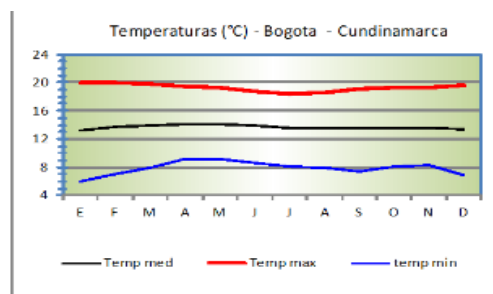
En la investigación realizada por Brum en el 2018, se determinó que un techo verde se encuentra en una zona de comodidad dentro de un rango promedio de 40% a 60 % por lo tanto en nuestra área de estudio la humedad no es inferior a lo ideal para los techos verdes.

4.4.2 Temperatura

REGIÓN ANDINA En esta región, la temperatura media depende principalmente de la altura del sitio sobre el nivel del mar y de factores conexos como la exposición de la vertiente y el régimen de precipitación. La relación Temperatura media vs elevación es altamente significativa en todos los casos. Sin embargo, existen diferencias entre las diversas vertientes y por ello no es posible establecer un gradiente uniforme para toda la región Andina. Para el periodo 1981-2010, esta relación se ha determinado por ecuaciones lineares de correlación de la siguiente forma:

Figura 31

Marcha anual de la temperatura máxima, mediana y mínima para Bogotá



Nota. Los datos en el eje horizontal son los meses del año donde el promedio del Hp es 12,4

Datos obtenidos del IDEAM: <http://www.ideam.gov.co/AtlasWeb/info/Graficos/tvap-graf.pdf>.

Tabla 10

Valores medios multianuales de temperatura media en °c - periodo 1981 - 2010

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
13,3	13,7	13,9	14,1	14,1	13,9	13,5	13,6	13,5	13,5	13,6	13,4	13,7

Nota. Datos obtenidos de: <https://cutt.ly/bEjqtzs> Autores, 2021.

4.4.3 Mapa Brillo Solar de Colombia

En la figura 29 mediante convenciones de colores, donde la variación desde el blanco hasta el rojo indica una mayor intensidad, se muestra un promedio anual—, se ilustra una aproximación de promedios anuales diarios del número de horas de sol, brillo solar, sobre el territorio colombiano. El valor suministrado corresponde al número de horas que en promedio durante un día de cada mes o año se puede observar el sol en el cielo. Con relación a los trabajos

anteriores, los nuevos mapas han permitido una mayor resolución y calidad, debido al incremento y mejoras de la información base, teniendo en cuenta principalmente elementos de la topografía del país, lo cual se puede observar en el comportamiento de las isosuperficies que reflejan la existencia de la cordillera andina. (IDEAM, 2016)

4.4.4 Región Andina

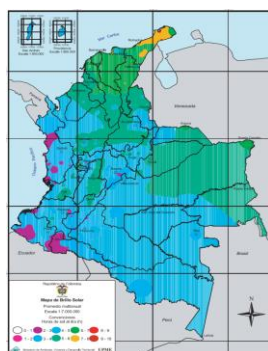
En la mayor parte de la región la distribución del brillo solar durante el año tiene características similares, con máximos en diciembre-enero-febrero y julio-agosto y mínimos en abril-mayo y octubre-noviembre. En los periodos de máxima insolación, las magnitudes diarias oscilan alrededor de 6 horas/sol. En los periodos de mínimas la duración de la insolación puede llegar a 4 horas/sol, en promedio. (IDEAM, s.f)

4.4.5 Promedio Brillo Solar Anual Bosa Bogotá

Se delimitó la localidad de Bosa en Bogotá y se puede observar que se maneja un brillo solar el cual tuvo un valor promedio de 3 a 5 horas diarias como promedio anual. En la tabla 11, figura 32 y 33 se observan datos promedios.

Figura 32

Brillo Solar Anual



Nota. La figura ilustra mediante convenciones de color una aproximación de promedios anuales diarios del número de horas de sol, sobre el territorio colombiano.

<http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21129/3-+Brillo+Solar.pdf/00c38815-74d0-4b1e-bfc4-ed842d466788> IDEAM, 2021.

Tabla 11

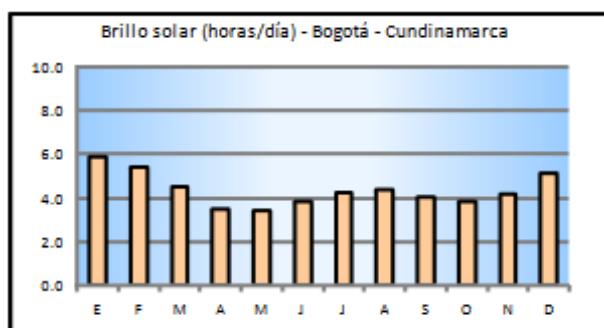
Valores medios multianuales de brillo solar diario en horas y décimas - promedio 1981-2010

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
5,9	5,3	4,4	3,5	3,5	3,9	4,3	4,4	4,1	3,8	4,2	5,1	4,4

Nota. Datos obtenidos de: <https://n9.cl/2hp3> Autores edición, 2021.

Figura 33

Brillo solar en Bogotá



Nota. La figura muestra la cantidad de brillo solar hora/día que recibe Bogotá en los meses del año. Datos obtenidos de: <http://www.ideam.gov.co> IDEAM.

4.4.6 Precipitación

En la tabla 12 se muestra un promedio de 29 años con la precipitación anual en la ciudad de Bogotá y en la figura 34 se ven representados los meses donde más llueve para así saber qué meses se debe regar las plantas con más constancias.

Tabla 12

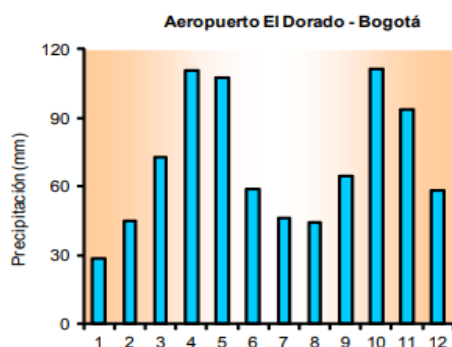
Valores medios multianuales de precipitación total en mm- periodo 1981 - 2010

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
29	45	73	111	108	59	46	45	64	111	93	58	842

Nota. Datos obtenidos de: <https://n9.cl/h284p> Autores, 2021.

Figura 34

Precipitación Bogotá



Nota. La figura muestra la Datos obtenidos de: <http://www.ideam.gov.co> IDEAM, 2022

4.5 Tecnologías para Implementación de Techos Verdes Intensivos

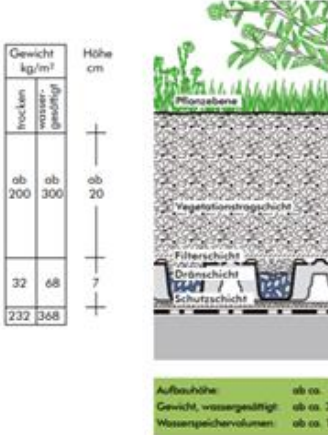
Como se puede observar en la tabla N2 los techos verdes intensivos requieren un mayor grado de inversión, mantenimiento y un riego más regular pero en su contra parte es uno de los

sistemas que más beneficios traen empezando por la variedad de especies vegetales que se pueden plantar, la mayor capacidad de absorción de CO₂, ofrece oportunidad al desarrollo paisajística, se puede usar de ocio y de drenaje urbano entre muchos otros beneficios.

Teniendo en cuenta lo anterior lo anterior los techos verdes intensivos cuentan con distintos tipos de tecnología dependiendo del país y los recursos disponibles por lo tanto para tener una mejor dimensión de los sistemas disponibles tomamos como fuente una de las empresas con presencia en Europa, Estados Unidos, América Latina y Colombia. En las tablas 13, 14 y 15 se muestran las diferentes tecnologías en sistemas de techos verdes.

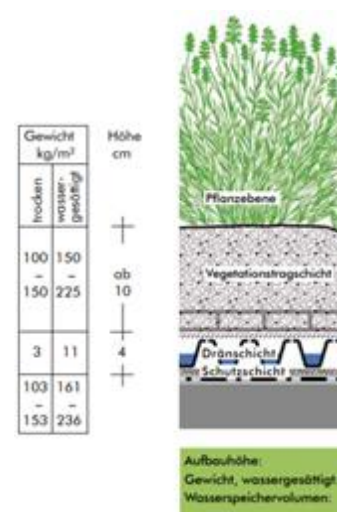
Tabla 13

Tecnologías empleadas en Europa específicamente Alemania de Techos Verdes Intensivos

Tecnología	Características	Imagen															
Jardín de Techo "Dachgarten"	<p>Es un sistema multifuncional con alta capacidad de retención de agua y riego, se puede realizar varias combinaciones, por ejemplo, con pasarelas, patios, calzadas o parques infantiles.</p> <p>Floradrain® FD 60 neo puede rellenarse con hormigón como subconstrucción para calzadas sin penetrar en la impermeabilización o interrumpir el drenaje. Por otra parte se puede plantar césped, plantas perennes, mayor espesor de sustrato para arbustos y árboles pequeños.</p>	 <p>El diagrama muestra un corte transversal de un sistema de techos verdes intensivos. Desde arriba hacia abajo, se observan: la planta (Pflanzebene), una capa de sustrato (Vegetationstragschicht), una capa de filtración (Filterschicht), una capa de drenaje (Drainschicht) con un sistema de drenaje (DRAIN) y una capa de protección (Schutzschicht). A la izquierda del diagrama hay una tabla de especificaciones técnicas:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Gewicht kg/m²</th> <th>Höhe cm</th> </tr> <tr> <th>trocken</th> <th>wasser-gesättigt</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ab 200</td> <td>ab 300</td> <td>ab 20</td> </tr> <tr> <td>32</td> <td>68</td> <td>7</td> </tr> <tr> <td>232</td> <td>368</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p>Debajo del diagrama se encuentran las siguientes especificaciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> Aufbauhöhe: ab 0,1 Gewicht, wasser-gesättigt: ab 0,1 Wasserspeichervolumen: ab 0,1 	Gewicht kg/m ²		Höhe cm	trocken	wasser-gesättigt		ab 200	ab 300	ab 20	32	68	7	232	368	
Gewicht kg/m ²		Höhe cm															
trocken	wasser-gesättigt																
ab 200	ab 300	ab 20															
32	68	7															
232	368																

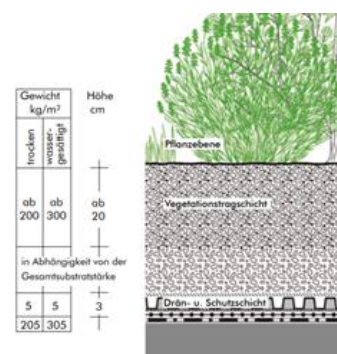
Brezos de lavanda
“Lavendelheide”

Este tipo de tecnología es atractiva "Greening intensivo simple" con requisitos de mantenimiento reducidos nos permite plantas perennes que cubren el suelo, la comunidad de plantas del "Brezal de la Lavanda" incluye plantas perennes y semi arbustos acentuados y parcialmente perfumados como el tomillo, el cardo y la lavanda. Esta composición crea una plantación visualmente muy atractiva y tolerante a la sequía.



Reverdecimiento de Aparcamiento
“Tiefgaragenbegrünung”

Cuenta con capa de drenaje altamente resistente y transitable, la característica principal de instalación para este sistema es que necesita un techos que resista tránsito de cargadora de ruedas por otra parte este tipo de sistema permite mayor acceso y ofrece gran variedad para la plantación y diseño.



Nota. Edición autoría propia, 2021, Datos obtenidos de:

https://www.zinco.de/sites/default/files/2020-07/ZinCo_Intensive_Dachbegrueung.pdf

Tabla 14

Tecnologías empleadas en Estados Unidos de Techos Verdes Intensivos

TECNOLOGÍA

CARACTERÍSTICAS

IMAGEN

Agricultura urbana
en los tejados

“Urban Rooftop
Farming”

Con el sistema de 200 mm con sustrato adecuado para frutas y hortalizas como lechugas, cebollas, calabacines, berenjenas, calabazas, coles, melones, fresas, hierbas y similares. Para verduras y frutas, por ejemplo tomates, judías verdes, frambuesas, moras, grosellas y similares se utiliza una profundidad de sustrato de 280 a 400 mm se recomienda. La cantidad de abono y riego depende de las necesidades de las especies frutales y hortícolas cultivadas y de las condiciones climáticas locales.



Nota. En Estados Unidos también se utilizan los sistemas mencionados en la tabla 14. Datos obtenidos de, https://www.zinco.ca/assets/pdf/ZinCo_Green%20Roof%20Basics_optimize.pdf

Tabla 15

Tecnologías empleadas en Colombia de Techos Verdes Intensivos

Tecnología	Características	Imagen
Multicapa Monolíticos	Se apoya sobre el techo impermeabilizado varias capas como unidad sobre la totalidad del área del techo o sobre un área determinada.	

**Multicapa
Elevados**

Sus capas especializadas se apoyan sobre pedestales que elevan el sistema de techo impermeabilizado.



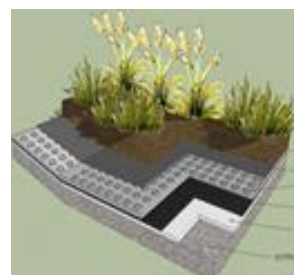
Receptáculos

Se apoya sobre el techo impermeabilizado recipientes individuales que alojan el medio de crecimiento y plantas las cuales pueden tener forma de bandejas, materas, sacos o cajones.



Monocapas

Son tapetes pre sembrados que incorporan en una sola capa los diferentes componentes estables y activos, los cuales se fijan al techo impermeabilizados



Aeropónicos

En los casos anteriores el medio de crecimiento es también el medio de nutrición y soporte, por el contrario esta tecnología es ausente de sustrato o medios sólidos de crecimiento por lo que la nutrición se realiza por medio de irrigación directa en líquido o vapor.



Nota. Datos obtenidos de la guía de techos verdes de Bogotá, edición propia.

4.6 Clasificación de Techos Verdes Intensivos en Bogotá

Para realizar una selección adecuada del sistema de techos verdes tomamos también en consideración los diferentes tipos de techos verdes intensivos los cuales se dan por su propósito y

uso de techo verde, los cuales son clasificación primaria y por otra parte la clasificación secundaria se da por la robustez del sistema dada en función y requerimientos de vegetación empleada por ello en la tabla 16 se ve representado lo anterior.

Tabla 16

Clasificación de los techos verdes en Bogotá

Clasificación	Tipo de Techo Verde	Características
Primaria (Propósito y Uso del Techo verde)	Autorregulado	Este sistema se escoge para poca transítividad, economía en inversión de materiales, se busca la auto sostenibilidad, ligereza y autorregulación. El espesor de crecimiento es de 20 a 120 mm y las plantas no superan la altura de 50 cm.
	Ajardinado	Busca crear un espacio paisajístico, transitable y de uso recreativo o contemplación. El sustrato puede variar de 120 mm y 150 mm, los cuales soportan especies herbáceas, pastos, arbustos y árboles por lo cual requiere seguimiento regular.
	Ecológico Especializado	Este sistema se concentra en replicar y mantener sobre la cubierta un biotopo que se conecte con la estructura ecológica principal y contribuir con hábitat para la flora y fauna local. La altura máxima para la vegetación es de 200 cm, peso máximo de 450 kg y requiere un monitoreo especial,
	Huerta	Su propósito es producción agrícola, lo cual tiene áreas transitables para recolección y requiere regulación ambiental y gran estanqueidad, la tecnología usada en su mayoría es con hidroponía.

Secundaria (Robustez del sistema de techo verde en Función del Porte y Requerimientos de la Vegetación)	Liviano	Es un sistema que cumple con requisitos técnicos y el propósito de uso siendo la altura mayor de las plantas de 50 cm y peso hasta de 200 kg/m ² en estado saturado.
	Moderado	Cuenta con una robustez intermedia esperada con la utilización de componentes y técnicas convencionales. Soporta en peso hasta 250 kg/m ² y la altura máxima de las plantas es de hasta 200 cm.
	Robusto	Su peso puede ser mucho mayor a los anteriores, donde un techo ajardinado robusto puede tener plantas y árboles ornamentales sin limitación de altura o peso

Nota. Autores, 2021, datos obtenidos de:

http://ambientebogota.gov.co/documents/10157/73753/GUIA+DE+TECHOS+VERDES_2011.pdf

4.7 Selección del Sistema de Techos Verdes

Considerando las características técnicas de cada uno de los sistemas, la disponibilidad de materiales, y después de hacer una comparación cualitativa se muestra en la tabla 17 la selección del sistema más apropiado para soportar árboles pequeños de hasta 10 metros de altura como máximo.

Tabla 17

Selección del sistema de techos verdes intensivos

Tecnología	Clasificación Primaria	Clasificación Secundaria	Razón de selección
------------	------------------------	--------------------------	--------------------

Multicapa Monolíticos	Ajardinada	Robusta	Con fines de practicidad en la instalación y su accesibilidad de materiales, la tecnología más indicada para el proyecto es la Multicapa Monolítica con un sistema ajardinado el cual soporta plantas herbáceas y arbóreas, requiriendo un grado de robustez considerable para la distribución de raíz y tener mayor sustrato de 60-65 cm para el crecimiento de la capa vegetal.
--------------------------	------------	---------	---

Nota. Autores, 2021,

4.8 Propuestas de Terrazas Verdes

Para tener un imaginativo de los techos verdes se decidió hacer modelos en AutoCAD y así escoger la mejor alternativa entre ellas teniendo en cuenta las áreas disponibles y aspectos técnicos de las azoteas de cada uno de los bloques de la sede Bosa Porvenir.

4.8.1 Diseño Laboratorio

Para cada uno de las terrazas se proponen 3 modelos con diferente diseño donde se pueden apreciar desde la figura 35 hasta, 37 con sus respectivas tablas de datos desde 18 hasta 20.

Tabla 18

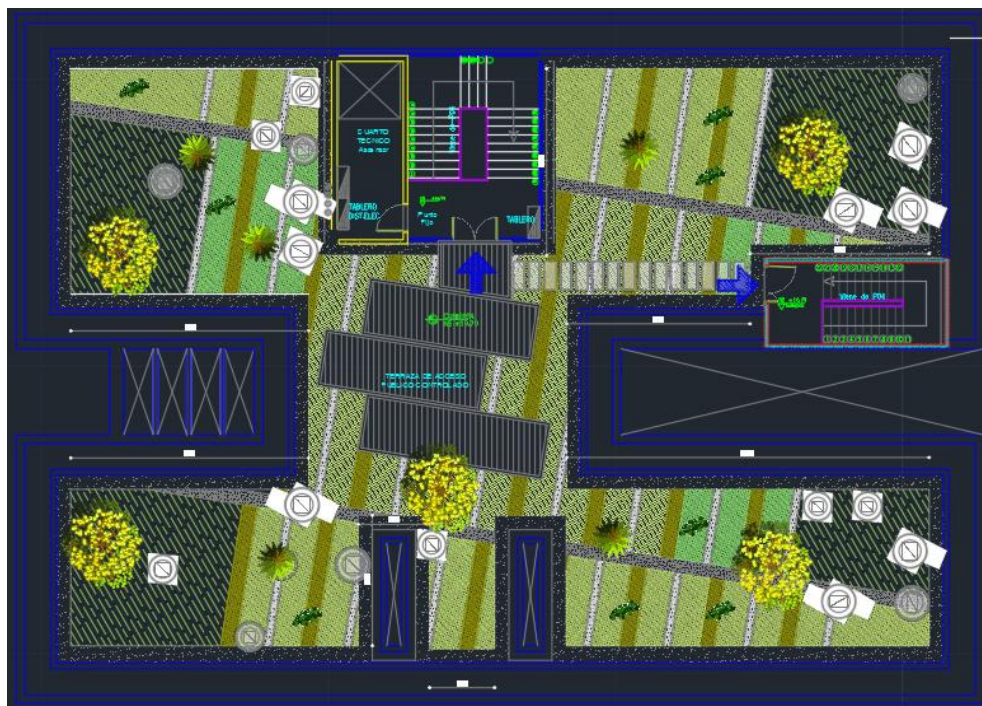
Datos propuesta 1, Laboratorios

Árboles y arbustos	Cantidad	Plantas Ornamentales	Cantidad
Chicalá amarillo	5	Acanto griego	8
Higuera de hoja estrecha	6	-	-

Nota. Autores, 2022

Figura 35

Propuesta 1, Laboratorio



Nota. Autores, 2022

Tabla 19

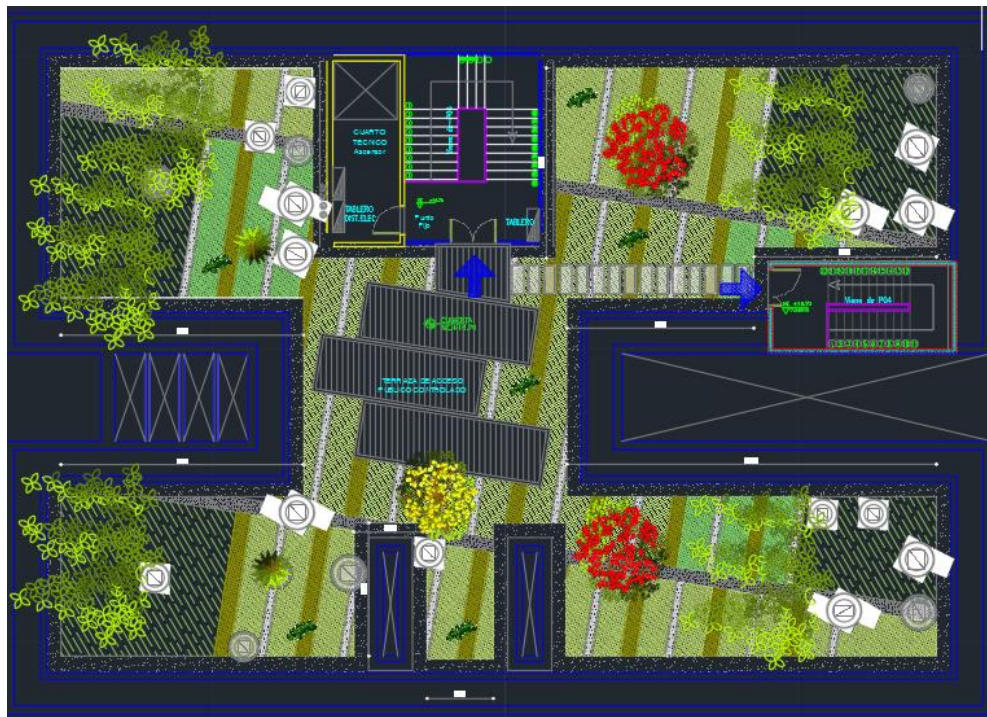
Datos propuesta 2, Laboratorios

Árboles y arbustos	Cantidad	Plantas Ornamentales	Cantidad
Chicalá amarillo	1	Acanto griego	6
Falso Pimentero	2	-	-
Higuera de hoja estrecha	2	-	-
Falso pimentero	5	-	-

Nota. Autores, 2022

Figura 36

Propuesta 2, Laboratorio



Nota. Autores, 2022

Tabla 20

Datos propuesta 3, Laboratorios

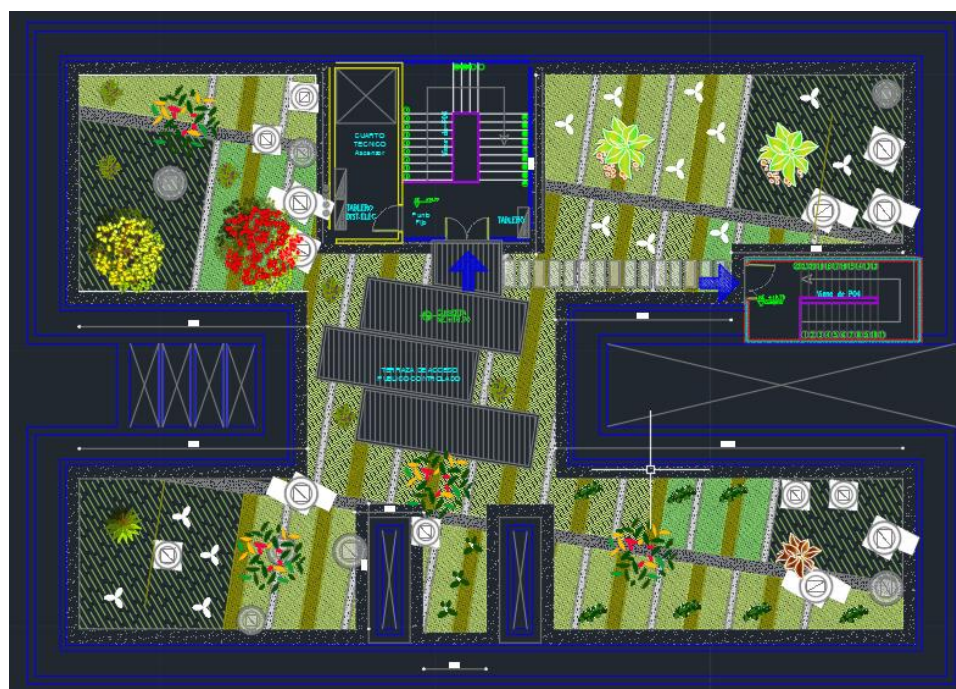
Árboles y Arbustos	Cantidad	Plantas Ornamentales	Cantidad
Chicalá amarillo	1	Azucena blanca	14
Carbonero	1	Carretón	3
Higuera de hoja estrecha	1	Borraja	6
Hayuelo	1	Acanto griego	7

Abitulon	4	-	-
Cayeno o san Joaquín	2	-	-

Nota. Autores, 2022

Figura 37

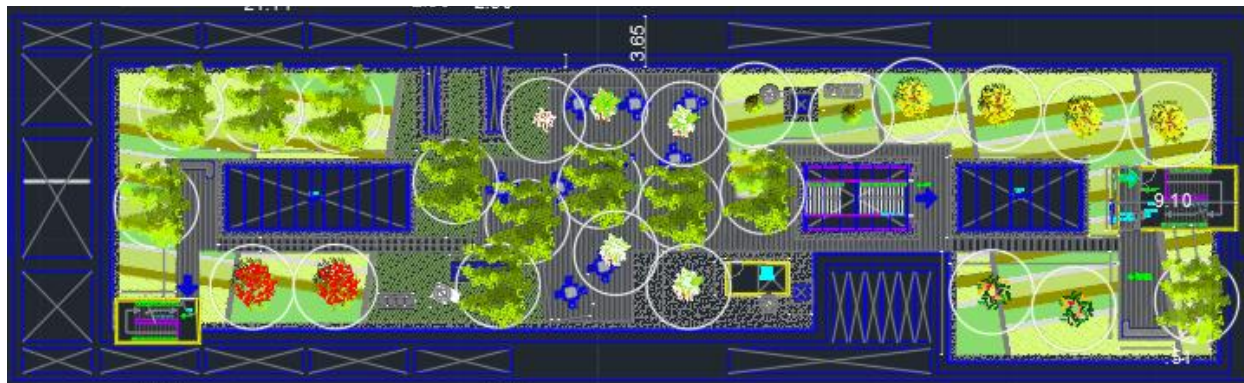
Propuesta 3, Laboratorio



Nota. Autores, 2022

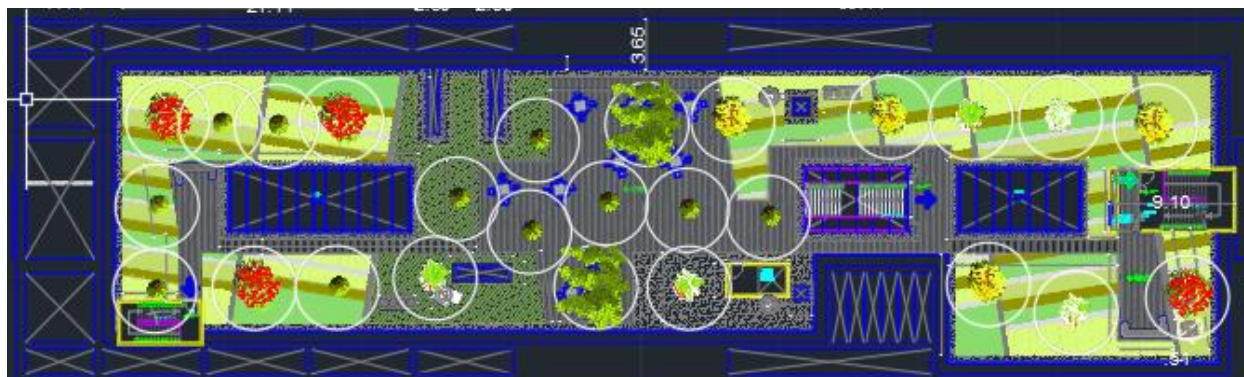
4.8.2 Diseño Bloque Académico

Al igual que con los laboratorios se realizan los tres planos que se evidencian en las figuras 38, 39 y 40 seguidos de su información en las tablas 21, 22 y 23.

Figura 38*Propuesta 1, Bloque Académico**Nota. Autores, 2022***Tabla 21***Datos propuesta 1, Bloque Académico*

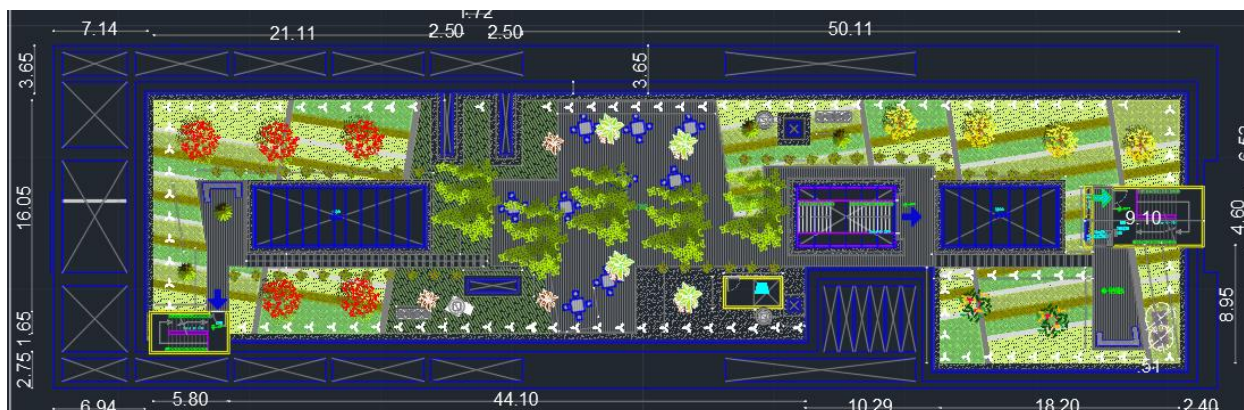
Árboles y arbustos	Cantidad	Plantas Ornamentales	Cantidad
Chicalá amarillo	4	-	-
Carbonero	2	-	-
Higuera de hoja estrecha	2	-	-
Hayuelo	1	-	-
Abitulon	2	-	-
Cayeno o san Joaquín	4	-	-
Falso pimentero	11		

Nota. Autores, 2022

Figura 39*Propuesta 2, Bloque Académico**Nota. Autores, 2022***Tabla 22***Datos propuesta 2, Bloque Académico*

Árboles y arbustos	Cantidad	Plantas Ornamentales	Cantidad
Chicalá amarillo	4	-	-
Carbonero	4	-	-
Higuera de hoja estrecha	11	-	-
Falso pimentero	2	-	-
Cayeno o san Joaquín	5	-	-

Nota. Autores, 2022

Figura 40*Propuesta 3, Bloque Académico**Nota. Autores, 2022***Tabla 23***Datos propuesta 3, Bloque Académico*

Árboles y arbustos	Cantidad	Plantas Ornamentales	Cantidad
Chicalá amarillo	4	Azucena blanca	101
Carbonero	5	Borraja	43
Higuera de hoja estrecha	4	Lengua de Suegra	40
Hayuelo	3	-	-
Abitulon	2	-	-
Cayeno o san Joaquín	4	-	-
Falso pimentero	5	-	-

Nota. Autores, 2022

4.8.3 Diseño Bloque Administrativo

Ya para terminar se hizo el diseño de la terraza verde del bloque administrativos con sus respectivas propuestas que se evidencian en las figuras 41, 42 y 43 seguidos de su información en las tablas 24, 25 y 26.

Figura 41

Propuesta 1, Bloque Administrativo



Nota. Autores, 2022

Tabla 24

Datos propuesta 1, Bloque Administrativo

Árboles y arbustos	Cantidad	Plantas Ornamentales	Cantidad
Carbonero	10	-	-
Higuera de hoja estrecha	21	-	-

Abitulon	11	-	-
Falso pimentero	2	-	-

Nota. Autores, 2022

Figura 42

Propuesta 2, Bloque Administrativo



Nota. Autores, 2022

Tabla 25

Datos propuesta 2, Bloque Administrativo

Árboles y arbustos	Cantidad	Plantas Ornamentales	Cantidad
Carbonero	5	-	-
Higuera de hoja estrecha	16	-	-

Abitulon	11	-	-
Falso pimentero	14	-	-

Nota. Autores, 2022

Figura 43

Propuesta 3, Bloque Administrativo



Nota. Autores, 2022

Tabla 26

Datos propuesta 3, Bloque Administrativo

Árboles y arbustos	Cantidad	Plantas Ornamentales	Cantidad
Falso pimentero	5	Azucena blanca	38
Carbonero	8	Borraja	23
Higuera de hoja estrecha	5	Carretón	63
Hayuelo	3	Acanto griego	16

Abitulon	5	-	-
Cayeno o san Joaquín	4	-	-

Nota. Autores, 2022

4.9 Evaluación Técnica

Luego de realizar un estudio a profundidad acerca de las 9 diferentes propuestas (3 por cada terraza); en relación a la implementación de techos verdes de tipo intensivo dentro de la planta física de la Universidad Distrital Sede Bosa Porvenir. Se logra identificar la importancia de tener en cuenta un diseño óptimo para cada azotea, donde éste posea una base sólida de impacto tecnológico y amigable con el medio ambiente. Para ello, se realizará un análisis comparativo empleando la Matriz de Evaluación Técnica; determinando con exactitud la viabilidad del proyecto mencionado en el presente documento.

4.10 Criterios de Calificación

4.10.1 Importancia

A cada característica le fue asignada una valoración según su importancia en el proyecto en la tabla 27.

Tabla 27

Valoración de importancia del proyecto para la matriz de evaluación técnica

Característica	Valoración
Su participación no afecta el proyecto	1
Se requiere para la ejecución del proyecto	2

pero no interfiere en los resultados del mismo.

Imprescindible para la ejecución óptima del proyecto.

3

Nota. Modelo de tabla obtenido de Valbuena y Tibasosa, 2016, adaptación por autores 2022

4.10.2 Recursos económicos (E)

Se define como la inversión de dinero necesaria para la elaboración del proyecto en la tabla 28.

Tabla 28

Valoración de la inversión económica

Características	Valoración
Alta inversión económica	1
Mediana inversión económica	2
Baja inversión económica	3

Nota. Modelo de tabla obtenido de Valbuena y Tibasosa, 2016, adaptación por autores 2022

4.10.3 Normatividad aplicable (N)

Se define como el grado normativo que se requiere para el cumplimiento del requisito en la tabla 29.

Tabla 29

Valoración del factor normativo

Característica	Valoración
-----------------------	-------------------

Alta	1
Media	2
Baja	3

Nota. Modelo de tabla obtenido de Valbuena y Tibasosa, 2016, adaptación por autores 2022

4.10.4 Tiempo requerido (T)

Hace referencia al lapso de tiempo para elaboración del requisito se puede ver en la tabla 29.

Tabla 30

Valoración del factor tiempo

Característica	Valoración
Largo plazo	1
Mediano plazo	2
Corto plazo	3

Nota. Modelo de tabla obtenido de Valbuena y Tibasosa, 2016, adaptación por autores 2022

Después, se califica cada requisito y se suman los factores evaluados para obtener

$$C=E+N+T$$

4.11 Grado de Viabilidad

Por último para obtener el grado de viabilidad del proyector se multiplica la calificación y el factor de importancia $V=I \times C$, dependiendo del valor obtenido se clasifica en el grado de viabilidad basado en los rangos de la siguiente tabla la cual determina si la viabilidad es alta, media o inviable para ello véase la tabla 31.

Tabla 31*Rangos de viabilidad para la Evaluación técnica*

Característica	Porcentaje	Valoración
Alta	> 66,6 % - 100 %	> 18 - 17
Media	66,59 % - 29,62 %	16,9 - 8
Inviabile	29,629 % - 0 %	7,9 - 3

Nota. Modelo de tabla obtenido de Valbuena y Tibasosa, 2016, adaptación por autores 2022

Los resultados de la viabilidad se muestran en la tabla 32.

4.12 Resultado y Análisis de la matriz de Evaluación Técnica

En los anexos 1, 2 y 3 se pueden observar las tablas de evaluación técnica de las propuestas donde la propuesta 3 fue más favorable obteniendo un porcentaje de viabilidad del 81,2%, con un puntaje total de 614 siendo el máximo puntaje 756, de esto se puede concluir que la factibilidad técnica del proyecto es viable debido a que 3 resultados en la viabilidad son medianamente viables, y en los demás criterios la viabilidad es alta como se ve en la tabla 32.

Tabla 32*Resultado de Evaluación Técnica*

Propuesta	Porcentaje de Viabilidad	Total
1	76,9%	582
2	75,6%	572
3	81,2%	614

4.13 Selección de Propuesta

La selección de la propuesta se hizo en base a la evaluación técnica del proyecto y a partir de cada techo de la universidad, los techos son: bloque de Laboratorios, bloque académico y bloque administrativo. Por cada techo anteriormente mencionado se elaboraron tres opciones las cuales representaban cada techo con diferentes diseños paisajísticos y técnicos para al final escoger el más óptimo de las 3 opciones para cada azotea:

- Propuesta 3, Bloque Laboratorio: En cuanto al Bloque de laboratorios se decidió escoger la propuesta 3 debido a su diseño paisajístico que además técnicamente funcionaba mejor ya que es la opción la cual tiene mayor diversidad en Árboles y plantas ornamentales respetando sus espacios.
- Propuesta 3, Bloque Académico: En cuanto al Bloque de académico se decidió escoger la propuesta 3 por su diseño paisajístico que además técnicamente funcionaba mejor ya que estaban ubicados los grandes árboles en el centro de la azotea y los más pequeños a los laterales. Todas las propuestas contaban con diversidad en árboles pero sólo el último con plantas ornamentales donde predominaba la Azucena blanca.
- Propuesta 3, Bloque administrativo: En cuanto al Bloque de administrativo se decidió escoger la propuesta 3 por su diseño paisajístico que además técnicamente funcionaba mejor ya que todas las propuestas contaban con mayor cantidad de árboles pero estos sin respetar el espacio entre cada uno de ellos y contra la edificación haciéndolos no viables por el contrario el último si ya que con menos árboles pero con mayor cantidad plantas ornamentales donde predomina el Carretón.

4.14 Materiales Requeridos

Como se mencionó anteriormente en el marco conceptual, en cada capa del sistema de techos verdes se necesitan diferentes elementos que interactúen entre sí correctamente para asegurar condiciones ideales para las plantas y a su vez que el sistema pueda ser útil por mayor tiempo

4.14.1 Capa Vegetal

Para la capa vegetal se decide plantar arbustos, árboles pequeños y plantas ornamentales de diferentes especies ya que es de gran importancia contar con biodiversidad al ser uno de los 5 países mega diversos como lo menciona el centro de investigación en alimentación y desarrollo (CIAD) en el 2015 al igual que lo menciona la secretaría del Convenio sobre la diversidad biológica la cual expresa que la biodiversidad es una parte importante de las estrategias mundiales de conservación (pg.9).

De esta manera para garantizar el correcto desarrollo de las plantas se hizo la selección teniendo en cuenta los árboles y arbustos que se plantan a lo largo de la ciudad de Bogotá y la región de Cundinamarca que a su vez puedan soportar los cambios meteorológicos en la localidad de Bosa. Para llevar a fin esto se consultó las fichas técnica y condiciones en la cual cada planta se desarrolla para así determinar cuáles eran adecuadas para ser plantadas en los techos verdes.

En cuanto al estilo de plantación se encuentran tres maneras de propagación según Luckett, las cuales son por medios de semillas, esquejes (retoño) o trasplante. Para la correcta germinación de las semillas se requiere buena irrigación y además protección del viento, por otra parte los esquejes solo necesitan suelos saturados pero si las condiciones climáticas lo proveen

no serían necesario, ya por último los trasplantes son más estables para su desarrollo en los techos verdes pero sus costos son más elevados.

Tomando en cuenta esto, tendríamos dos opciones viables para disminuir costos y serian comprar las semillas y en el vivero de la sede de la circunvalar se podrían hacer germinar las semillas y después hacer el trasplante o se podría gestionar con el Jardín botánico una plantación para así tener accesos a las plántulas de manera efectiva.

4.14.2 Capa de sustrato

Ya que el techo verde de tipo intensivo necesita mayor nutrientes en la guía técnica de infraestructura vegetada se recomienda que el sustrato sea denso y de buen espesor para que las raíces puedan quedar arraigadas.

Es por eso que su composición para este estilo de terrazas es con fibra de coco, turba y escoria de mineral triturado debido a que es poroso ofreciendo también menos peso al sistema. Estos puede contener también material volcánico o grava para facilitar los nutrientes que las plantas necesitan es por este motivo que uno de los proveedores del sustrato puede ser Bioespacio Orgánicos y Minerales donde en el catálogo 'Portafolio de Insumos y Sustratos 2020-2021 se pueden observar sustratos para techos verdes intensivos para Colombia y Bogotá con diferentes compuestos para garantizar los 60 cm de espesor del sustrato en el sistema, para nuestro caso se escogió la mezcla universal de 25 kg el bulto ya que cuenta con el componente orgánico y mineral necesario para el proyecto o se pueden buscar otros proveedores que ofrecen el material más económico por medio de un negocio redondo.

4.14.3 Capa Filtrante

Como capa filtrante por su accesibilidad y confiabilidad se escogió la capa Geotextil Sika PP 1800/2500 cuyo rollo mide de 1,80 m x 100 m. Es una membrana sintética no tejida 100% de

polipropileno que se usan en cubiertas expuestas, terrazas y cubiertas verdes o ajardinadas la cual es ideal para el proyecto que está entre las ajardinadas. Según la ficha técnica de la empresa Sika Colombia esta es de fácil colocación, tiene buena resistencia química y a las raíces.

4.14.4 Capa Drenante

Para la capa de drenaje se podría usar la lámina drenante con reserva de agua Polietileno de alta densidad Sika Drain MS-20 cuyo rollo es de 2m x 20m, ya que según la ficha técnica de Sika está agiliza el drenaje de aguas lluvias de exceso y almacena agua en épocas de sequía en las cubiertas verde o ajardinadas. Esta empresa sigue las normas internacionales para el desarrollo de estos productos por eso es marca de confiabilidad.

4.14.5 Membrana Impermeable y Protección Anti Raíz

Para impermeabilizar y proteger la estructura de las raíces Sika ha creado un impermeabilizado de cubierta verde llamado SARNAFIL G 476-12, esta ha sido confeccionado con Polivinilcloruro (PVC) de calidad Premium con una malla de fibra de vidrio la cual provee una alta estabilidad Dimensional y resistencia a la raíz, esto significa que no se necesita de otra capa para protección de raíces, este cuenta con una longitud de 25 m y un ancho de 2 m.

4.14.6 Sistema de riego

En cuanto al sistema de riego la ventaja de la zona de estudio es que cuenta con varios puntos de toma de agua o de llaves de agua lo cual facilita el acceso al recurso hídrico para las plantas por lo que faltaría en el proyecto sería estos elementos de riego automático o por goteo para el cual se necesitan varios metros de manguera común de $\frac{1}{8}$ " o $\frac{1}{4}$ " , uniones según diámetro y en T, codos de 90 grados, válvula de paso estacas para sujeción de tubería, goteros de riego automático y por último el programador de riego para la llave del agua.

4.14.7 Elementos auxiliares o Complementarios

En las tres azoteas se puede observar que no cuentan con un espacio cerrado donde se pueda contener el sustrato por lo tanto se necesitaría un sistema de confinamiento adecuado y por lo que señala Morales A. y Uzcategui Y. (2017), los bordes de aluminio tienen una mayor ligereza y facilidad en el momento de la adecuación e instalación (pg. 68).

Entre otros complementarios se pueden encontrar la gravilla, filtros y retenedores de gravilla, ya que para el desagüe el edificio cuenta con un sistema de sifones que se pueden emplear de manera adecuada para desocupar el exceso de agua del sistema de techos verdes.

4.15 Plan básico de mantenimiento

Para realizar un plan de mantenimiento de una estructura de techos verdes post instalación se debe conocer primeramente que tipo de mantenimientos hay y sus características para así saber qué tipo de mantenimiento requerirá la estructura para ello en la guía de techos verde de la secretaría de medio ambiente de Bogotá se encuentra especificado con 4 tipos de mantenimientos para los techos verdes:

- Grado 1, Mínimo: En los cuales hay actividades de inspección, limpieza y deshierbe.
- Grado 2, Regular: En este ya se debe hacer poda o corte, irrigación de agua activa.
- Grado 3, Especial: Acondicionamiento esporádico y monitoreo especial.
- Grado 4, Permanente: Control permanente, acondicionamiento permanente.

Solano I. (2019) señala que en Bogotá el centro comercial Titán plaza cuenta con techos verdes intensivos y debido a los requerimientos de las plantas junto al sistema el grado de mantenimiento que se requiere es de tipo 3. Por lo que en nuestro proyecto de techos verdes

intensivo debido al alcance del proyecto se requerirá a la igual manera de un tipo de seguimiento especial (pg. 43.)

El mantenimiento de grado 3 especial requerirá acondicionamiento ocasional de poda, riego, corte y fertilización del sustrato para las plantas. También en este tipo de techos verdes ajardinados se requiere de un monitoreo constante a las condiciones de fertilización y riego.

Ya que la universidad distrital cuenta con espacios verdes en las sedes del Vivero, Macarena, Porvenir, Tecnológica y en la biblioteca de Paiva, se puede utilizar el personal de mantenimiento para hacer estas inspecciones siendo viable la ejecución del cuidado de las plantas y estructura.

5. Capítulo 2. Estudio Ambiental

5.1 Cálculo de Huella de Carbono de los Integrantes de la Sede Porvenir

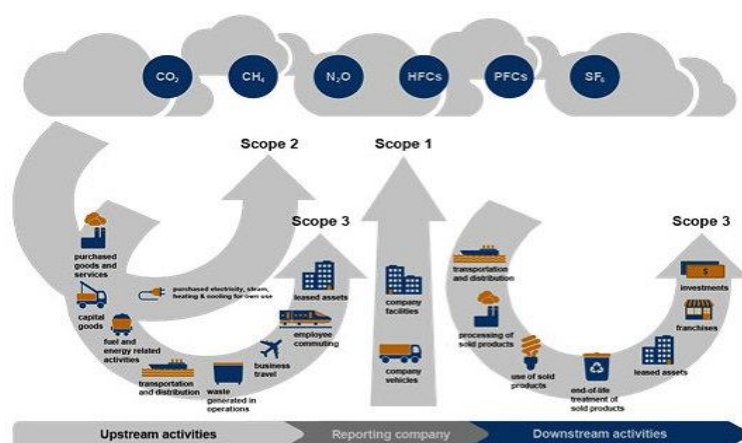
En la determinación de la huella de carbono que una corporación, institución o estado genera se cuentan con diferentes metodologías que estiman la cantidad de gases de efecto invernadero generados directa o indirectamente en las actividades antrópicas. Es así que a partir del tratado de París donde los países se comprometieron a mantener un temperatura global menor a 1.5 grados Celsius nace el GHGP (Greenhouse Gas Protocol), cuyas siglas significan Protocolo de Gases de efecto invernadero, esta fue iniciativa de World Resources Institute (WRI) y World Business Council for Sustainable Development (WBSCSD), donde se dan estándares, guía y herramientas de cálculo para negocios, gobiernos locales y nacionales con objetivo de reducir los GEI más allá de las fronteras.

En esta metodología se tienen 3 alcances (scopes) los cuales los vemos en la figura 44, en

el alcance 1 se encuentran las emisiones resultados de fuentes directamente de la propiedad o fuentes móviles o mecánicas como por ejemplo un vehículo a combustión propio. El alcance 2, son las emisiones en base a la energía comprada o consumida por la entidad y el último alcance son esas emisiones que resultan de actividades no propias de la entidad, pero que están relacionadas en su funcionamiento como distribución de terceros, manejos de desechos entre otros. (Sotos, 2015, pg. 37).

Figura 44

Vista a los Alcances y Emisiones a través de la Cadena de Valor de la Institución



Nota. En la imagen se pueden ver las actividades de subida y bajada en la cadena de valor donde se representa las emisiones de gases efecto invernadero, el autor es el WRI, 2015.

Teniendo en cuenta las actividades principales mencionadas en la cadena de valor, sería aplicable para la sede provenir las siguientes actividades:

- Scope 1: Residuos sólidos resultante de las actividades académicas dentro de la sede, y consumo de gas.
- Scope 2: Consumo de energía eléctrica en los tres bloques.

- Scope 3: Transporte usado para llegar y devolverse de la Universidad por la comunidad académica.

Por otra parte contamos con la norma UNE-EN ISO 14064 del 2019 en la cual se definen límites para realizar el cálculo e informe de la huella de carbono para empresas que toma los alcances del GHGP y propone la clasificación de los GEI en las siguientes categorías:

- Emisiones directas: Scope 1.
- Emisiones indirectas por energía importada: Scope 2.
- Emisiones indirectas por transporte: Consumo de combustible en vehículos para transportar a las personas y productos.
- Emisiones indirectas de productos y servicios que se utilizan por la empresa: Emisiones de productos comprados, bienes de capital y servicios.
- Emisiones indirectas en otras fuentes: cualquier otra emisión que no se incluye en la categoría mencionada anteriormente.

Analizando la metodología del GHGP y la norma ISO 14064, la base del cálculo es tener en cuenta las actividades directas asociadas a la producción de bienes o servicios, y las actividades indirectas las cuales ayudan a llevar a cabo el producto final, que en nuestro caso es producción de conocimiento y servicio de enseñanza.

Por las condiciones de pandemia del 2020 y 2021 que conllevo al estudio de forma remota y con muy poca alternancia, se decidió tomar la huella de carbono que genera cada estudiante y así tener la aproximación del impacto de huella de carbono en la comunidad académica. Para tener como punto de referencia, según Andesco (Asociación Nacional de

Empresas de Servicios Públicos y Comunidades), en promedio cada colombiano emite cuatro toneladas de dióxido de carbono al año.

Las herramientas de cálculo que se usaron para tener un aproximado de la huella de carbono son las siguientes 3:

- Huellas de ciudades (Alcaldía de Santiago de Cali),
<https://huelladeciudades.com/AppHCCali/main.html#calcu>
- CO2CERO, es una institución que lidera acciones frente al cambio climático para realizar modelos de negocio sostenibles y crea la siguiente herramienta, <https://co2cero.co/huella-de-carbono/>
- Parque Arvi institución que se encarga de la preservación del parque y ofrece la herramienta digital, https://parquearvi.org/Paginas/Huella-de-Carbono.aspx?gclid=CjwKCAjwsmLBhACEiwANq-tXA4dKnWAcVxVHe_-8sWTqs4THT6tIBf0ly4JimsB7s0nOdsX8eu-eBoCWaMQAvD_BwE

En estas herramientas se hacen preguntas relacionadas con la vivienda y su gasto energético, medios de transportes terrestres y aéreos, y por último el estilo de vida. Para tener una estimado lo más cercano posible se creó un formulario de drive tipo encuesta para así sacar promedios y tener un dato estándar, con el resultado de las tres herramientas se obtuvo al igual el promedio, como anexo 9 se tiene el formulario completo y en el siguiente link también se puede acceder al formulario online <https://forms.gle/FPzoej9aQbBcEe2F9>.

Al momento de realizar la encuesta se pudo obtener 16 encuestas realizadas exitosamente a los estudiantes de gestión ambiental y servicios públicos, junto a estudiantes de saneamiento de las cuales se obtuvieron los siguientes resultados desde la figura 45 a 47 y la tabla 33:

Figura 45

Resultados de Encuesta de Sección Consumo Energético.

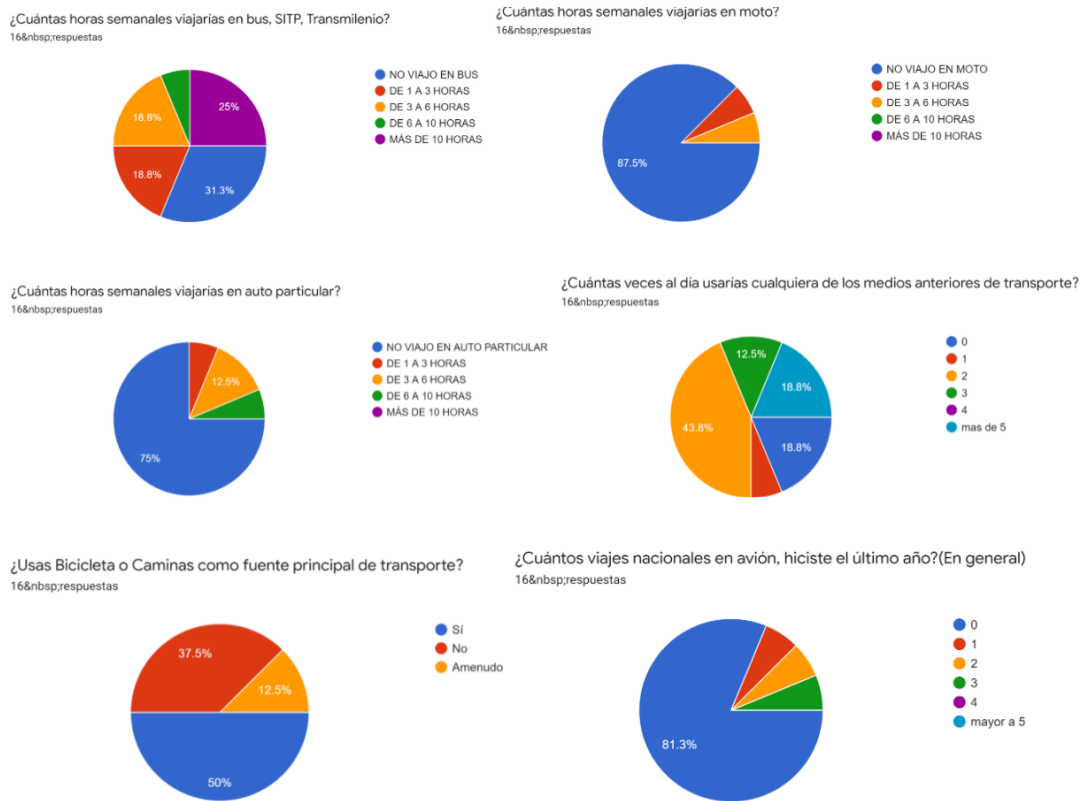


Nota. Acorde a los resultados el 37% de las personas viven en una familia de 4 personas, el 62.5% vive en una casa pequeña de hasta 100 m², se gasta en servicios públicos entre \$30-100 mil pesos con un 37.5% por lo que se deben hacer dos análisis y en gas natural el 43.8% gasta entre \$0-\$18.00, por otra parte GLP en cilindro no es usado por ninguno de los encuestados.

En la figura 46 podemos observar que el 75% de los estudiantes no viajan en auto particular, el 87.5% no usa moto, en cuanto al medio de transporte público encontramos una pequeña discrepancias por lo tanto se toma en cuenta que el 25% gasta más de 10 horas en viaje a la semana y el 31.3 % que dice que no usa bus, la mayoría de estudiante utilizará el viaje de ida y vuelta con un 43.8%, según la encuesta la mayoría con un 50% usa la bicicleta como medio de transporte, el 81 % no viajó nacionalmente y el 100% no hizo viaje internacional el último año.

Figura 46

Resultados de Encuesta de Medio de Transporte.

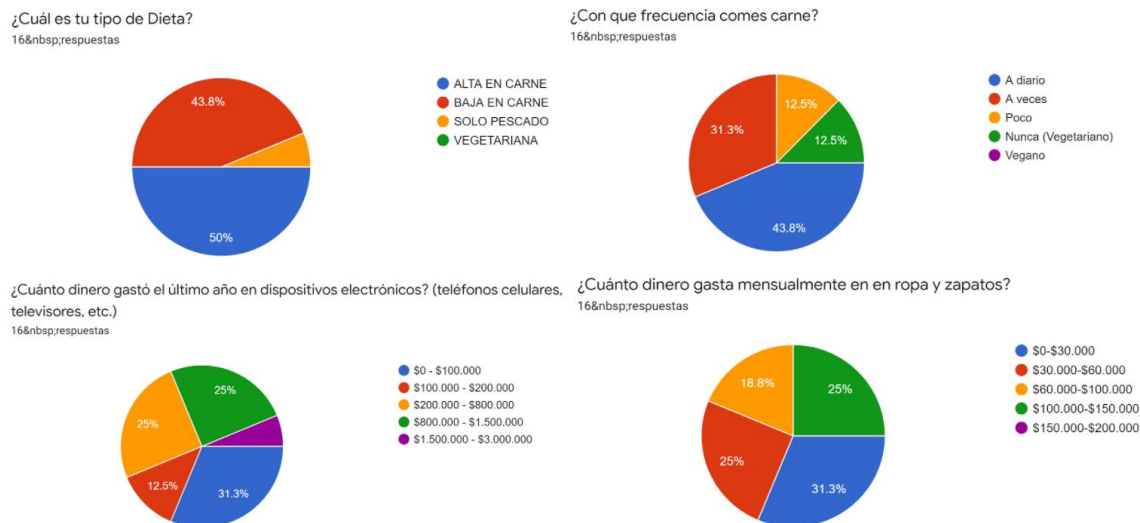


Nota. Autoría, 2022.

En la figura 47 se puede notar que el 50% de los estudiantes tienen una dieta alta en carne, el 43% consume carne a diario, el 31.3% gasta entre \$0-100.00 en productos electrónicos y entre \$0-30.000 en vestidura.

Figura 47

Resultados de Encuesta de Estilo de vida



Nota. Autoría, 2022.

A partir de los resultados se decidió tomar los datos que son iguales y que dan un grado de incongruencia para realizar el cálculo de la huella de carbono de cada uno sacar el promedio y después un promedio general entre las tres herramientas online.

Tabla 33

Selección del sistema de techos verdes intensivos

Herramienta	Resultado 1 Ton CO2/año	Resultado 2 Ton CO2/año	Promedio Ton CO2/año
Huellas de ciudades	1,9	2,5	2,2
CO2CERO	2,53	2,93	2,73

Parque Arvi	3,64	4,04	4,2
Promedio Total			3,04

Nota. Los resultados en cada calculadora variaron porque cada herramienta cuenta con mayor o menor cobertura de las actividades generadoras de emisiones directas e indirectas, dando como resultado 3.04 toneladas de CO₂ por año de cada uno de los estudiantes de la sede porvenir el cual no está muy alejado al promedio nacional de 4.0 toneladas de CO₂ al año. Autores, 2021.

Como último punto para realizar el cálculo de la huella de carbono total de toda la comunidad académica en la sede Bosa se solicitó a la decanatura del medio ambiente el número total de estudiantes, docentes, personal operativo y administrativo para tener el cálculo de la huella de carbono que se tendría para el 2021 si hubiese condiciones normales académicas las cuales no tiene variación significativa con el 2022-1.

Tabla 34

Integrantes de la Sede Porvenir 2021-3

Población Académico	Número de Personas
Estudiantes	2.958
Administrativos	2
Contratistas	23
Docentes Planta	49
Docentes VE	110

Total	3.142
-------	-------

Nota. Autores, 2021.

Ya contando con los datos anteriores se puede conocer qué cantidad de emisiones se producen en esta sede realizando una multiplicación del total de personas y las emisiones que produce cada una que en total es 9551.68 toneladas de CO₂ al año producidas por la Sede.

$$3,142 \text{ Personas} * 3.04 \text{ toneladas de CO}_2 \text{ al año} = 9,551.68 \text{ ton CO}_2/\text{año}$$

5.2 Proyección de la Huella de Carbono

En el marco institucional podemos tener la información de la capacidad total de la universidad, la cual es de 6.000 estudiantes, esto significa que haciendo una multiplicación simple podemos obtener el resultado pero queda la interrogante de cuándo se genera la cantidad de emisiones halladas.

Para responder a la pregunta se decide tener en cuenta el Título B del Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y saneamiento conocido como RAS donde se explican y da a conocer métodos de proyección de población que hasta la fecha es empleada por muchas empresas de servicios públicos para hallar una población futura es por eso que muestran aquí los tres siguientes métodos de cálculo.

5.2.1 Método Aritmético

Esta metodología supone un crecimiento poblacional vegetativo por la mortalidad (en nuestro caso son estudiantes que desertan y se gradúan) y la emigración (nuevos estudiantes) en la figura 48 podemos observar su fórmula.

Figura 48

Formula Método Aritmético

$$P_f = P_{uc} + \frac{P_{uc} - P_{ci}}{T_{uc} - T_{ci}} \times (T_f - T_{uc})$$

Nota. RAS 2000

Pf= Población correspondiente al año para el que se quiere realizar la proyección (habitantes).

Puc= Población correspondiente a la proyección del DANE (habitantes).

Pci= Población correspondiente al censo inicial con información (habitantes).

Tuc= Año correspondiente al último año proyectado por el DANE.

Tci= Año correspondiente al censo inicial con información.

Tf= Año al cual se quiere proyectar la información

5.2.2 Método Geométrico

Utilizado en poblaciones que muestran una importante actividad o se evidencia un apreciable crecimiento, en la figura 49 podemos ver cómo se calcula.

Figura 49

Fórmula Método Geométrico

$$P_f = P_{uc} (1 + r)^{T_f - T_{uc}} \quad r = \left(\frac{P_{uc}}{P_{ci}} \right)^{\frac{1}{(T_{uc} - T_{ci})}} - 1$$

Nota. RAS 2000

Pf= Población correspondiente al año para el que se quiere realizar la proyección (habitantes).

Puc= Población correspondiente a la proyección del DANE (habitantes).

Pci= Población correspondiente al censo inicial con información (habitantes).

Tuc= Año correspondiente al último año proyectado por el DANE.

T_{ci} = Año correspondiente al censo inicial con información.

T_f = Año al cual se quiere proyectar la información.

5.2.3 Método Exponencial

En esta metodología se requiere conocer por lo menos tres censos para poder determinar el promedio de la tasa de crecimiento de la población, en donde el último censo corresponde a la población actual. Se recomienda su aplicación a poblaciones que muestren gran crecimiento y que posea gran capacidad o espacio. En la figura 50 podemos observar las formas en que se calcula.

Figura 50

Fórmula Método Exponencial

$$P_f = P_{ci} \times e^{kx(T_f - T_{ci})} \quad k = \frac{\ln P_{cp} - \ln P_{ca}}{T_{cp} - T_{ca}}$$

Nota. RAS 2000

En nuestro caso que es proyectar la población de los estudiante la que nos ofrece un mayor grado de certeza es el método geométrico ya que el exponencial abarca un crecimiento abrupto y el aritmético nos ofrece una medida de crecimiento vegetativo lo cual no aplica para el crecimiento interno de la universidad distrital al ser pública cuenta con un mayor ingreso de estudiantes comparado a las privadas.

En el método geométrico necesitamos una población inicial para tener un punto de referencia con el fin de llevar un proyección más precisa, es por eso que se toma en cuenta la población que se encontraba vigente en el periodo 2018 III ya que para el 2017 y 2018 se

hicieron movimiento parcial de programas académicos a la sede de Bosa Porvenir, por otra parte el periodo 2018 III prácticamente estuvo vigente hasta marzo del 2019 por cuestiones del paro nacional de universidades en Colombia. Tomando en cuenta lo anterior en la tabla 35 observamos las siguientes cifras.

Tabla 35

Integrantes de la Sede Porvenir 2018 III

Población Académico	Número de Personas
Estudiantes	2.632
Docentes	181
Otros trabajadores	118
Total	2.931

Nota. Se puede observar que se cuenta en el 2018 con más personal debido a que ya para el 2019 y 2021 se presentó las condiciones de Pandemia los cual por factores de virtualidad se vio reducido el personal pero los estudiantes siguieron sus procesos académicos.

Partiendo de la información disponible y del supositorio de un aumento paulatino de los estudiantes en la sede, se toman los datos de los estudiantes principalmente y se realiza la proyección poblacional de la siguiente manera.

$$Pf = 2958 (1+r)^{(2036-2021)} = 2958 (1+0.0397)^{(2036-2021)} = 5962 \text{ estudiantes}$$

$$r = (2958/2632)^{(1/2021-2018)} - 1 = 0.0397$$

Esto significa para el año 2036 habrían 5962 estudiantes llegando casi al máximo aforo de estudiantes en cuanto a la proyección de la planta operativa y administrativa se necesita realizar un cálculo diferente ya que debido a la pandemia se han hecho reducción de personal por lo tanto se hará una regla de tres para hacer un cálculo aproximado usando los datos del 2018.

En el 2018 había 181 docentes, 118 personas parte administrativa y operativa siendo en total 299 personas. Realizando una regla de 3 podemos observar que para 5962 estudiantes se necesitaría alrededor de 618 personas en la parte administrativa y operativa que incluye los maestros para el funcionamiento de la sede.

$$\text{Estudiantes} = 5962 \text{ año } 2036 = 100\% = 2632 \text{ año } 2018$$

$$\text{Trabajadores} = ? = 299 \text{ año } 2018$$

Haciendo la adición de los resultados vemos que en total habría 6580 personas en la comunidad académica para el año 2036, ya conociendo cuántas personas habían en 15 años podríamos ver si el proyecto puede ser una inversión a largo plazo de importancia, se va a hacer el cálculo de las emisiones que producen esta cantidad de personas.

Emisiones comunidad educativa para el año 2036 = 6580 personas * 3.04 toneladas de CO2 al año = 20 003.2 ton CO2 al año.

5.3 Caracterizar las Plantas Herbáceas y Arbóreas que Brindan Mayor Beneficio

Ambiental

Para la determinación de las plantas que se pueden usar para los techos verdes se toma la información de diversos estudios donde se muestra las características de fijación de carbono lo cual significa que son positivos para minimizar el impacto de la huella de carbono en la sede Porvenir.

Vale aclarar que acorde a la Universidad de la Punta en San Luis Argentina en su artículo Balance cero, el número de árboles que se necesitan para reducir los gases de efecto invernadero depende del peso promedio de la especie del árbol la cual está relacionada con la edad del árbol y otros datos que se considera son la topografía del terreno, tipo de árbol, suelos y cuando se presenta intervención del hombre se tiene en cuenta las prácticas de manejo.

En concordancia con Ruano J. (2019), él encontró que en el ecoparque de las Garzas en Cali, hay 10 especies que más retienen el carbono en su estructura de las cuales las siguiente especie soportaría el clima de Bogotá.

- ***Ficus binnendijkii* O *Ficus ali*:** Se conoce popularmente como Higuera de hoja estrecha, es un árbol perennifolios, en interiores y en maceta pueden alcanzar como máximo 4 metros de altura, la temperatura en que puede soportar hasta 0° ocasionalmente pero prefieren temperaturas desde 10° C. Finalmente su capacidad de absorción y retención de carbono supera el 100%, la cual es en el estudio 113,0%, ver figura 51.

Figura 51

Higuera de Hoja estrecha



Nota. Imagen recopilada de Consulta Plantas fichas técnicas de plantas 2021, <http://www.consultaplantas.com/index.php/es/plantas-por-nombre/plantas-de-la-d-a-la-l/359-cuidados-de-la-planta-ficus-binnendijkii-o-ficus-ali>.

Según información proveída de la página del Jardín Botánico de Bogotá, hay 20 especies que se adaptan mejor a las condiciones climáticas y urbanas de la ciudad, de estos árboles los que mejor se adaptan a los techos verdes por su altura y resistencia son:

- ***Calliandra medellinensis*:** Se conoce como Carbonero popularmente y es un buen fijador de nitrógeno lo cual ayuda a la recuperación de los suelos y estos pueden llegar a crecer hasta los 6 metros como máximo y es de origen nativo, ver figura 52.

Figura 52

Carbonero



Nota. Imagen recopilada de la página del Jardín Botánico 2021, <https://www.jbb.gov.co/index.php/2018-2/item/283-las-20-especies-de-arboles-aptas-para-plantar-en-el-espacio-publico-de-bogota>.

- ***Tecoma stans***: Conocido como Chicalá Amarillo o Fresno, es un árbol nativo que puede llegar a medir hasta 8 metros, estas pueden utilizar como alimento para la fauna en especial para las abejas por sus flores atractivas y es Ornamental, ver figura 53.

Figura 53

Chicalá Amarillo



Nota. Imagen recopilada de la página del Catálogo de Flora del Valle de Aburra 2021, <https://catalogofloravalleaburra.eia.edu.co/species/14>.

- ***Schinus molle L.***: Conocido como Falso Pimentero puede llegar a crecer hasta los 3.900 m de altitud en los Andes, su altura varía entre 6-8 metros, puede crecer en todo tipo de suelo incluso calizo y soporta hasta heladas de hasta -5° Celsius también soporta ambientes secos, ver figura 54.

Figura 54*Falso Pimentero*

Nota. Imagen recopilada de la página deInfo Jardin 2021,

<https://fichas.infojardin.com/arboles/schinus-molle-falso-pimentero-aguaribay-especiero.htm>

- ***Dodonaea viscosa***: Se conoce popularmente como Hayuelo cuyo origen es nativo, cuya altura máxima es de 7 metros de altura, el crece desde los 2.001-3.000 msnm y se usa en espacios públicos, el cual sirve para la restauración ecológica y recuperación de suelos pero también es ornamental, ver figura 55.

Figura 55*Hayuelo*

Nota. Imagen recopilada de la página InfoJardin 2021,

<https://fichas.infojardin.com/arboles/schinus-molle-falso-pimentero-aguaribay-especiero.htm>

- ***Croton bogotanus***: Es un árbol o arbusto que se conoce popularmente como Sangregado y es un árbol nativo que crece entre 1.600 y 2.600 m.s.n.m, es de crecimiento rápido llegando como máximo a los 8 metros, sirve como recuperador de suelos, madera y es ornamental, ver figura 56.

Figura 56

Sangregado



Nota. Imagen recopilada del catálogo florístico 2021, <https://www.udca.edu.co/libros/catalogo-floristico/catalogo-floristico.pdf>

Con las 6 especies de árboles presentados anteriormente se puede tener un beneficio ambiental mayor ya que en su mayoría son árboles que están presente en Bogotá o alrededores, los cuales puede brindar alimento para insectos y a su vez a aves pequeñas.

Por otro lado vamos a presentar clases de arbustos que pueden adaptarse a las condiciones ambientales de Bogotá especialmente en los techos de la sede de Porvenir utilizando arbustos usados ya en la U.D.C.A. expresados en el catálogo florístico y otros recursos:

- ***Abutilon insigne***: Conocido como Abutilon, el cual se encuentran en el departamento de Cundinamarca y puede crecer desde 1.500 y 2.600 m.s.n.m llegando a tener una altura de hasta 4 metros cuyo uso es ornamental, melífero y de cerca viva, ver figura 57.

Figura 57

Abutilon



Nota. Imagen recopilada del catálogo florístico 2021, <https://www.udca.edu.co/libros/catalogo-floristico/catalogo-floristico.pdf>

- ***Hibiscus rosa-sinensis***: Es un arbusto conocido como Cayeno o San Joaquín este crece en todo Cundinamarca con flores llamativas por ser solitarias y grandes de diversos colores por lo tanto es de índole Ornamental y puede llegar a crecer hasta los 3000 m.s.n.m., su tamaño no supera los 4 metros, ver figura 58.

Figura 58

Cayeno o San Joaquín



Nota. Imagen recopilada del catálogo virtual de flora del valle de Aburrá 2021,

<https://catalogofloravalleaburra.eia.edu.co/species/267>

- ***Baccharis latifolia*:** Se le conoce como Chilco-Chilca, este crece desde los 1.400 a 3.400 m.s.n.m y de contextura ramificada llegando a la altura máxima de 4 metros. También es Medicinal para el reumatismo y afecciones bronquiales, pero por otra parte también se utiliza para recuperación de suelos erosionados, ver figura 59.

Figura 59

Chilco



Nota. Imagen recopilada del catálogo virtual de flora del valle de Aburrá 2021,

<https://catalogofloravalleaburra.eia.edu.co/species/267>

- ***Streptosolen jamesonii*:** Este arbusto crece desde los 1.400 a 2.900 m.s.n.m, cuyo nombre común es Mermelada y su altura máxima registrada de 2 metros, cuenta con flores de color anaranjadas lo que hace que sea muy llamativa sirve también para alimento de la avifauna e insectos, ver figura 60.

Figura 60*Mermelada*

Nota. Imagen recopilada del catálogo Florístico en la U.D.C.A., 2021.

- ***Hesperomeles goudotiana***: Su nombre común es Mortiño el cual crece entre los 2.400 Y 3.500 m.s.n.m., siendo un arbusto de índole nativa y que puede llegar hasta los 2 metros de altura. Este se puede usar como alimento para avifauna e insectos, madera, ebanistería y artesanías.

Figura 61*Mortiño*

Nota. Imagen recopilada de la página Mariasimona en el Jardín, 2021.

<http://mariasimonaeneljardin.blogspot.com/2009/05/mortino-hesperomeles-goudotiana.html>.

5.4 Plantas Ornamentales

Ya que en el proyecto aparte del beneficio ambiental busca que sea estético se tomó el catálogo de especies vegetales de la secretaría de ambiente de Bogotá, para hacer la selección de las plantas que son adecuadas como cubierta vegetal entre los árboles o alrededor de él mismo.

- ***Acanthus mollis***: Conocido como Acanto griego, esta planta es de tipo herbácea cuya altura oscila entre 0.5 a 1 metro y sus hojas son anchas, brillantes y cuenta con flores., ver figura 62.

Figura 62

Acanto Griego



Nota. Imagen recopilada del catálogo de especies de la secretaría de ambiente de Bogotá, 2022.

<https://www.ambientebogota.gov.co/documents/10184/411743/CATALOGO+DE+ESPECIES+VEGETALES+2021.pdf/1ff84016-3884-4ab9-a9d9-879e4e7a7ce7>

- ***Lilium candidum L.***: Conocida como Azucena blanca, es una planta de tipo herbácea la cual alcanza de 0.5 a 1 metro de altura, su uso es ornamental pero también sirve para el tratamiento de úlceras, inflamaciones y abscesos, ver figura 63.

Figura 63*Azucena Blanca*

Nota* Imagen recopilada del catálogo de especies de la secretaría de ambiente de Bogotá, 2022.

<https://www.ambientebogota.gov.co/documents/10184/411743/CATALOGO+DE+ESPECIES+VEGETALES+2021.pdf/1ff84016-3884-4ab9-a9d9-879e4e7a7ce7>

- ***Borago officinalis***: Comúnmente llamada Borraja, esta planta de tipo herbácea crecer de 30 a 70 cm de longitud, esta planta aparte de ser ornamental, ayuda a enriquecer nutritivamente al compostaje, sirve como atomizador, antibacterial y otros usos antrópicos, ver figura 64.

Figura 64*Borraja*

Nota. Imagen recopilada del catálogo de especies de la secretaría de ambiente de Bogotá, 2022.

<https://www.ambientebogota.gov.co/documents/10184/411743/CATALOGO+DE+ESPECIES+VEGETALES+2021.pdf/1ff84016-3884-4ab9-a9d9-879e4e7a7ce7>.

- ***Trifolium repens***: Esta planta es de tipo colgante, su nombre popular es trebol blanco enano o Carretón y su uso es como follaje en la jardinería y ayuda a la fijación del nitrógeno, ver figura 65.

Figura 65

Carretón



Nota. Imagen recopilada del catálogo de especies de la secretaría de ambiente de Bogotá, 2022.

<https://www.ambientebogota.gov.co/documents/10184/411743/CATALOGO+DE+ESPECIES+VEGETALES+2021.pdf/1ff84016-3884-4ab9-a9d9-879e4e7a7ce7>

- ***Sensevieria trifasciata***: Conocida como Lengua de Suegra o espada de San Jorge puede crecer hasta los 40 cm, resiste plagas y es de fácil cultivo utilizada en la industria para producción de jabones y detergentes, ver figura 66.

Figura 66

Lengua de suegra



Nota. Imagen recopilada del catálogo de especies de la secretaría de ambiente de Bogotá, 2022.
<https://www.ambientebogota.gov.co/documents/10184/411743/CATALOGO+DE+ESPECIES+VEGETALES+2021.pdf/1ff84016-3884-4ab9-a9d9-879e4e7a7ce7>.

Con las anteriores especies de plantas herbáceas se pueden plantar de una forma que se vean atractivas al ojo y también son especies que ayudan como cubierta vegetal para los espacios donde no se sembraran árboles o que se ha dejado espacio entre árbol y árbol.

5.5 Compensación Ambiental del Sistema de Techos Verdes

Como se mencionó anteriormente la capacidad de absorción de CO₂ o gases de efecto invernadero de un árbol puede variar de la especie y sus características propias ya que árboles como el eucalipto crecen de manera rápida absorbiendo aceleradamente el CO₂ del aire para el desarrollo del mismo mientras que un roble absorbe menos CO₂ ya que su crecimiento es lento

pero a su vez vive más tiempo lo cual significa una mayor absorción de CO₂ a largo plazo.

(Selectra, 2021).

Por tal motivo se buscó un parámetro común de retención o absorción de CO₂ de un árbol promedio al año, encontrándose diferentes resultados y tomando como fuente de credibilidad el artículo publicado por la ONU (Organización de las naciones unidas) y Plant for the Planet, dice que en promedio un árbol puede absorber alrededor de 10 kg de CO₂ por año esto sin contar que en latín américa un árbol en los primeros 20 años de vida pueden llegar a retener 16 kg de CO₂ por año. (Pg.2).

Esto es soportado por la infografía de Aquae Fundación donde se expone que un árbol puede absorber entre 10 kg a 30 kg de CO₂ al año siendo adecuado tomar la medida de latino américa de 16 kg de CO₂ al año ya que en su mayoría se utilizaron árboles de la región y también con fin de evitar desfases de cálculo. Por otro lado hay que tener en cuenta que un árbol no solo absorbe y retiene el CO₂ sino que también puede producir oxígeno (2016).

Para calcular cuánto oxígeno produce un árbol de manera simplificada se calcula de manera en que se puede saber cuánto oxígeno necesita una persona por día o año y se confronta con cuánto oxígeno un árbol libera después de los procesos químicos y descomposición, esto da como resultado que para que una persona pueda respirar un año se necesitan alrededor de 30 árboles y este resultado en un promedio ya que por condiciones ambientales, altura, edad y otros componentes puede ser mayor o menor. (Nowak, et al., 2007).

Para el semestre final del 2021 se habrían generado aproximadamente 9551,68 ton CO₂/año bajo condiciones normales de presencialidad como sería el caso del 2022 que se regresó a las actividades académicas en las instalaciones de la sede de porvenir. Esto significa que para compensar la huella de carbono se requerirían entre árboles pequeños y arbustos alrededor de:

$$9.551,68 \text{ ton CO}_2 \text{ por año} / 0,016 \text{ kg co}_2 \text{ por año} = 596.982 \text{ árboles}$$

Ya que contamos con un área limitada en los techos de la sede como se muestra en la tabla 8 solo tenemos 2.421,58 m² para 596.982 árboles lo cual no es suficiente ya que de acuerdo a Alvarado A. et al., se debe dejar un espacio de 6 a 8 metros entre árbol y árbol de altura de 6 a 15 metros, los cuales serán medianos en su clasificación y para árboles de menos de 6 metros se recomienda una distancia de 4 a 6 metros.

Para saber cuántos árboles se podrían plantar en el área disponible de los techos se necesitaría tener en consideración que estos árboles necesitan ser plantados a 6 metros de distancia lo cual significa según Calvo A., para un marco de plantación cuadrado o rectangular se debe multiplicar las distancias de este marco, por lo tanto cada árbol tendría a cada lado 3 metros para expandirse en su etapa madura esto y se debería multiplicar 6 m*6 m que en total serían 36 m² que ocupa cada árbol.

$$2.421,58 \text{ m}^2 / 36 \text{ m}^2 \text{ árbol} = 67,26 = 67 \text{ árboles.}$$

Esto resultado nos muestra que los tres bloques como máximo para mantener un espacio adecuado entre árbol y arbustos evitando a su vez competencia por luz y recursos se podrían plantar alrededor de 67 árboles de 596.982 árboles necesarios para llevar la huella de carbono a 0 toneladas al año de la comunidad educativa de la sede Porvenir pero en contraposición se estaría reverdeciendo 2.421,58 m² de área gris.

Por otro lado también se podría tener en cuenta el consumo de CO₂ de las plantas ornamentales pero estas consume menor cantidad de CO₂ como punto de referencia, en la investigación de Mosquera J. y Solano L., una planta de tipo cubierta o herbácea como lo es la Hiedra puede absorber 0,4485 Kg de CO₂ al día en un área 800 m² (pg. 112). Esto daría 163.7 kg

de CO₂ retenidos al año. En un área aproximada de 1.000 m² podría absorber alrededor de 0.2046 ton de CO₂ al año para tener una mejor visualización se puede referir a la tabla 36.

Tabla 36

Cantidad de CO₂ que se podría absorbido para 2021

Azotea	Área Apta m²	Cantidad Árboles y arbustos	kg.CO₂ por año absorbido por plantas Arbóreas	Cantidad de m² de plantas herbáceas	CO₂ por año absorbido por plantas herbáceas
1	362	10	160	149,5	30,6
2	978,58	27	432	404,1	82,7
3	1.081	30	480	446,4	91,3
total	2.421,58	67	1.072	1.000	204,6

Nota. Los resultados que aquí se muestran se han calculado con los datos de cuánto espacio ocupa cada árbol, el porcentaje que absorberá cada bloque y datos ya obtenidos en la investigación. Autores 2022.

Ya para el 2036 la cantidad de CO₂ producida por la comunidad educativa redondearon a 20.003,2 ton al año por lo cual se necesitarían:

$$20.003,2 \text{ ton CO}_2 \text{ por año} / 0,016 \text{ kg CO}_2 \text{ por año} = 1'250.200 \text{ árboles}$$

Para el 2036 se necesitan 1 '250.200 árboles en la sede para poder llevar la huella de carbono a 0 o compensar la huella de carbono lo cual sería inviable por los espacios destinados a

otras actividades y el poco espacio en otras partes de la sede que hay. Para tener la cantidad anterior de árboles se necesitaría un área equivalente a 125,02 hectáreas para hacer una siembra adecuada lo cual solo sería posible en parques de gran extensión o áreas de recuperación ambiental.

Por otra parte el sistema en conjunto podría absorber 1.276,6 Kg de CO₂ al año lo que a lo largo de 15 años habría absorbido alrededor de 19.149 Kg CO₂ transformándolo a toneladas serían 19,149 Ton de CO₂ y a su vez el sistema podría proveer oxígeno suficiente para que 2 adultos y un menor respiren por 15 años, regular aguas lluvia, sonidos, reverdecimientos de espacios grises, entre otros, lo cual sin el proyecto no sería posible.

5.6 Diseño Paisajístico de Techo Verde

Para el diseño de paisajístico del techo verde se utilizó un espacio de 6 metros entre los árboles y arbustos para permitir que la capa frondosa de ellos pudieran expandirse de manera óptima dando a su vez suficiente espacio para entrar luz a las plantas ornamentales y evita competencia por recursos lo cual deteriora las plantas (Alvarado A. et al, 2014). Del Anexo 4 al 8 se muestran las leyendas de los árboles, arbustos y plantas ornamentales mencionadas en la caracterización de plantas junto a los diseños finales del sistema.

6. Capítulo 3 Estudio Económico

6.1 Cálculo de Costos Promedio

Para conocer el presupuesto que se debería tener para llevar a cabo el presente proyecto en la sede de Porvenir Bosa se toma cada uno de los costos directos e indirectos de cada etapa de construcción de los techos verdes.

6.1.1 Costos de Materiales

En la tabla 37, 38 y 39 se muestran los precios a 2022 de diferentes proveedores del material que se adaptan a la obra.

Tabla 37

Valor de Componentes Estables en el Sistema de Techos Verdes Intensivos

Descripción	Productos	Cantidad	Unidad	Valor Unitario	Valor total (COPS)
Membrana Impermeable y Protección Anti Raíz	SARNAFIL G 476-15	2.421,58	m2	\$4.522,98	10'952.757,91
Capa Drenante	Sika Drain MS-20	2.421,58	m2	\$31.595,64	76'511.369,91
Capa Filtrante	Geotextil Sika PP 1800/2500	2.421,58	m2	\$8.295,17	20'087.417,77
Sistema de Riego en Conjunto	Múltiples	2.421,58	m2	\$7.000,00	16'951.060
Subtotal					124'475.605,6

Nota. Autores, 2022.

En la tabla 31 se muestra que en el sistema de riego se tuvo en cuenta cada uno de los elementos que lo componen como la manguera común de 1/8” o 1/4”, uniones según diámetro y

en T, codos de 90 grados, válvula de paso estacas para sujeción de tubería, goteros de riego automático y por último el programador de riego para la llave del agua.

Tabla 38

Valor de Componentes Activos en el Sistema de Techos Verdes Intensivos

Descripción	Productos	Cantidad	Unidad	Valor unitario	Valor total \$ COP
Sustrato	Sustrato universal	1.452,94	m3	\$320.000	464'940.800
Capa Vegetal	50 Semillas plantas colgantes y herbáceas	7	paquete	\$7.000	49.000
	Plántulas	67	árbol	\$5.400	361.800
	Plantas ornamentales	40	planta	\$2.500	100.000
Subtotal					465'451.600

Nota. Autores, 2022

En la tabla 39 para hallar la cantidad de sustrato requerido se pasó 60 cm que necesita la tecnología a metros para hallar la cantidad de 1.452,94 metros cúbicos, el costo de cada metro cúbico se obtuvo comparando precios internacionales a 72,60 euros de transporterra.com empresa Española y tomando como referencia también a Valbuena S, Y Tibasosa A. Además para saber cuántos paquetes se necesitaban de plantas herbáceas se tuvo en cuenta cuántas plantas se tendrán inicialmente en el proyecto que son 314.

Tabla 39*Valor de Elementos Auxiliares en el Sistema de Techos Verdes Intensivos*

Descripción	Cantidad	Unidad	Valor unitario	Valor total
Retenedor Periferia	2,421.58	m	\$20.000	48'431.600
Gravilla para terminado ½'' y ¾''	34	m3	\$124.950	4'248.300
Filtros, sifones, retenedores gravilla	85	unidad	\$100.000	8'500.000
Total				61'179.900

Nota. Autores, 2022.

Para tener en cuenta en los costos de materiales se debe agregar el 5% de costos por desperdicios de materiales según libros ingeniería de construcción y al igual como lo comentó Soibelman L., en el estudio Desperdicios vs el control de los materiales. Esto se hace para tener menos incertidumbre en los costos y un mayor grado de resiliencia si se elevan los costos.

6.1.2 Costos Mano de Obra

Para la realización del proyecto se necesita un equipo interdisciplinario para llevar eficientemente a cabo el diseño, implementación y terminación del proyecto. Para reducir costos se puede ofrecer la oportunidad a estudiantes de último semestre de la universidad la realización de los estudios pertinentes para que tengan un proyecto para su opción de grado y se les da un reconocimiento monetario.

Tabla 40*Costos de mano de Obra en el proyecto*

	Especialidad	Actividad	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total
Personal	Arquitecto Experimentado	Diseño de techo verde	1	\$ 2'668.321	\$ 2'668.321
Profesional	Biólogo último semestre	Selección de plantas	1	\$500.000	\$500.000
	Ingeniero civil último semestre	Estudio de cargas, y técnico	1	\$500.000	\$500.000
Personal	Gestor Ambiental	Gestión del Proyecto y obtención de recursos.	2	1'500.000	3'000.000
Personal	Maestro de Obra	Coordinación de obra	1	2'500.000	2'500.000
Técnico	Constructor	Realización del proyecto	3	1'200.000	3'600.000
Subtotal					12'768.321

Nota. Autores, 2022.

Los costos de un proyecto de esta magnitud son elevados ya que se busca varios objetivos como el reverdecimiento de espacios grises, diseño paisajístico y combatir el cambio climático por medio de proyectos verdes. Como lo expresa la página de asesoría alemana Fertighaus.de un

techo intensivo por metro cuadrado puede valer en general desde 80 a 140 euros que haciendo el cambio de divisa a mayo 28 sería de \$336.974,91 COP a \$589.706,10 COP por ello el precio representado en la tabla 36 está acorde y más bajo.

6.1.3 Costo Total del Proyecto

En este apartado tenemos primero los costos subtotales del proyecto en la tabla 41 y se le suma otros costos importantes para evitar problemas de liquidez en el proyecto los cuales se pueden ver en la tabla 42.

Tabla 41

Costos subtotales

Descripción	Subtotal
Componentes Estables	124'475.605,6
Componentes Activos	465'451.600
Elementos Auxiliares	61'179.900
Mano de Obra	12'768.321
Total	663'875.426

Nota. Autores, 2022.

Tabla 42

Otros costos y totalidad

Descripción	Unidad	Subtotal \$ COP
Costos Imprevistos por Desperdicios	5%	33'193.771,3
Alquiler Grúa Torre	15 días	1'846.298,32
Subtotal		35'040.069,62
Total obra		698'915.494,6

Nota. El alquiler de la Grúa torre es para subir el material de forma efectiva y el precio fue obtenido del Generador de Precios Colombia, autores, 2022.

En la tabla 36 se observa que el precio total de construcción de obra sería \$698'915,494.6 pesos colombianos a precios 2022 con IVA de 19%, esto se traduce que cada metro cuadrado construido saldría a \$288.619,62 COP.

Por último contaremos con costos de mantenimiento del sistema que van más por parte de fertilizante que por parte del personal, ya que la universidad distrital ya cuenta con el personal encargado de acondicionamiento de los espacios verdes. Para evitar costos innecesarios en fertilizantes ya que contamos con un restaurante para estudiantes, se podría utilizar los desechos biológicos para crear compostaje en una parte destinada para ello y así podríamos abastecerse del material para crecimiento de las plantas.

6.2 Tiempo Estimado Constructivo

Ya que en todo proyecto de construcción el tiempo influye en los costos de mano de obra y muchas veces hasta de materiales por pérdida de calidad del mismo es importante tener en

cuenta desde la gestión hasta los acabados de la construcción para tener bajo control los gastos de la obra.

6.2.1 *Fases del Proyecto*

- **Gestión de Recursos Humanos:** En esta primera fase es importante contar con el personal indicado para el desarrollo del proyecto es por eso que los tecnólogos de gestión ambiental serán los encargados de buscar y dirigir el personal profesional experimentado, estudiantes de último semestre de la especialidad en Biología e Ingeniería Civil y por ultimo búsqueda del personal técnico competente para la instalación de los techos verdes.
- **Gestión Financiera:** Para la obtención de recursos los tecnólogos de gestión ambiental serían los encargados de gesticular el dinero de las fuentes patrocinadoras del proyecto para la compra de los materiales y pago de los servicios ofrecido por el personal.
- **Planeación:** En la planeación estaría el arquitecto encargado de hacer el diseño de los techos verdes intensivos de forma paisajística, el ingeniero civil para el estudio técnico y de cargas, y el biólogo para la selección de plantas para el techo verde.
- **Construcción:** Para dar un tiempo estimado de instalación de techos intensivos se tiene en cuenta el tiempo que empresas han tomado para hacer la instalación de estos techos verdes como lo es Everplant Technology limited en sus preguntas frecuentes de la respuesta que puede tomar 1 semana la instalación en proyectos de tamaño comercial y la empresa Green Roofs NYC explica que usualmente puede tomar hasta dos semanas para el proceso de llenado y terminación.

Para el proyecto se tomaría el mayor número de días para tener un mayor grado de certeza en el cronograma de trabajo en el proyecto lo que serían 2 semanas para la instalación de los techos verdes y acabados.

6.3 Cronograma de Actividades

Para observar de manera más simplificada se ha tomado cada una de las fases y actividades del proyecto para plasmarlas en la figura 67, esto se hace con el fin de tener un plan de trabajo el cual minimice los gastos de la instalación de los techos verdes.

Figura 67

Diagrama de Gantt

Fase	N	Encargados	Actividades	Tiempo esperado en días	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5
Gestion de Recursos Humanos	1	Tecnólogos en Gestión Ambiental	Busqueda del Personal Capacitado	6					
Gestion de Recursos Financieros	2	Tecnólogos en Gestión Ambiental	Distribucion Financiera	31					
Planeacion	3	Arquitecto	Diseño de Techos verdes	12					
Construccion	5	Maestro de obra	Coordinacion de Técnicos y Materiales	15					
	6	Técnicos constructores	Instalacion de los Techos Verdes	15					

Nota. Autores, 2022

6.4 Disponibilidad de Recursos Financieros

Cuando hablamos de la disponibilidad de recursos financieros nos debemos remitir a las fuentes de financiación del proyecto para llevar a cabo la obra, las cuales pueden ser propias, de instituciones privadas y/o públicas de índole local, nacional o internacional, y una última sería una combinación entre ellas para obtener los recursos necesarios.

6.4.1 Fuente de Financiación Propia

Como fuente de financiación propia se hace aclaración que es un proyecto de beneficio de la comunidad académica de la Universidad Distrital y Personas del sector de Bosa, ya que el proyecto puede servir también como área de desarrollo investigativo, generador de conocimiento y al estar ubicado en institución pública puede haber acceso al área con permisos con el fin de compartir el conocimiento.

Por lo tanto la financiación en primera instancia podría darse por aporte voluntario a travez del pago del semestre o a travez de un pago a la cuenta de la universidad para el rubro destinado al proyecto, donde 25.600 estudiantes universitarios de las 5 sedes, cifra aportada por el rector Tarazona G. en el periódico Nuevo Siglo, podrían dar un aporte de \$27,301.39 pesos colombianos para completar la suma de \$698'915,94.6 COPs.

Aparte de esto se podría la colaboración voluntaria de personas de las distintas sedes en la obra, como ayudar en la plantación u otras actividades dentro de la obra.

6.4.2 Fuentes Nacionales de Financiación

Una de las fuentes Nacionales que financia proyectos ambientales es el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible que para octubre del 2021 lanzó oficialmente la convocatoria para entidades públicas con un presupuesto de 52.000 millones de pesos de regalías por lo cual se podría participar en estas convocatorias con fin de obtener una financiación completa o parcial. Por otro lado, ellos brindan apoyo técnico, evaluación, y seguimiento a los proyectos.

Como fuentes de financiación aleatorias públicas tendríamos la opción de pasar el proyecto a la alcaldía menor de Bosa, a la Secretaria Distrital de Ambiente la cual se está incluida en el Plan de Acción Climática 2020-2050 (PAC), y al Fondo Distrital para la Gestión de Riesgos y Cambio Climático (Fondiger), ya que entre sus rubros de gastos se contemplan proyectos ambientales que apoyen a la mitigación del cambio climático y mejoramiento de calidad de vida de las personas. También por parte de ayuda en la recolección de plantas y árboles se podría hacer la solicitud al Jardín Botánico José Celestino Mutis para reducir costos u obtenerlo de forma gratuita.

6.4.3 Fuente Internacionales de Financiación

Alrededor del mundo en los países desarrollados europeos y americanos se encuentran programas de recolección de dinero y de inversión en proyectos ambientales con fin del cambio climático y desarrollo sostenible en países en vías de desarrollo como lo es Colombia.

Uno de los países que entrega financiación es Francia por medio del Fondo para el Medio Ambiente Mundial (FFEM nombrado por sus siglas en francés) a proyectos que fomenten el desarrollo innovador local a favor del medio ambiente y la biodiversidad, ellos apoyan con una cantidad menor al 30% de la obra por lo cual se podría gestionar como uno de los contribuyentes.

El ente que cuenta con mayor capacidad de financiamiento es la Alianza Global contra el Cambio Climático (GCCA, Siglas en inglés), los cuales surgieron de la asociación de varios países desarrollados para combatir el cambio climático y su presupuesto total es de 139,6 millones de euros.

6.5 Viabilidad Financiera del Proyecto

En cuanto a Bogotá el control de la contaminación atmosférica ha representado altos costos generados a partir de la mitigación de los efectos negativos de esta problemática, citada por Franco (2012), la cual afirma que en la capital anualmente se originan costos de aproximadamente miles de millones de dólares, referentes a la mitigación de efectos negativos de la contaminación atmosférica.

Es por este motivo que en este apartado como lo explica Arias E. (2020) la viabilidad de un proyecto tiene como finalidad conocer la probabilidad de que se lleve a cabo o que no se pueda realizar, esto quiere decir que si es viable un proyecto tiene un gran posibilidad de éxito para lo cual nos concentramos ahora en la parte económica.

Ya que el proyecto busca combatir el cambio climático y apoyar al desarrollo sostenible de la ciudad podemos también considerar que por pagos de servicios ambientales y uso racional de agua se encuentra el proyecto contaría con un rublo ahorrativo indirecto como lo es por pago de CO2 y agua.

6.6 Ahorro en Costos por Emisiones de CO2

En esta sección se busca saber qué cantidad de dinero se estaría ahorrando la Universidad en la estrategia para combatir el cambio climático y de desarrollo sostenible por este motivo tenemos en cuenta a la estimación que realiza SENDECO2, empresa encargada de la compraventa de derechos de emisión por cuenta propia cuya presencia es fuerte en el sector sur de Europa.

Esta empresa genera un promedio anual y mensual de compra de la tonelada de CO2 equivalente a 0 en el mercado donde para Junio del 2022 se encontraba la media anual en 83.25 € y el precio del euro a Junio se encontraba en \$4,045.67 COP por lo cual se debe hacer solo la conversión de dinero y multiplicar por la cantidad de toneladas que absorbe el proyecto al año lo cual se puede ver en las siguientes operaciones aritméticas.

$$\text{Conversión de pago por Ton/co2} = 83,25 \text{ €} * \$4.045,67 \text{ COPS} = \$336.802,03 \text{ COPS}$$

$$\text{Ahorro por Año} = \text{Emisiones ton/co2 equivalente 0} * \text{Pago por Ton/co2}$$

$$\text{Ahorro por Año} = 1,2766 \text{ Ton/co2} * 336,802.03 = 429.996,147$$

$$\text{Ahorro proyectado 15 años} = 19,149 \text{ Ton de CO2} * \$336,802.03$$

$$\text{Ahorro proyectado} = 6'449.422,08$$

Con los resultados anteriores se puede entender que en 15 años en total se recuperaría por concepto dióxido de carbono \$6'449.422,08, en este ejercicio claramente no se toma en cuenta depreciaciones, subida de costos o la inflación por efectos prácticos.

6.7 Ahorro por Reutilización de Agua Lluvia

Ya que al contar con techos verdes estos tienen una capacidad de retención de agua lluvia de un 75 % como lo expresó Johnson P. (2018), lo cual implica un ahorro indirecto de agua que para efectos económicos se calcula como el ahorro de consumo de agua en la Universidad Distrital Francisco José de Caldas sede Bosa. Para ello se tiene en cuenta el estudio de precipitación realizado por el IDEAM, donde en la tabla 12 se observó que en la ciudad de Bogotá en promedio anual hay 842 mm de agua lo cual equivale a 842 L/m² lo cual se debe multiplicar por el espacio de los techos verdes y así sacar el porcentaje de ahorro.

$$M3 \text{ al año ahorrados} = 842 \text{ L/m}^2 * 2.421,58 \text{ m}^2 = 2'038.970,36 \text{ L}$$

$$M3 \text{ al año ahorrados} = 2'038.970,36 \text{ L} / 1000 \text{ L/m}^3 = 2.038,9704 \text{ m}^3$$

$$M3 \text{ al año ahorrados} = 2.038,9704 * 75\% = 1.529,2278 \text{ m}^3$$

El valor anterior se debió pasar a m³ para calcular su valor en el 2022 con la empresa de acueducto y alcantarillado de Bogotá, la cual para los suscriptores de tipo oficial como lo es la universidad cada m³ tiene un valor de \$2,952.31.

$$\text{Ahorro en Dinero} = 1.529,2278 \text{ m}^3 * \$2.952,31 \text{ Cops/m}^3$$

$$\text{Ahorro en Dinero} = 4'514.754,527 \text{ Cops}$$

Esto significa que el sistema estaría ahorrando un precio de \$4'514.754,527 pesos al año que en 15 años se traduciría en \$67'721.317,905 pesos lo cual significa una gran cantidad de líquido vital, regulado y reutilizado por el sistema de techos verdes.

6.8 Relación Costo-Beneficio

Como lo explica el portal de negocios de ESAN Graduate School of Business esta relación compara directamente el beneficio y el costo de un proyecto para definir si es viable o no. La manera en que se puede calcular es dividiendo los beneficios totales del proyecto entre los costos del proyecto donde se entiende que el resultado se lleva a la comparación a 1, donde 1 significa que los beneficios igualan a los costos ósea que no hay ganancias. De esta manera si $B/C > 1$, indica que los beneficios son mayores a los costos y viceversa. Cuando el caso es $B/C < 1$, significa en términos económicos no viable.

Para saber cuánto sería los beneficios totales se toman los valores hallados en el ahorro por CO₂ y de Agua en los 15 años iniciales del proyecto, ya después se hace la relación de costo beneficio del proyecto para conocer la viabilidad económica.

$$\text{Beneficio total} = \$67'721.317,905 + \$6'449.422,08$$

$$\text{Beneficio total} = 74'170.739,948$$

$$\text{Beneficio} / \text{Costo} = 74'170.739,948 / 698'915.494,6$$

$$B/C = 0,1061$$

Según el resultado que nos dio de 0.1061 lo podemos entender que según la comparación a 1 el proyecto requiere en cuestión económica no es viable debido a la inversión sin retorno monetario.

7. Conclusiones

- Para dar respuesta a la pregunta de investigación la sede porvenir al ser una estructura nueva y al ser construida siguiendo al reglamento Colombiano de Construcciones Sismo Resistentes NSR -10 puede soportar los techos verdes intensivos y cuenta con grandes áreas vacías donde se puede realizar un proyecto de techos, también los materiales y mano de obra son de fácil acceso en la ciudad de Bogotá por lo que sería viable técnicamente.
- En el aspecto Ambiental se pudo observar que para llevar la huella de carbono de la comunidad educativa a cero se necesitan 125,02 hectáreas haciendo una siembra espaciada lo cual no se podría realizar en los techos pero aun así el sistema podría absorber 19,149 Ton CO₂ en 15 años adicionalmente en el mismo periodo de tiempo podría ayudar a manejar y reutilizar 1.529,2278 m³ de agua lluvia, proveer oxígeno suficiente para una familia de 2 adultos y un niño por 15 años, además servirá para atraer insectos y a su vez sirviendo como atractivo en el sector, brindaría más valor al sector, reduciría la contaminación auditiva, ayudaría al manejo de las aguas lluvias, junto al reverdecimiento de la universidad.
- En cuanto al aspecto económico se pudo evidenciar que la propuesta planteada de techos intensivos serían más económicos a comparación con los costos que incurrirán en Europa. Por otro parte se encuentra que el costo final del proyecto \$698'915,494.6 COP ya que el proyecto tiene una gran área de cobertura dentro de las azoteas de la sede, pero el precio hace que sea muy poco viable y se tendría que buscar una alternativa para reducir precios y mejorar las áreas de financiación.

8. Recomendaciones

- Se recomendaría un trabajo conjunto con la oficina de planeación y con el SGA de la universidad para poder tener un desarrollo articulado de un proyecto de este alcance y realizarse un estudio estructural sería de gran utilidad para evitar complicaciones por cargas vivas.
- Para ayudar a la reducción de la Huella de Carbono producida por la comunidad educativa se podría tener en cuenta también el aporte que ya cuenta la universidad con nueva tecnología para la reducción del impacto ambiental y también se podría gestionar plantaciones con el jardín botánico donde cada integrante de la sede pudiese plantar un árbol en cada semestre en la ciudad de Bogotá como trabajo voluntario, motivar más al uso de bicicleta y compra de productos que tengan sello verde o este la marca comprometida con la producción sostenible.
- Para reducir los costos de los techos verdes intensivos sin alterar de gran medida el diseño paisajístico y los beneficios que conlleva el sistema se podría utilizar como soporte la tecnología tipo receptáculos y así se podría reducir los espacios entre árboles y a su vez la cantidad de material que se requerirían, y se podría construir por fases donde se pueda recolectar por cada periodo de tiempo el dinero e ir construyendo el sistema por partes empezando por los laboratorios para lograr mayor acceso al dinero. En cuanto al acceso financiero, se recomienda agregar los aportes que ya hace la universidad para mitigar las emisiones y así mejorar la posibilidad de cumplir con los criterios para adquirir los fondos.

9. Referencias

Abellán, A. (30 de diciembre de 2013). *Drenaje Urbano Sostenible*.

<http://sudsostenible.com/tipos-de-cubiertas-verdes/>

Acosta, D. (2009). Arquitectura y construcción sostenibles: conceptos, problemas y estrategias.

Dearq, (4), 14-23. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=341630313002>

Alcaldía de Bogotá. (Enero 30, 2022). "Hay 25.600 estudiantes inscritos con matrícula cero":

Tarazona. *El nuevo siglo*. <https://www.elnuevosiglo.com.co/articulos/01-28-2022-tenemos-25600-estudiantes-inscritos-con-matricula-cero#:~:text=GMT%3A%20Para%20el%20a%C3%B1o%202022,los%2046%20programas%20de%20pregrado.>

Alcaldía Local de Bosa. (2017). *Plan ambiental local bosa 2017-2020*.

https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/adminverblobawa?tabla=T_NORMA_ARCHIVO&p_NORMFIL_ID=8464&f_NORMFIL_FILE=X&inputfileext=NORMFIL_FILENAME

Alcaldía Mayor de Bogotá. *Proyecto Presupuesto 2022 Bogotá, Distrito Capital*. [Archivo PDF].

https://www.shd.gov.co/shd/sites/default/files/documentos/Anexo_4.pdf

Alcaldía Mayor de Bogotá. (2014). *Plan de acción climática*. [Archivo PDF].

https://oab.ambientebogota.gov.co/?post_type=dlm_download&p=18860

Alvarado A., Guajardo F., & Devia S. (2012). *Guía de Arborización Urbana. Especies para la*

Región Metropolitana, Santiago de Chile. Editorial e Imprenta Maval Ltda.

https://www.conaf.cl/cms/editorweb/institucional/Manual_de_Plantacion_de_Arboles_en_Areas_Urbanas.pdf

Aquae Fundación. (2016). *Los árboles son los pulmones del planeta*. [Archivo PDF].

https://www.fundacionaquae.org/wp-content/uploads/2016/04/infografia_oxigeno.pdf

Archtoolbox.(29 de Mayo del 2021). *Green roof system: Intensive, Semi-extensive, Extensive*.

<https://www.archtoolbox.com/materials-systems/site-landscape/green-roofs.html>

Benavidez, M., & Mojica, V. (2019). *Análisis de la influencia de los techos verdes en la variación de la concentración del material particulado (PM10) en condiciones diurnas en Bogotá* [Universidad El Bosque].

<https://repositorio.unbosque.edu.co/handle/20.500.12495/2125>

Brum, R., Melegari, S., Secco, D., Cruz, J., & Lenz, M. (2018), Green roofs and their contribution for the reduction of room temperature in buildings in Cascavel-State Paraná/green roofs and energy efficiency. *Technology*, 40(1),e35267.

<https://doi.org/10.4025/actascitechnol.v40i1.35267>

Calvo A. (5 de Noviembre del 2019). *¿Cómo calcular el número de árboles por hectárea?*.

<https://www.agroptima.com/es/blog/calcular-numero-arboles-hectarea/>

Cámara de comercio de inversión.(2011).*La inversión pública y calidad de vida en las localidades de Bogotá*. [Archivo PDF].

https://bibliotecadigital.ccb.org.co/bitstream/handle/11520/3089/8927_inversion_publica_calidad_de_vida_bosa_2011.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Canada Mortgage and Housing Corporation (CMHC). (1999). *Greenbacks from green roofs*.

[Archivo PDF]. <https://commons.bcit.ca/greenroof/files/2012/01/Greenbacks.pdf>

Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo.(2015). *La importancia de la*

biodiversidad. [https://www.ciad.mx/notas/item/1209-la-importancia-de-la-](https://www.ciad.mx/notas/item/1209-la-importancia-de-la-biodiversidad#:~:text=La%20biodiversidad%20de%20las%20especies,menos%20import)

[biodiversidad#:~:text=La%20biodiversidad%20de%20las%20especies,menos%20import](https://www.ciad.mx/notas/item/1209-la-importancia-de-la-biodiversidad#:~:text=La%20biodiversidad%20de%20las%20especies,menos%20import)
[ante%2C%20nos%20colma%20la](https://www.ciad.mx/notas/item/1209-la-importancia-de-la-biodiversidad#:~:text=La%20biodiversidad%20de%20las%20especies,menos%20import)

Cigüenza, N.(18 de julio de 2019). Conozca cuál es la Huella de Carbono que Puede Generar una

Persona al Año. *La República*. [https://www.andesco.org.co/en/2019/07/18/conozca-cual-](https://www.andesco.org.co/en/2019/07/18/conozca-cual-es-la-huella-de-carbono-que-puede-generar-una-persona-al-ano/)
[es-la-huella-de-carbono-que-puede-generar-una-persona-al-ano/](https://www.andesco.org.co/en/2019/07/18/conozca-cual-es-la-huella-de-carbono-que-puede-generar-una-persona-al-ano/)

Climate Action Business Association. (17 de abril del 2018). *Green roofing: everything you need*

to know. <https://cabaus.org/2018/04/20/green-roofing-everything-need-know/>

Departamento Administrativo Nacional de Estadística. (8 de febrero de 2022). *Censo Nacional*

de Población y Vivienda. [https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-](https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/censo-nacional-de-poblacion-y-vivenda-2018)
[tema/demografia-y-poblacion/censo-nacional-de-poblacion-y-vivenda-2018](https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/censo-nacional-de-poblacion-y-vivenda-2018)

Díaz, G. (2012). El cambio climático. *Ciencia y Sociedad*, 17(2), 227-240.

[http://repositoriobiblioteca.intec.edu.do/bitstream/handle/123456789/1392/CISO2012370](http://repositoriobiblioteca.intec.edu.do/bitstream/handle/123456789/1392/CISO20123702-227-240.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
[2-227-240.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositoriobiblioteca.intec.edu.do/bitstream/handle/123456789/1392/CISO20123702-227-240.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Dureau, F. (2015). Bogotá: una doble dinámica de expansión espacial y de densificación de

espacios urbanos. *Metrópolis en movimiento : una comparación internacional* (pp.28-

36). Alfaomega. https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers11-03/010031175.pdf

Enrique Rus Arias. (08 de mayo, 2020). *Viabilidad*. Economipedia.com

Environmental Protection Agency (EPA). (2018). Greenhouse Gas Emission.

<https://www.epa.gov/ghgemissions/overview-greenhouse-gases>

ESAN Graduate School of Business. (24 Enero 2017). *El índice beneficio/costo en las finanzas corporativas*. [https://www.esan.edu.pe/conexion-esan/el-indice-beneficiocosto-en-las-finanzas-](https://www.esan.edu.pe/conexion-esan/el-indice-beneficiocosto-en-las-finanzas-corporativas#:~:text=El%20%C3%ADndice%20beneficio%2Fcosto%20(I%20B,proyecto%20para%20definir%20su%20viabilidad.)

[corporativas#:~:text=El%20%C3%ADndice%20beneficio%2Fcosto%20\(I%20B,proyecto%20para%20definir%20su%20viabilidad.](https://www.esan.edu.pe/conexion-esan/el-indice-beneficiocosto-en-las-finanzas-corporativas#:~:text=El%20%C3%ADndice%20beneficio%2Fcosto%20(I%20B,proyecto%20para%20definir%20su%20viabilidad.)

Franco, J. (2012). Contaminación atmosférica en centros urbanos. Desafío para lograr su sostenibilidad: caso de estudio Bogotá. *Revista Escuela De Administración De Negocios*, (72), 193–204. <https://journal.universidadean.edu.co/index.php/Revista/article/view/576>

Gaitan, M., Cancino, J., & Behrentz, E. (2007). Análisis del estado de la calidad del aire en Bogotá. *Revista de ingeniería*, 26, 81-92.

<http://www.scielo.org.co/pdf/ring/n26/n26a11.pdf>

Garcia, I. (2010). *Beneficios de los sistemas de naturación en las edificaciones*. [Archivo PDF].

http://www.paginaspersonales.unam.mx/files/251/BENEFICIOS_SISTEMAS_NATURACION_ILSE.pdf

Goud, R., Kumar, N., Lokhande, H., Bohre, S., Kochar, Y., Soni M., & Pathak A., (2018). Vertical Forest in multistory Residential Cum Commercial to Eliminate Pollution by Hydroponic Method. Vol. 4, Pg, 73. International Journal of Engineering Research and Advanced Technology. <https://doi.org/10.31695/IJERAT.2018.3270>

Green roof Technology .(2021). *Intensive Green roof*.

<http://www.greenrooftechology.com/intensive-green-roof>

Greenpeace.(15 de Diciembre del 2020.) *El 80% de la población en Bogotá vive con déficit de áreas verdes*. [https://www.greenpeace.org/colombia/noticia/uncategorized/el-80-de-la-poblacion-en-bogota-vive-con-deficit-de-areas-](https://www.greenpeace.org/colombia/noticia/uncategorized/el-80-de-la-poblacion-en-bogota-vive-con-deficit-de-areas-verdes/#:~:text=%23NuestraNuevaCiudad-)

[verdes/#:~:text=%23NuestraNuevaCiudad-](https://www.greenpeace.org/colombia/noticia/uncategorized/el-80-de-la-poblacion-en-bogota-vive-con-deficit-de-areas-verdes/#:~:text=%23NuestraNuevaCiudad-)

[,El%2080%25%20de%20la%20poblaci%C3%B3n%20en%20Bogot%C3%A1,con%20d%C3%A9ficit%20de%20%C3%A1reas%20verdes&text=Seg%C3%BA%20el%20infor](https://www.greenpeace.org/colombia/noticia/uncategorized/el-80-de-la-poblacion-en-bogota-vive-con-deficit-de-areas-verdes/#:~:text=%23NuestraNuevaCiudad-)
[me%20de%20Greenpeace,localidades%2013%20presentaron%20esta%20faltante.](https://www.greenpeace.org/colombia/noticia/uncategorized/el-80-de-la-poblacion-en-bogota-vive-con-deficit-de-areas-verdes/#:~:text=%23NuestraNuevaCiudad-)

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM). (09 de Marzo de 2016). *Reporte de datos climáticos y meteorológicos de Bogotá*.

<https://n9.cl/8hf70>

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM)., (s.f.),

mapas de brillo solar. <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21129/3->

[+Brillo+Solar.pdf/00c38815-74d0-4b1e-bfc4-ed842d466788](http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21129/3-+Brillo+Solar.pdf/00c38815-74d0-4b1e-bfc4-ed842d466788)

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM) & Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME). (2017). *Atlas de Viento de Colombia*.

<http://www.andi.com.co/Uploads/VIENTO.compressed.pdf>

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

(2010). *Características climatológicas de ciudades principales y municipios turísticos*,

Recuperado en: http://www.ideam.gov.co/AtlasWeb/info/Tablas/tvap_tab.pdf

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM). (s.f.).

Formato Común de Hoja Metodológica de Indicadores Ambientales Humedad Relativa.

<http://www.ideam.gov.co/documents/24155/125581/40->

[89_HM_Humedad_relativa_3_FI.pdf/0a78b6b1-abda-4148-9023-](http://www.ideam.gov.co/documents/24155/125581/40-89_HM_Humedad_relativa_3_FI.pdf/0a78b6b1-abda-4148-9023-5f8295766c08#:~:text=La%20humedad%20relativa%20es%20el,su%20temperatura%20y%20su%20presi%C3%B3n)

[5f8295766c08#:~:text=La%20humedad%20relativa%20es%20el,su%20temperatura%20y%20su%20presi%C3%B3n](http://www.ideam.gov.co/documents/24155/125581/40-89_HM_Humedad_relativa_3_FI.pdf/0a78b6b1-abda-4148-9023-5f8295766c08#:~:text=La%20humedad%20relativa%20es%20el,su%20temperatura%20y%20su%20presi%C3%B3n).

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM). (2021)

Características Climatológicas de Ciudades Principales y Municipios Turísticos.

[http://www.ideam.gov.co/documents/21021/418894/Caracter%C3%ADsticas+de+Ciudades](http://www.ideam.gov.co/documents/21021/418894/Caracter%C3%ADsticas+de+Ciudades+Principales+y+Municipios+Tur%C3%ADsticos.pdf/c3ca90c8-1072-434a-a235-91baee8c73fc#:~:text=La%20humedad%20relativa%20del%20aire%20oscila%20durante%20el%20a%C3%B1o%20entre,menor%20en%20julio%20y%20agosto)

[es+Principales+y+Municipios+Tur%C3%ADsticos.pdf/c3ca90c8-1072-434a-a235-](http://www.ideam.gov.co/documents/21021/418894/Caracter%C3%ADsticas+de+Ciudades+Principales+y+Municipios+Tur%C3%ADsticos.pdf/c3ca90c8-1072-434a-a235-91baee8c73fc#:~:text=La%20humedad%20relativa%20del%20aire%20oscila%20durante%20el%20a%C3%B1o%20entre,menor%20en%20julio%20y%20agosto)

[91baee8c73fc#:~:text=La%20humedad%20relativa%20del%20aire%20oscila%20durante%20el%20a%C3%B1o%20entre,menor%20en%20julio%20y%20agosto](http://www.ideam.gov.co/documents/21021/418894/Caracter%C3%ADsticas+de+Ciudades+Principales+y+Municipios+Tur%C3%ADsticos.pdf/c3ca90c8-1072-434a-a235-91baee8c73fc#:~:text=La%20humedad%20relativa%20del%20aire%20oscila%20durante%20el%20a%C3%B1o%20entre,menor%20en%20julio%20y%20agosto).

Inter-American Development Bank. (14 de Julio del 2014). *9 fuentes de financiamiento para tu*

proyecto de cambio climático. [https://blogs.iadb.org/sostenibilidad/es/9-fuentes-de-](https://blogs.iadb.org/sostenibilidad/es/9-fuentes-de-financiamiento-para-tu-proyecto-de-cambio-climatico/)

[financiamiento-para-tu-proyecto-de-cambio-climatico/](https://blogs.iadb.org/sostenibilidad/es/9-fuentes-de-financiamiento-para-tu-proyecto-de-cambio-climatico/)

- Isaza, D. R., Cataño, J. S., Escobar, D. M., & Ciro, É. M. (2019). *Problemática de la contaminación del aire en Colombia*. Pg. 116-117. *Revista Ambiental ÉOLO*, 18(1), 109-123. <http://revistaeolo.fconvida.org/index.php/eolo/article/view/12>
- Jardín Botánico Celestino Mutis. (2021). *Las 20 especies de árboles aptas para plantar en el espacio público de Bogotá*. <https://www.jbb.gov.co/index.php/2018-2/item/283-las-20-especies-de-arboles-aptas-para-plantar-en-el-espacio-publico-de-bogota>
- Jimenez, B., & González, J. (2013). Calidad de vida urbana: una propuesta para su evaluación. *Revista de Estudios Sociales*, 49, 159-175. <https://doi.org/10.7440/res49.2014.12>
- Johnson P. (2018). *Green Roof Performance Measures A Review of Stormwater Management Data and Research* [Archivo PDF]. https://doee.dc.gov/sites/default/files/dc/sites/ddoe/service_content/attachments/D.%20Green_Roof_Performance-05-04-2009.pdf
- Kale S. (2018). *Installation and Maintenance*. <https://www.greenroofsny.com/installation-maintenance>
- La Punta de Universidad y Gobierno de la Provincia de San Luis. (s.f.) *BALANCE CERO*. http://64.213.148.72/balance/balance_cero.html
- Lopez, M. (2010). *Un acercamiento a las cubiertas verdes*. Ofigraf Impresores S.A.S. <https://www.fbpsa.com/images/acercamiento%20a%20las%20cubiertas%20verdes.pdf>
- Luckett K. *Green roof construction and maintenance*. (2009). MacGraw Hill Professional. <https://casagreb.files.wordpress.com/2013/02/green-roof.pdf>

- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.(s.f) *Gestión de Proyectos y Fondos del Sector Ambiental*. https://www.minambiente.gov.co/planeacion-y-seguimiento/gestion-de-proyectos-y-fondos-del-sector-ambiental/?__cf_chl_tk=KgmJoj9H1hTLlYuBDTQvPCgrNkXPw2gFPjqyNJzMf20-1653822484-0-gaNycGzNCeU
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2000). *Título B Sistemas de Acueducto*. [Archivo PDF]. (<https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/titulob-030714.pdf>)
- Molotoks, A., Smith, P., & Dawson T. (2021). *Impacts of land use, population and climate change on global food security*. *Food Energy Security*, 10(1), 261.
<https://doi.org/10.1002/fes3.261>
- Morales A., & Uzcátegui Y. (2017). *Diseño y Factibilidad Tecnico-Economico de una propuesta de Techo en el Edificio Álvaro Beltrán Pinzón de la UIS*. [Tesis de grado, Universidad Industrial Santander]. <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2017/170512.pdf>
- Mosquera, J. y Solano, J. (2018). *Diseño de modelo para techos verdes en dirección a la compensación de dióxido de carbono (co2), generado por los vehículos particulares que visitan la zona rosa de Bogotá d.c* [Tesis de Grado, Universidad Libre de Colombia].
<https://repository.unilibre.edu.co/handle/10901/15887>
- Muños Espitia, W. I. C. (2017). *Monitoreo de calidad del aire en Bogotá, Colombia un estudio de disponibilidad a pagar en la localidad de bosa* [Tesis Maestría, Universidad de Manizales].

[http://ridum.umanizales.edu.co/xmlui/bitstream/handle/20.500.12746/4098/Mu%
zEspitiaWilsonF2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://ridum.umanizales.edu.co/xmlui/bitstream/handle/20.500.12746/4098/Mu%c3%b1ozEspitiaWilsonF2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

National Park Service U.S Department of the interior.(2021) Green Roofs on Historic Buildings.

<https://www.nps.gov/tps/sustainability/new-technology/green-roofs.htm>

Nowak D., J.; Hoehn R., & Crane D.(2007) Oxygen Production by Urban Trees in the United States. *Arboriculture & Urban Forestry*. 33(3):220–226.

https://www.nrs.fs.fed.us/pubs/jrnl/2007/nrs_2007_nowak_001.pdf

Ortegon, L. (2018). *Efectos de la contaminación del aire sobre la mortalidad cardiopulmonar en la localidad de Bosa*. [Archivo PDF].

<https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/10660/2018leidyortegon.pdf?sequence=4&isAllowed=y>

Patella, V., Florio, G., Magliacane, D. et al.(2018). Urban air pollution and climate change: “The Decalogue: Allergy Safe Tree” for allergic and respiratory diseases care. *Clin Mol Allergy* 16,(20). <https://doi.org/10.1186/s12948-018-0098-3>

Paz, A. (2 abril 2020). Incendios, contaminación del aire y Covid-19: tres problemas que acechan a Colombia. *Mongabay Latam*. <https://es.mongabay.com/2020/04/calidad-del-aire-y-coronavirus-incendios-en-colombia/>

Pereira M., (2020). *Catálogo Florístico, Manual de Árboles y Arbustos representativos de la U.D.CA*. [Archivo PDF]. <https://www.udca.edu.co/libros/catalogo-floristico/catalogo-floristico.pdf>

Petsova, C. (2007). *Ecological economics Research trends*. Nova Science Publishers, inc.

https://books.google.com.co/books?hl=es&lr=&id=GCKU1p_6HNwC&oi=fnd&pg=PA1&dq=what+is+carbon+footprint&ots=D1y2GM4hQl&sig=owA2reIbMmmItmgk_SLoa9wv688&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false

Pitola L., Castagnani, L., Coronel, A., & S. Feldman, (2012). Capacidad de sumidero de carbono del arbolado urbano de Rosario: Primera aproximación. *Revistas Energías Renovables y Medio Ambiente*, 29 (1), 1-6.

<http://portalderevistas.unsa.edu.ar/ojs/index.php/erma/article/view/1525/1474>

Plant for the Planet & ONU. (2020). *Zahlen & Fakten rund um Bäume, CO2 und globale*

Wiederaufforstung. [Archivo PDF]. https://a.plant-for-the-planet.org/wp-content/uploads/2020/12/faktenblatt_baeume_co2.pdf

Pontificia Univerisidad Javeriana. (s.f). *Financiación para la protección del medio ambiente*

FFEM. <https://www.javeriana.edu.co/investigacion/financiacion-para-la-proteccion-del-medio-ambiente>

Ramírez, W. y Bolaños, T. (2012). Revisión sobre el papel de los techos verdes en la remoción de carbono atmosférico en el neotrópico. *Core*, 6(12), 7-18.

<https://core.ac.uk/download/pdf/236383173.pdf>

Rhodes, M.(2012). *Implementación de un modelo de techo verde y su beneficio térmico en un hogar de honda, tolima (colombia)* [Tesis de Grado, Pontificia Universidad Javeriana].

<https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/8985>

- Rodríguez, A. (2019). *Análisis de conveniencia para la aplicación de energía solar fotovoltaica y/o eólica en la sede bosa-porvenir de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas*[Tesis de grado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas].
<https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/22154/Rodr%C3%ADguezGuioAndrea2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Rovira, I. (20 de abril de 2021). *Estudio de caso: Características, Objetivos y metodología*. Psicología y Mente. <https://psicologiaymente.com/psicologia/estudio-de-caso>
- Rowshon, A. H. M. (2016). Climate change and Human Health. *J Shaheed Suhrawardy Med Coll*, 8(1), 1-2. www.banglajol.info/index.php/JShSMC
- Ruano J. (2019), *Estimación de la Captura de Carbono en el Ecoparque de las Garzas, Cali Valle del Cauca*. [Tesis de grado, Universidad Autónoma de Occidente].
<https://red.uao.edu.co/bitstream/handle/10614/11681/T08800.pdf?sequence=5&isAllowed=y>
- Sampieri, R., Fernandez, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación 6ta edición*. McGraw-Hill Interamericana. <https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf>
- Sanchez, G. (2002). *Desarrollo y medio ambiente: una mirada a Colombia*. Pg.6. Fundación Universidad Autónoma de Colombia.
<https://guao.org/sites/default/files/biblioteca/Desarrollo%20y%20medio%20ambiente%20una%20mirada%20a%20Colombia.pdf>

- Secretaría del Convenio sobre la Diversidad Biológica. (2008). *La Biodiversidad y la Agricultura. Salvaguardando la biodiversidad y asegurando alimentación para el mundo*. [Archivo PDF]. <https://www.cbd.int/doc/bioday/2008/ibd-2008-booklet-es.pdf>
- Secretaria Distrital de Ambiente (2011). *Guía de techos verdes en Bogotá*. [Archivo PDF]. <https://opamss.org.sv/wp-content/uploads/2020/03/Guia-de-techos-verdes-Bogota.pdf>
- Secretaria Distrital de Ambiente de Bogotá.(2015).*Guia de Infraestructura vegetada*. Bogotá-Colombia. [Archivo PDF]. <https://ambientebogota.gov.co/documents/10184/411743/Gu%C3%ADa+Tecnica+Infraestructura+Vegetada+2021.pdf/077e3693-e9ff-4f8f-b506-9effa7b57494>
- Secretaria distrital de Ambiente. (2015). Techos verdes y jardines verticales. [Archivo PDF]. https://issuu.com/sda2015/docs/gu__a_de_techos_verdes_y_jardines_v_f4988c2a8cc627
- Secretaria Distrital de Ambiente. (2021). *Catálogo de especies vegetales*. [Archivo PDF]. <https://www.ambientebogota.gov.co/documents/10184/411743/CATALOGO+DE+ESPECIES+VEGETALES+2021.pdf/1ff84016-3884-4ab9-a9d9-879e4e7a7ce7>
- Segura, J., & Franco, J. (2015). Exposición de peatones a la contaminación del aire en vías con alto tráfico vehicular. *Revista de Salud Pública*, 18(2), 179–187. <https://doi.org/10.15446/rsap.v18n2.49237>
- Selectra. (25 de Marzo 2022). *¿Cuánto CO2 absorbe un árbol?*. Madrid, España. <https://climate.selectra.com/es/actualidad/co2-arbol>
- SENDECO2. (03-06-2022). *Precios CO2*. <https://www.sendeco2.com/es/precios-co2>

- Seto, K., Fragkias, M., Güneralp B., & Reilly M.(2011). A meta-analysis of global urban land expansion. *National Library of Medicine*, 6(8), e23777. DOI: 10.1371/journal.pone.0023777.
- Soibelman L.(3 de Septiembre del 2022). *Desperdicios vs el control de los materiales*. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto.
<https://www.imcyc.com/cyt/septiembre03/desperdicios.htm>
- Solano I. (2019). *Procesos de Mantenimiento y Cuidado de las Cubiertas Verdes en Edificaciones de la Ciudad de Bogotá*. [Trabajo de grado, Universidad la Gran Colombia. Facultad de Arquitectonicas].
<https://repository.ugc.edu.co/bitstream/handle/11396/5573/TESIS%20FINAL%20DE%20GRADO%202.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Sotos, M., (2015), *GHG Protocol Scope 2 Guidance*. [Archivo PDF]
https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/Scope%202%20Guidance_Final_Sept26.pdf
- Urban scape. (22 de Noviembre del 2016). *Wind up-lift and wind resistance of green roofs*.
<https://www.urbanscape-architecture.com/wind-up-lift-and-wind-resistance-of-green-roofs/>
- Valbuena, S., & Tibasosa, A. (2016). *Estudio de pre-factibilidad técnica, ambiental y económica para la implementación de terrazas verdes en el centro empresarial la castellana de bogotá* [Universidad Distrital Francisco José de Caldas].
<https://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/3341>

Zielinski, S., Garcia, M., & Vega, J. (2012). Techos verdes: ¿Una herramienta viable para la gestión ambiental en el sector hotelero de Rodadero Santa Marta?. *Revista Gestión y Ambiente*, 15(11), 91-104.

<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/41518/30820-111594-1-PB.pdf>

ZinCo. (2020). *Systeme für die Intensive Dachbergrünung*. [Archivo PDF].

https://www.zinco.de/sites/default/files/2020-07/ZinCo_Intensive_Dachbegruenung.pdf

Zinco. (2021) . Extensive Green roof. <https://zinco-greenroof.com/systems/extensive>