

Gestión Ambiental

**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**

MOSQUERA SANTAMARIA JUAN FELIPE (1) Cód. 064102058

SOLANO CUADROS LAURA NATALIA (2) Cód.064112021

Trabajo de Grado para optar al título de Ingeniero Ambiental

Directora: Ruth Alejandra Catacolí Jiménez

Ingeniera Ambiental, Ms. Ingeniería ambiental

UNIVERSIDAD LIBRE DE COLOMBIA

Facultad de Ingeniería

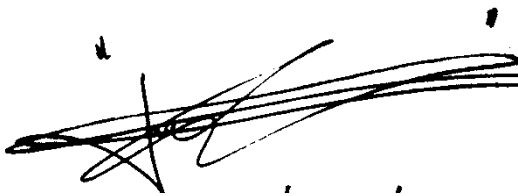
Departamento de Ingeniería Ambiental

Bogotá, Mayo 2018

Declaratoria de originalidad:

“La presente propuesta de trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Ambiental de la Universidad Libre no ha sido aceptado o empleado para el otorgamiento de calificación alguna, ni de título, o grado diferente o adicional al actual. La propuesta de proyecto de grado es resultado de las investigaciones del autor (es), excepto donde se indican las fuentes de Información consultadas”.

Firmas:

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Juan Felipe Mosquera Santamaría', written in a cursive style.

Juan Felipe Mosquera Santamaría COD: 064102058

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Laura Natalia Solano Cuadros', written in a cursive style.

Laura Natalia Solano Cuadros COD: 064112021

Dedicatoria

A nuestras familias, quienes siempre estuvieron para apoyarnos darnos una voz de aliento y nunca perdieron la fé. Es este proyecto es una pequeña recopilación de años de tristezas, alegrías, metas por cumplir y nuestra forma de hacer un homenaje al empuje, esfuerzo y dedicación de cada uno de nuestros padres y hermanos, porque ellos son nuestra motivación, ejemplo a seguir y sobre todo porque es gracias a ellos que todo esto es posible.

A nuestros hermanos de corazón!. Nuestra segunda familia, que nos han brindado experiencias de nunca acabar y por ser nuestros compañeros de camino durante toda esta experiencia.

AGRADECIMIENTOS

Estos agradecimientos no son solo para los que permitieron que este proyecto se realizara, sino para todas aquellas personas que fueron parte de nuestro paso por la universidad.

Primero agradecemos a la Universidad Libre, porque se convirtió en una fuente de infinito conocimiento, puso a nuestra disposición todo con el único fin, de formarnos como profesionales íntegros y sobre, como personas.

A cada una de las personas que se cruzaron en nuestro camino, profesores, administrativos, servicios generales y como no a nuestros tantos de compañeros de clase y vivencias de todos estos años, porque sin ellos la experiencia no hubiese sido la misma.

Como no darle las gracias a persona que nos acompañó durante este proceso, la persona que siempre tuvo las palabras correctas, que durante cada reunión o conversación nos llenaba de motivos y de ánimo para continuar adelante, no solo con un proyecto de grado, sino con un proyecto de vida. Gracias Ingeniera Alejandra Caracolí, por estos años de paciencia, dedicación y sobre todo por creer en nosotros.

Y como decía, Gustavo Cerati: "Gracias totales" a cada una de las personas que se cruzó por nuestro camino durante estos años.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	11
1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	13
2 JUSTIFICACIÓN.....	16
3 OBJETIVOS.....	19
3.1 Objetivo General.....	19
3.2 Objetivos Específicos.....	19
4 MARCOS REFERENCIALES.....	20
4.1 Marco Conceptual	20
4.1.1 Gases de efecto invernadero.....	20
4.1.1.1 Dióxido de carbono (CO ₂).....	21
4.1.1.2 Metano (CH ₄).....	21
4.1.1.3 Óxido nitroso (N ₂ O)	22
4.1.1.4 Compuestos halogenados.....	22
4.1.2 Sumidero de carbono.....	22
4.1.2.1 Techos verdes.....	25
4.1.2.1.1 Componentes y elementos de un techo verde	25
4.1.2.1.2 Tipos de Techos Verde.....	26
4.1.2.1.3 Beneficios de los techos verdes.....	30
4.1.3 Estimación de emisiones.....	31
4.1.3.1 Fuentes de contaminantes atmosféricos.....	31
4.1.3.1.1 Clasificación Tipo I	31
4.1.3.1.2 Clasificación Tipo II	33
4.1.3.2 Emisiones de fuentes móviles.....	34
4.1.3.3 Metodologías de estimación de fuentes móviles.....	34

4.1.3.4 Descripción sobre modelos de estimaciones de fuentes móviles.....	40
4.1.3.4.1 Panel intergubernamental de cambio climático (IPCC).....	40
4.1.3.4.2 Modelo de Emisiones Europeo (COPERT)	41
4.1.3.4.3 Modelo internacional de emisiones vehiculares (MOVES).....	42
4.1.3.5 Factores de emisión.	42
4.1.3.6 Aforo vehicular.....	42
4.1.3.6.1 Aforo manual	43
4.1.3.6.2 Aforo mecánico	43
4.2 Marco Teórico	44
4.2.1 Cambio Climático.....	44
4.2.2 Estimación de huella de carbono.....	49
4.3 Marco Geográfico	51
5 METODOLOGÍA	55
5.1 Fase I: Diagnóstico de la Zona de Estudio.....	57
5.2 Fase II: Estimación de Emisiones de CO ₂	59
5.3 Fase III: Diseñar Techos Verdes.....	68
6 DIAGNÓSTICO DE LA ZONA.....	70
6.1 Caracterización de la zona de estudio	72
6.2 Distribución del Uso del Suelo.....	74
6.3 Área Disponible.....	77
6.4 Tendencias meteorológicas	80
6.4.1 Temperatura.....	82
6.4.2 Humedad	85
6.4.3 Brillo Solar	86
6.4.4 Precipitación.....	87

6.4.5 Viento	90
7 ESTIMACIÓN DE EMISIONES DE DIOXIDO DE CARBONO	93
7.1 Flujo Vehicular	93
7.2 Distribución de Modelos y Tipo de Combustible	97
7.3 Cálculo de emisiones de CO ₂	99
8 DISEÑO DE TECHOS VERDES	105
8.1 Área Disponible y Emisiones de CO ₂	105
8.2 Parámetros Técnicos	105
8.2.1 Nivel de inclinación de cubierta de las edificaciones.....	106
8.2.2 Tipo de techo verde	106
8.2.3 Capas del techo verde.....	108
8.2.4 Tipo de fotosíntesis	110
8.2.4.1 Índice de captación de CO ₂	112
8.2.5 Especies vegetales	115
8.3 Costeo de Implementación	119
CONCLUSIONES	120
RECOMENDACIONES	121
BIBLIOGRAFÍA.....	122

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Clasificación tipo I.....	32
Ilustración 2. Clasificación tipo II.....	33
Ilustración 3. Clasificación de modelos de estimación.....	35
Ilustración 4. Principios para la elaboración de Inventarios de gases de efecto invernadero (GEI)	50
Ilustración 5. Herramientas de diagnostico de predios	57

Ilustración 6. Creación de nuevo evento MOVES	62
Ilustración 7. Parámetros para definir la escala MOVES	63
Ilustración 8: Tiempo recolección datos MOVES	63
Ilustración 9. Geographicbounds - MOVES	64
Ilustración 10. On road vehicle - MOVES	64
Ilustración 11. Road type - MOVES	65
Ilustración 12. Pollutants and process - MOVES	65
Ilustración 13. Manage input data sets	66
Ilustración 14. General output-MOVES	66
Ilustración 15. Template - MOVES.....	67
Ilustración 16. Modelación - MOVES	68
Ilustración 17. Parámetros de caracterización	72
Ilustración 18. Parámetros de distancia prudente para techos verdes.....	79
Ilustración 19. Fenómeno de "Islas de Calor"	84
Ilustración 20: Rosa de los vientos de Bogotá	91
Ilustración 21. Resultaos e caracterización de la zona	92
Ilustración 22. Ubicación de los aforos y encuestas	94
Ilustración 23. Capas del techo verde.....	108

LISTA DE MAPAS

Mapa 1. Límites de Bogotá	51
Mapa 2. Localidades de Bogotá.....	52
Mapa 3. Zona ubicada entre la calle 82 y 85 con carrera 11 y 13	54
Mapa 4. Zona de estudio	70
Mapa 5. Ubicación estaciones meteorológicas	81

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Características para techos livianos	28
Tabla 2. Características para techos moderados.....	29
Tabla 3. Características de techos verdes robustos	30
Tabla 4. Descripción de modelos de estimación.....	36
Tabla 5. Factores de emisión de Carbono y CO ₂ para combustibles (Kg/GJ).....	41
Tabla 6. Módulos y características para el cálculo de huella de carbono	49
Tabla 7. Actividades y productos esperados.	56
Tabla 8. Distribución de establecimientos comerciales zona de estudio	73
Tabla 9. Distribución de uso del suelo por predio	74
Tabla 10: Promedio mensual de precipitación (mm).....	88
Tabla 11. Resultados de aforo	95
Tabla 12. Resultados de MOVES	101
Tabla 13 . Características de techos verdes extensivos	107
Tabla 14. Algunas diferencias entre plantas C3, C4 y CAM	111
Tabla 15. Estudio de estimación de captura de CO ₂ en Sevillana, España.....	112
Tabla 16. Condiciones meteorológicas Sevilla, México D.F y Bogotá D.C	113
Tabla 17. Escenarios de captación	114
Tabla 18: Costeo de implementación de techos verdes por m ² de superficie.....	119

LISTA DE GRAFICOS

Gráfica 1. Distribución de uso del suelo.....	77
Gráfica 2. Temperatura media anual de Bogotá	82
Gráfica 3. Máximos absolutos anuales de Temperatura	83
Gráfica 4. Mínimos absolutos anuales de Temperatura en Bogotá	83
Gráfica 5. Promedio de humedad Relativa para Bogotá.....	85
Gráfica 6. Promedio anual de brillo solar para Bogotá.....	86
Gráfica 7. Promedio anual de precipitación de Bogotá	89
Gráfica 8 Distribución total vehicular.....	96
Gráfica 9. Tipos de combustible por tipo de vehículo	98
Gráfica 10. Tipos de vehículo por modelo	98
Gráfica 11. Emisiones por vehículo para los fines de semana de mayo y julio	102
Gráfica 12. Emisiones diarias por vehículos	103
Gráfica 13. Emisiones vehiculares por jornada.....	104

LISTA DE FICHAS TÉCNICAS

Ficha técnica 1: Sedum praealtum.....	116
Ficha técnica 2: Sedum reflexum.....	116
Ficha técnica 3: Sedum album L.....	117
Ficha técnica 4: Sedum luteoviride	117
Ficha técnica 5: Sedum sarmentosum.....	118

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Caracterización de zona de estudio	
Anexo 2. Resultado tamaño muestral	
Anexo 3. Bases de datos Aforo	
Anexo 4. Bases de datos MOVES	
Anexo 5. Manual de uso del software de modelación MOVES	
Anexo 6. Registro fotográfico	

INTRODUCCIÓN

Iniciar a implementar estrategias que ayuden a las ciudades adaptarse al cambio climático y cumplir la meta de reducción firmada por Colombia en la COP21, es uno de los mayores retos que en este momento tiene el país. La lucha contra esta problemática mundial amada por muchos y odiada por algunos, ha volcado a la mayoría de los países por una lucha conjunta, donde el único objetivo es disminuir el incremento de temperatura y consecuencias que trae consigo (deshielo de glaciales, pérdida de biodiversidad, incremento del nivel mar, entre otras.)

Aunque los entes gubernamentales son los directos encargados de poner en marcha las políticas que dinamicen e involucren a todos los sectores en esta lucha, cada vez son más las empresas que por una razón voluntaria y buscando garantizar su permanencia en el tiempo, se empiezan a involucrar y comprometer con estrategias que ayuden a disminuir el impacto generado sobre el medio ambiente, entorno y sociedades.

Buscando aprovechar el máximo de los recursos disponibles y teniendo en cuenta que en Bogotá una de la mayores problemáticas y la mayor fuente de emisión es el aumento del parque automotor, se brinda como una posible solución la implementación de techos verdes como una estrategia de compensación, adaptación y sensibilización al cambio climático.

En Bogotá el 57,93% (IDEAM, PNUD, MADS, DNP, Cancillería, 2016) del inventario de GEI (Gases de Efecto Invernadero) corresponden a emisiones provenientes del transporte, estas emisiones aunque pertenecen al sector público y privado, son emisiones de las que nadie se hace responsable, es por esto que es importante que las empresas tomen la responsabilidad de los impactos generados por toda su cadena de producción y consideren dentro de este, el transporte de colaboradores y clientes, como una de las fuentes de emisión tenidas en cuenta dentro de su alcance 3.

Dentro del área de estudio ubicada en la zona rosa de Bogotá, entre la calle 82 y 85 y carrera 11 y 13, cuenta con un 45,2 % de su área de techo total, disponible para la implementación de techos verdes, esta área en su mayoría pertenece al sector privado y al implementar esta iniciativa pueden compensar en algún porcentaje su huella de carbono y ayudar a compensar la huella generada por el flujo vehicular de la zona.

Este estudio tiene como objetivo identificar las características técnicas que deben tener los techos verdes para ser tomados en cuenta como estrategia de compensación urbana y alinear al gobierno, empresas y comunidad en un proceso de sensibilización que permita generar valor en la empresas, cumplir la meta de reducción y lograr involucrar activamente a la comunidad entorno a las medida de compensación y adaptación al cambio climático.

Los techos verdes no solo son considerados un sumidero de carbono, también generan diferentes beneficios en la ciudades y la edificaciones como: Mejorar en entorno paisajístico, mejorar la calidad de aire, brindan confort térmico, disminuyen el albedo, disminución del nivel del ruido y sobre todo sensibilizar a la comunidad sobre la importancia de empezar a realizar todas las medidas pertinentes para disminuir el impacto ocasionado por la variaciones en el clima.

1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El cambio climático es considerado como una de las problemáticas ambientales de mayor relevancia, donde el aumento de la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera es un factor que capta la atención mundial. (WGI Technical Support Unit & University of Bern, 2014). La tierra ha presentado varios cambios de temperatura; para el año 2013 hubo un aumento de 0,8 °C de la temperatura global desde el año 1880. (Netting, 2013).

Los factores por los cuales el planeta se está calentando, son diversos como la sobrepoblación, el crecimiento de las zonas urbanas, incremento del albedo el cual se define como el porcentaje de radiación que cualquier superficie refleja con respecto a la radiación que incide sobre la misma, deforestación y tal vez la más notoria es el incremento de la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera, según lo afirma Gabin Schmidt, climatólogo del GISS (instituto Goddard para estudios espaciales), (Netting, 2013)

En Colombia el cambio climático tiene varias consecuencias una de ellas se manifestó de manera clara y con gran intensidad en el 2011, a través de la Ola Invernal y se estima que será la causa de la desaparición del 80% del área glacial y del 60% de los páramos para el 2050 (IDEAM, PNUD, MADS DNP, CANCELLERIA, 2015). Se cree que las condiciones que han generado el cambio climático en el país son: la deforestación, el crecimiento de sus ciudades principales y la emisión de gases de efecto invernadero (García Arbeláez, Barrera, Gómez, & Suárez Castaño, 2015)

“Debido a la concentración de edificios y tránsito vehicular, la vida en nuestras ciudades se ha vuelto insana. Los autos y la calefacción consumen el escaso oxígeno de hoy día y producen sustancias nocivas en abundancia. Enormes superficies de hormigón y asfalto llevan a un sobrecalentamiento de la atmósfera de las zonas urbanas y dan lugar a que la suciedad y partículas de sustancias nocivas que se depositan en el suelo,

suban en remolino por el calor generado y se derramen sobre la ciudad entera” (Minke, 2004, pág. 9)

Bogotá, enfrenta un gran problema de expansión que ha dejado a la ciudad con 8.800 ha de zonas verdes; un estudio de la OMS (organización mundial de la salud) señala que cada bogotano cuenta con 4,93 metros cuadrados de espacio verde, cuando la media internacional mínima es de 10 metros cuadrados (Secretaría de planeación distrital, 2016). El crecimiento acelerado de la ciudad no solo la ha dejado con déficit de espacios verdes, sino también se encuentra en un punto crítico de motorización donde todas las personas que tengan la posibilidad de adquirir un vehículo particular lo harán (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2014, pág. 4).

En los últimos años el parque automotor particular de la ciudad ha aumentado en un 81% pasando de 895.293 vehículos en el 2008 a 1.616.850 vehículos en el 2016, lo que representa el 72% de parque automotor de Bogotá (Universidad los Andes y Camara de Comercio, 2017), esto repercute directamente sobre la cantidad de emisiones de GEI liberados a la atmosfera. Según el inventario nacional de GEI, la capital emitió 10.538 kilo toneladas de dióxido de carbono equivalente (kton de CO₂ eq) durante el 2015, de esta medición el transporte aporta el 57,93% de las emisiones lo que equivale a 4.745,16 kton de CO₂ eq. (IDEAM, PNUD, MADS, DNP, Cancillería, 2016)

En las localidades como Usme, Bosa y Ciudad Bolivar existe un vehículo por cada cuatro (4) habitantes, mientras que en Chapinero se presenta un vehículo por hogar, la tasa de motorización para la localidad es 412 (Veh/ mil habitantes), (Secretaría distrital de Movilidad, 2016) durante el periodo comprendido entre 2007 - 2015 la flota de automóviles creció cerca del 70% (Secretaría de planeación distrital, 2016). Esto ocasiono problemas de movilidad y un aumento en la concentración de material particulado y sustancia nocivas para la salud en la localidad.

Aunque Chapinero cuenta con algunos de los parques más importantes de la ciudad como el Parque el Virrey y el parque Nacional, para el año 2014 solo se contaba con 0,26 árboles por habitante y esta cifra sigue disminuyendo por procesos de urbanización. (Observatorio Ambiental de Bogotá, 2015).

Siendo consecuente con esta problemática, se propone mantenimiento y mejora de los sumideros naturales de carbono (bosques y océanos), pero esto no es suficiente para lograr mitigar los efectos generados por el cambio climático, sino que se deben establecer nuevos sumideros de carbono y tal vez los más importantes son las zonas verdes urbanas (parques, techos verdes, jardines verticales). (Sorensen, Barzetti, & Williams, 1998) (Muñoz-Vallés, Cambrolle, Figueroa-Luque, Luque, & Niell, 2013).

Dada esta problemática en torno a la emisión de CO₂ de los automóviles particulares y motocicletas, la falta de áreas verdes urbanas y la necesidad de implementar estrategias que permitan compensar, mitigar y adaptarse al cambio climático, se genera la siguiente pregunta de investigación:

¿Cuál sería el diseño de techos verdes apropiado para la compensación de emisiones de dióxido de carbono (CO₂), liberadas por el parque automotor que asiste a la zona rosa de Bogotá D.C?

2 JUSTIFICACIÓN

La aplicación de techos verdes genera un cambio en las ciudades, recupera los espacios verdes que progresivamente han sido eliminados debido a las necesidades y la creciente demanda de la población por vivienda e infraestructura social (Minke, 2004). Permite generar sumideros de carbono, recuperar espacios verdes, mejorar las condiciones de habitabilidad a poblaciones rurales y urbanas, generando beneficios sociales, económicos y ambientales (Cristancho, 2011) y mejora la calidad de vida, ocasionando una modificación en la visión y el imaginario de la mayoría de personas (Adams, 2004),

Los sumideros son depósitos naturales o artificiales que absorben de la atmósfera un gas de efecto invernadero, un aerosol, o un precursor de gases de efecto invernadero. Los principales ejemplos de sumideros naturales son los océanos y los bosques, principalmente en estado de crecimiento. El protocolo de Kioto incluye en esta definición de actividades de creación de nuevos bosques, gestión forestal y gestión de tierras agrícolas, con los cuales se capture el dióxido de carbono presente en la atmósfera y lo almacene en forma de materia vegetal; esto permite reducir la concentración de dicho gas y contribuir a la mitigación del cambio climático. (Natura, 2014, pág. 26).

Las cubiertas vegetales, se pueden comportar como un sumidero de carbono dentro de la ciudad, “La vegetación de los techos verdes toma CO_2 del aire y libera oxígeno. Esto sucede gracias al proceso de fotosíntesis, en el que 6 moléculas de CO_2 y 6 moléculas de H_2O , reaccionan mediante un consumo de 2,83 kJ de energía y producen 1 molécula de $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ (glucosa) y 6 moléculas de O_2 .” (Minke, 2004, pág. 10)

Las zonas verdes urbanas brindan diferentes beneficios a la ciudades y edificaciones, entre ellos disminuyen el aumento de temperatura; denominada Islas de calor, mejoran la calidad del aire, ahorran energía, protegen áreas de captación de agua, brindan tratamiento de aguas residuales a través de procesos

de escorrentía, controlan inundaciones, disminuyen el nivel de ruido al interior de la edificaciones y brindan un excelente paisaje. (Sorensen, Barzetti, & Williams, 1998).

Incrementar el porcentaje de zona verdes en la ciudades, se encuentra alineado con los objetivos de desarrollo sostenible (11. ciudades y comunidades sostenibles, 12. Producción y consumo responsable y 13. Acción por el clima), estos objetivos fueron planteados desde de las agenda 2030 para el desarrollo sostenible y nace como una acción para ratificar el acuerdo de la COP21 firmado en París en el 2015 (ONU, 2016) donde Colombia se compromete a disminuir el 20% de sus emisiones al 2030 (García Arbeláez, Barrera, Gómez, & Suárez Castaño, 2015)

El cambio climático es una problemática que requiere de la participación de la sociedad en general; es importante que los individuos se concienticen sobre su responsabilidad de disminuir los impactos que generan en el ambiente y de tomar medidas frente a la mitigación y la adaptación. Es de tal gravedad esta problemática, que cada vez más, los gobiernos apoyan las acciones frente al cambio climático. Países como Francia e Inglaterra han desarrollado y puesto en marcha leyes que obligan a las organizaciones a reportar su Huella de Carbono y la de sus productos. (Natura, 2014, pág. 10).

Colombia no se ha quedado atrás en tomar medidas frente a esta problemática, en el año 2017 entra en vigor el impuesto al carbono, donde se genera un incremento en el valor de los combustibles fósiles (omitiendo el gas natural vehicular), las empresas que compensen su huella carbono tienen la posibilidad de beneficios tributarios que incluyen la devolución del valor monetario generado por el impuesto. (Ministerio de Hacienda y Crédito Público, 2017)

Estas medidas nacionales y otras tantas internacionales como el índice de sostenibilidad formulado por RobecoSAM, conocido como Dow Jones Sustainability Indices (DJSI), el reporte GRI (Global Reporting Initiative) y pacto global, han generado que las empresas vean la necesidad de involucrarse en temas de sostenibilidad, reconozcan sus impactos e identifiquen los riesgos y oportunidades ligados al cambio climático. Sientan la necesidad de divulgar las estrategias implementadas, para generar valor y ser reconocidas por sus grupos de interés.

El territorio comprendido entre la calle 82 y 85 con carrera 11 y 13 se encuentra inmerso dentro de la zona rosa de Bogotá, uno de los lugares más importante para la ciudad (Alcaldía de Bogotá, 2015). Gracias a su alto valor comercial, turístico y empresarial, cuenta con una alta demanda que la convierte en una zona con gran oportunidad para la implementación de techos verdes, entendiendo que no solo es una estrategia para compensar la emisiones de CO₂, sino es una táctica para generar impacto en la comunidad como un proceso de sensibilización frente al cambio climático, que cambia el contexto paisajístico, permite visualizar el compromiso que el sector empresarial tiene frente a una problemática global y genere recordación en sus grupos de interés.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo General

Diseñar un modelo de techo verde como alternativa para la compensación de dióxido de carbono (CO₂), liberada por los vehículos particulares que visitan la zona comprendida entre la calle 82 y 85 con carrera 11 y 13 de Bogotá D.C.

3.2 Objetivos Específicos

- Diagnosticar las estructuras y edificaciones presentes en la zona ubicada entre la calle 82 y 85 con carrera 11 y 13 con miras a la ubicación de techos verdes.
- Estimar el promedio de las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) generadas por el tránsito vehicular particular de la zona por medio de metodologías avaladas en el país y recomendadas por la EPA.
- Seleccionar las características apropiadas para el diseño de techos verdes como sumideros de dióxido de carbono (CO₂) en la zona seleccionada.

4 MARCOS REFERENCIALES

4.1 Marco Conceptual

Durante la elaboración y planteamiento del presente proyecto, se tuvieron en cuenta los conceptos desde lo global como los gases de efecto invernadero, siguiendo su cauce hacia los sumideros de carbono y la importancia de los techos verdes en los mismos, teniendo presente las metodologías para la estimación de emisiones, principalmente fuentes móviles entre otros.

4.1.1 Gases de efecto invernadero.

En el año de 1824 el matemático y físico francés Joseph Fourier describió el efecto invernadero como el proceso del calentamiento de los planetas causado por la atmósfera, lo que generó la inquietud de cuánta energía solar llega a la tierra y cuánta de esta energía es regresaba al espacio. Tuvieron que pasar 35 años para que en el año de 1859 el físico John Tyndall resolviera esta incertidumbre, descubriendo que el efecto invernadero no se generaba por los principales gases presentes en la atmósfera (nitrógeno y oxígeno), sino por el contrario correspondían a gases de menor proporción como el vapor de agua, dióxido de carbono y metano, encargados de bloquear la salida radiación infrarroja. (Le Treut, y otros, 2017).

El aporte de John Tyndall dio un punto de partida para la total identificación de los GEI, denominados en la actualidad como componentes gaseosos de la atmósfera que absorben y emiten radiación en ciertas longitudes de onda pertenecientes al espectro de radiación infrarroja, las cuales son emitidas por la superficie de la tierra, la atmósfera y las nubes.

Los principales GEI presentes en la atmósfera de la tierra son el vapor de agua (H₂O), dióxido de carbono (CO₂), dióxido nitroso (N₂O), Metano (CH₄) y el ozono

(O₃), los demás gases que se encuentran en la atmósfera, han sido integrados por la actividad humana, como los; halocarbonos, el hexafluoruro de azufre (SF₆), los hidrofluorocarbonos (HFC) y los perfluorocarbonos (PFC) (Benavides & León, 2007).

En el protocolo de Kioto se toman como relevantes los siguientes gases, debido a que se encuentran directamente relacionados con las actividades humanas estos son:

4.1.1.1 Dióxido de carbono (CO₂)

Aun que es uno de los gases que se origina de forma natural y juega un papel importante en el ciclo del carbono, es el que toma mayor importancia por su alta generación antropogénica; se da como producto del consumo de combustibles fósiles como el gas natural y derivados del petróleo, deforestación y otros procesos industriales.

Siendo este el gas de referencia por el cual se miden los demás gases de efecto invernadero con unidades de CO₂equivalente (Dióxido de carbono equivalente) según el IPPC. (Stocker, y otros, 2013)

4.1.1.2 Metano (CH₄)

Este gas es removido de la atmósfera al reaccionar con radicales hidroxilos (OH) convirtiéndose finalmente en CO₂, de manera antropogénica se encuentran: en tratamientos anaerobios de aguas residuales, disposición de residuos sólidos, producción y distribución de gas natural, petróleo y explotación de carbono mineral y está asociado a la ganadería extensiva y en la descomposición de materia de orgánica en campos de arroz. (Stocker, y otros, 2013).

4.1.1.3 Óxido nitroso (N_2O)

Es un gas inerte que no reacciona en la troposfera, donde su principal sumidero es a través de las reacciones fotoquímicas en la estratosfera afectando así el ozono estratosférico. La principal fuente antropogénica es la agricultura, aun que también se generan aportes importantes provenientes del tratamiento de aguas residuales, quema de combustibles fósiles y de procesos industriales químicos.

De forma natural este gas se puede producir por diferentes fuentes biológicas presentes en el suelo y el agua, principalmente por la acción microbiana en bosques tropicales húmedos. (Stocker, y otros, 2013).

4.1.1.4 Compuestos halogenados

Se refiere al grupo de especies orgánicas parcialmente halogenadas, son una familia de compuestos que no se encuentran naturalmente en el ambiente, donde pertenecen los compuestos hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorcarbonos (PFC) y el hexafluoruro de azufre (SF_6), los (PFC y SF_6) son emitidos a partir de varios procesos industriales como: fundición de aluminio, fabricación de semiconductores y en la transmisión y distribución de energía eléctrica.

En cuanto a la energía emitida por la tierra las moléculas de halocarbonos pueden ser más eficientes como absorbentes que una molécula de dióxido de carbono (Benavides & León, 2007).

4.1.2 Sumidero de carbono.

La primera vez que se habla del término de sumidero en el ámbito ambiental fue en la Convención Marco de las Naciones Unidas Sobre el Cambio Climático (CMNUCC) del año 1992, en donde se definió que un sumidero es “Cualquier proceso, actividad o mecanismo que absorbe o elimina de la atmósfera un gas de efecto invernadero, un aerosol o un precursor de gas de efecto invernadero” (Naciones Unidas, 1992). Posteriormente en el protocolo de Kioto se relacionaron

los sumideros a actividades de creación de nuevos bosques, gestión forestal y gestión de tierras agrícolas.

En la actualidad los principales sumideros de carbono en la biosfera son los ecosistemas terrestres y los océanos, debió a que el carbono contenido en la molécula de dióxido de carbono es liberado mediante procesos químicos incorporándose en otra estructura molecular.

Esta incorporación o fijación se realiza generalmente por medio del proceso de fotosíntesis, de tal manera que cualquier sistema natural que en su interior albergue organismos fotosintetizadores, puede constituirse como un sumidero de carbono, en el caso de la vegetación fija el CO₂ atmosférico y lo transforma en cadenas de carbono que componen una parte de la biomasa vegetal, esta fijación se distribuye entre:

- Biomasa vegetal viva. en donde se encuentra el tronco, ramas, hojas y raíces.
- Biomasa muerta: como su nombre lo indica son las partes de la planta que han muerto como madera, las ramas y raíces secas, la hojarasca y materia orgánica en descomposición.
- Suelo: se localiza carbono orgánico procedentes de los procesos de humificación, teniendo esta última fracción una importancia relevante en el balance final de los procesos de absorción de CO₂ (Federación Española de Municipios y Provincias, 2011).

Del total de carbono que es capturado de esta manera una fracción es liberada a la atmósfera de manera natural por medio de los procesos de respiración de las plantas y de la actividad microbiana del suelo, la cual es la responsable de la mineralización de la materia orgánica.

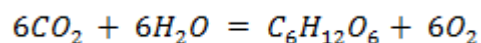
Algunos factores que pueden acelerar esta liberación son los incendios, las plagas y las enfermedades debido a que el proceso de degradación de la materia

orgánica ocurre con mayor velocidad, generando la pronta liberación del carbono. Por tal motivo se debe tener en cuenta la relación en el flujo del carbono absorbido y emitido, esta relación depende de factores como las características propias de la vegetación, el clima y tipo del suelo, dando así intercambios que puedan ser positivos, negativos o neutros según el balance neto de el flujo de carbono en un periodo de tiempo. (Federación Española de Municipios y Provincias, 2011).

- **Positivo:** Son ecosistemas que fijan mas carbono del que emiten, como el caso de ecosistemas que están en crecimiento. (Federación Española de Municipios y Provincias, 2011)
- **Neutro:** Son ecosistemas en los cuales el flujo de entrada de carbono es equivalente al flujo de salida, como en ecosistemas que alcanzan un equilibrio fisiológico natural en su ciclo interno del carbono. (Federación Española de Municipios y Provincias, 2011)
- **Negativo:** Son ecosistemas en donde la liberación de carbono a la atmósfera supera lo absorbido, como en ecosistemas de degradación, ya sea de manera natural o antropogénica. (Federación Española de Municipios y Provincias, 2011).

Las plantas ubicadas sobre los techos verdes posee la capacidad de tomar CO₂ de en la atmósfera. Mediante el proceso de la fotosíntesis se toma CO₂ y se convierte en O₂. (Minke, 2004).

Ecuación 1. Balance fotosintético



Fuente: Techos verdes; Planificación, ejecución, consejo prácticos 2014

Para calcular la cantidad de carbono capturado en los techos verdes se deben tener en cuenta los siguientes parámetros: El clima, densidad de las plantas, diversidad de especies, edad del ecosistema, morfología de la planta y composición de la plantas (Whittinghill, Rowe, Schutzki, & Cregg, 2013). Se

especula que dependiendo de mayor diversidad de especies plantadas en el techo verde mayor será la captura de carbono (Matemala, Jastrow, & Miller, 2008).
Sumideros

4.1.2.1 *Techos verdes*

Los sistemas de techos verdes hacen alusión al termino comercial “Green Roof”. Un techo verde es un sistema constructivo que permite mantener de manera sostenible un paisaje vegetal sobre la cubierta de una edificación (Cardenas, Ibañez, León, & Nariño, 2011).

4.1.2.1.1. Componentes y elementos de un techo verde

En un sistema de techos verdes se presentan tres (3) componentes:

- **Componente activo:** Es la parte que presenta constantes cambios fisicoquímicos, que permiten la vida del sistema hacen parte de este componente; la cobertura vegetal y medio de crecimiento. Del éxito de la adaptabilidad de este componente desprende la existencia del techo verde (Cardenas, Ibañez, León, & Nariño, 2011).
 - Cobertura vegetal: Es el conjunto de especies vegetales que conforman la capa superior del sistema.
 - Medio de crecimiento: Componente artificial, el cual tiene las características imitadas del suelo natural para satisfacer las necesidades de las plantas escogidas.
 - Componentes estables: Son los componentes que permiten la estabilización del sistema entre ellos se encuentran: Membranas de impermeabilización, barreras anti-raíces, barreras filtrantes, medios de drenaje, elementos de irrigación, etc. (Cardenas, Ibañez, León, & Nariño, 2011)
 - Elementos auxilia

- res: Son elementos inertes que permiten adaptar el sistema de techo verde al inmueble tales como: separación, riego, evacuación de agua, iluminación, etc. (Cardenas, Ibañez, León, & Nariño, 2011).

4.1.2.1.2 *Tipos de Techos Verde*

Los techos verdes son clasificados de diversas formas, es importante identificar la clasificación que sea pertinente para el tipo de edificación y el diseño esperado, a continuación se explica las clasificaciones existentes.

A. Clasificación tradicional

Normalmente los sistemas de techos verdes son clasificados en dos grandes grupos:

- Intensivo: Estos techos verdes están ubicados sobre inmuebles planos y permiten la siembra de plantas vivaces, leñosas y superficies de césped. Los techos intensivos poseen capas de sustrato de 30 cm y deben ser abastecidos regularmente de nutrientes y agua, y requieren de un cuidado especial. (Minke, 2004)
- Extensivo: Son plantaciones que crecen naturalmente con: musgos, pastos silvestres, hierbas plantas que no necesitan de mucho cuidado donde su capa de sustrato es de 3-15 cm sin agua ni nutrientes. (Minke, 2004)

B. Clasificación de acuerdo a la tecnología empleada

Sin duda en este momento se encuentra un amplio rango de tecnología utilizada para la vegetalización de cubiertas, tales como:

- Sistemas tipo multicapa monolíticos: consiste en colocar varias capas de componentes especializados, sobre el techo impermeabilizado para formar una capa densa donde es posible efectuar la siembra. (Cardenas, Ibañez, León, & Nariño, 2011)

- Sistema tipo multicapa elevado: Consiste en poner las capas de componentes especializados en una plataforma que separa el medio de crecimiento del techo de la infraestructura. (Cardenas, Ibañez, León, & Nariño, 2011)
- Sistema tipo receptáculo: En estos sistemas se utilizan recipientes donde se alojan el medio de crecimiento y la vegetación de forma individual. (Cardenas, Ibañez, León, & Nariño, 2011)
- Sistemas tipo monocapa: Son mantos pre sembrado, donde se encuentra unificada la cobertura vegetal y el medio de crecimiento, estos mantos son ubicados sobre el techo impermeabilizado. (Cardenas, Ibañez, León, & Nariño, 2011)
- Sistemas aeropónicos: Este sistema no cuenta con una capa que le brinde los nutrientes y el soporte, para suplantar estos medios, la nutrición de la planta se hace mediante métodos de irrigación a la raíz. (Cardenas, Ibañez, León, & Nariño, 2011)

C. *Clasificación general de los techos verde en Bogotá*

o *Clasificación primaria: Propósito y uso del techo verde*

- Techo verde autorregulado: Es un techo verde que busca mantener su cobertura vegetal con la mínima cantidad de inversión económica, materiales y peso. Para que un techo verde sea autorregulado debe cumplir con tres características básicas (autorregulación, auto sostenibilidad y ligereza). (Cardenas, Ibañez, León, & Nariño, 2011)
- Techos verdes ajardinados: El principal propósito de estos techos verdes es brindar un espacio paisajístico, utilizando plantas de colores vivaces y ornamentales. Estos techos necesitan un mayor cuidado y son más pesados que los autorregulados sus características básicas son: transitabilidad, accesibilidad y atributos paisajísticos. (Cardenas, Ibañez, León, & Nariño, 2011)
- Techos verde ecológicos especializados: El principal fundamento para este tipo de techo es brindar un ecosistema para el hábitat de flora y fauna que

busca relacionarse con el macro-ecosistema de donde se encuentre ubicado y lograr la interacción de la urbe con lo rural, Estos techos pueden tener una altura máxima de 200 cm y un peso máximo de 450 kg. (Cardenas, Ibañez, León, & Nariño, 2011)

- Techo huerta: Como su nombre lo indica el propósito de este techo es una función agrícola para el cual se deben designar área de plantación y circulación. Y se deben utilizar protección mecánica (Barreras de viento, cortasoles, disipación de lluvia, etc.) esto con el fin de proteger a las plantas de factores climáticos que se encuentran en la parte superior de un inmueble. (Cardenas, Ibañez, León, & Nariño, 2011).
- *Clasificación secundaria: Robustez del sistema de techo verde en función del porte y requerimientos de la vegetación empleada*
- Liviano: Son techos que utilizan estrategias especiales para reducir significativamente el peso total en estado de saturación. En la tabla 1 se visualizan las clases de techos verde, la altura máxima y el peso total que el mismo puede tener.

Tabla 1. Características para techos livianos

Clase de Techo verde	Altura Máxima	Peso total en estado saturado
Autorregulado	20 cm	80 Kg/m ²
Ajardinado	50 cm	150 kg/m ²
Ecológico especial	50 cm	200 kg/m ²
Huerta	50 cm	150/m ²

Fuente: (Cardenas, Ibañez, León, & Nariño, 2011)

- Moderados: Corresponde a la robustez intermedia, para este tipo de techos se debe tener en cuenta que de acuerdo a la clase de techo verde se tienen ciertos límites de altura máxima y peso total en estado saturado, que se muestran en la tabla 2.

Tabla 2. Características para techos moderados

Clase de Techo verde	Altura Máxima	Peso total en estado saturado
Autorregulado	50 cm	80 - 120 Kg/m ²
Ajardinado	200 cm	150 - 250 kg/m ²
Ecológico especial	150cm	200 - 300 kg/m ²
Huerta	100 cm	150- 250 kg/m ²

Fuente: (Cardenas, Ibañez, León, & Nariño, 2011)

- Robustos: Son techos donde su altura mínima corresponde a 50 cm y la máxima es 150 cm adicionalmente el peso total en estado saturado va desde 120 Kg/m² a 350 Kg/m² estos dos factores varían de acuerdo a la clase de techo verde, la información se encuentra más detallada en la tabla 3.

Tabla 3. Características de techos verdes robustos

Clase de Techo verde	Altura Máxima	Peso total en estado saturado
Autorregulado	50 cm	120 - 150 Kg/m ²
Ajardinado	200 cm	300 – 450 kg/m ²
Ecológico especial	200 cm	300 - 450 kg/m ²
Huerta	150 cm	250 - 350 kg/m ²

Fuente: (Cardenas, Ibañez, León, & Nariño, 2011)

4.1.2.1.3. Beneficios de los techos verdes

- Mejoran el clima urbano: Con el crecimiento de las ciudades a pasos agigantados, y alto porcentaje de superficies selladas se hace notoria las influencias negativas sobre la calidad del aire y el microclima. La implementación de techos verdes aumenta el porcentaje de superficie vegetal, esto ayuda a humedecer el aire logrando una reducción en el calentamiento atmosférico. (Cardenas, Ibañez, León, & Nariño, 2011) (Minke, 2004)
- Producción de oxígeno, consumo de dióxido de carbono
- Reducen la contaminación: Los techos verdes ayudan a filtrar el polvo y sustancias tóxicas que habitan en la atmósfera y a su vez el sustrato utilizado en el medio de crecimiento filtra el agua, retirando sustancias nocivas que pudo haber arrastrado.
- Incrementan la retención de agua: Son capaces de retener el 90% del agua de las precipitaciones.
- Mejoran la protección frente al ruido: Los techos verdes pueden llegar a aislar acústicamente hasta 3 decibeles y pueden mejorar la insonorización hasta 8 decibeles, convirtiéndose en una buena alternativa para edificaciones con alta contaminación acústica.

- Ahorran Energía: Los techos mejoran el rendimiento de aislamiento térmico.
- Prolongan la vida útil de la impermeabilización: Dado que la capa de impermeabilización del inmueble se encuentra bajo el techo, se va a proteger de temperaturas extremas, radiación ultravioleta y tensiones mecánicas, esto conllevará a alargar la vida útil de la impermeabilización y reducir los costes de renovación.
- Ofrecen un hábitat naturalizado: En la actualidad en las urbes se han cambiado las zonas verdes por el cemento y esto ha ocasionado la pérdida de varios hábitats, los techos verdes se convierten en una estrategia para la combinación de lo urbano con lo rural, brindando nuevos hábitats que pueden llegar a cumplir las expectativas por animales y plantas.

4.1.3 Estimación de emisiones.

Se define como un instrumento de gestión de calidad del aire, al contabilizar las emisiones provenientes de distintas fuentes de contaminación en un periodo de tiempo determinado, convirtiéndolo en un instrumento de gran importancia para encaminar estrategias de control y mitigación referentes a los problemas de calidad del aire y contaminación atmosférica (Secretaría Distrital de Ambiente, 2009).

4.1.3.1 Fuentes de contaminantes atmosféricos.

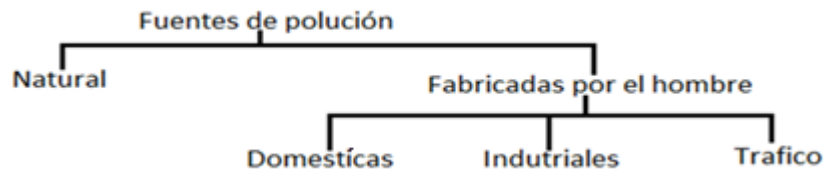
Se refiere a los procesos, actividades o mecanismos que emitan algún GEI, un aerosol, o un precursor invernadero en la atmósfera, los cuales impliquen molestias o riesgos para la salud de las personas y demás seres vivos desde diversos focos emisores (Stocker, y otros, 2013).

Las fuentes de contaminantes atmosféricas se clasifican en dos tipos; Tipo I por fuente de polución y Tipo II basado en la forma como entra el contaminante a la atmósfera.

4.1.3.1.1 Clasificación Tipo I

Hace alusión a emisiones generadas por las fuentes de contaminación de origen natural y fabricadas por el hombre, Ilustración 1.

Ilustración 1. Clasificación tipo I



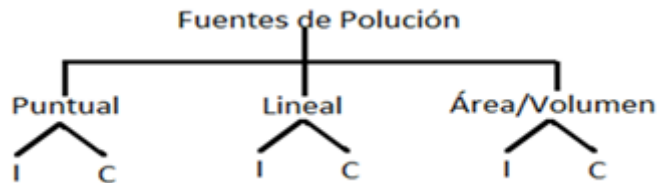
Fuente: (Vallero, 1994). Fuentes de contaminación [Ilustración]. Recuperado de: Fundamental of air pollution.

- *Fuentes naturales:* Muchos compuestos de Carbono gaseoso tales como el CH₄, CO₂, CO, son emitidos a la atmósfera mediante procesos biológicos, estas fuentes son continuas y más o menos constantes en el planeta tierra. Aunque estas emisiones son muy significativas en comparación con las de hombre, el planeta tierra cuenta con mecanismos de autorregulación que permite un equilibrio entre las partes; las emisiones naturales son originadas principalmente por las tormentas de polvo, incendios forestales, y volcanes. (Vallero, 1994)
- *Fuentes producidas por el hombre:* Estas fuentes de emisión son originadas por actividades antrópicas.
- *Doméstica:* Es generada por la utilización de productos de limpieza y mantenimiento de las casas como insecticidas, y productos de aseo.
- *Industrial:* Esta contaminación atmosférica generada por las actividades hechas en las centrales térmicas, plantas químicas, cementeras, papeleras, fábricas textiles, curtiembres, etc.
- *Tráfico:* Se origina por el crecimiento de la urbanización no planificada sino también acelerada. Es producida por la necesidad de movilizarse y se presenta en forma de escape de gases de los motores de los vehículos, partículas expulsadas por el exosto. (Vallero, 1994)

4.1.3.1.2 Clasificación Tipo II

Esta clasificación hace alusión a la forma como son liberadas las emisiones a la atmosfera, estas son de tres formas puntuales, lineales y área/volumen, a su vez esta se presentan de manera instantánea o continua, ilustración 4.

Ilustración 2. Clasificación tipo II



(Vallero, 1994) Fuentes de polución [Ilustración]. Recuperado de: Fundamental of air pollution.

- *Puntuales:*

- a. Instantánea: Pequeño volumen que es liberado a la atmósfera desde un punto fijo y en tiempo relativamente corto.
- b. Continua: Significa que el gas contaminante sale de forma continua desde un punto fijo.

- *Lineales:*

- a. Instantáneo: La dispersión del contaminante en la atmósfera de una fuente que tiene una línea de forma a la vez, por ejemplo los plaguicidas (camino de salpicadura)
- b. Continua: Son liberados a la atmósfera de forma continua como el gas liberado por un avión o un carro.

- *Área/Volumen:*

- a. Instantánea: Significa la entrada de un contaminante en la atmósfera de área/volumen relativamente grande en un instante de tiempo.
- b. Continua: Pertenece a la entrada de un contaminante en la atmósfera proveniente de una superficie/volumen, por ejemplo un parque industrial. (Vallero, 1994).

4.1.3.2 Emisiones de fuentes móviles.

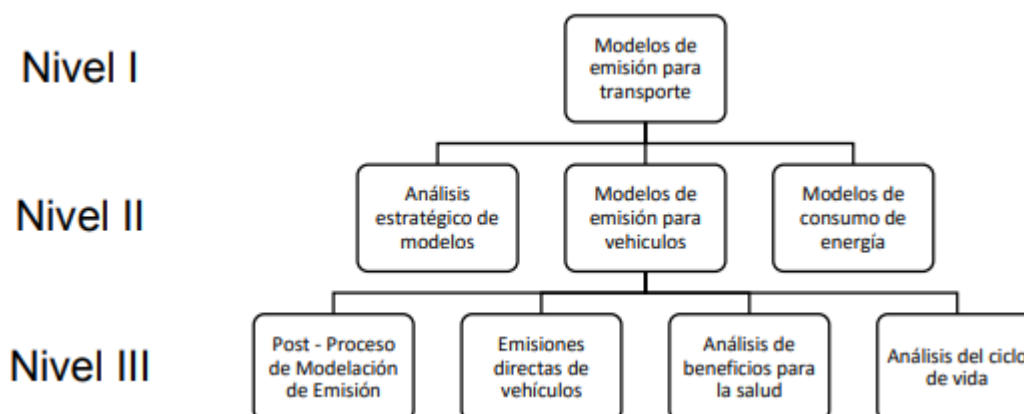
La mayor parte de las emisiones de vehículos automotores provienen del escape resultante de la combustión de combustible, emitiendo contaminantes como gases orgánicos totales (GOT), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NOx), óxidos de azufre (SOx) y material particulado (PM), aparte de las emisiones provenientes del escape los vehículos generan emisiones de GOT por los siguientes procesos. (Herrera, Rodríguez, & Rojas, 2011)

- *Emisiones evaporativas del motor caliente:* Posterior al apagado del automóvil queda un calor residual en el motor, lo cual genera que se volatilice el combustible del sistema de alimentación y libere una pequeña cantidad de emisiones a la atmosfera
- *Emisiones evaporativas de operación:* Correspondiente a las fugas de combustible, como líquido o vapor, presentes con el vehículo en funcionamiento.
- *Emisiones evaporativas durante la recarga de combustibles:* Son las emisiones provenientes de la evaporación del tanque de combustible del vehículo durante el momento de recarga. La recarga de combustibles se maneja como una fuente de área en los inventarios de emisiones.
- *Emisiones diurnas:* Debido al incremento de la temperatura del ambiente generado por el sistema de escape del vehículo o el calor reflejado en la superficie del camino.

4.1.3.3 Metodologías de estimación de fuentes móviles.

En la actualidad el compromiso de las agencias de gobierno, compañías privatizadas u ONG es tal, que la mayoría han desarrollado modelos que puedan cuantificar las emisiones asociadas al transporte, de aquí nace una clasificación la cual se basa en la aproximación utilizada para estimar las emisiones, según se muestra en la siguiente figura. (Guadalupe, Modelación de emisiones contaminantes de fuentes móviles terrestres en Quito, Ecuador, 2016).

Ilustración 3. Clasificación de modelos de estimación



Fuente: Tomado de Modelación de emisiones contaminantes de fuentes móviles terrestres en Quito, Ecuador (Guadalupe, 2016)

En el primer nivel se evidencian aquellos modelos diseñados para estimar las emisiones de GEI correspondientes al sector transporte, en donde la información relacionada con el transporte es recogida de fuentes oficiales mediante archivos y bases de datos. (Guadalupe, 2016)

Para el segundo y tercer nivel se tienen los modelos de emisiones basados en las siguientes categorías:

- *Modelos de análisis estratégico:* Diseñado para estimar el impacto de emisiones para determinados tipos de transporte, los cálculos empleados son generalmente muy simples y no se tiene en cuenta características de operación del vehículo. (Guadalupe, Modelación de emisiones contaminantes de fuentes móviles terrestres en Quito, Ecuador, 2016)
- *Modelos de estimación de emisiones:* Se refiere a modelos basados en cierta información como: kilómetros recorridos por vehículo y consumo de combustible, con limitaciones de no tener acceso sólido a los datos de entrada, estos modelos se subdividen en:
 1. Post-procesos de modelos de emisión: diseñados para una simulación de tráfico.

2. Emisiones directas del vehículo: diseñados para estimar emisiones de gases y material particulado emitido durante el uso del vehículo.
 3. Análisis de beneficios para la salud: diseñados para estimar daños en la salud causados por los contaminantes emitidos por fuentes móviles.
 4. Análisis de ciclo de vida: diseñados para calcular las emisiones tanto directas como las etapas de pre/pos combustión. (Guadalupe, Modelación de emisiones contaminantes de fuentes móviles terrestres en Quito, Ecuador, 2016)
- *Modelo de análisis de consumo energético*: Modelo que calcula el consumo de energía y se basa en factores económicos como el crecimiento económico y precio del combustible, este modelo es utilizado para análisis nacionales de la contaminación y no debe ser usado para áreas metropolitanas. (Guadalupe, Modelación de emisiones contaminantes de fuentes móviles terrestres en Quito, Ecuador, 2016).

La creciente creación de estos modelos han llevado que se generen estudios de identificación de los mismos como serial el estudio de *“Development of a common assessment framework and proposed methodologies for integrated assessment of GHG and local pollutants of urban transport interventions in Latin America and the Caribbean Region”* el cual identifica los siguientes modelos de emisiones.

Tabla 4. Descripción de modelos de estimación.

Modelo	Desarrollado por	Descripción
CLIP	ICF	Analiza el ciclo de vida del carbono, emisiones y rentabilidad de proyectos relacionados con este.
CMEN	URC	Modela emisiones microscópicas del tubo de escape y el consumo de combustible de la flota vehicular.
COMMUTER	SR & CS	Exhibe metodologías para investigar diferentes tópicos relacionados con salud, ambiente, entre otros

Modelo	Desarrollado por	Descripción
COPERT	LAT-AUT	Modela emisiones vehiculares en base a factores de emisión hallados con la flota vehicular europea.
CUBE	RAND	Analiza las emisiones de gases de efecto invernadero producidos por el uso de la biomasa.
ECOGEST	Instituto Técnico, Portugal.	Modela numéricamente la dinámica, el consumo y las emisiones del tubo de escape de los vehículos equipados que encienden con chispa (bujía).
EFEECT	WB	Modela los posibles escenarios que pueden desarrollarse si no se controlan los gases de efecto invernadero.
GREET	Argonne National Laboratory	Evalúa el impacto de la energía y de las emisiones de las tecnologías de vehículos avanzados y nuevos combustibles para el transporte.
INTEGRATION	Michel van aerde & Hesham Rakha	Modela el impacto sobre la calidad del aire de los vehículos de carga pesada sobre vías urbanas y múltiples avenidas rápidas.
IVE	ISSRC	Desarrolla inventarios de emisiones de fuentes móviles utilizando una gran base de datos que engloba a la mayoría de vehículos existentes en el mundo.
LEM	UCD	Modela el ciclo de vida del combustible para el transporte, vehículos a motor, electricidad, quemado y materiales.
MOBILE 6	EPA	Fue el modelo oficial de la EPA para estimar las emisiones contaminantes del aire de automóviles, camiones, motocicletas hasta que fue sustituido por MOVES

Modelo	Desarrollado por	Descripción
MODEM	University of Chile	Metodología y software que calcula emisiones de contaminantes atmosféricos producidas por la actividad vehicular en zonas urbanas.
MOVES	EPA	Estima las emisiones contaminantes del aire provenientes de una gran variedad de vehículos incluidos (automóviles, camionetas, motocicletas, camiones, van) teniendo en cuenta diversos factores de infraestructura y variabilidad climática.
NEMS	EIA	Es una herramienta que modela sistemas de economía energética, que mezcla emisiones con problemas económicos.
NMIN	EPA	Aplicación desarrollada por la EPA que estima inventarios de emisiones actuales y futuras de fuentes fijas y móviles. NMIM usa versiones actuales de MOBILE 6 y NONROAD.
NONROAD	EPA	Herramienta para predecir emisiones de hidrocarburos, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, material particulado y dióxido de azufre de vehículos grandes y pequeños, equipos y motores
SAGE	U.S.DOE	Evalúa y analiza gases de efecto invernadero y propone técnicas para mejorar proyectos de transporte.
SIPT	ICF	Da información y documentación para analizar el impacto de las políticas de emisiones contaminantes sobre el sector eléctrico de U.S.A
SIT	ICF	Esta herramienta ayuda a desarrollar un inventario comprensivo de gases de efecto invernadero a nivel estatal, permitiendo al usuario ingresar propia base de datos de la actividad para estimar emisiones.

Modelo	Desarrollado por	Descripción
TEEMP	ITDP	Conjunto de modelos que permiten la estimación de las emisiones tanto en “proyecto” y los escenarios “sin proyecto” y se pueden utilizar para evaluar los impactos a corto y largo plazo en los mismos.
TRANSIMS	Los Alamos National Laboratory	Análisis del sector transporte y simulación de sistemas es una parte del Programa de Mejoramiento de Modelos de Viaje del departamento del ambiente de USA.
TRANUS	Modelística	Simula y evalúa políticas públicas en las áreas de transporte, planeación urbana y regional.
TREMODO	Heidelberg IEER	Modelo de emisión para el transporte, el cual está diseñado para evaluar el estudio de diferentes aspectos del transporte de vehículos a motor en Alemania.
VISION	Argonne National Laboratory	Provee estimaciones de la energía potencial usada, uso de combustible y los impactos de las emisiones de carbón de vehículos de tarea liviana y pesada y combustibles alternativos para el 2050.
VISUN	PTV AG	Software que planifica y genera sistemas de transporte público; simula también el tráfico y los impactos de estos modelos en la calidad del aire.
VT- Micro	Virginia Tech	Desarrollado usando datos obtenidos por el Laboratorio Nacional de Oak Ridge que incluían consumo de combustible y medidas de la velocidad de emisión en autos de tarea liviana y pesada

Modelo	Desarrollado por	Descripción
WEPS	U.S. DOE	Modelo que cuantifica el uso de la energía que usa el transporte. Así desarrolla planes a medio plazo para aprovechar de manera eficiente la energía del sector transporte. Una consecuencia de lo anterior es la evaluación del efecto de los cambios en la economía de combustible en las emisiones de carbono.

Fuente: Tomado de Modelación de emisiones contaminantes de fuentes móviles terrestres en Quito, Ecuador (Guadalupe, 2016)

En la tabla 4, se evidencia el apoyo que tienen estos modelos por instituciones gubernamentales y empresas privadas, que han basado sus avances en satisfacer las necesidades tanto globales como locales, analizando la problemática de generación de emisiones móviles desde puntos de vista económicos, sociales, políticos, ambientales y energéticos. Lo cual genera una limitación en el uso de los mismos ya que algunos están pensados para lugares y condiciones específicas. (Guadalupe, Modelación de emisiones contaminantes de fuentes móviles terrestres en Quito, Ecuador, 2016).

4.1.3.4 Descripción sobre modelos de estimaciones de fuentes móviles.

Con el creciente desarrollo de modelos de estimación es complicado identificar cual es el indicado para la necesidad de estudio ya que Colombia no cuenta un modelo propio, por tal motivo se estudian tres de los modelos, más utilizados y desarrollados por organizaciones comprometidas con la identificación y cuantificación de GEI provenientes de diversas fuentes de emisión, desarrollando metodologías y estrategias tanto para fuentes fijas como fuentes móviles.

4.1.3.4.1 Panel intergubernamental de cambio climático (IPCC)

El IPCC (panel intergubernamental del cambio climático), maneja una metodología tipo Top – Down, donde sugiere utilizar factores de emisión de acuerdo a la

actividad , puede ser trayecto recorrido o consumo combustible, y es multiplicado por el factor de emisión que tiene una relación con la actividad identificada, a través de este proceso se busca identificar la tasa de emisiones que se produce en el proceso de movilización, se debe de tener en cuenta las emisiones generadas por cada tipo de combustible es diferente (Academia Colombiana de ciencias exactas, 2003). Esta diferencia radica en el PCG (potencial de calentamiento global) identificado para cada sustancia, esta metodología es conocida como un inventario de gases de efectos invernadero y solo es utilizada para procesos de movilización, sino para diferentes actividades industriales y empresariales.

En la tabla 5 se da a conocer los factores de emisión dictados por la IPCC para combustibles.

Tabla 5. Factores de emisión de Carbono y CO₂ para combustibles (Kg/GJ)

Combustible	Estado	Factor de emisión (Kg C/GJ)^a
Diésel	Líquido	20,2
Gasolina	Líquido	18,9
Gas Propano GLP	Gas	17,2
Natural gas	Gas	15,3

a. *Revised 1996 IPCC Guidelines for national greenhouse gas Inventories: Reference manual IPCC. Bracknell. U.K*

Fuente: (Academia Colombiana de ciencias exactas, 2003)

4.1.3.4.2 Modelo de Emisiones Europeo (COPERT)

Definido como un programa que utiliza la metodología Bottom-Up destinado al cálculo de contaminantes producido por la actividad vehicular en carretera, contemplando en sus cálculos gases regulares como (CO,NO_x,VOC,PM) e irregulares como (N₂O, NH₃, SO₂), teniendo en cuenta en subprocesos el control del uso de combustible (Guadalupe, Modelación de emisiones contaminantes de fuentes móviles terrestres en Quito, Ecuador, 2016).

4.1.3.4.3 Modelo internacional de emisiones vehiculares (MOVES)

La oficina de transporte y calidad de aire (OTAQ por sus siglas en inglés), siendo una dependencia de la EPA desarrollo un sistema de modelación denominado como Motor Vehicle Emission Simulator (MOVES), el cual consiste en una base de datos que puede estimar emisiones para la mayoría de contaminantes, utilizando una metodología de patrones de actividad vehicular, consumo de energía, entre otros.

4.1.3.5 Factores de emisión.

Los factores de emisión son definidos como herramientas que permiten determinar las tasas de emisión de un determinado contaminante. (Pava, Villalba, Saavedra, Carrasco, & Rodríguez, 2016). Un factor de emisión es una relación entre la cantidad de contaminante emitido a la atmósfera y una actividad, en este sentido, existen factores de emisión por combustible, proceso y tecnología, de tal manera que en la medida en que se avanza en el grado de detalle, el factor de emisión resulta más exacto. Los factores de emisiones son aplicables a diferentes tipos de fuentes de emisión. Sin embargo el AP 42 está definido para fuentes fijas (EPA, 1995), mientras que las fuentes móviles se abordan desde herramientas como MOVES, MOBIL 5, entre otras.

4.1.3.6 Aforo vehicular

Los aforos vehiculares permiten caracterizar la composición de los vehículos que se movilizan en una vía, con el fin de poder clasificar, cuantificar y conocer su trayectoria, teniendo como resultado una serie de variables que permitan conocer el comportamiento del tránsito, (Balair & Guevara, 2014)

4.1.3.6.1 *Aforo manual*

También conocido como aforo de tránsito, es realizado por personas las cuales se ubican en el lugar que se desee evaluar ya sea una calle o vía, por medio de una planilla se consigna la información deseada ya sea: clasificación vehicular, dirección del recorrido, composición vehicular, número de pasajeros por vehículos entre otros. Este método es muy común y se utiliza generalmente cuando la información deseada puede ser obtenida por dispositivos mecánicos. (Marin, 2014).

4.1.3.6.2 *Aforo mecánico*

Como su nombre lo indica este método se realiza por medio de dispositivos mecánicos instalados en las vías según el lugar y la información que se desea recolectar. A continuación se especifican los métodos más destacados:

- *Detector de neumáticos*: Generalmente se utiliza un tubo o manguera, el cual se situado de forma transversal a la vía y entra en funcionamiento en el momento que una de las rueda del vehículo se pone en contacto con el tubo generando un impulso el cual es registrado.
- *Contacto eléctrico*: Consiste en una placa de acero recubierta con hule vulcanizado la cual encierra una tira de acero flexible, el cual es activado con la llanta del vehículo.
- *Fotoeléctrico*: Consiste en una fuente emisora de luz el cual es ubicado a un costado de la vía, el conteo se realiza cuando el vehículo interfiere con la luz que emite el dispositivo, se recomienda utilizarlo en vías de un carril y con poco flujo vehicular.
- *Radar*: Se emite una señal de radio la cual a ser reflejada por un automóvil, genera un cambio en su frecuencia, identificando de esta manera el movimiento del vehículo.
- *Visión por computadora*: Consiste en ubicar una o varias cámaras en lugares estratégicos que permitan identificar los vehículos que circulan la

vía, permitiendo un posterior conteo manual de los vehículos teniendo en cuenta sus características físicas, lo que da como resultado un mejoramiento, en la extracción de los datos y la obtención de los parámetros requeridos

- *Fotográfico*: Son tomadas fotos en un punto determinado identificando los vehículos para su posterior conteo manual. (Marin, 2014).

4.2 Marco Teórico

Para el desarrollo del estudio es importante las consecuencias que tiene el cambio climático en la sociedad debido a que el proyecto tiene sus bases en este concepto, aun que todavía es una teoría discutida por grandes científicos que están a favor y en contra, a continuación se define qué es el cambio climático, la postura de los escépticos y como este término es entendido para el estudio.

4.2.1 Cambio Climático.

Desde el siglo XVIII, época en que inicio la revolución industrial, se presento una dependencia de los combustibles fósiles y a su vez un incremento en la concentración de GEI en la atmosfera, gracias a este patrón se pone a consideración una posible variación en la temperatura de manera antropogenica y se empieza a considerar la existencia del cambio climático. (Becerra, Mance, Barrera, & García, 2015)

La primera vez que el medio ambiente tomo importancia a nivel mundial fue en el año de 1972, que las naciones unidas convocaron a la conferencia de Estocolmo, aun que no se contemplaba el cambio climático fue el punto de partida para que líderes mundiales decidieran reunirse cada diez años para realizar un seguimiento al medio ambiente, como resultado de esta conferencia se fundó el Programa de las Naciones Unidas para el Ambiente. Tuvieron que pasar siete años para que se diera la primera conferencia mundial sobre el clima en Ginebra y se discutió el cambio climático como una amenaza real para el planeta. (Vengoechea, 2012).

El Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUAM) de la mano de la Organización Meteorológica Mundial (OMM) funda el Grupo Intergubernamental de Experto sobre el Cambio Climático (IPCC) en el año de 1988, con el fin de ofrecer una visión científica sobre los conocimientos del cambio climático y sus posibles impactos ambientales y sociales. Convirtiéndose en el principal organismo internacional para la evaluación del cambio climático.

Posteriormente en el año 1992 en la Convención Marco de las Naciones Unidas (CMNUCC), se definió el cambio climático como *“Un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a las actividades humanas que alteran la composición de la atmósfera mundial y que es sumado a la variabilidad natural del clima observado durante un periodo de tiempo comparable”* (Naciones Unidas, 1992), el papel del hombre ya comenzó a tener importancia y se establecieron tres focos de acción: la lucha contra el cambio climático, la protección de la biodiversidad y la eliminación de las sustancias tóxicas emitidas a la atmósfera.

El cambio climático fue tomando cada vez más importancia, lo que conllevó a la tercera celebración de CMNUCC en Kioto en el año de 1997, donde se firmó el protocolo de Kioto. En esta convención se establecen los siguientes gases de efecto invernadero: dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O), hidrofluorocarbonos (HFC), Perfluorocarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre (SF_6), siendo estos los gases de interés en que los 37 países industrializados responsables del 12% de emisiones globales redujeran sus emisiones en una media del 5% con respecto a los niveles presentados en el año 1990 antes del 2012, en cuanto a los países en desarrollo participantes aceptaron asumir sus participantes con la limitación de no establecer metas de reducción. (Naciones Unidas, 1998).

El IPCC expuso que la temperatura promedio del planeta entre los periodos 1850-1900 y 2003-2012 sufrió un incremento de $0,78^\circ\text{C}$, afirmando que dicho aumento va de la mano con el incremento de las emisiones de CO_2 . También han estimado un escenario de cambio climático con un aumento global de la temperatura media

superficial del aire entre 1,4°C y 2,6°C para los años de 2046-2065 con respecto a los periodos de 1986-2005, el aumento de temperatura de este escenario depende de las emisiones de GEI que a su vez están relacionadas con el crecimiento demográfico y de la dependencia de los combustibles fósiles. (Becerra, Mance, Barrera, & García, 2015).

Para el año 2015 se logro el primer acuerdo en donde las naciones desarrolladas y los países en desarrollo se comprometieran a gestionar la transición a una economía baja en carbono, la decisión fue tomada en la COP21 celebrada en París, el objetivo de la convención se encamino en lograr que el aumento de la temperatura se mantenga por debajo de los 2 grados centígrados y para cumplirlo los países se comprometieron a realizar cada 5 años la renovación de sus objetivos nacionales para reducir las emisiones de GEI, En el proceso participaron 140 países incluido estados unidos (Naciones Unidas, 2015).

A pesar de los avances que se han tenido en este ámbito, hay personas que no están de acuerdo con el cambio climático, desde el momento que el IPCC Publico las conclusiones de su primer informe en los 80, se unieron grandes grupos de escépticos, conformando movimientos, liderados principalmente por grandes industrias estadounidenses dedicadas al negocio de los combustibles fósiles como: petroleras, termoeléctricas e industrias de automóviles. (Becerra, Mance, Barrera, & García, 2015).

De esta forma los escépticos defiende su postura argumentando que el cambio climático es un fenómeno que no depende de las emisiones de CO₂ eq, debido a que es un fenómeno que se ha presentado a lo largo del tiempo, basándose en la edad de piedra donde hubo lugar a una época de calor prolongado conocida como Holoceno, seguida de un nuevo periodo de calor prolongando en el siglo XIV en donde los climatólogos lo denominaron periodo cálido medieval, por otro lado afirman que el porcentaje de CO₂eq es despreciable ya que su proporción en la atmosfera es de 0,054%, infiriendo que el aporte de fuentes antropogenicas es inferior a este porcentaje lo cual resulta insignificante. (Ponce & Cantú, 2015)

Richard Lindzen del Instituto Tecnológico de Massachusetts basa su teoría en la diferencia de temperatura de la superficie y la atmósfera, afirmando que los GEI retienen el calor en la troposfera, por lo que si se habla de un calentamiento invernadero, la mayor concentración de calor estaría a unos 10 o 12 kilómetros de la atmósfera, por lo que define que si la superficie de la tierra se calienta la atmósfera debería calentarse más rápido pero esto no sucede. Por lo que el aumento de temperatura de esta región no es significativo. Los escépticos también desacreditan los modelos que predicen la temperatura, al afirmar que solo los gases GEI tienen mayor influencia en la temperatura de la tierra, más que el sol o las nubes, por lo cual estos modelos pierden validez. (Ponce & Cantú, 2015).

Lo cierto es que el planeta está sufriendo las consecuencias de un calentamiento global lo que ha generado un aumento de aproximadamente 17% centímetros en el nivel del mar debido al deshielo de la cobertura de los casquetes polares. En Europa específicamente en Francia, España e Italia para el año 2003 murieron unas 35.000 personas, debido a una ola de calor la cual empeoró algunas enfermedades existentes, 150.000 es el número de muertes que causa el cambio climático en el año y se pronostica que en los periodos de 2030 a 2050 esta cifra aumente 25.000 muertos por problemas de manutención, paludismo, diarrea y estrés calórico. Pero los seres humanos no son los únicos afectados por este fenómeno ya que la tasa de extinción se encuentra entre mil y diez mil más que en los últimos 60 millones de años, debido a la degradación del hábitat y que el cambio climático altera las condiciones de vida de algunas especies a una velocidad tal que es muy difícil adaptarse, este es el caso de el sapo dorado y la rana arlequín consideradas como las primeras víctimas del cambio climático. (Becerra, Mance, Barrera, & García, 2015).

Colombia es catalogada como un país de alta vulnerabilidad debido a su ubicación geográfica, quedando demostrada en el periodo del 2010 al 2011 cuando el país se enfrentó a un severo fenómeno de La Niña, estando expuesto fuertes lluvias que sobrepasaron los límites históricos lo cual generó la inundación de vías,

puentes, acueductos, viviendas y edificios, demostrando que el país no estaba preparado para este fenómeno, dejando como resultado, una población damnificada o afectada cerca del 7%. Costándole a la nación cerca de 11,2 billones de pesos.

Para el año 2015 Colombia sufrió ahora las consecuencias de un fenómeno Del Niño que termino siendo el segundo más fuerte de la historia, dejando a su paso una generación de 3.985 incendios forestales afectando a mas de 150.000 hectáreas, provocando escases hídrica en 318 municipios, aumento en los precios de los alimentos agrícolas al afectar a mas de 260.000 hectáreas y ocasionando una disminución en el caudal de los ríos siendo el más bajo en los últimos 15 años. (García, Vallejo, Higgs, & Escobar, 2016)

Aun que el país contribuye al 0,46% de las emisiones globales es consciente de las consecuencias que el calentamiento global, de tal manera que en los Convención de la COP 21 se comprometió a reducir sus emisiones de GEI en un 20% con respecto a las proyectadas para el año 2030. Actualmente el país cuenta con 11 Planes Territoriales y 2 Planes Sectoriales de adaptación al cambio climático, lo que constituye el 50% del territorio nacional, la meta es que el 100% del país cuente con estos planes para poder identificar la vulnerabilidad del territorio y poder tomar medidas de prevención y adaptación. (García, Vallejo, Higgs, & Escobar, 2016)

El país ya estableció su política contra el cambio climático donde el objetivo es *“incorporar la gestión del cambio climático en las decisiones públicas y privadas para avanzar en una senda de desarrollo resiliente al clima y baja en carbono, que reduzca los riesgos del cambio climático y permita aprovechar las oportunidades que este genera”*, para cumplirlo se está organizando la gestión del cambio climático con el fin de influir en las decisiones tanto públicas como privadas de mayor importancia, encaminando estas decisiones a acciones de mitigación y adaptación (Murillo, Florián, Pabón, Pérez, Rojas, & Suárez, 2017).

El cambio climático es considerado como una de las problemáticas ambientales de mayor relevancia, donde el aumento de la concentración CO₂ en la atmósfera es un factor que capta la atención mundial. (WGI Technical Support Unit & University of Bern, 2014).

4.2.2 Estimación de huella de carbono.

El cálculo de la huella de carbono se hace de acuerdo al módulo que se desea evaluar que se encuentran especificados en la tabla 6.

Tabla 6. Módulos y características para el cálculo de huella de carbono

Modulo	Características
Energía	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Quema de combustible fósiles ▪ Quema de biomasa ▪ Actividades de petróleo, gas y carbón mineral.
Procesos industriales	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Producción de minerales no metálicos ▪ Producción de químicos ▪ Producción de metales
Agricultura	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fermentación entérica ▪ Cultivos de arroz ▪ Quemadas de Sabanas y residuos agrícolas. ▪ Manejo de estiércol ▪ Suelos agrícolas
Uso y cambio del uso del suelo	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Cambio en bosques y otras reservas de biomasa maderable. ▪ Conversión de bosques y praderas. ▪ Abandono de tierra manejadas. ▪ Emisiones y remociones de CO₂ de los suelos.
Residuos	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Residuos sólidos ▪ Aguas residuales

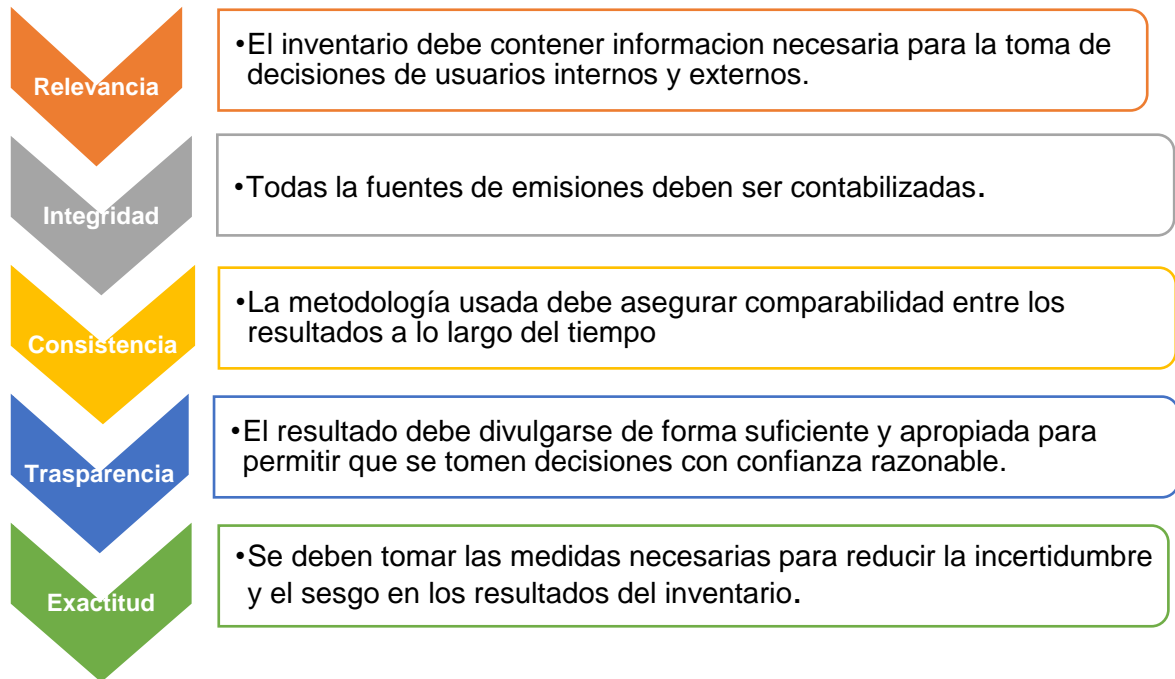
Fuente: (Natura, 2014) (IDEAM, 2012)

Existen unas metodologías para elaborar los inventarios de GEI, a continuación se nombra la de mayor trascendencia en el país:

- **GHG PROTOCOL:** En esta guía se plantea una metodología utilizando los parámetro indicados por el GHG protocolo, y de acuerdo con los requisito de

la ISO 14064 – 1, (Natura, 2014) donde los principales principios a tener en cuenta son los que se encuentran estipulados en la ilustración 6.

Ilustración 4. Principios para la elaboración de Inventarios de gases de efecto invernadero (GEI)



Fuente: Guía para elaborar inventarios corporativos de gases de efecto invernadero. (Natura, 2014)

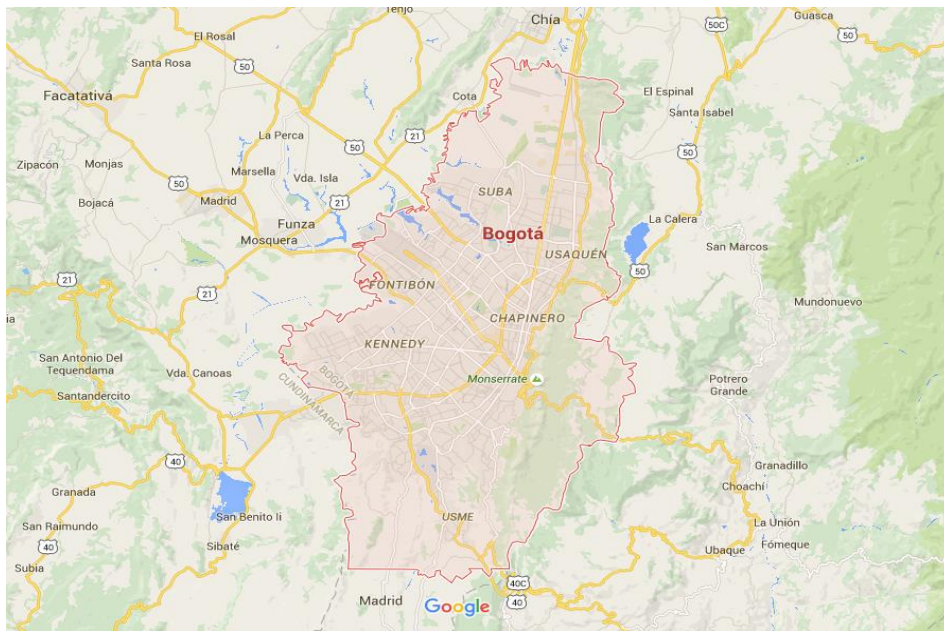
Se propone seguir los siguientes pasos:

1. Límite Organizacional: Se define el área de influencia del inventario de gases de efecto invernadero.
2. Límites operacionales: Se determina el alcance de las emisiones y captura de GEI.
3. Definición de la metodología de cálculo de emisiones (factor de emisión)
4. Recolección de la información (Aforo vehicular)
5. Calculo de las emisiones de GEI – Huella de carbono (MOVES)

4.3 Marco Geográfico

Bogotá D.C es la ciudad capital de la República de Colombia, se encuentra ubicada sobre la cordillera oriental a una altura de 2,330 msnm, con un área de 1.587 km², cuenta con una proyección de población de 7.878.783 millones de habitantes y limita por el norte con el municipio de Chía; por el oriente con: los cerros orientales y los municipios de la Calera, Choachi, Ubaque, Chipaque, Une y Gutiérrez; por el sur con: departamento del Meta y Huila y por el occidente: Rio Bogotá y municipios de cabrera, Venecia, San Bernardo, Arbeláez, Pasca, Sibaté, Soacha, Mosquera, Funza y Cota, como se muestra en el mapa 1. (Alcaldia Mayor de Bogotá, S.F).

Mapa 1. Límites de Bogotá



Fuente: Límites de Bogotá (Google Maps)

El distrito capital cuenta con 20 localidades: Usaquén, Chapinero, Santa Fe, San Cristóbal, Usme, Tunjuelito, Bosa, Kennedy, Fontibón, Engativá, Suba, Barrios

Unidos, Teusaquillo, Los Mártires Antonio de Nariño, Puente Aranda, La Candelaria, Rafael Uribe Uribe, Ciudad Bolívar y Sumapaz, las cuales están delimitadas según el mapa 2.

Mapa 2. Localidades de Bogotá



Fuente: Localidades de Bogotá (Observatorio Ambiental de Bogotá)

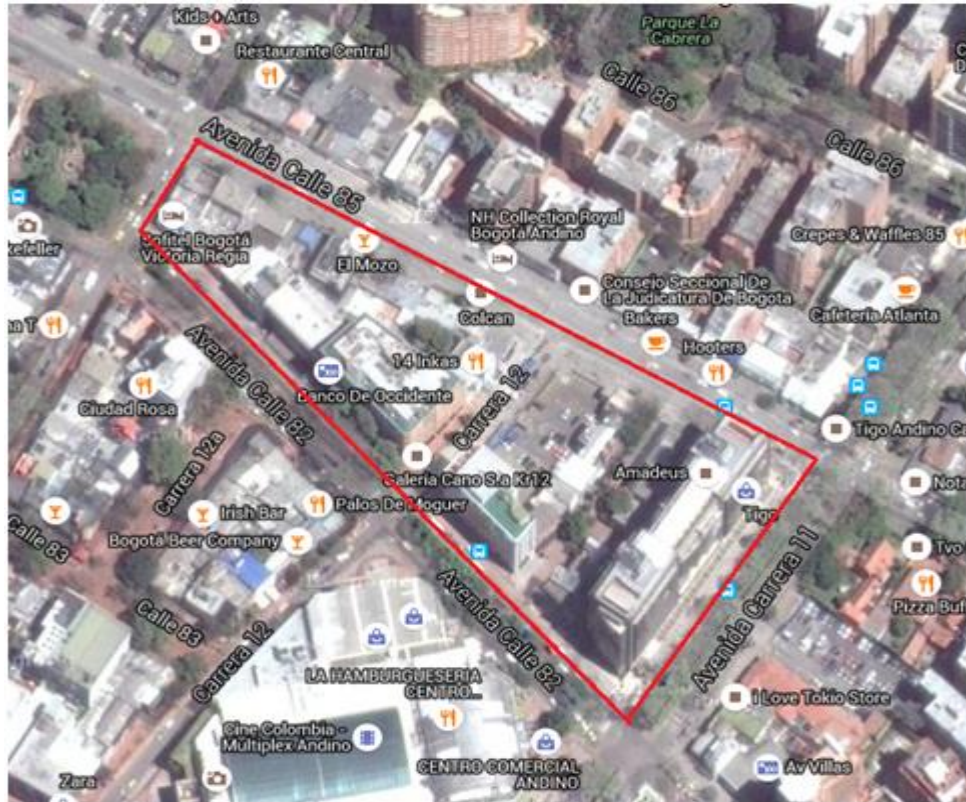
La localidad de Chapinero es la número 2 de Bogotá, está ubicada en el centro – oriente de la ciudad y limita, al norte, con la calle 100 y la vía a La Calera, vías que separan la localidad de Usaquén; por el occidente con el eje vial Autopista Norte-Avenida Caracas que la separa de la localidad de Barrios Unidos, Ballena, por el oriente con el Pan de Azúcar y el cerro de la Moya, crean el límite entra la localidad y los municipios de la Calera y Choachí. El río Arzobispo (Calle 39) define el límite de la localidad al sur, con la localidad de Santa Fe. Chapinero tiene una extensión total de 3.898,96 ha con un área rural de 2.664,25 ha y un área urbana de 1.234,71 ha. Adicionalmente chapinero cuenta con 137.870 habitantes para el año 2015. (Alcaldía mayor de Bogotá).

En la localidad de Chapinero se encuentra situada la zona rosa ubicada entre la calle 79 y 85 con carrera 11 y 15, este lugar es considerado uno de los barrios más exclusivos de Latinoamérica. Es un área comercial de la ciudad con mucho

movimiento de día, gracias a sus centros comerciales, restaurantes y tiendas. Sin embargo su mayor movimiento se presenta durante la noche, cuando los habitantes de Bogotá y visitantes se acercan para disfrutar de la vida nocturna, en alguno de sus bares, pubs o discotecas. A causa de todo este movimiento del sector brinda la oportunidad para proponer la instalación de techos verdes, como el fin de que sus visitantes compensen su huella de carbono. Es importante tener en cuenta que el flujo de personas hace evidente una oleada vehicular. (Viajeros, s.f)

La manzana donde se propone la implementación de techos verdes se encuentra ubicada entre la calle 82 y 85 con carrera 11 y 13, tal como se muestra en el mapa 3. Visualizada en el mapa 4, donde se puede observar que el área escogida posee gran cantidad de edificios en los cuales puede ser implementada la estructura de los techos verdes.

Mapa 3. Zona ubicada entre la calle 82 y 85 con carrera 11 y 13



Fuente: Autores (2017)

Esta manzana tiene una característica comercial contando con la presencia de bancos, restaurantes, galería, hotel y un parqueadero esto permite que el movimiento de personas sea contante y hace suponer que las personas tienen mayores recursos económicos y quizás disposición para mitigar su huella de carbono.

5 METODOLOGÍA

Para realizar el cumplimiento de los objetivos de este proyecto y responder la pregunta de investigación “¿Cuál sería el diseño de techos verdes apropiado para la compensación de emisiones de dióxido de carbono (CO₂), liberadas por el parque automotor que asiste a la zona rosa de Bogotá?”. Se ha utilizado una metodología mixta, conformada por elementos cuantitativos y cualitativos. Para realizar el proceso investigativo se abordan dos tipos de investigación:

- Descriptiva: Principalmente busca detallar las características técnicas de un techo verde e identificar las características de la zona donde se desea implementar.
- Explorativa: El fin de esta investigación es identificar la cantidad de CO₂ que es capturado por las especies vegetales que pueden ser utilizadas en los techos verdes y como este sistema puede ser tenido en cuenta como una estrategia de compensación urbana.

Los principios metodológicos establecidos para este modelo de investigación son tomadas de las especificaciones dadas por Roberto Hernández Sampieri en su libro “Metodología de la investigación” (2006)

Teniendo en cuenta estos principios se decide establecer una fase de investigación por cada uno de los objetivos planteados como se explica a continuación:

Tabla 7. Actividades y productos esperados.

Objetivos	Actividad	Productos
Diagnosticar las estructuras y edificaciones presentes en la zona ubicada entre la calle 82 y 85 con carrera 11 y 13 con miras a la ubicación de techos verdes.	Delimitar la zona de estudio.	Mapa: Ubicación de la zona de estudio
	Validar información de la zona de estudio	Tabla: Caracterización de la zona de estudio
	Identificar el uso de suelo.	Grafica: Distribución del uso del suelo
	Calcular el área total y disponible para la instalación de techos verdes.	Mapa: Área total disponible para la instalación de techos verdes.
	Identificar las tendencias meteorológicas para la zona de estudio.	Mapa: Ubicación de las estaciones meteorológicas. Gráficas para temperatura, Humedad, Brillo solar, Precipitación. Rosa de los vientos
Estimar el promedio de las emisiones de Dióxido de Carbono (CO ₂) generadas por el tránsito vehicular particular de la zona.	Elaborar un aforo vehicular para un fin de semana.	Cantidad y clase de vehículos circundantes.
	Determinar la distribución de modelo y tipo de combustible	Distribución de por modelos y tipo de combustible
	Modelar los datos en el software MOVES	Estimado de emisiones de CO ₂
Seleccionar las características apropiadas para el diseño de techos verdes como sumideros de dióxido de carbono (CO ₂) en la zona seleccionada.	Revisión bibliográfica	Índice de captación de CO ₂
		Parámetros de diseños de techos verdes
	Diseño de techos verdes como estrategia de compensación urbana	Especies vegetales
		Parámetros técnicos
		Porcentaje de captación.

Fuente: Autores (2018)

5.1 Fase I: Diagnóstico de la Zona de Estudio

Esta fase tiene como objetivo hacer un diagnóstico de la zona donde se desean implementar los techos verdes y busca delimitar la zona de estudio, identificar el uso de suelo, determinar el área disponible para implementar el sistema de techos verdes y conocer la tendencia meteorológica del lugar de estudio.

Ilustración 5. Herramientas de diagnóstico de predios

Google Earth	• Reconocimiento y delimitación
Visitas de Campo	• Verificación y ampliación de información.
ArcGis 10.4.1 (ArcMap)	• Tratamiento de información.
ArcGis 10.4.1 (ArcScene)	• Ilustración 3D

Fuente: Autores (2018)

Con el fin de lograr conocer estos parámetros se realizaron las siguientes actividades:

- 1. Limitar la zona de estudio:** A través de google earth, y la herramienta *street view* se limita la zona de estudio. Para seleccionar esta zona se tuvo en cuenta la diversidad de oferta comercial, con el fin que el territorio sea un punto de referencia para la ciudad y un lugar frecuente para propios y visitantes.
- 2. Identificar los predios:** Para identificar las características relevantes hacia la implementación de techos verdes en los edificios, se realizó una visita a la zona seleccionada.

Esta visita tiene como fin validar y actualizar la información obtenida en google earth y a su vez conocer el estado de las edificaciones, número de pisos, tipo de techo y uso comercial. La información recolectada es

consignada en un formato, donde se especifican los siguientes datos; nombre del establecimiento comercial, dirección, uso del suelo, número de pisos y galería fotográfica.

- 3. Determinar el uso del suelo:** Con la información recolectada en la identificación se utiliza la siguiente codificación para clasificar los predios:
 1. *Comercial:* Hace referencia a los predios que son utilizados para comprar o vender bienes o servicios.
 2. *Residencial:* Predios que se encuentran destinados para vivienda.
 3. *Abandono:* Construcciones que se encuentran en estado de deterioro o dejadez.
 4. *En construcción:* Son aquellos predios que se encuentran en estado de construcción o remodelación.

Para identificar la distribución del uso del suelo se utiliza el sistema de información geográfica conocido como ArcGis 10.4.1, utilizando el componente ArcMap se discrimina la información en número de pisos y uso de suelo. Dando uso al ArcScene se logra visualizar el lugar de estudio en tres (3) dimensiones y graficar la distribución de uso de suelo.

- 4. Calcular el área disponible:** El área disponible hace referencia a la cantidad de techos que se encuentran ubicados en el lugar de estudio, para obtener este dato, se utilizó la herramienta del Instituto de Infraestructura de Datos Espaciales para el Distrito Capital IDECA, que permite observar la vista superior de las edificaciones y a su vez posibilita medir perímetros y áreas y gracias a esta utilidad se logró calcular el área total de techos que se encuentran dentro de la zona de estudio.

Para el establecimiento de techos verdes es necesario considerar ciertas medidas técnicas, por este motivo se hace preciso calcular el área disponible para la instalación de los mismos. Esta área es calculada

teniendo en cuenta el tipo de techo, un área del borde a la instalación y en caso de contar con sistemas de lavanderías o aires acondicionados, son áreas con restricciones y no se cuentan como disponibles para la implementación de techos verdes. Estos parámetros y características pueden ser visualizadas desde Google Earth y la herramienta del IDECA.

5. Identificar las tendencias meteorológicas: Según la Guía de techos verdes de Bogotá (Cardenas, Ibañez, León, & Nariño, 2011) es recomendable estudiar ciertos factores climáticos y medioambientales como:

1. Intensidad y duración de exposición solar
2. Precipitación anual y mensual
3. Intensidad de lluvias
4. Cantidad de eventos de lluvias al año
5. Temperatura promedio, mínima y máxima.
6. Humedad relativa
7. Frecuencia dominante del viento
8. Velocidad del viento
9. Mes del año con mayor número de días de lluvia
10. Mes del año con menor número de días de lluvia.

Estas condiciones climáticas tienen incidencia sobre las plantas ubicadas dentro de los techos verdes. Para identificar las tendencias meteorológicas propias de la zona de estudio, se realiza una revisión bibliográfica y se toma en cuenta los estudios que han sido realizados en Bogotá y la información plasmada en Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá.

5.2 Fase II: Estimación de Emisiones de CO₂

Para cuantificar las emisiones de CO₂ generadas por el parque automotor particular que circula en la zona, es necesario elaborar un aforo vehicular y estimar la distribución de modelo y tipo de combustible.

El aforo es realizado con el fin de identificar la cantidad y clasificación de vehículos que circulan por la zona de estudio en determinado periodo de tiempo, este aforo es realizado de forma mecánica (Marin, 2014). Una de las formas de realizar un aforo mecánico es a través de una cámara fotográfica que es utilizada para grabar el flujo de vehículos dentro de la zona de estudio.

Este procedimiento fue realizado durante las horas que la secretaria distrital de movilidad considera que son la horas de mayor flujo vehicular (Secretaría de movilidad, 2015), para esta medición se tomaron cuatro (4) horas en las horas de la mañana y cuatro (4) horas en la tarde y se tuvo en cuenta la medida de pico y placa por lo tanto se realiza la medición durante un día sin y con pico y placa (viernes y sábado), teniendo presente que la idea del aforo es conocer el promedio de vehículos que circulan durante un fin de semana.

Considerando que las condiciones meteorológicas tienen incidencia en la cantidad de vehículos se realiza un muestreo durante el periodo seco y otro en un periodo de lluvia, el periodo seco se entiende como el periodo comprendido entre (Ene – Feb – Jul - Ago) y el periodo de lluvia entre (Mar – Jun y Sep - Dic) (IDEAM, 2014).

Luego de obtener estas películas se procede a contar de forma manual los vehículos registrados, este conteo es realizado por dos personas en momentos diferentes con el fin de disminuir el grado de error, la información es consolidada en una planilla donde se registran los vehículos que corresponden a cada tipo (automóvil, camioneta, motocicleta y van), teniendo en cuenta el día y la jornada de la grabación.

Por otro lado para determinar la distribución de modelo y el tipo de combustible, se revisan fracciones de los videos de manera aleatoria, con el fin de identificar las características físicas de los vehículos registrados en estas fracciones y de esta forma con información tomada de las fichas técnicas identificar el modelo y el tipo de combustible utilizado.

Para identificar cuántos datos deben ser tomados y definir la muestra que sea representativa y confiable, se utiliza una metodología estadística que permite calcular el tamaño muestral de manera tal que, los datos obtenidos sean comparables con el total de los automóviles registrados en el aforo.

La fórmula utilizada para definir el tamaño de la muestra es tomada del libro Técnicas de muestreo, de William G. Cochran (1987) y adaptada basado en el estudio de “Determinación del tamaño muestral mediante el uso de árboles de decisión”. (Valdivieso Taborga, Valdivieso Castellón, & Valdivieso Taborga, 2011).

Ecuación 2. Tamaño de la muestra

$$n = \frac{z_{\alpha/2}^2 p q N}{z_{\alpha/2}^2 p q + e^2 (N - 1)}$$

Fuente: Técnicas de muestreo 1987

Donde:

n = Tamaño muestral

N = Total de la población

$z_{\alpha/2}$ = Nivel de confianza

p = Poblacion que cuenta con las características estudiadas

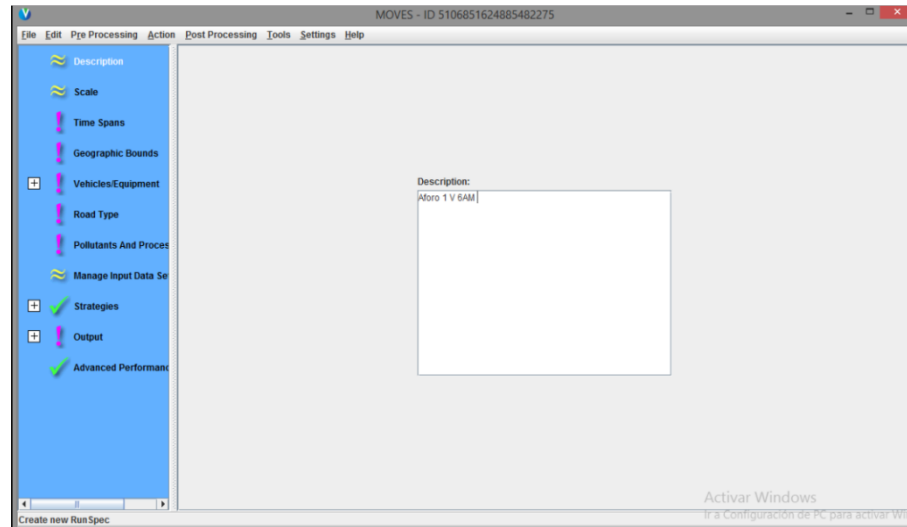
q = Poblacion que no cuenta con las características estudiadas

e = Error máximo

Para poder realizar el cálculo de las emisiones de CO₂ generadas por el flujo vehicular de la zona se decide utilizar el software MOVES, este software tiene la ventaja de ser de uso libre y de estar desarrollado por la EPA, adicionalmente cuenta con una manual de uso elaborado por la universidad de la Salle bajo el convenio n° 5224337 integrando al centro la salle de investigacion y modelación ambiental, universidad de la Salle, Ecopetrol, y la Alcaldía Mayor de Bogota.

El proceso en MOVES, comienza con identificar la modelación, donde se asigna un nombre como se muestra en la ilustración 16, es importante que el nombre asignado permita identificar la jornada y día del muestreo.

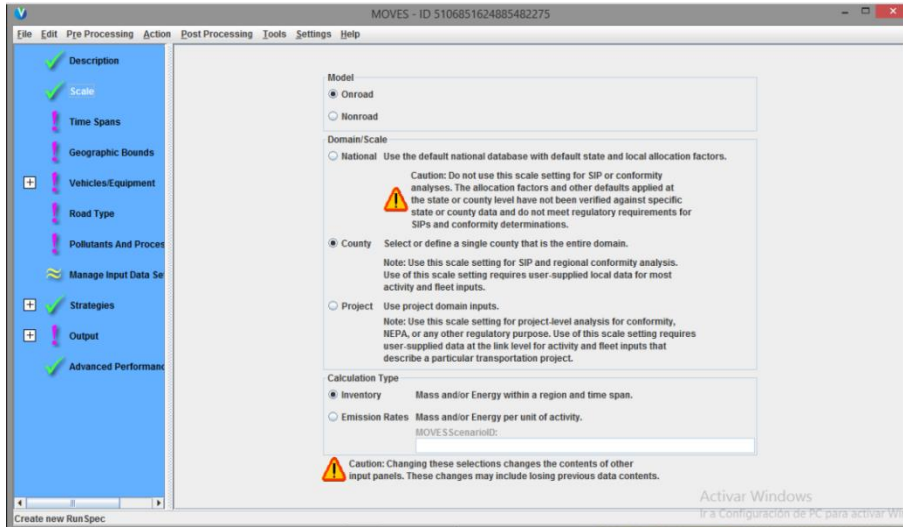
Ilustración 6. Creación de nuevo evento MOVES



Fuente: MOVES- ID 7811445035184081908

La siguiente actividad es definir la escala de la modelación donde se selecciona modelo, dominio o escala y tipo de cálculo, como se puede observar en la ilustración 17.

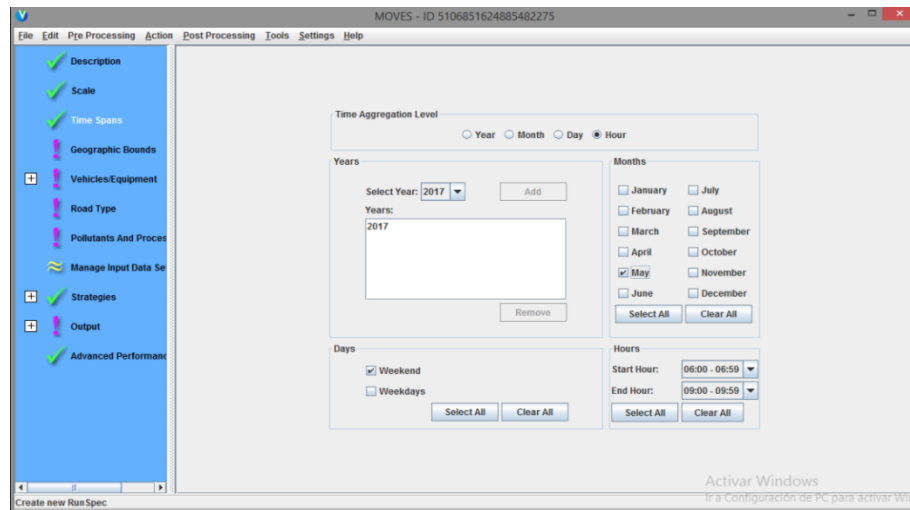
Ilustración 7. Parámetros para definir la escala MOVES



Fuente: MOVES- ID 7811445035184081908

Se procede a ingresar los datos de tiempo en el que se especifica la fecha y horario en el que se realizó la recolección de los datos.

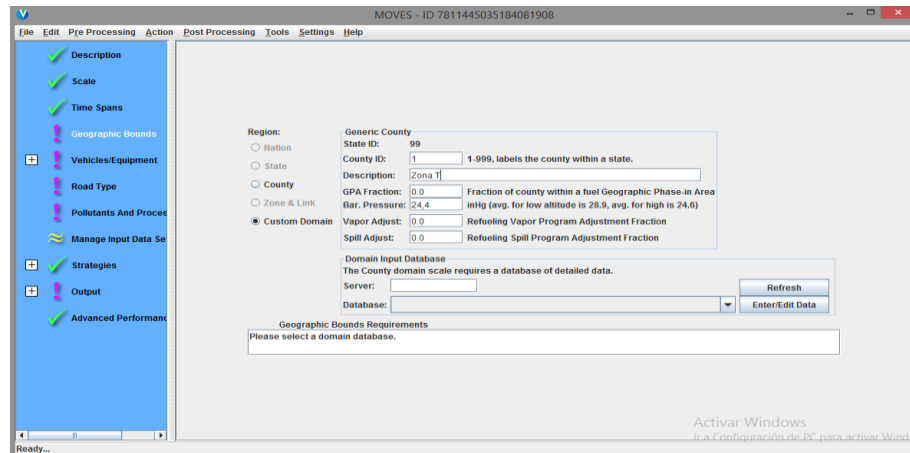
Ilustración 8: Tiempo recolección datos MOVES



Fuente: MOVES- ID 7811445035184081908

En la pestaña geographic bounds se selecciona la opción custom domain y se asigna el valor de la presión barométrica según corresponda.

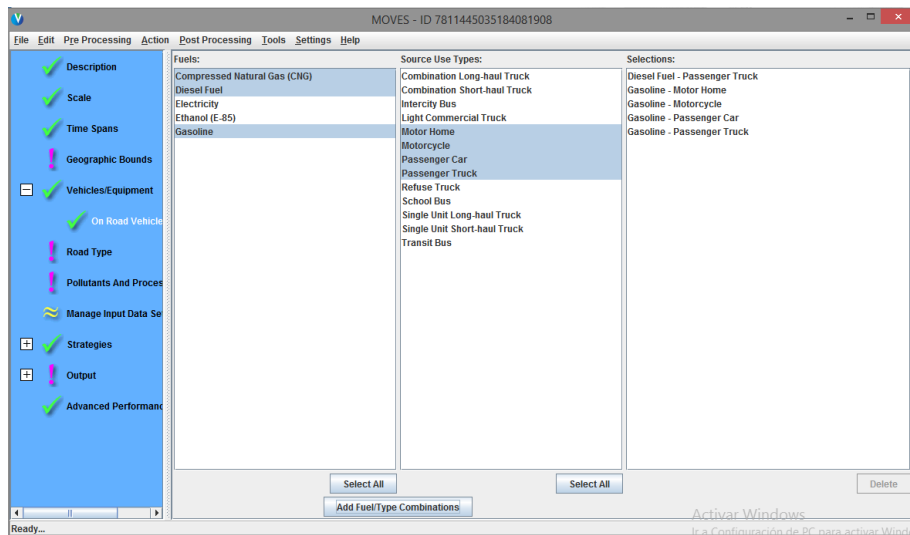
Ilustración 9. Geographicbounds - MOVES



Fuente: MOVES- ID 7811445035184081908

Se escogen los tipos de vehículos y combustibles a evaluar y MOVES genera las posibles combinaciones. Como se puede evidenciar a continuación.

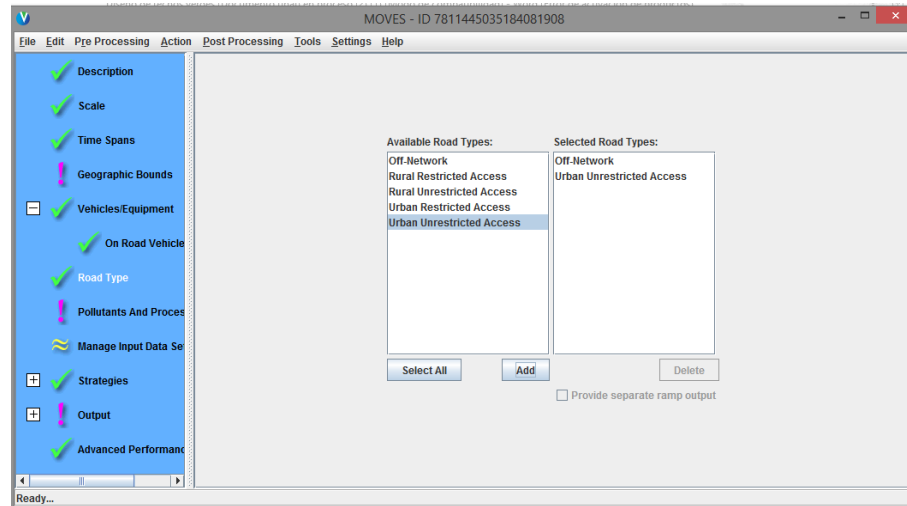
Ilustración 10. On road vehicle - MOVES



Fuente: MOVES-ID 7811445035184081908

Se selecciona el tipo de vía, según corresponda. Para las ciudades de Colombia el tipo de vía es Off-network y urban undrestricted Access.

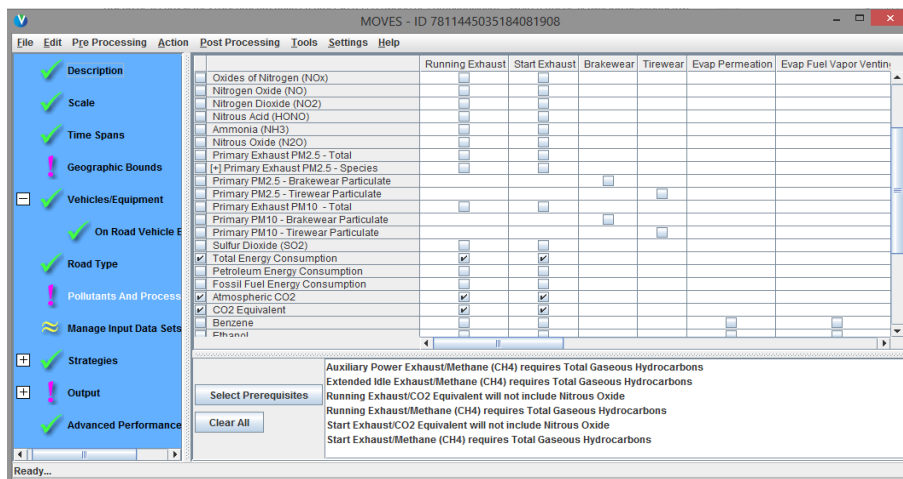
Ilustración 11. Road type - MOVES



Fuente: MOVES-ID 7811445035184081908

Indicamos el tipo de contaminante que se va a evaluar

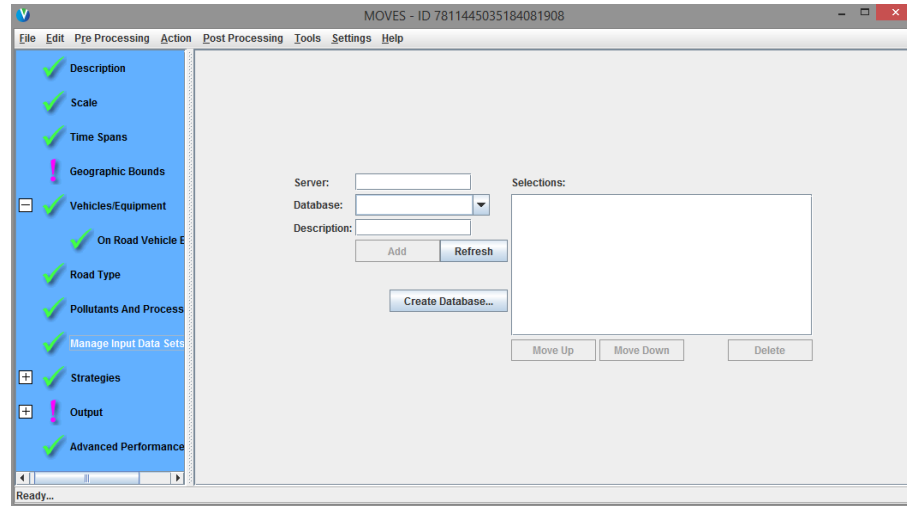
Ilustración 12. Pollutants and process - MOVES



Fuente: MOVES-ID 7811445035184081908

Con el fin de ubicar los datos se crea una base de salida, donde se especifica la ubicación de archivo con datos generados por MOVES.

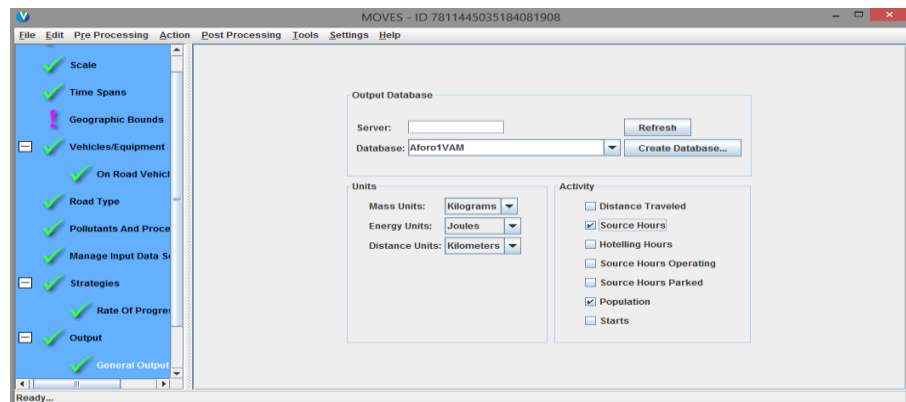
Ilustración 13. Manage input data sets



Fuente: MOVES-ID 7811445035184081908

Se escogen las unidades en las que el programa va a generar la salida de los datos (kilogramos, joules y kilómetros), y se selecciona la actividad con la que se desea que el software modele los datos.

Ilustración 14. General output-MOVES



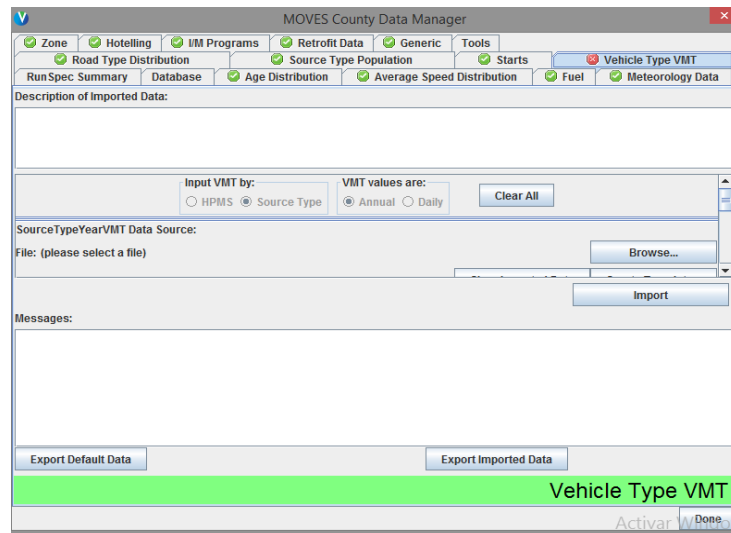
Fuente: MOVES-ID 7811445035184081908

Una vez especificada esta información se procede a terminar de editar la pestaña geographic bounds, en la cual se encuentran un serie de bases de datos, algunas ya aparecen diligenciadas y otras como: zona, tipo de vía, Vehículos por tipo, modelo, promedio de velocidad, combustible, datos de tiempo y tipo de vehículo,

necesitan ser diligenciadas, cada una de estas bases recibe el nombre de template y deben ser descargados una por una.

Cuando se ha completado toda la información solicitada por MOVES, se puede observar que a todas las pestañas les aparece un icono verde, indicando que la información se encuentra completa (ilustración 25).

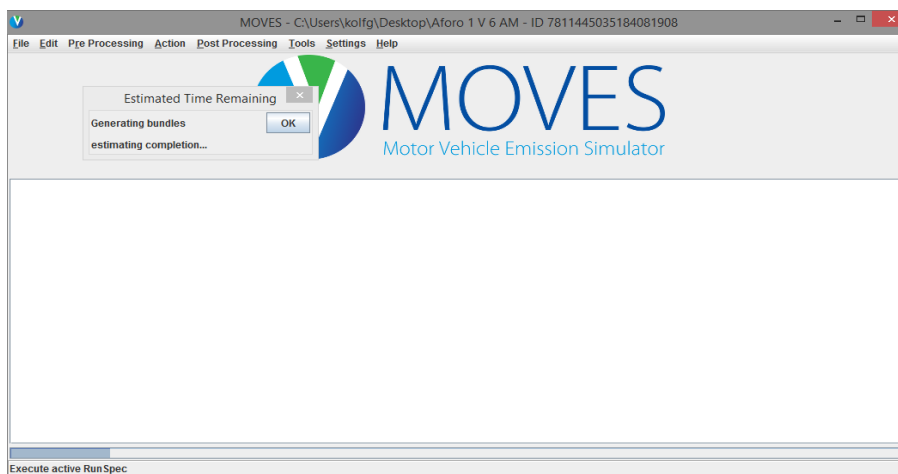
Ilustración 15. Template - MOVES



Fuente: MOVES-ID 7811445035184081908

Después de diligenciar todo los template solicitados por MOVES, se va a botón *action* ubicado en la parte superior de la página del programa y se selecciona *execute*, en ese momento el programa empieza a modelar los datos diligenciados, como se puede observar en la ilustración 26.

Ilustración 16. Modelación - MOVES



Fuente: MOVES-ID 7811445035184081908

Luego de recopilar y tabular la información arrojada por el software MOVES se logra estimar las emisiones de dióxido de carbono.

5.3 Fase III: Diseño de Techos Verdes

Para diseñar los techos verdes como un estrategia de compensación urbana, es necesario desarrollar dos partes; en la primera se realiza una revisión bibliográfica que tiene como objetivo conocer el índice de captación de CO₂, en plantas que puedan ser utilizadas en techos verdes (plantas de pequeño y mediano tamaño), esta información es buscada en diferentes artículos de revistas indexadas y estudios realizados en diferentes países del mundo. Es importante tener en cuenta las características climáticas del lugar de instalación de los techos verdes y que las especies de las cuales se encuentre información sean especies que puedan ser encontradas y se adapten a la características climatológicas de la zona de estudio.

Luego de definir las plantas que van a ser implantadas en el sistema de techos verdes, se desarrolla la segunda parte donde se procede a identificar el tipo y diseño de techo verde apropiado para la zona y que cumpla con todos los requisitos que son necesarios para garantizar la supervivencia de las plantas, para

realizar este diseño se debe tener en cuenta parámetros como: el tipo de techo, el peso del techo verde, grado de inclinación y los cuidados necesarios.

Este diseño tiene como fin, establecer los techos verdes como una estrategia de compensación urbana, por lo tanto es necesario obtener el estimado de emisiones de CO₂ derivadas de alguna actividad comercial o industrial.

6 DIAGNÓSTICO DE LA ZONA

La zona de estudio limitada y escogida para el estudio se encuentra comprendida entre la calle 82 y 85 con carrera 11 y 13, en la zona T de Bogotá, de acuerdo a lo ilustrado en el mapa 4.

Mapa 4. Zona de estudio



Fuente: Tomado de Aplicación en línea IDECA (2017)

Esta zona se encuentra ubicada en la localidad de Chapinero y es considerada una de las zonas de mayor importancia comercial y turística de la ciudad de Bogotá (Alcaldía de Bogotá, 2015). Esta porción de territorio cuenta con una gran

variedad de comercio entre 118 bares y restaurantes, 61 sitios de comidas rápidas, 9 hoteles, 3 centros comerciales, 3 casinos y 13 parqueaderos (Alcaldía mayor de Bogotá, 2017)

Dentro del perímetro donde se desean implementar los techos verdes como una estrategia de compensación se cuenta con una torre comercial ubicada sobre la carrera 11, donde se encuentran ubicadas ópticas, almacenes de ropa y accesorios y varias tiendas de comunicaciones, sobre la calle 85 se encuentran diversidad de bares y restaurantes, en la calle 83 se ubican algunos restaurantes, almacenes de accesorios tecnológicos, boutique de diseñadores reconocidos como Silvia Sherazi, un condominio residencial y hotelero, bancos y un casino, adicionalmente esta arista del polígono delimitado, se encuentra ubicada al frente de centro comercial centro Andino.

Es importante recalcar que la zona cuenta con gran diversidad de comercio y se encuentra ubicada en un lugar estratégico de gran flujo de personas, por las actividades comerciales, empresariales, recreacionales y de turismo que son realizadas dentro de esta localización, lo que indica un número considerable de transeúntes y sobre todo una gran cantidad de vehículos particulares en movimiento.

Esta zona es escogida por su diversidad comercial, relevancia para la ciudad y porque desde google earth se podía visualizar una gran cantidad de área de techo disponible y al implementar la estrategia los visitantes de la zona podrían visualizar y aportar monetariamente, teniendo en cuenta que en este momento para los consumidores, las empresas que muestran un grado de interés por los temas de sostenibilidad, responsabilidad frente a la cadena de abastecimiento, ciclo de vida del producto y los impactos derivados de su operación, están siendo posicionados a nivel comercial y han logrado tener un mayor grado de recordación en sus grupos de interés.

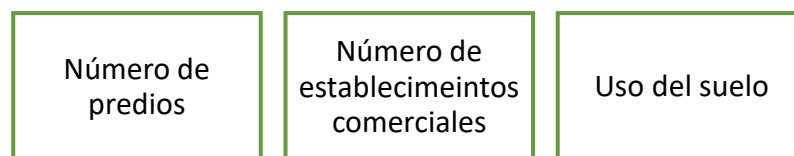
Esta unión entre empresa y grupos de interés puede generar un mayor impacto no solo en la disminución de GEI liberados a la atmósfera, sino se puede llegar a convertir en un proceso de culturización y sensibilización para la comunidad.

Con el fin de lograr identificar la viabilidad de la implementación de techos verdes en la zona seleccionada, se realiza una identificación de características cuantitativas y cualitativas.

6.1 Caracterización de la zona de estudio

Dentro de la descripción de la zona seleccionada se incluyen los parámetros demostrados en la ilustración 17 y es realizada con el fin de conocer las características cualitativas y cuantitativas de la zona de estudio.

Ilustración 17. Parámetros de caracterización



Fuente: Autores (2018)

Para conocer la cantidad de predios que se encuentran dentro de la zona de estudio se identifica la unidad de planeación zonal (UPZ) donde se encuentra ubicada, esta UPZ corresponde a la N° 99, para identificar la cantidad de predios comprendidos dentro de la locación del proyecto, fue necesario identificar la cartografía establecida para esta UPZ en la página del IDECA en el link <https://ideca.gov.co/es/servicios/aplicacion-tu-bogota>, con este shape y la ayuda del sistema de información geográfica ArcGis 10. 4. 1 se logra identificar que al interior del área de estudio se encuentran ubicados 37 predios.

Algunos de estos predios se encuentran divididos en varios establecimientos comerciales, que fueron identificados a través de la visita realizada en 19 de noviembre del 2016, durante esta visita se identificó el comercio, registrado en el Anexo 1. Caracterización de la zona de estudio, de esta clasificación se obtiene que dentro de lo locación del proyecto se encuentran ubicados 73 establecimientos comerciales y cuatro (4) edificios empresariales. Dentro de los establecimientos comerciales se cuenta con:

Tabla 8. Distribución de establecimientos comerciales zona de estudio

Descripción	Cantidad	%
Ropa y calzado	22	30,1
Alimentos y bebidas	21	28,8
Belleza y salud	7	9,6
Arte	6	8,2
Comunicaciones y tecnología	5	6,8
Hogar	4	5,5
Casinos	2	2,7
Entidades financieras	2	2,7
Hospedaje	1	1,4
Agencias de viajes	1	1,4
Entidades públicas	1	1,4
Parqueaderos públicos	1	1,4
Total	73	100

Fuente: Autores (2018)

En la zona de estudio se encuentra el 12% de la oferta comercial de alimentos y bebidas, el 11% de la oferta hotelera, el 66,7% de los casinos y el 7,7 % de los parqueaderos disponible en la zona rosa de Bogotá.

6.2 Distribución del Uso del Suelo

Para realizar la distribución de uso del suelo se tuvo en cuenta el número de predios que fueron identificados en el *shape* de la UPZ, la clasificación mencionada en la metodología y los establecimientos comerciales identificados en la visita de campo, logrando identificar la distribución de uso del suelo de la tabla 9.

Tabla 9. Distribución de uso del suelo por predio

Uso del Suelo	Número de Predios	%
Comercial	32	86,5
Residencial	2	5,4
Abandono	2	5.4
En construcción	1	2.7
Total	37	100

Fuente: Autores (2018)

Dentro de la distribución de uso de suelo se pueden identificar los siguientes predios:

Comercial: En esta clasificación se tienen en cuenta todos los predios donde se ofrecen los bienes y servicios, establecidos en la tabla 7. Algunos de los establecimientos tenidos en cuenta son los que se muestran en la fotografía 1.

Fotografía 1. Chamois, Luckia Casino, Silvia Sherazi y Rock & Roll Circus



Fuente: Autores (2017)

Residencial: Dentro del área se encuentran dos predios destinados al uso residencial, los dos predios se encuentran ubicados sobre la calle 85, uno de los predios se encuentra ilustrado en la fotografía 2.

Fotografía 2. Residencia CII 85 # 12 - 25



Fuente: Autores (2017)

Abandono: En el área se interés se encuentran dos predios en estado de abandono ubicados en la calle 85 junto al restaurante Julia, como se puede observar en la fotografía 3.

Fotografía 3. Inmueble en Abandono



Fuente: Autores (2017)

En construcción: En el momento de la visita solo uno de los predios se encontraba en proceso de construcción este inmueble queda ubicado sobre la carrera 12 con calle 84, y es el predio que se observa en la fotografía 4.

Fotografía 4. Inmueble en construcción

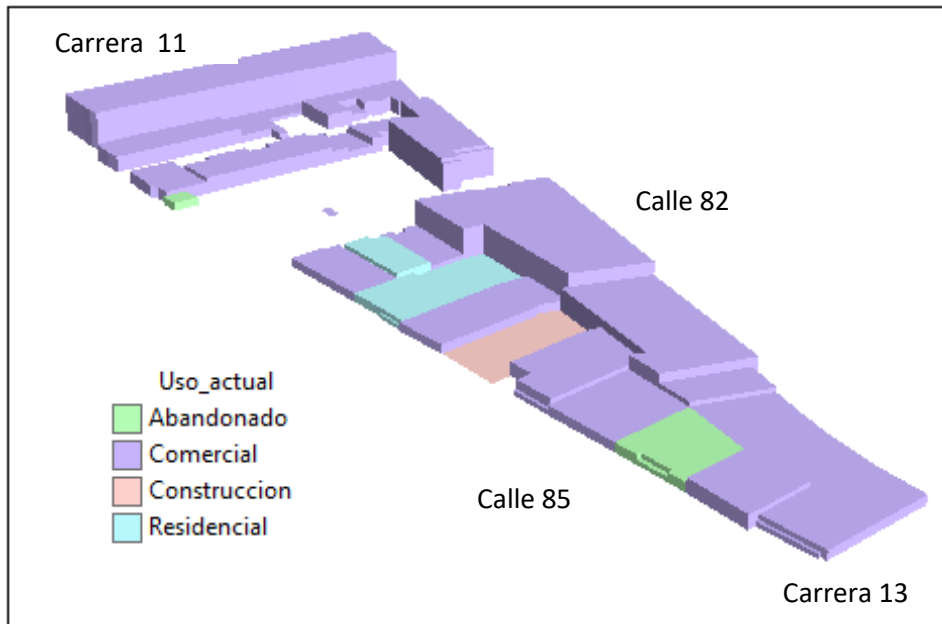


Fuente: Autores (2017)

Luego de obtener esta información y con el objetivo de lograr visualizar y espacializar la zona estudio se utiliza en componente ArcMap, del programa ArcGis 10.4.1 se limita la plantilla mediante la opción de open attribute table y se descartan los datos que no pertenecen al área de importancia, se anexa información, sobre el número de pisos y el uso del suelo de cada predio.

Con esta información en último lugar, se da relieve al mapa con el componente ArcScene dejando como resultado un plano en 3D, que permite graficar la distribución del uso de suelo en la zona de estudio como se puede observar en la grafica 1.

Gráfica 1. Distribución de uso del suelo



Fuente: Autores (2017)

6.3 Área Disponible

El área de techo con el que cuenta las edificaciones ubicadas dentro del área de estudio, es un dato relevante para el proyecto, ya que es este insumo indica la cantidad de techos verdes que pueden ser instalados, para conocer este dato se utilizó la aplicación en línea del IDECA.

El área total de techos que se encuentran dentro del área de estudio, corresponde a 11.110,4 m², dentro de este dato se tiene en cuenta toda la superficie superior que puede ser visualizada desde la herramienta del IDECA. El levantamiento de estos datos es realizado a través de la limitación de los polígonos de cada una de las edificaciones, como se puede observar en la imagen 1.

Imagen 1. Área total de techos



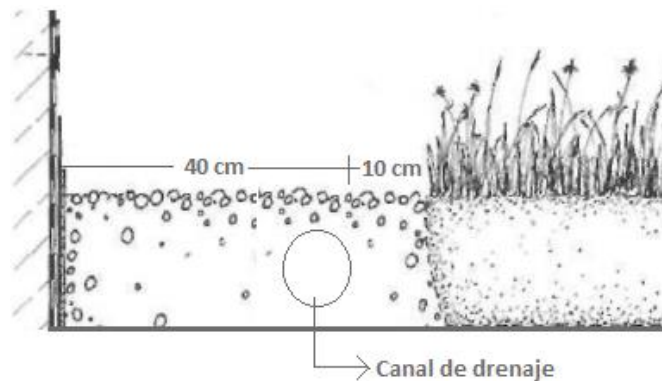
Fuente: Tomado de Aplicación en línea IDECA (2017)

Para calcular el área disponible para instalar techos verdes se tiene en cuenta, los siguientes parámetros:

- ✓ No tener ningún tipo de equipo de aire acondicionado o calefacción, estos equipos emiten calor latente (Arnabat, 2007) y los espacios con estas instalaciones no cuentan con lugares aptos para la instalación de techos verdes.
- ✓ En Colombia no se cuenta con legislación o parámetros técnicos que especifiquen la distancia entre la vegetación y la estructura de la edificación,

por lo tanto se toma como referencia las normas alemanas donde se cuenta con reglas generales para el planeamiento y ejecución de cubiertas ajardinadas, proporcionada por “*Forschungsgesellschaft landsentwicklung landschaftsbau*” conocida por sus siglas FLL y que traduce a español “Sociedad de investigación de paisajismo y desarrollo rural” (FLL, 1996), que indica que se debe dejar 10 cm de la terminación de las membranas al canal de drenaje y 50 cm de ancho para distanciar la superficie de vegetación del borde de la construcción, como se ilustra a continuación, (Minke, 2004, págs. 64 - 65).

Ilustración 18. Parámetros de distancia prudente para techos verdes.



Fuente: Techos verdes: Planificación, ejecución y consejos prácticos, pág. 65 y adaptado por autores (2017)

Teniendo en cuenta el anterior parámetro de identifica que se puede instalar techos verdes en un área de 5.055,23 m² que corresponden a un **45,2%** del área disponible. Esto infiere que las edificaciones de la zona no se encuentran construidas apuntando hacia una arquitectura ecológica y a su vez no son enfocadas a la adaptación de cambio climático, (López, 2017).

El grado de incertidumbre que se tiene al utilizar estas herramientas de georeferenciación para medir áreas o perímetros, radica en el error residual, el cual consiste en la diferencia entre donde termina el punto de partida frente a la

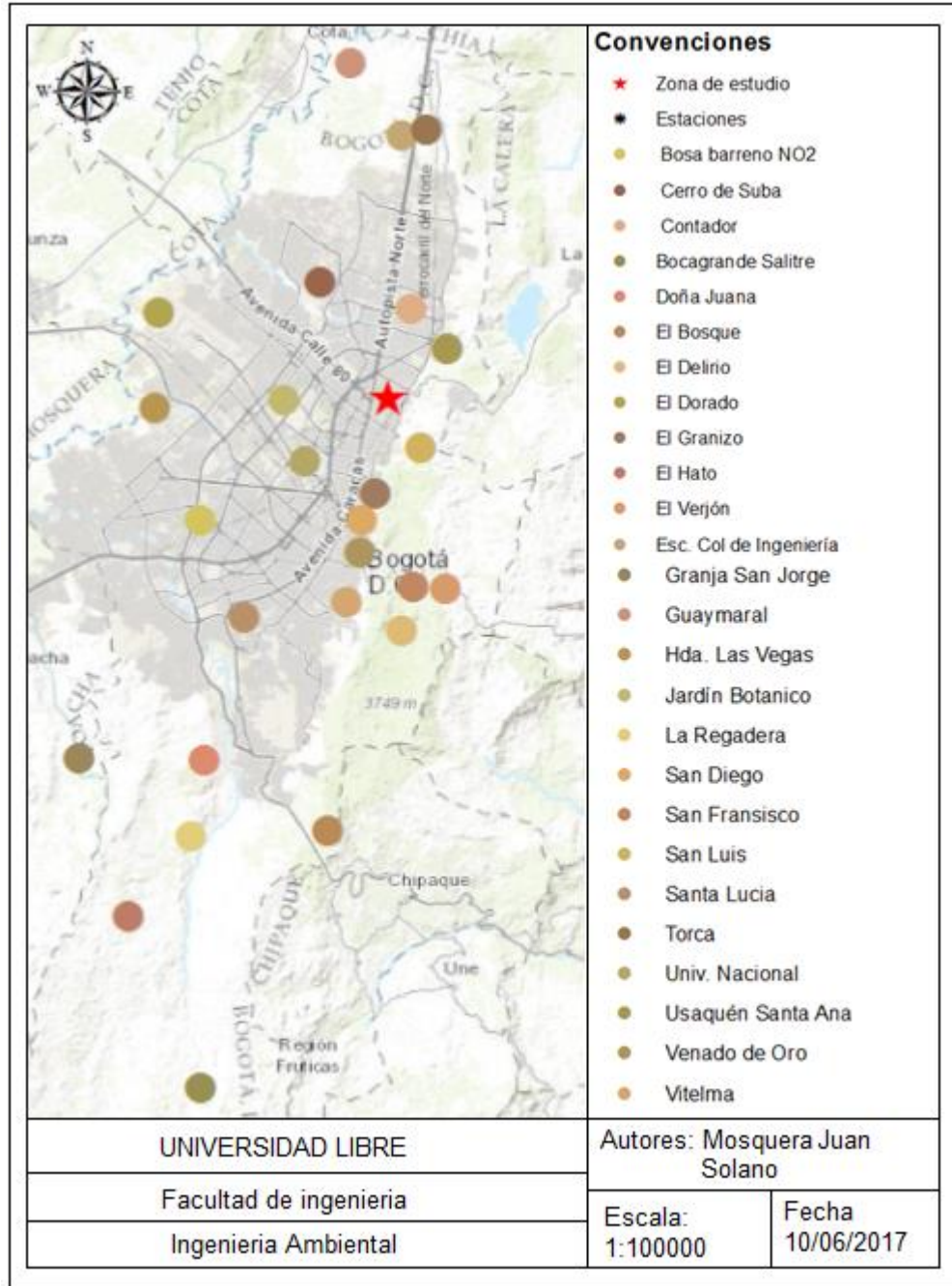
ubicación de punto de destino, la sumatoria de estos errores se calcula mediante la suma cuadrática media (RMS).

6.4 Tendencias meteorológicas

Con el fin de identificar la tendencia meteorológicas de la zona de estudio, se realiza una búsqueda en los informes de la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá – RMCAB (Secretaría distrital de ambiente, 2017). Esta información se encuentra incompleta con muchos vacíos dentro de sus tablas de datos y no se cuenta con los suficientes soportes que superen un periodo de tiempo mínimo de 10 años, de acuerdo a los establecido para obtener una tendencia meteorológica, (Montealegre, 2002).

Se toma como referencia el Estudio de la caracterización climática de Bogotá y cuenca alta del Río Tunjuelito, por su veracidad de información y metodología de elaboración, este documento toma las estaciones meteorológicas: El Dorado, Guaymaral, Bocagrande, Salitre, Bosa, cerro de Suba, Contador, Doña Juana, El bosque, El Delirio, El Granizo, El Hoto, El Verjón, Escuela Colombiana de Ingeniería, Granja San Jorge, Hacienda Las Vegas, Jardín Botánico, La Regadera, San Francisco, San Diego, San Luis, Santa Lucia, Torca, Universidad Nacional, Usaquén, Santa Ana, Venado de Oro y Vitelma (IDEAM, 2007). Estas estaciones, se encuentran ubicadas dentro de la ciudad como se muestra a continuación:

Mapa 5. Ubicación estaciones meteorológicas



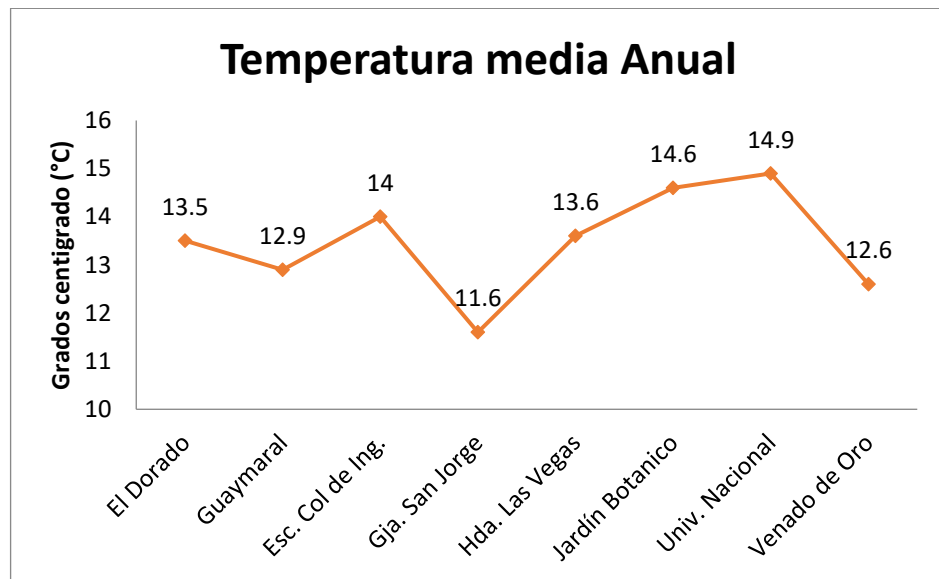
Fuente: Autores (2018)

Dentro del estudio se desarrollan los siguientes factores climáticos:

6.4.1 Temperatura:

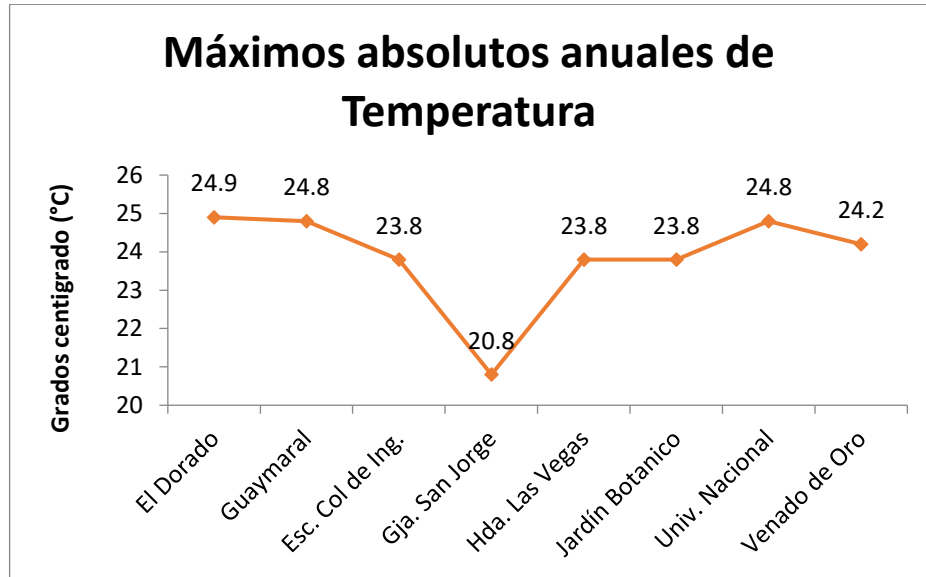
Basados en el estudio se toman los datos de temperatura media anual, máxima absoluta anual y mínima absoluta anual, para las estaciones El Dorado, Guaymaral, Esc. Col de Ingeniería, Granja San Jorge, Hda. Las Vegas, Jardín Botánico, Univ. Nacional y Venado de Oro, como se muestra en las siguientes gráficas:

Gráfica 2. Temperatura media anual de Bogotá



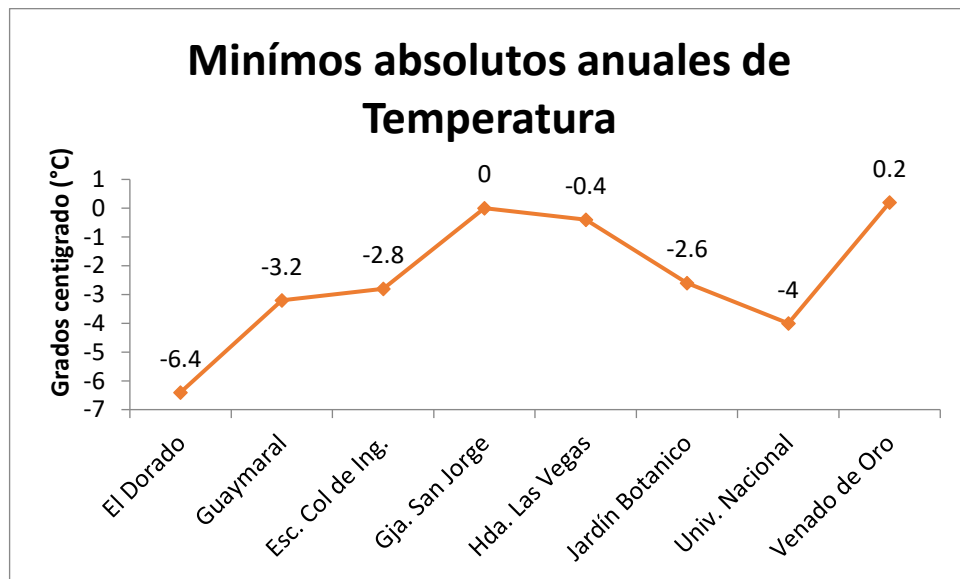
Fuente: Tomado del estudio de la caracterización climática de Bogotá y cuenca alta del río Tunjuelo, adaptado por autores (2017)

Gráfica 3. Máximos absolutos anuales de Temperatura



Fuente: Tomado del estudio de la caracterización climática de Bogotá y cuenca alta del río Tunjuelo, adaptado por autores (2017)

Gráfica 4. Mínimos absolutos anuales de Temperatura en Bogotá



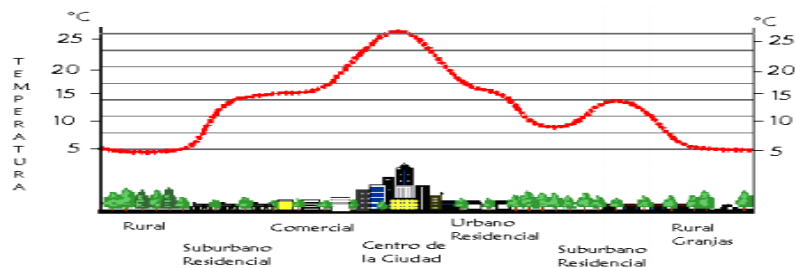
Fuente: Tomado del estudio de la caracterización climática de Bogotá y cuenca alta del río Tunjuelo, adaptado por autores (2017)

De acuerdo a las gráficas la temperatura media anual oscila entre los 12 y 15 °C, las temperaturas más altas fluctúan entre los 20 y 25 °C que se presentan durante los meses de febrero, marzo, abril y mayo, las más bajas temperaturas varían entre los 1 y -7 °C, donde la menor temperatura se presentó en la estación de El Dorado, ubicada en el occidente de Bogotá. En cuanto a la temperaturas extremas se presentan en los meses de diciembre, enero y febrero de acuerdo a lo registrado se puede observar temperaturas que superan los 25°C (IDEAM, 2007), esto concuerda con el episodio más caloroso en Bogotá en cual fue el día 08 de febrero del 2017 con 25.1°C (Sostenibilidad semana, 2017).

Para el estudio se toma en cuenta la información registrada en la estación meteorológica más cercana, que corresponde a la estación de la Universidad Nacional la cual tiene una media anual de temperatura de 14,9 °C.

El fenómeno de la isla de calor se presenta con mayor intensidad en el centro de la ciudad y sus zonas aledañas debido a la incidencia de emisiones de calor antropogénicas de gases efecto invernadero, producido principalmente por las fuentes móviles. En la ciudad, se encuentran grandes zonas con superficie de suelo cubiertas de calles, edificios, avenidas, grandes complejos residenciales, los cuales están contruidos con varios materiales impermeables como hormigón, asfalto, además cada material tiene un albedo diferente, lo que altera la fracción de radiación solar reflejada y absorbida por la superficie lo que permite evidenciar el comportamiento mostrado en la ilustración 11, (IDEAM, 2007).

Ilustración 19. Fenómeno de "Islas de Calor"

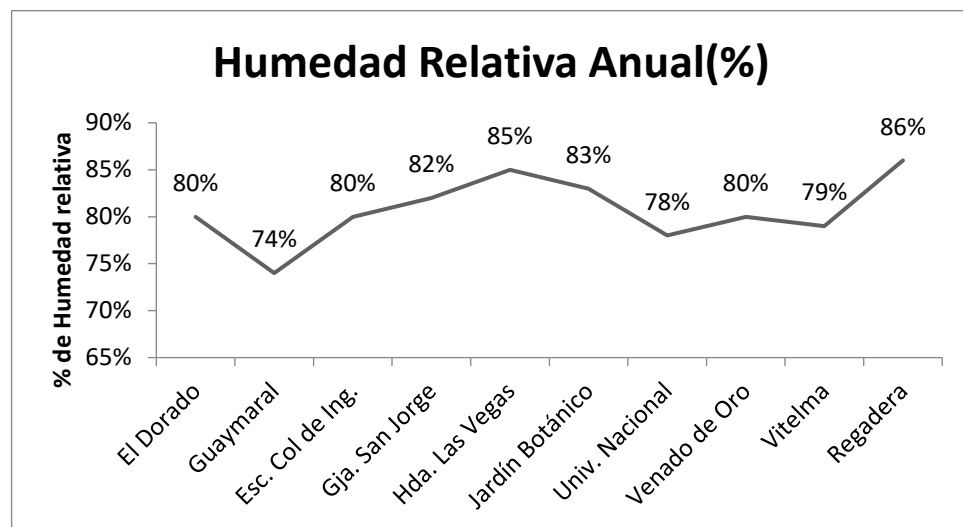


Fuente: Estudio de la caracterización climática de Bogotá y cuenca alta del río Bogotá

6.4.2 Humedad:

El vapor de agua es uno de los componentes de la atmósfera de la tierra y tiene una relación estrecha con la ocurrencia y distribución de la precipitación en una zona o porción terrestre, para el estudio se toman las estaciones de El Dorado, Guaymaral, Esc. Col de Ingeniería, Granja San Jorge, Hacienda Las Vegas, Jardín Botánico, Univ. Nacional, Venado de Oro, Vitelma y Regadera, los datos obtenidos se muestran a continuación, (IDEAM, 2007).

Gráfica 5. Promedio de humedad Relativa para Bogotá



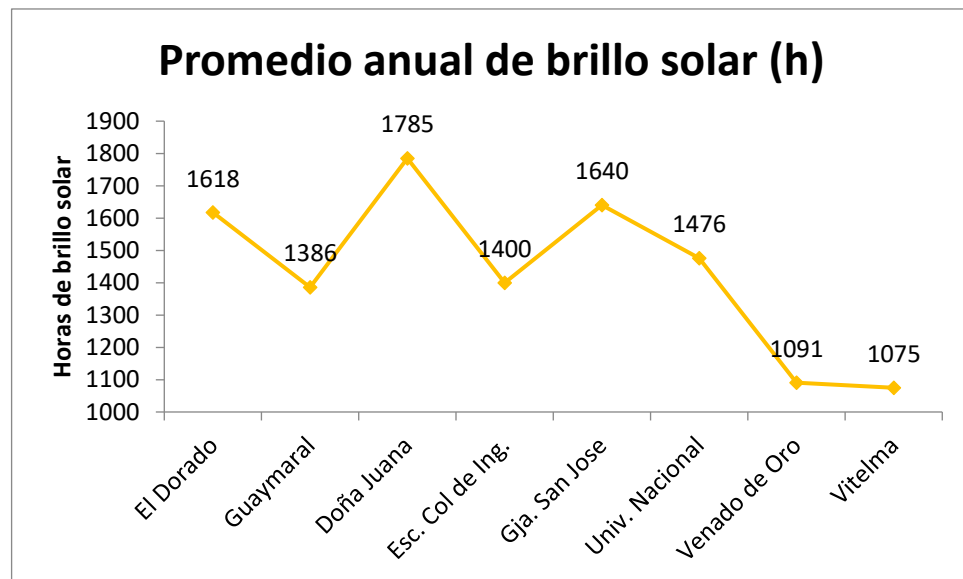
Fuente: Tomado del estudio de la caracterización climática de Bogotá y cuenca alta del río Tunjuelo, adaptado por autores (2017)

El comportamiento temporal de la humedad presenta valores medios mayores en los meses de lluvias altas como los son: abril, mayo, octubre y noviembre, los valores mínimos se presentan en los meses relativamente secos o de bajas lluvias como: enero, febrero, julio y agosto. En general la humedad no tiene fuertes variaciones en sus valores medios debido al alto contenido que normalmente se presenta en la zona tropical. La humedad relativa media anual en la ciudad varía entre el 74% y 86%, (IDEAM, 2007). Para la zona de estudio el valor de la humedad relativa, corresponde al valor reportado en la estación de Universidad Nacional con un valor 78%

6.4.3 Brillo Solar:

La distribución de los valores de insolación o brillo solar están relacionados en forma inversa con otros elementos como la nubosidad y la precipitación en una región, para el estudio se tuvieron en cuenta las estaciones El Dorado, Guaymaral, Doña Juana, Escuela Colombiana de Ingeniería, Granja San Jorge, Universidad Nacional, Venado de Oro y Vitelma, (IDEAM, 2007) los datos establecidos se encuentran en la siguiente gráfica.

Gráfica 6. Promedio anual de brillo solar para Bogotá



Fuente: Tomado del estudio de la caracterización climática de Bogotá y cuenca alta del río Tunjuelo, adaptado por autores (2017)

Los mayores valores de brillo solar se presentan en los meses de diciembre, enero, febrero, julio y agosto y los menores valores durante los meses de las temporadas lluviosas como son abril, mayo, junio, octubre y noviembre. En los demás meses de condiciones de insolación fluctúan debido a la influencia de factores convectivos y a la presencia de los periodos lluviosos de abril-mayo y octubre-noviembre, bien definidos en la ciudad y cuyos valores oscilan entre 89 y 150 horas de brillos solar mensual, (IDEAM, 2007).

El brillo solar tiene incidencia sobre las plantas ubicadas en los techos verdes, por tal motivo se toma el valor de la estación de la Universidad Nacional de Colombia que reporta 1.476 horas de brillo solar anual.

6.4.4 Precipitación:

La ciudad de Bogotá presenta dos periodos de lluvias durante el año. El primero inicia el mes de marzo y dura todo abril y mayo; y el segundo, empieza en septiembre y dura todo octubre y noviembre; existen meses de transición entre las diferentes periodos como son los meses de marzo, junio, septiembre y diciembre los cuales presentan días de lluvias y tiempo seco. Los datos utilizados para esta normal climatológica corresponde a 30 años en el periodo de 1971-2000, y su promedio anual se presenta a continuación, (IDEAM, 2007).

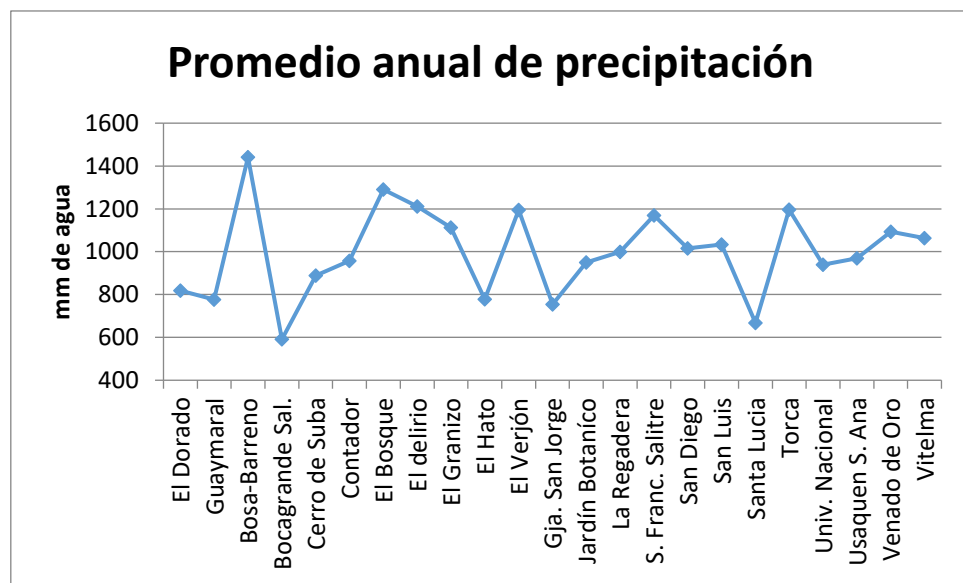
Tabla 10: Promedio mensual de precipitación (mm)

Estación	Meses											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
El Dorado	32	42	66	113	92	55	41	48	73	116	88	52
Guaymaral	31	52	70	91	87	57	46	46	65	100	85	46
Bosa-Barreno	32	57	86	135	183	178	214	169	121	114	103	53
Bocagrande Sal.	20	30	48	69	69	51	33	44	51	78	70	29
Cerro de Suba	41	66	85	109	100	48	39	47	71	116	106	61
Contador	68	82	101	116	98	44	40	38	54	122	114	82
El Bosque	37	55	75	117	147	157	173	136	101	111	120	62
El delirio	59	70	97	97	119	127	168	118	76	107	104	69
El Granizo	71	76	90	114	122	82	78	74	68	119	135	84
El Hato	19	37	51	82	108	85	80	73	64	79	66	34
El Verjón	51	56	89	98	124	132	155	119	81	113	111	67
Gja. San Jorge	26	38	54	90	96	64	55	55	56	90	89	42
Jardín Botánico	43	62	90	119	120	57	45	51	79	112	117	64
La Regadera	21	38	55	96	136	128	123	108	81	98	76	38
S. Franc. Salitre	76	71	93	114	128	91	118	90	74	117	116	82
San Diego	60	74	90	120	105	61	63	58	59	121	128	78
San Luis	74	74	96	118	107	62	60	55	60	118	130	79
Santa Lucia	27	40	58	82	84	48	37	43	52	82	73	41
Torca	64	80	113	142	123	84	78	65	101	125	135	86
Univ. Nacional	57	70	93	117	118	53	39	48	74	126	129	76
Usaquen S. Ana	73	71	103	119	96	51	45	44	55	111	121	80
Venado de Oro	65	69	98	126	113	71	74	68	68	119	140	83
Vitelma	59	71	100	112	105	72	89	75	66	111	123	81

Fuente: Estudio de la caracterización climática de Bogotá y cuenca alta del río Tunjuelo

Para la zona urbana de Bogotá D.C se representa un distribución bimodal, con dos temporadas de lluvias bastante marcadas y dos relativamente bajas o secas, la distribución y comportamiento de la precipitación anual de Bogotá se caracteriza por la influencia de la orografía como un factor determinante, pero es el paso de la zona de confluencia intertropical la que determina las temporadas de invierno y verano en la ciudad. La siguiente gráfica representa el promedio anual de precipitación para la ciudad de Bogotá, (IDEAM, 2007).

Gráfica 7. Promedio anual de precipitación de Bogotá



Fuente: Tomado del estudio de la caracterización climática de Bogotá y cuenca alta del río Tunjuelo, adaptado por autores (2017)

En Bogotá los menores valores de precipitación se encuentran hacia el occidente y sur-occidente, con valores de 600 – 700mm, hacia el sector occidental y nor-occidental se resalta una franja extendida hacia el norte con valores entre los 800mm. El centro de la ciudad se presenta una precipitación que oscila entre los 800 y 1000 mm, para luego aumentar hacia los cerros orientales donde alcanza los 1200 mm. (IDEAM, 2007).

Los años más lluviosos, entre el periodo de 1971 -2004, ha sido en su orden 1999, 2004, 1979, 1971, 1988, 1994 y 1998, los cuales se destacaron con registros relativamente altos comparados con sus valores normales, (IDEAM, 2007), en los últimos años se han presentados dos emergencias por lluvias y granizadas ocurridas en los años 2011 y 2015 ocasionando inundaciones y desbordamientos de ríos y quebradas (El Tiempo, 2017).

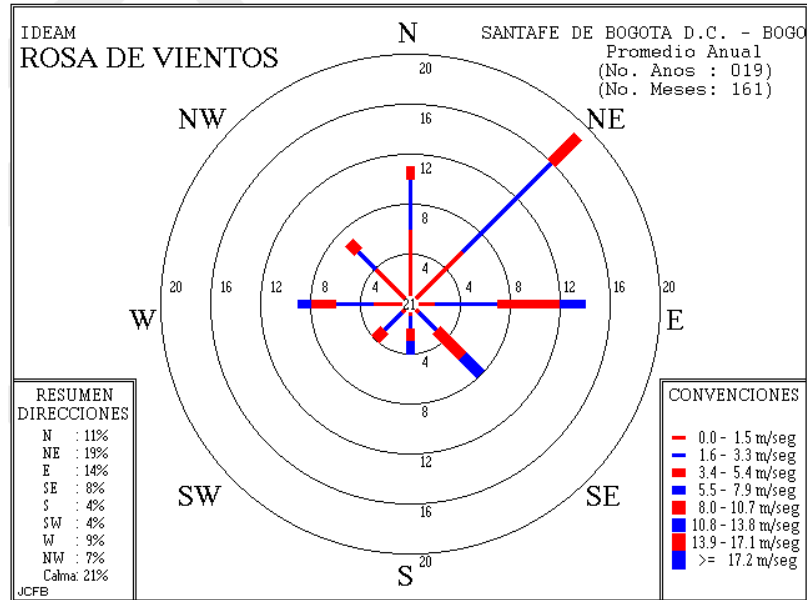
La precipitación para el área de estudio es de 958 mm anuales y es tomada de la estación Contador.

6.4.5 Viento:

La dirección del viento es determinada por la trayectoria media que hace el aire en sus movimiento. Las distintas direcciones del viento están referidas en la rosa de los vientos, la cual señala los diferentes puntos cardinales que van desde 4 hasta 16 direcciones. La velocidad del viento se determina por el espacio recorrido por las partículas del aire, que el flujo del aire impulsa en sus movimiento, o también por la presión que le viento ejerce sobre un obstáculo dado, se expresa en metros por segundo, kilómetros por hora, nudos o millas/hora, la rosa de los vientos para la ciudad de Bogotá se da a conocer en la ilustración 12, (IDEAM, 2007).

En Bogotá existen vientos generales y vientos locales, los primeros, son los de influencia sinóptica que son los alisios, los cuales toman direcciones noreste y sureste en el área de la ciudad. Estos traen consigo lloviznas a partir de la última semana de junio o comienzos de julio, pues una vez entra la influencia de este viento, las lluvias del primer periodo lluvioso cesan del todo. Los vientos alisios disminuyen sus intensidad durante los meses de julio y agosto y finalmente dejan de influenciar en el mes de septiembre cuando aumenta el cubrimiento de nubosidad y aparecen las primeras lluvias, (IDEAM, 2007).

Ilustración 20: Rosa de los vientos de Bogotá



Fuente: Información aeronáutica, <http://bart.ideam.gov.co/cliciu/rosas/viento.htm>.

Para la segunda temporada de lluvias de septiembre, octubre y noviembre, los vientos locales son bastante variables y dependen de la distribución de las precipitaciones; los vientos más dominantes en la temporada son los del noreste, este y oeste, con velocidades hasta de 6 a 8 m/s; esta situación en particular de los vientos encontrados en diferentes direcciones, da lugar a condiciones de discontinuidad y presencia de corrientes convectivas que junto al calentamiento del día, favorecen enormemente las precipitaciones fuertes y ocurrencia de formación de tormentas eléctricas, (IDEAM, 2007).

Finalmente se concluye que teniendo en cuenta las condiciones mostradas en la ilustración número 13 para la zona comprendida entre la calle 11y 13 con carreara 82 y 85 es apta para la instalación de techos verdes:

Ilustración 21. Resultados e caracterización de la zona



Fuente: Autores (2018)

7 ESTIMACIÓN DE EMISIONES DE DIÓXIDO DE CARBONO

El área de estudio se encuentra ubicada en la localidad de Chapinero, esta área presenta un comportamiento diferente en términos de movilidad a la ciudad de Bogotá, la secretaria distrital de planeación indica que para el año 2015, en la localidad los recorridos por vehículos particulares eran mayores a los establecidos para Bogotá en una proporción del 6%. Dentro de la localidad también se nota una disminución del uso de transportes limpios en el caso de la bicicleta y trayectos peatonales en 2% y 13% respectivamente presentando porcentajes menores que en toda la ciudad en general.

Conocer el flujo vehicular de la zona, permite determinar la cantidad de emisiones de CO₂ liberadas a la atmósfera por medio del software MOVES, esta actividad es considerada un inventario de GEI, teniendo en cuenta que dentro del inventario solo se tomaron las emisiones generadas por el proceso de combustión de los vehículos particulares que circulan por la zona de estudio.

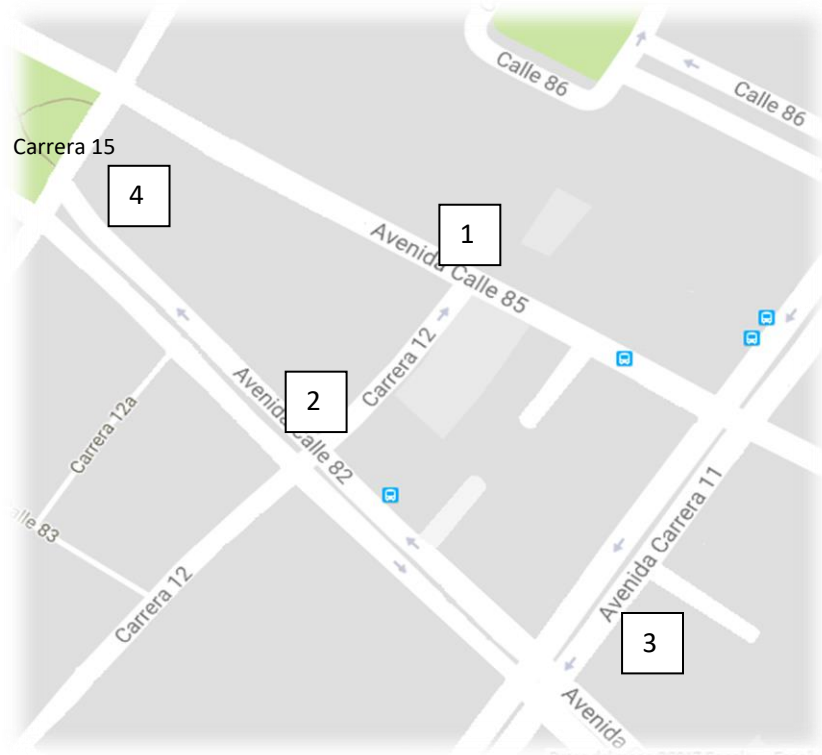
7.1 Flujo Vehicular

Teniendo en cuenta los periodos de lluvia y los periodos secos establecidas por el IDEAM (2014) y el pico y placa determinados para la ciudad de Bogotá D.C por la secretaria distrital de movilidad, se realiza el aforo vehicular durante los días viernes 05 de mayo y sábado 06 de mayo del 2017 el cual está comprendido en un periodo de lluvia y el viernes 21 de Julio y sábado 22 de Julio del 2017 para el periodo seco, los horarios establecidos para esta actividad fueron de 6:00 am a 10:00 am y 4:00 pm a 8:00 pm.

La medición realizada durante la mañana y tarde del día 05 de Mayo fue tomado en la arista del polígono delimitado sobre la calle 85, el sábado 06 de Mayo sobre la esquina de la calle 82 con carrera 12 durante las dos jornadas, el viernes 21 de Julio sobre la arista ubicada en la carrera 11 en los dos horarios y finalmente el día

sábado 22 de Julio en la arista sobre la carrera 15 como se puede observar en la ilustración 14, esto con el fin tener la cobertura total de los vehículos circundantes en la zona y estimar de la forma más cercana las emisiones originada por este sector.

Ilustración 22. Ubicación de los aforos y encuestas







Fuente. Google maps

Los videos tomados En el aforo mecánico tienen una duración aproximada de una hora en donde se logra visualizar una porción de las aristas de interés y el flujo vehicular presente en el momento de la grabación.

En el momento que la información de los dos aforos fue recopilada, se realiza un conteo de forma manual, este procedimiento es realizado revisando cada uno de los videos y registrando la información en el Anexo 2. Formato de aforo vehicular donde se especifica el tipo de vehículo que puede ser automóvil, camioneta, motocicletas o van y el horario en el que se realizó el registro de los vehículos.

Este conteo arroja la información plasmada en la tabla 11, donde se puede evidenciar que el aforo con mayor flujo vehicular fue el sábado 22 de Julio del 2017 con un total de 12.304, el día con menor flujo vehicular fue el viernes 05 de mayo del 2017 3.756 Vehículos.

Tabla 11. Resultados de aforo

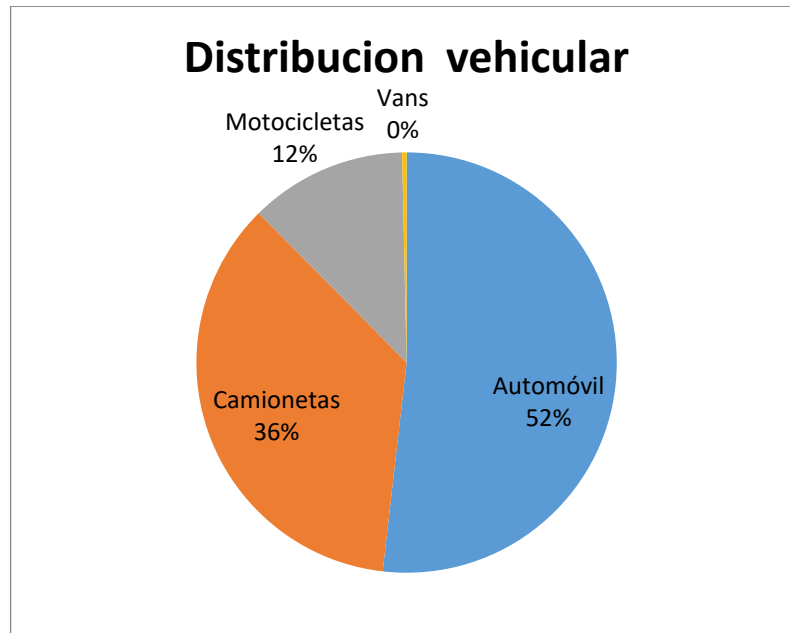
N°	Nodo	Jornada		TIPO DE VEHÍCULO					
							Total Carros Mixtos		
1	Cll 85	Viernes	05-may-17	AM (6:00 - 10:00)	948	653	20	1621	672
				PM (4:00 - 8:00)	708	546	7	1261	202
2	Cll 82 - Crr 12	Sabado	06-may-17	AM (6:00 - 10:00)	1916	1321	15	3252	456
				PM (4:00 - 8:00)	3092	2137	19	5248	873
3	Crr 11	Viernes	21-jul-17	AM (6:00 - 10:00)	2343	1614	11	3968	441
				PM (4:00 - 8:00)	2194	1511	9	3714	524
4	Crr 15	Sabado	22-jul-17	AM (6:00 - 10:00)	3496	2408	23	5927	571
				PM (4:00 - 8:00)	3198	2162	14	5374	432
Total de vehículos circundates durante dos fines de semana					17895	12352	118	30365	4171

Fuente: Autores (2017).

El flujo vehicular que fue recopilado durante la elaboración de los aforos corresponde a un total de 30.365 vehículos de cuatro (4) ejes y 4.171 motocicletas.

La totalidad de vehículos movilizados durante los aforos son 34.536 vehículos distribuidos de la siguiente forma 51,82% automóviles, 35,77% camionetas, 0,34% vans y 12,08% motocicletas como se muestra en la siguiente gráfica 8.

Gráfica 8 Distribución total vehicular



Fuente: Autores (2018)

Para los días viernes se presenta un flujo promedio de 6.202 vehículos, teniendo un mayor flujo en la jornada de la mañana, donde se movilizan en promedio 3.331 vehículos, el promedio desciende en un 15% en la jornada de la tarde lo que corresponde a 2.851 vehículos, este comportamiento se puede presentar debido a que por la mañana las personas se movilizan a sus trabajos, mientras por la tarde el lugar se convierte en un ambiente más social lo que ocasiona que no todos se movilicen a la misma hora.

Al no contar con pico y placa los sábados este flujo aumenta a 22.133 vehículos, presentando una tendencia opuesta al tener un menor promedio de flujo en la jornada de la mañana con 5.103 vehículos, para la jornada de la tarde se presenta un crecimiento del 57% lo que corresponde a un flujo promedio de 11.927 vehículos, este comportamiento se puede presentar a que el lugar de estudio cuenta con una diversidad de bares y restaurantes, que son visitados en su mayoría por la tarde/ noche.

Del aforo realizado en mayo periodo de lluvia se tuvo un promedio de flujo de 6.793 vehículos en un fin de semana, este flujo aumenta para el mes de julio periodo seco en un 65% lo que corresponde a 10.206, este comportamiento se puede presentar pro que en los periodos de lluvia el comercio disminuye lo que repercute en el flujo vehicular.

Recopilando toda esta información podemos estimar que durante un fin de semana se movilizan un promedio de 17.268 automóviles por la zona de estudio.

7.2 Distribución de Modelos y Tipo de Combustible

Con el fin de lograr estimar las emisiones de CO₂ es necesario conocer la distribución de modelos y tipo de combustible de los vehículos que fueron incluidos en el conteo del aforo vehicular.

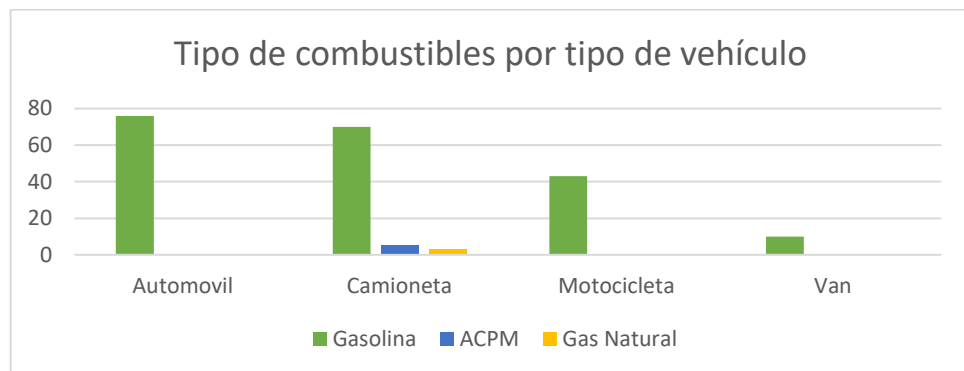
Para lograr identificar estos datos se realiza una identificación aleatoria de los vehículos que se encuentran dentro de estas grabaciones. El tamaño de la muestra necesario para considerar representativo este dato fue calculado a partir de la formula (Ecuación 1. Tamaño muestral) especificada en la metodología, teniendo en cuenta las siguientes especificaciones.

- Total de la población (N) = 34.536, el número de vehículos que fueron registrados en el aforo.
- Intervalo de confianza (Z) = 95% se establece este valor teniendo en cuenta las condiciones del estudio y la biografía consultada
- Población a favor (P) = 0,25, el 25% de personas cuentan con vehículo particular para el año 2015, según el Observatorio de Movilidad (2017) y el DANE (2018).
- Población en contra (Q) =0,75, el 75% de la población que no cuenta con un vehículo particular según el Observatorio de Movilidad (2017) y el DANE (2018).
- Error máximo (e) = 5% se establece este valor teniendo en cuenta las condiciones del estudio y la biografía consultada.

Al realizar este cálculo se obtiene como resultado que el tamaño muestra (n) corresponde a 200,6 vehículos, teniendo en cuenta que en estadística poblacional no se toman decimales se aproxima al siguiente entero, 201. Este dato corresponde a la cantidad de vehículos que deben ser caracterizados con el modelo y tipo de combustible.

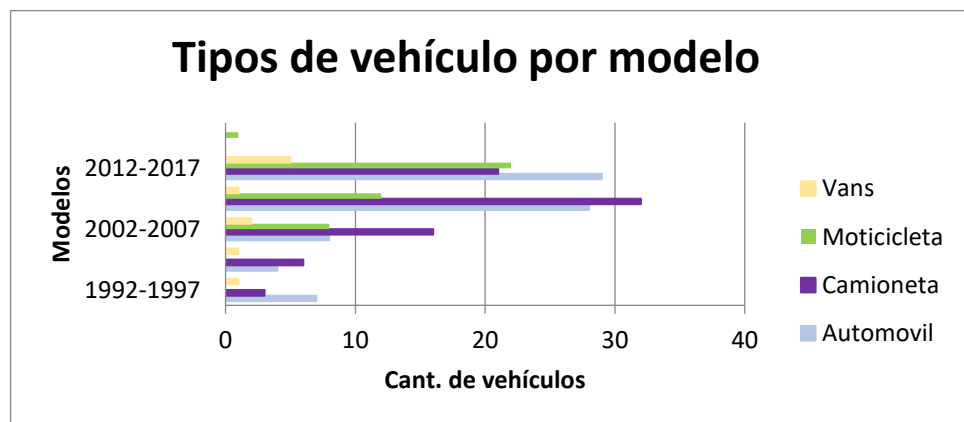
Basados en el tamaño muestral, se revisan las grabaciones y se reconoce la cantidad indicada de vehículos y por las características físicas de los vehículos, basados en la ficha técnica se establece el modelo y tipo de combustible. De esta forma se obtiene la distribución que se especifica en la gráfica 9 y 10.

Gráfica 9. Tipos de combustible por tipo de vehículo



Fuente: Autores (2018)

Gráfica 10. Tipos de vehículo por modelo



Fuente: Autores (2018)

De un total de 201 datos recolectados ,76 fueron camionetas, 73 automóviles, 42 motocicletas y 10 vans, la mayoría de los vehículos utilizan gasolina como combustible, el modelo más presente es 2012 con 32 vehículos, donde el más reciente es un motocicleta modelo 2018.

Estos datos nos permiten obtener la fracción de vehículos por cada tipo de combustible y cada modelo, que posteriormente será utilizada por el software MOVES, la información recopilada durante los aforos y la caracterización muestral se encuentra especificada en el anexo 2. Resultado de aforos vehiculares y tamaño de la muestra.

7.3 Cálculo de emisiones de CO₂

Para estimar las emisiones de CO₂ se tuvieron en cuenta las siguientes consideraciones:

Se decide nombrar todos los documentos de entrada como aforo, la inicial del día en el que se realizó el aforo V o S y la jornada mediante las siglas AM o PM respectivamente, posterior se introducen las características que más se ajustan para Bogotá como: 21,67 inHg de presión barométrica (IDEAM, 2014) y vías sin restricciones identificando que en la lugar de estudio están en buen estado, una vez se ingresa esta información se descargan los template los cuales se diligenciaron de la siguiente manera:

- ✓ Zone (Zona): Se especifica el ID de la zona el cual debe concordar con el dato manejado en MOVES, para el caso de este estudio corresponde a 990010
- ✓ Road type distribution (Tipo de vía): Solicita especificar la fracción de vehículos que se movilizan por los tipos de vías seleccionadas, para el caso de estudio el tipo de vía siempre es el mismo por lo tanto se toma el dato de 1.

- ✓ Source type population (vehículos por tipo): Corresponde a la cantidad de cada uno de los tipos de vehículos seleccionados anteriormente que circulan en la zona seleccionada, durante el tiempo determinado.
- ✓ Age distribution (modelo): Requiere especificar la fracción del vehículos por cada modelo, los modelos solicitados corresponde desde el año 1987 hasta el año 2017, se debe tener en cuenta que el software toma como año base el año en el cuál se está realizando el estudio.
- ✓ Average speed distribution (promedio de velocidad): El software pide estimar la velocidad promedio de vehículos que circularon en la zona durante el momento del aforo, para este proceso de utilizo un programa llamado Tracker: video analysis and modelingtool (2017), por el cual se determina una velocidad promedio de 30 km/h, el cual corresponde al rango de velocidad entre 28 y 36 km/h especificado por MOVES.
- ✓ Fuel (combustible): La composición del combustibles es diferente en cada país por lo cual se especifica la composición para la gasolina de acuerdo a Colombia (Ecopetrol, 2017), para el diesel y el gas natural vehicular se toma la composición predeterminada por MOVES.
- ✓ Meteorology data (Datos de tiempo): Se especifica la fecha y las horas en las que se realizó el aforo de 6:00 am a 10:00 am o 4:00 pm a 8:00 pm según sea el caso.
- ✓ Vehicle type VMT (Rodamiento): El software pide especificar los kilómetros recorrido por cada vehículo en un año, por este motivo se toma la constante de rodamiento correspondiente a 25.550 km/año (Herrera Montañez, 2007), para todos los tipo de vehículos especificados en el estudio.

Una vez diligenciada y completada la información solicitada, MOVES realiza una modelación de emisiones, al terminar esta modelación arroja un informe el cual especifica las emisiones por cada modelo y tipo de combustible. Este proceso es repetido cuatro veces teniendo como resultado un informe por cada uno de los aforos realizados. Se procede a recopilar y tabular la información proveniente de

los informes arrojados (Anexo 3. Resultados de MOVES), obteniendo como resultado la estimación de emisiones de CO₂ durante un fin de semana, como se observa en la tabla 12

Tabla 12. Resultados de MOVES

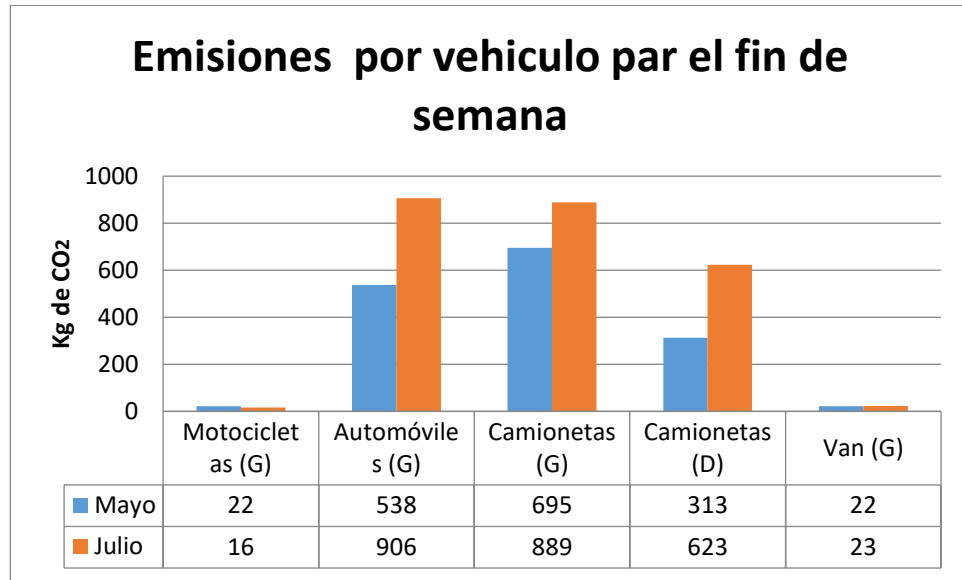
Tipo de vehículos	05 de mayo 2017	06 de mayo 2017	21 de julio 2017	22 de julio 2017				
	Kg CO ₂ /Jornada							
	Mañana	Tarde	Mañana	Tarde	Mañana	Tarde	Mañana	Tarde
<i>Motocicletas (G)</i>	6	3	3	10	3	5	5	3
<i>Automóviles (G)</i>	76	49	156	257	191	179	275	261
<i>Camionetas (G)</i>	95	40	125	435	207	190	221	271
<i>Camionetas (D)</i>	46	23	74	170	131	122	197	173
<i>Van (G)</i>	8	3	4	7	5	4	10	4
<i>Total</i>	231	118	362	879	537	500	708	712
* (G) = Gasolina, (D) = Diesel								

Fuente: Autores (2018)

Durante los dos fines de semana monitoreados se emitieron una totalidad de 4.047 kg de CO₂, con una mayor aporte de las camionetas con gasolina corresponde 39,14%, el 35,68% a los automóviles, 23,13% las camionetas con diesel, 1,11% a las van y 0,94% a las motocicletas, el comportamiento de las emisiones a través del tiempo fue de la siguiente manera:

- Fin de semana: Durante el aforo realizado en el mes de mayo se emitieron una totalidad 1.590 kg de CO₂ y en el mes de Julio 2.457 kg de CO₂, esto nos das un promedio de 2.023,5 kg de CO₂. En la siguiente grafica se muestra el comportamiento de las emisiones con respecto a los vehículos particulares.

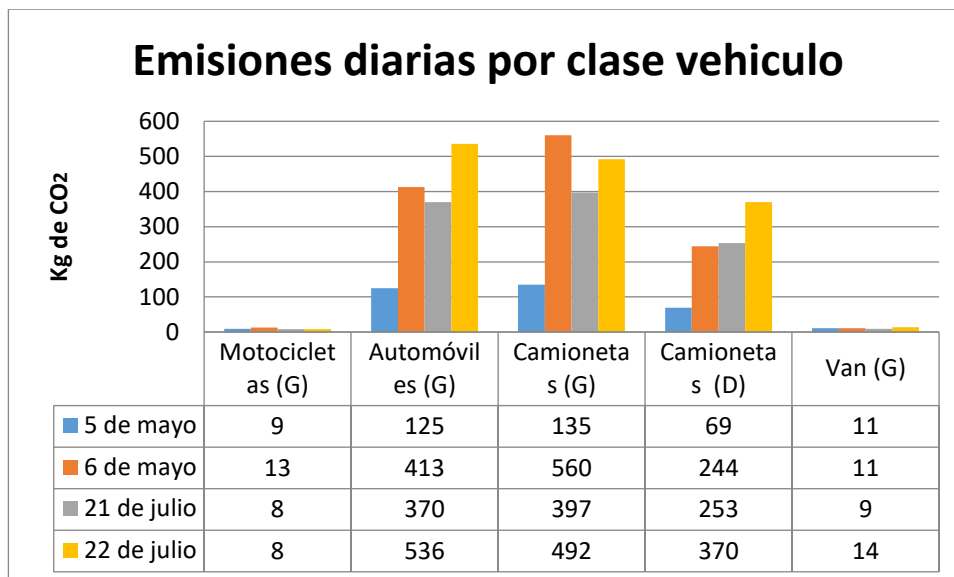
Gráfica 11. Emisiones por vehículo para los fines de semana de mayo y julio



Fuente: Autores (2018)

- *Diario*: Durante el aforo al día se genera en promedio 1011,8 kg de CO₂, teniendo como día mas critico el sábado 22 de julio, generando un total de 1.420 kg de CO₂, y un mínimo el día viernes 5 de mayo generando 349 kg de CO₂. En la siguiente grafica se muestra la distribución de las emisiones discriminando el tipo de vehículo por los días del aforo.

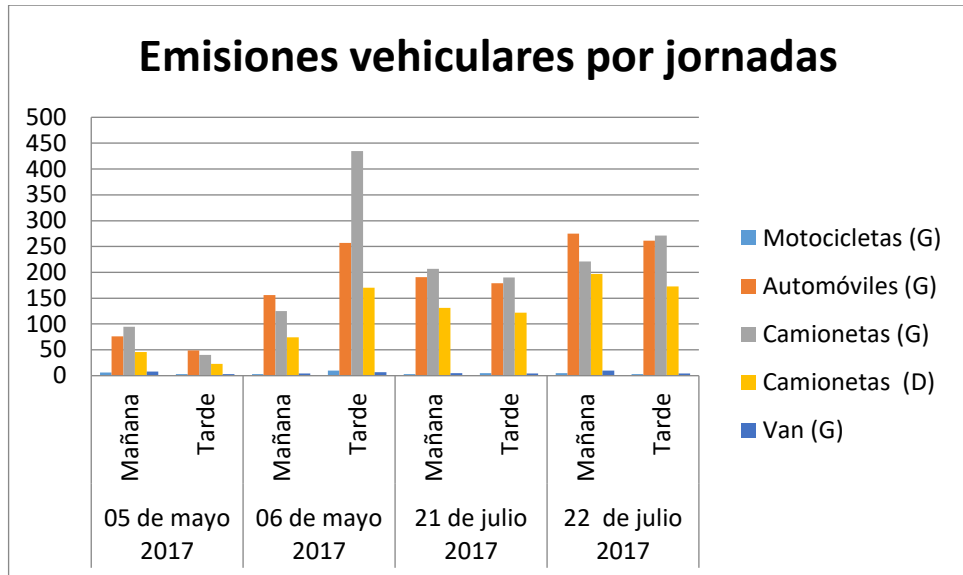
Gráfica 12. Emisiones diarias por vehículos



Fuente: Autores (2018)

- *Jornada:* Las jornadas están compuestas por mañana y tarde de los días aforados, presentándose día sábado 5 de mayo en la jornada de la tarde un máximo de 879 kg de CO₂ y un mínimo de 118 kg de CO₂ en la jornada el viernes por la tarde, en promedio en las distintas jornadas se emitieron un total de 505,9 kg de CO₂. A continuación se muestra el comportamiento vehicular en las jornadas realizadas teniendo en cuenta las características del vehículo

Gráfica 13. Emisiones vehiculares por jornada



Fuente: Autores (2018)

Aun que en los aforos vehiculares se conto una mayor cantidad de automóviles las camionetas emiten mas CO₂ este factor puede estar directamente relacionado con el consumo de combustible, ya que las camionetas al tener un cilindrare más elevado consumen una mayor cantidad de combustibles, otro factor que puede determinar esta diferencia es la edad del parque automotor, al contar con modelos más modernos de automóviles con respecto a las camionetas.

8 DISEÑO DE TECHOS VERDES

Para identificar las características que permitan postular a los techos verdes como una estrategia de compensación urbana de emisiones de CO₂ generados por el flujo vehicular, se realizó una revisión bibliográfica enfocada en captación de CO₂ por especie vegetal y que cumpliera con las características del lugar de estudio.

8.1 Área Disponible y Emisiones de CO₂

La zona de estudio cuenta con vías importantes la principal es la carrera 11 la cual es doble calzada y cuenta con una ciclo ruta en la mitad de su vía, conectando a la calle 100 hasta la iglesia de Lourdes, por su parte la calle 85 conecta la NQS, la carrera 15 vía principal de la zona T y la carrera 11, contando con doble calzada y ciclo ruta que se conecta ala de la carrera 11, lo cual genera que el flujo vehicular por esta zona sea constante no solo por sus vías si no por su diversidad comercial ocasionando una generación de emisiones de 2.023,5 kg de CO₂ para un fin de semana. El atractivo de la Zona T genera una gran cantidad de visitas a diario ya sea por asuntos labóralos o por recreación, generando la oportunidad de que sean implementados techos verdes que aumenten la diversidad y el atractivo turístico, el área disponible que se tiene para esta implementación es de 5.055,23 m² de cubiertas.

8.2 Parámetros Técnicos

Para que una cubierta verde cumpla con lo propuesto se debe evaluar los siguientes parámetros: el tipo de fotosíntesis, tipo de techo verde y especies.

8.2.1 Nivel de inclinación de cubierta de las edificaciones

Según el Reglamento Colombiano de Construcciones Sismo Resistentes (1997) y la resolución 121 de 1995 del Departamento Administrativo de Planeación, se establecen como parámetro de inclinación, con un mínimo de pendiente entre 15° a 18° y una pendiente máxima de 45°.

En las imágenes satelitales que se tienen en cuenta para la evaluación de la zona de estudio, no se puede identificar el grado de inclinación, si es posible tomar los parámetros establecidos por la normatividad y es en base a esto que establece el tipo de techos verde que se desea implementar.

8.2.2 Tipo de techo verde

El tipo de techo verde que se propone implementar en la zona de estudio, debe poseer una cubierta vegetal, que pueda fijar el CO₂ emitido por los vehículos particulares, requiera de poco o nulo mantenimiento, deber ser liviano debido a que no se conoce el estado estructural de las edificaciones y permita ser implementado hasta en ángulos de 45°.

Estas características son evaluadas en los 2 tipos de techo (intensivo y extensivo), y se decide implementar un techo extensivo, teniendo en cuenta que satisface todos los requisitos identificados para la zona de estudio, como se puede validar a continuación:

Tabla 13 . Características de techos verdes extensivos

Propiedad	Descripción
Vegetación	Sedum, césped, aromáticas
Altura	<15 cm
Riego	Prácticamente innecesario
Peso	De 50 a 150 kg/m ²
Accesibilidad	No/Limitado
Depósito de agua	De 4 a 12 mm
Capacidad de carga de la cubierta	Normal
Mantenimiento	Reducido
Pendiente de la cubierta	Hasta 45°

Fuente: (Urbanscape, 2014), adaptado por autores (2017)

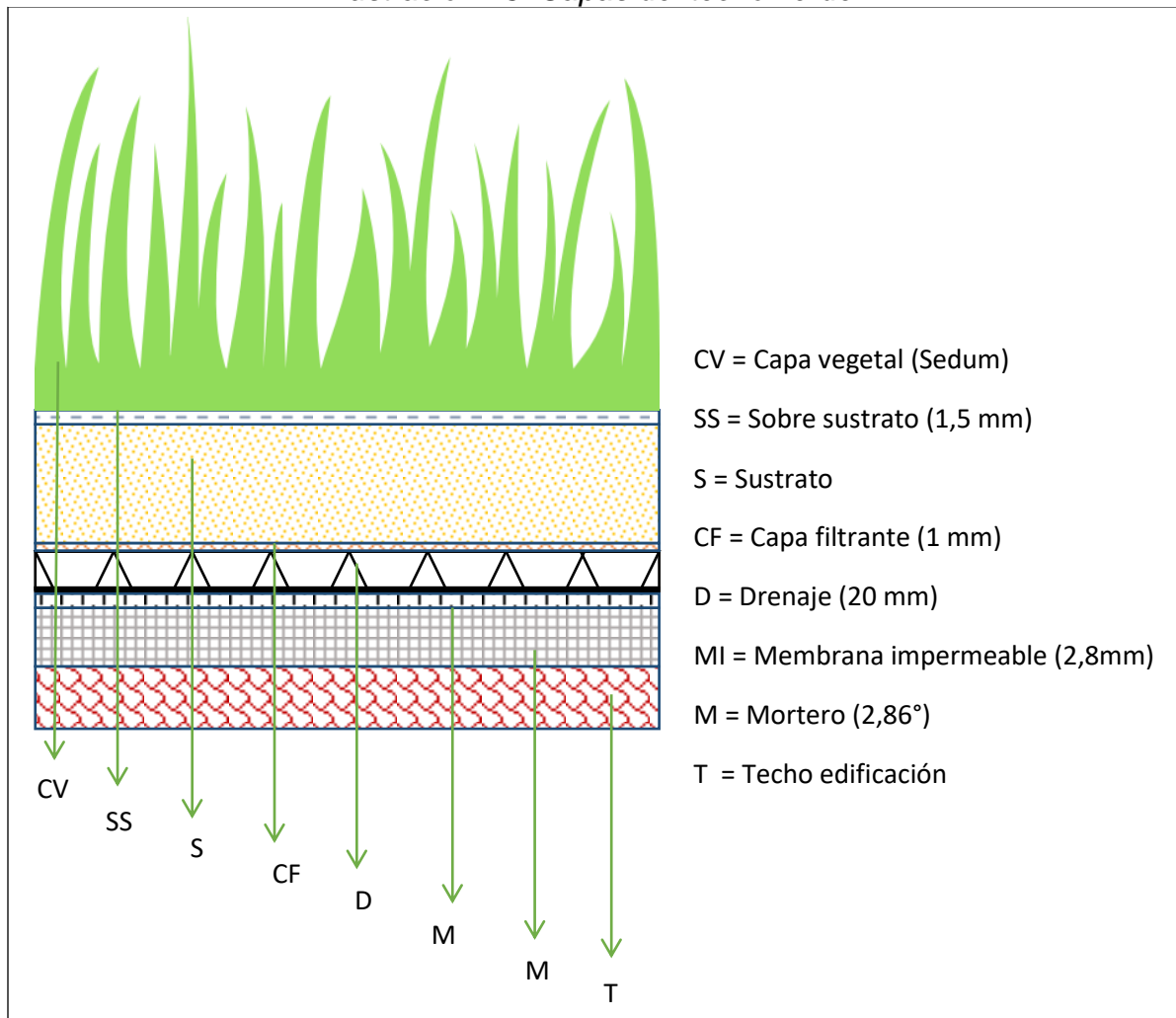
Teniendo en cuenta las condiciones meteorológicas para la ciudad, el techo verde no necesita la implementación de un sistema de riego debido al porcentaje de precipitación y a que se utilizará una capa de drenaje la cual tiene la característica de almacenar agua que podrá ser absorbida por las plantas durante las épocas de sequía, el drenaje de la estructura será por los procesos de escorrentía e infiltración, si la cubierta no cuenta con grado de inclinación se recomienda un grado de inclinación del 5% lo que dirigirá el agua hacia el borde de la estructura, donde se encontraran ubicados canales por los cuales se llevara el exceso de recurso hídrico fuera de la estructura del techo verde y fuera de la infraestructura de la edificación, evitando sobrepeso e infiltraciones en la edificación.

La especie sedum corresponde a unas plantas, que no necesitan de un sustrato profundo por sus cortas raíces, y al ser especies no frondosas, no requieren ser podadas frecuentemente, por estas características físicas necesitan poco mantenimiento disminuyendo la presión sobre el techo.

8.2.3 Capas del techo verde

Para el diseño del techo verde de la zona de estudio se establecen las siguientes capas que cumplirán con diferentes funciones y serán construidas con los materiales que se especifican a continuación:

Ilustración 23. Capas del techo verde



Fuente: Autores 2018

- Mortero: Esta estructura tiene la finalidad de dar un grado de pendiente mayor al 2% a la estructura del techo verde, estos 2,86° de inclinación se proponen con el fin de evitar el estancamiento de agua, y lograr que el exceso de agua al interior de la estructura sea sustraído por el proceso escorrentía (Ecotelhado, 2016), los materiales en los que estará construida esta estructura es cemento y cal-arena, la proporción de la mezcla será 1 parte de cemento por 10 partes de cal-arena. (Universidad Castilla-La Mancha).
- Membrana impermeable o geomembrana: Cumple la función de impermeabilizar y aislar las raíces de la vegetación del techo verde de la edificación. Para este caso se utilizará una membrana de caucho sintético EPDM de 2,8 mm de espesor, la cual tiene características de alta resistencia (Ortiz, 2016)
- Capa de drenaje: La capa de drenaje es una cámara de aire en la cual se evacua el agua de la cubierta con el fin de evitar hongos o pudrimiento en las raíces, para este diseño se decide implementar una capa de drenaje de HDPE (Polietileno de alta densidad), esta capa cuenta con unos pequeños receptáculos que almacenan parte del agua de la cubierta, esta capa tendrá un grosor de 20 mm (Ortiz, 2016).
- Capa filtrante: Esta capa cumple la función de evitar la lixiviación del sustrato lo que evita que el sustrato pierda sus propiedades que permiten el crecimiento y la manutención de la capa vegetal, se utiliza un material llamado fieltro de 200 gr/m² con un grosor de 1mm. (Ortiz, 2016).
- Sustrato: Para la elección del sustrato se debe tener en cuenta el tipo de vegetación que se va a plantar en la cubierta, se aconseja utilizar hasta un 60% de materiales inorgánicos, para este caso se toma la piedra pómez por su gran retención de agua, elevado intercambio catiónico, aireación de las

raíces, frías, filtración, drenaje, conductor de riego, mantiene sus condiciones físicas, lo que permite también un perfecto anclaje y desarrollo del sistema radicular, el 40% del sustrato será turba, con una profundidad de 70 mm. (Soto, Barbaro, Coviella, & Stancanelli, 2013) (Bioespacio, 2017).

- SobreSustrato: Las cubiertas verdes necesitan un sobre sustrato, cumple la función de permitir el drenaje y proteger el sustrato, para el desarrollo de este diseño se escogió como sobre sustrato la arena de cuarzo y es un sobre sustrato utilizado para cactus, plantas suculentas-crasas y plantas carnívoras, (Bioespacio, 2017) (Ortiz, 2016).

8.2.4 Tipo de fotosíntesis

Para definir las especies vegetales que conformarían la capa vegetal del Techo verde, se tuvo en cuenta la cantidad de CO₂ que era absorbido a través del proceso de fotosíntesis.

Las plantas cuentan con tres tipos de fijación de CO₂: C-3, C-4 ó CAM, para cada uno de estos tipos la eficiencia del uso del agua y la tasa de fijación de CO₂ es diferente (Carvajal, Mota, Alcaraz López, Iglesias, & Martínez Ballesta, 2011).

Las plantas C-3, son el 89% de la flora mundial en número de especies, se caracterizan por mantener las estomas abiertos durante el día para permitir la fijación de CO₂, lo que provoca una pérdida de agua por transpiración, de forma continua. Ante el riesgo de deshidratación ocasionado por un estrés ambiental, estas plantas producen un cierre estomático que provoca una gran disminución de la fotosíntesis.

Las plantas C-4, corresponden a menos del 1% de la flora mundial en número de especies, se caracterizan por tener los estomas abiertos de día, como poseen intermediarios de bombeo de CO₂ en la célula, puede permitirse un cierre de estomas imprevisto, siendo factible la continuidad del proceso fotosintético, gracias al reservorio de CO₂.

Finalmente las plantas CAM , son el 10% de la flora mundial en número de especies, se caracterizan por mantener los estomas abiertos por la noche, por lo tanto las pérdidas de agua por transpiración se reducen, cuentan con un reservorio de CO₂, con lo cual también pueden cerrar estomas sin que ello conlleve a una disminución fotosintética. Las características de las plantas C-4 y CAM les permite una supervivencia en entornos con déficit hídrico (Carvajal, Mota, Alcaraz López, Iglesias, & Martínez Ballesta, 2011).

Tabla 14. Algunas diferencias entre plantas C3, C4 y CAM

Descripción	C-3	C-4	CAM
Especies representativas	Gramíneas Frutales Pimiento	Maíz Sorgo Caña de azúcar	Piña Chumbrera Sedum
Habitad	Amplia distribución	Sitios cálidos y praderas	Sitios xéricos y epifíticos
Fotorrespiración	Hasta el 40% de la fotosíntesis	No detectable	No detectable
EUA (g CO ₂ fijado por kg de H ₂ O transpirada)	1 – 3	2 – 5	10 – 40

Fuente. (Carvajal, Mota, Alcaraz López, Iglesias, & Martínez Ballesta, 2011)

Adaptada por autores (2017)

En conclusión las plantas C-3 realizan una fotosíntesis eficiente pero al mantener los estomas abiertos, tienen un alto consumo de agua y su índice de captación de CO₂ se encuentra directamente relacionado con la cantidad de agua disponible en el entorno, por el contrario las plantas C-4 y CAM al contar con reservorios de CO₂ pueden continuar su proceso de fotosíntesis con una menor cantidad de agua y sin importar que los estomas estén abiertos o cerrados.

8.2.4.1 Índice de captación de CO₂

Estudios de laboratorio de la Universidad de Granada, indica que una planta es capaz de absorber desde 4 a 30 μmol de CO₂ por metro cuadrado de superficie foliar, sin importar el tipo de fotosíntesis, teniendo en cuenta que la planta debe estar en buen estado y recibir luz suficiente (Sánchez Quintanilla, 2014).

Un césped recién cortado de 3 – 5 cm de altura tiene aproximadamente 6 – 9 m² de hoja verde por m² de superficie de suelo, mientras que un prado sin cortar, con pastos de hasta 60 cm de altura, tiene una superficie de hoja de 225 m² por m² de superficie de suelo. En el pasto bien formado, la superficie foliar por m² plantado es entre 50 y 100 m², en cambio el Sedum es de sólo de 1 a 5 m² (Sánchez Quintanilla, 2014). Por lo que un césped tendría una mayor eficiencia a la hora de captar CO₂ al contar con un mayor índice de área foliar que una Sedum.

Tabla 15. Resultados de estudio de estimación de captura de CO₂ en Sevillana, España

Sector	Planta	Superficie Plantada (m ²)	Captura diaria (kg de CO ₂ / m ² pl)
Cubiertas	Sedum	2250	0,19
Fachadas	Hiedra	800	0,4485
Terrazas	Stachys bizantina	485	0,19

Fuente. (Sánchez Quintanilla, 2014) , adaptado por autores (2017)

8.2.4.1.1 Especies relevantes para el estudio

Los césped cuentan con una mayor superficie foliar y son un tipo de planta C-3, son utilizados para estructuras residenciales en áreas campestres donde no se requiera hacer un corte permanente de sus hojas y estas puedan formar parte del paisaje, adicionalmente la cama vegetal debe ser de un mayor volumen, un sistema de riego continuo y deben contar con áreas para el mantenimiento amplias, lo que no permite que los césped sea una especie vegetal ideal para espacios reducidos con poca accesibilidad (Minke, 2004).

En los centros urbanos se utilizan plantas ornamentales como las plantas de la familia sedum, debido a que estas plantas, son más livianas, requieren un menor espacio para sus raíces, menos mantenimiento y poseen resistencia al estrés hídrico, lo que las convierte un tipo de planta idóneo para la implementación en techos verdes, además son plantas tipo, C-3, C-4 y CAM (Sánchez Quintanilla, 2014) lo que les permite tener un buen índice de captación de CO₂ apropiado como se puede verificar en la tabla 14, y cuentan con una gran oferta y variedad de especies que pueden ser implementadas.

Otro estudio de importancia fue el que se realizó en Ciudad de México, donde se evaluó la captura de carbono por algunas especies de tipo sedum y familia de las suculentas en techos verdes, cuantificando el intercambio y la fijación de dióxido de carbono como ácido orgánico. Gran parte de su proceso de captura se realizó en el horario de 3am a 6am demostrando las propiedades de una planta tipo CAM (Collazo Ortega, Rosas, & Reyes Santiago, 2017). Las mediciones fueron tomadas durante 1 año dando un resultado un índice de captura diaria de 0,0181Kg CO₂/m².

Aunque las condiciones meteorológicas son demasiado diferentes para los dos lugares como se puede evidenciar en la tabla 16, se decide tomar el dato de 0,0181kg de CO₂/m², teniendo en cuenta que México D.F cuenta con condiciones más cercanas a las de Bogotá.

Tabla 16. Comparación de condiciones meteorológicas Sevilla, México D.F y Bogotá D.C

Condición Meteorológicas	Sevilla España	México D.F México	Bogotá D.F Colombia
Temperatura (°C)	27,8	16,6	14,9
Precipitación (mm)	567	625	958
Humedad relativa	37%	46.35%	78%
Horas de sol anuales	3.000	2355	1.476

Fuente. (Servicio meteorológico Nacional, 2017), (Rivas, 2014), (IDEAM, 2007), adaptado por autores (2017)

8.2.4.1.2 *Especie vegetal seleccionada*

Contando con la información anterior y con el estudio de México (2017), se decide implementar la especie vegetal del tipo sedum, familia de las suculentas. Por ser una familia de plantas que no requieren de mucho mantenimiento presentes en los techos verdes extensivos y al ser la especie de la cual se encontró mayor información.

Con el fin de mantener unas condiciones idóneas, para la captación de CO₂ se debe hacer un proceso de poda del 30% del follaje a los dos años de la siembra inicial y después se realiza una poda cada seis meses, esta práctica permite mantener las circunstancias idóneas para que las plantas sembradas cumplan la función de sumidero de carbono, logren reducir las emisiones de carbono por descomposición y disminuir el grado de incertidumbre frente a la dinámica de secuestro de carbono de techos verdes más antiguos.

8.2.4.1.3 *Escenarios*

Teniendo presente que el índice de captación es el mismo para todas las especies, se postulan dos escenarios de implementación de techos verdes uno basado en el estudio realizado en Sevilla, España y el otro México D.F, donde se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 17. Escenarios de captación

Estudio	Índice de captación	Área de techo	% de captación
Sevillana, España	0,19 Kg de CO ₂ /m ² d	5.055, 23 m ²	95
México D.F	0,081 Kg de CO ₂ /m ² d	5.055, 23 m ²	40

Fuente: Tomado de Towards Providing Solutions to the Air Quality Crisis in the Mexico City Metropolitan Area: Carbon Sequestration by Succulent Species in Green Roofs y adaptado por autores (2018)

Estos escenarios están basados en la bibliografía disponible, los dos escenarios son calculados tomando como base un estimado del promedio de emisiones de CO₂ que son liberadas por los vehículos particulares en la zona durante un fin de

semana y teniendo en cuenta el área disponible para la implementación de techos verdes en la zona de estudio.

La diferencia de los resultados se deriva principalmente de las condiciones climáticas de cada uno de los lugares donde se realiza el estudio como se puede validar en la tabla 17. Aunque los dos escenarios son realizados para la misma especie (*Sedum*), la diferencia de condiciones geográficas y climáticas generan un impacto sobre el índice de captación calculado para cada uno de los estudios.

De los escenarios propuestos, el que tiene más similitud con las condiciones de Bogotá es el estudio realizado en la Ciudad de México D.F y es el que se toma en cuenta para calcular la cantidad de emisiones que son captadas por la estrategia de compensación.

8.2.4.1.4 Diseño paisajístico

Teniendo en cuenta que el índice de captación tomado con referencia es el mismo índice para todas las especies vegetales perteneciente a la especie *sedum*, el único parámetro que se tienen en cuenta para la distribución de las plantas dentro de la azotea, corresponde a diseño paisajístico, teniendo en cuenta, que según la biografía a mayor diversidad de especies plantadas, mayor es la cantidad de CO₂ capturado (Matemala, Jastrow, & Miller, 2008).

8.2.5 Especies vegetales

Las especies vegetales que se recomienda implementar en los techos verdes corresponde a la especie *Sedum* y la familia de las suculentas, es recomendable que estas plantas posean un tipo de fotosíntesis CAM ó C-4 .A continuación se especifican algunas de las plantas que pueden ser utilizadas para los techos verdes que deseen ser tenidos en cuenta como una estrategia de compensación:

Ficha técnica 1: *Sedum praealtum*

Sedum amarillo (<i>Sedum praealtum</i>)	
	Tipo de fotosíntesis: CAM
	Altura máxima: 1,5 m
	Temperatura mínima: - 3°C
	Suelo: Toda clase de terrenos, incluso calizos y próximos al mar
	Condiciones: Se recomienda que este expuesta los rayos directos del sol teniendo cuidado con los excesos de agua.


Fuente: (Infojardín, 2015) (Manetas, 1982) adaptado por autores (2017)

Ficha técnica 2: *Sedum reflexum*

Uña de gato (<i>Sedum reflexum</i>)	
	Tipo de fotosíntesis: CAM
	Altura máxima: 5 cm de altura y 20 a 30 cm de expansión.
	Temperatura mínima: Soporta grandes variaciones de temperatura
	Suelo: Terrenos pobres y secos, con preferencia a suelos calcícolas con buen drenaje para evitar que se pudra la raíz
	Condiciones: Resiste los rayos del sol directo hasta lugares de semisombra, se recomienda poco riego

Fuente: (Infojardín, 2015) (Kluge & Ting, 1978) adaptado por autores (2017)

Ficha técnica 3: *Sedum album* L.

Alfombra de coral (<i>Sedum album</i> L)	
	Tipo de fotosíntesis: CAM, C3
	Altura máxima: 30 cm
	Temperatura mínima: Soporta grandes variaciones de temperatura
	Suelo: Crece en zonas rocosas, arenosas y duras lo cual lo hace indiferente al sustrato, prefiriendo los suelos secos
	Condiciones: Requiere sol directo durante todo el día, con un calor moderado soportando alturas desde el nivel del mar hasta los 2400


Fuente: (Castillo, 1996), (Asturnatura.com, 2014) adaptada por autores (2017)

Ficha técnica 4: *Sedum luteoviride*

<i>Sedum</i>, (<i>Sedum luteoviride</i>)	
	Tipo de fotosíntesis: CAM
	Altura máxima: 20 cm
	Temperatura mínima: - 3°C
	Suelo: Es capaz de crecer en toda clase de suelo que cuente con un drenaje óptimo
	Condiciones: Es una planta que prefiere los rayos del sol aun que puede vivir en lugares de sombra, tolerando los ambientes secos

Fuente: (Infojardín, 2014), (Collazo Ortega, Rosas, & Reyes Santiago, 2017) adaptado por autores (2017)

Ficha técnica 5: Sedum sarmentosum

Cola de burro, (<i>Sedum sarmentosum</i>)	
	Tipo de fotosíntesis: C3
	Altura máxima: 5 cm
	Temperatura mínima: - 12,3 °C
	Suelo: Se encuentra en suelos pobres en materia orgánica con propiedades de alto drenaje
	Condiciones: Puede vivir en lugares de solo o media sombra en lugares de media o baja humedad

Fuente: (*Carex viviers*, 2013), (*Chen*, 2015) adaptado por autores (2017)

Teniendo presente cada una de las características que han sido postuladas, se decide implementar un techo verde extensivo que tiene un área de 5055,23 m² , un grado de inclinación del 5% y cuenta con las siguientes capas mortero, capa impermeable ,capa de drenaje, capa fíltrate, sustrato y sobre sustrato . Dentro de la capa vegetal se utilizan plantas de la especie Sedum y familia de suculentas con un tipo de fotosíntesis CAM ó C-4 y donde el parámetro utilizado para evaluar su distribución dentro de la azotea corresponde a un diseño paisajístico.

Para la distribución de las plantas es recomendable, sembrar el 20% de cada una de las especies nombradas.

8.3 Costeo de Implementación

Con el fin de identificar los costos de implementación del techo verde por cada metro cuadrado de superficie, se postulan los siguientes datos:

Tabla 18: Costeo de implementación de techos verdes por m² de superficie

Material	Unidades	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Arena	T	0,033	39.248,85	1.295,21
Cemento	Kg	5	425,41	2127,05
Agua	m ²	0,006	2.887,41	17,32
Adhesivo cemento geomebranas	Kg	1,050	18.445,75	19.368,04
Lamina impermeabilizante	m ²	1,100	34.983,86	38.482,25
Adhesivo cemento solapa geomembranas	Kg	0,300	5.575,69	1.672,71
Lamina de drenaje nodular (HDPE)	m ²	1,050	18.445,75	19.368,04
Filtro	m ²	1,050	2.992,04	3.141,64
Sustrato	L	100	302,48	30.248
Cuarzo	Kg	25	392,29	9.807,25
Planta sedum	Uni	60	587,83	35.270
Mano de obra				
Labor	Unidad	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Especialista de obra	H	0,336	16.182,59	5.437,35
Ayudante de obra	H	0,515	11.461,71	5.902,78
Instalador de mantos impermeabilizante y laminas	H	0,280	16.182,59	4.531,13
Ayudante de instalador	H	0,280	11.915,71	3.336,40
Jardinero	H	0,059	16.182,59	954,77
Ayudante jardinero	H	0,059	11.461,71	676,24
Total				\$ 178.636,18

Fuente: (CYPE Ingenieros , S.A, 2016), adaptada por autores (2017)

CONCLUSIONES

- ✓ En Colombia no se tienen en cuenta parámetros de construcción sostenible para el establecimiento de las edificaciones, de un área de 11.110,4 m², de techos solo es posible utilizar el 45,2% para la implementación de techos verdes o paneles solares. Es importante que las edificaciones tengan en cuenta parámetros de construcción verde, con el fin de aprovechar al máximo los recursos disponibles y lograr construir ciudades resilientes.
- ✓ Según el inventario nacional de GEI en Bogotá la mayor fuente de emisión es el transporte, solo dentro de la zona de estudio que representa un 0.0012 % del área total capitalina, se emite durante un fin de semana en promedio 2.023,5 kg de CO₂. Este dato genera una alerta sobre los patrones de movilidad de la ciudad y hace un llamado a involucrar medidas de movilidad sostenible. Adicionalmente se debe incentivar la compensación de las emisiones de GEI, como una iniciativa de consumo responsable.
- ✓ La implementación de techos verdes en la zona de estudio logra compensar el 40% de las emisiones liberadas, por los vehículos particulares en un fin de semana y aunque esta estrategia no logra compensar el 100%, se encuentra alineada con la meta de reducción nacional del 20% acordada en la COP 21, brinda diferentes beneficios a las empresas y organizaciones que decidan implementarlos.

RECOMENDACIONES

Se recomienda elaborar un estudio con el fin de calcular el índice de captura de CO₂ para plantas sedum y césped en Bogotá para validar, comparar y ratificar si los techos verdes pueden ser implementados como una estrategia de compensación para las zonas urbana de Bogotá.

Es necesario que las nuevas edificaciones incluyan, parámetros de construcción resiliente a variaciones del clima y puedan generar algún tipo de aprovechamiento en sus fachadas y techos, con el fin de mitigar o compensar el cambio climático.

BIBLIOGRAFÍA

Academia Colombiana de ciencias exactas, f. y. (2003). *Factores de emisión de los combustibles Colombianos*. Bogotá.

Adams, P. (2004). Jardine colgantes arquitectura del paisaje urbano. En P. Adams, *Jardine colgantes arquitectura del paisaje urbano* (págs. 8 - 14). Barcelona, España: Loft.

Alcaldía de Bogotá. (30 de Octubre de 2015). *BOGOTÁ*. Obtenido de BOGOTÁ:
<http://www.bogotaturismo.gov.co/zona-t>

Alcaldía mayor de Bogotá. (Julio de 2017). *Alcaldía local de Chapinero*. Recuperado el Marzo de 2018, de Alcalde Peñalosa anuncia transformación integral de la Zona Rosa de Bogotá:
<http://www.chapinero.gov.co/noticias/alcalde-penalosa-anuncia-transformacion-integral-la-zona-rosa-bogota>

Alcaldía mayor de Bogotá. (s.f.). *Bogotá CÓMOVAMOS*. Recuperado el 26 de Febrero de 2016, de <http://www.bogotacomovamos.org/localidades/santa-fe/>

Alcaldía Mayor de Bogotá. (S.F). *Bogotá mejor para todos*. Recuperado el 28 de Febrero de 2016, de <http://www.bogota.gov.co/ciudad/ubicacion>

Alcaldía Mayor de Bogotá. (2014). *Exposición de motivos del proyecto de acuerdo 093 de 2014*. Bogotá.

Arnabat, I. (28 de Diciembre de 2007). *caloryfrio.com el portal sectorial de la instalaciones*. Recuperado el 30 de Julio de 2017, de caloryfrio.com el portal sectorial de la instalaciones:
<https://www.caloryfrio.com/aire-acondicionado/aire-instalaciones-componentes/sistemas-de-refrigeracion-compresion-absorcion.html>

Asturnatura.com. (27 de Julio de 2014). *Asturnatura.com*. Recuperado el 24 de Noviembre de 2017, de Asturnatura.com: <https://www.asturnatura.com/especie/sedum-album.html>

Balair, C., & Guevara, D. (2014). *Evaluación del flujo vehicular en la intersección de la carrera 70 con la calle 9 por la construcción de una vía subterránea en el aeropuerto Enrique Olaya Herrera*. Envigado: Escuela de Ingenieros de Antioquia.

Becerra, M., Mance, H., Barrera, X., & García, C. (2015). *Cambio climático: lo que está en juego*. Bogotá: El Banco Creativo.

Benavides, H. O., & León, G. E. (2007). *Información técnica sobre gases de efecto invernadero y el cambio climático*. S,C: IDAM.

Bioespacio. (2017). *Bioespacio: Orgánicos y minerales*. Recuperado el 24 de Noviembre de 2017, de Bioespacio: Orgánicos y minerales: <http://bioespacio.co/sustratos-minerales/#>

Cardenas, M. A., Ibañez, A., León, M. P., & Nariño, E. H. (2011). *Guía de Techos Verdes en Bogotá*. Bogotá.

Carex viviers. (2013). *Carex viviers*. Recuperado el 25 de Noviembre de 2017, de Carex viviers: <http://www.carex.cat/es/vivers-carex/catalogo/sedum-sarmentosum-.aspx>

Carvajal, M., Mota, C., Alcaraz López, C., Iglesias, M., & Martínez Ballesta, M. (2011). *Investigación sobre la absorción de CO2 por los cultivos más representativos de la región de Murcia*. Murcia, España: CEBAS-Consejo Superior de Investigaciones Científicas.

Castillo, F. (1996). Antioxidative protection in the inducible CAM plant *Sedum album* L. following the imposition of severe water stress and recovery. *Oecologia* , 469-477.

Chen, C.-F. (2015). A preliminary study on carbon sequestration potential of different green roof plants. *International Journal of research studies in Biosciences (IJRSB)* , 121-129.

Cochran, W. G. (1987). *Técnicas de muestreo*. México D.F: Editorial continental, S. A de C.V.

Collazo Ortega, M., Rosas, U., & Reyes Santiago, J. (2017). Towards providing solutions to the air quality crisis in the Mexico City Metropolitan area: Carbon sequestration by succulent species in green roofs. *PLoS Curr* , 9.

Collazo Ortega, M., Rosas, U., & Reyes Santiago, J. (2017). Towards Providing Solutions to the Air Quality Crisis in the Mexico City Metropolitan Area: Carbon Sequestration by Succulent Species in Green Roofs. *PLOS Currents Disasters* .

comPADRE, & Open source physics. (2017). *Tracker: video analysis and modeling tool*. Recuperado el Agosto de 2017, de Tracker: video analysis and modeling tool: <http://physlets.org/tracker/>

Cristancho, N. (2011). *Techos verdes en Bogotá, una alternativa ambiental con beneficios técnicos. Techos verdes en Bogotá, una alternativa ambiental con beneficios técnicos* . Bogotá: Tesis de grado, Universidad Gran Colombia.

CYPE Ingenieros , S.A. (2016). *CYPE Ingenieros , S.A.* Recuperado el 26 de Noviembre de 2017, de CYPE Ingenieros , S.A: http://www.colombia.generadordeprecios.info/obra_nueva/calculaprecio.asp?Valor=0|0_0_0_0_0_4_2|2|QAD031|qad_031:_1c4_0_1c3_0_2c5_0_1c20_0_1c21_0

DANE. (28 de Abril de 2018). *DANE Información estratégica*. Recuperado el 2018 de Abril de 2018, de Reloj de Población: <http://www.dane.gov.co/reloj/>

Ecopetrol. (20 de Agosto de 2017). *Importaciones*. Recuperado el 15 de Septiembre de 2017, de Gasolina: http://www.ecopetrol.com.co/wps/portal/es/ecopetrol-web/productos-y-servicios/comercio-internacional/importaciones/gasolina/!ut/p/z0/04_Sj9CPykssy0xPLMnMz0vMAfljo8ziLQIMHd09DQy9DQJDDQ0cjQzNPJ3CHINCjMz0C7IdFQHKCECA-/

Ecotelhado. (15 de Abril de 2016). *Ecotelhado*. Recuperado el 24 de Noviembre de 2017, de Requerimientos generales de diseño para un techo verde: <http://ecotelhado.com.co/techo-verde/>

El Tiempo. (09 de Marzo de 2017). *El Tiempo*. Recuperado el 30 de Julio de 2017, de El Tiempo: <http://www.eltiempo.com/bogota/temporada-de-lluvias-en-bogota-en-2017-65668>

EPA. (Enero de 1995). *Environmental protection agency United States*. Recuperado el 07 de Mayo de 2016, de Environmental protection agency United States: <https://www3.epa.gov/ttn/chief/ap42/c00s00.pdf>

Federación Española de Municipios y Provincias. (2011). *Los Sumideros de Carbono a Nivel Local*. España: Federación Española de Municipios y Provincias.

FLL. (1996). *Reglas generales para el planeamiento y ejecución de cubiertas ajardinadas*. Bonn.

García Arbeláez, C., Barrera, X., Gómez, R., & Suárez Castaño, R. (2015). *El ABC de los componentes de Colombia para la COP21*. Santiago de Cali: WWF-Colombia.

García, C., Vallejo, G., Higgs, M., & Escobar, E. (2016). *El acuerdo de París así actuará Colombia frente al cambio climático*. Cali: WWF.

Google Maps. (s.f). Google Maps. *Calle 85 Carrera 11* . Bogotá, Cundinamarca, Colombia: Google Maps.

Guadalupe, J. (2016). *Modelación de emisiones contaminantes de fuentes móviles terrestres en Quito, Ecuador*. Valparaíso: Universidad Técnica Federico Santa María.

Guadalupe, J. (2016). *Modelación de emisiones contaminantes de fuentes móviles terrestres en Quito, Ecuador*. Valparaíso: Universidad Técnica Federico Santa María.

Herrera Montañez, D. (2007). *Modelo de emisiones vehiculares para la ciudad de Bogotá (EVB)*. Bogotá D.C: Universidad los Andes.

Herrera, J., Rodríguez, S., & Rojas, J. (2011). *Determinación de las emisiones contaminantes del aire generadas por fuentes móviles en carreteras de Costa Rica*. Costa Rica: Tecnología en marcha.

IDEAM. (2014). *Características climáticas de ciudades principales y municipios turísticos*. Bogotá D.C: IDEAM.

IDEAM. (2007). *Estudio de la caracterización climática de Bogotá y cuenca alta del río Tunjuelo*. Bogotá D.C: Alcaldía mayor de Bogotá.

IDEAM. (2012). *Inventario de emisiones de gases de efecto invernadero para la región Bogotá - Cundinamarca*. Bogotá.

IDEAM, PNUD, MADS DNP, CANCELLERIA. (2015). *Nuevos escenarios del cambio climático para Colombia 2011-2100*. Bogotá, Colombia: Herramientas científicas para la toma de decisiones - Enfoque Nacional - Departamental: Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático.

IDEAM, PNUD, MADS, DNP, Cancillería. (2016). *Inventario nacional y departamental de gases de efectos invernadero - Colombia*. Bogotá: Tercera comunicación Nacional de Cambio Climático.

Infojardín. (2014). *Infojardín*. Recuperado el 25 de Noviembre de 2017, de Infojardín: <http://fichas.infojardin.com/crasas/sedum-rubrotinctum-dedos-sedo-rojo-alegria-pascua.htm>

Infojardín. (2015). *Infojardín*. Recuperado el 25 de Noviembre de 2017, de Infojardín: <http://fichas.infojardin.com/crasas/sedum-praealtum.htm>

Infojardín. (2015). *Infojardín*. Recuperado el 25 de Noviembre de 2017, de Infojardín: <http://fichas.infojardin.com/crasas/sedum-acre-pampajaritos-pan-cuco-racimillo-pimienta-muros.htm>

Kluge, M., & Ting, P. (1978). Control and modification of CAM. En M. Kluge, & P. Ting, *Crassulacean acid metabolism: Analysis of an ecological adaptation* (pág. 74). Berlin: Hardcover.

Le Treut, H., Somerville, R., Ulrich, C., Yihui, D., Cecilie, M., Abdalah, M., y otros. (2017). *Historical Overview of Climate Change*. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. New York: IPCC.

López, J. S. (04 de Mayo de 2017). Resiliencia, cambio climático y cómo nos adaptamos. *Resiliencia, cambio climático y cómo nos adaptamos*. Cartagena, Colombia.

Manetas, Y. (1982). Changes in properties of phosphoenolpyruvate carboxylase from the CAM plant *Sedum praealtum* D.C upon dark/light transition and their stabilization by glycerol. *Photosynthesis research*, 321-333.

Marin, J. (2014). *Análisis de tráfico vehicular usado visión artificial en la ciudad de San Juan de Pasro*. Pasto: Universidad de Nariño.

Matemala, R., Jastrow, J., & Miller, R. &. (2008). Temporal changes in C and N stocks of restored prairie: Implications for C sequestration strategies. *Ecological Applications*, 1470-1488.

- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (1997). *Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente*. Bogota: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.
- Ministerio de Hacienda y Crédito Público. (2017). *Decreto 926*. Bogotá D.C: República de Colombia.
- Minke, G. (2004). Techos verdes; Planificación, ejecución, consejo practicos. En G. Minke, *Techos verdes; Planificación, ejecución, consejo practicos* (pág. 86). Fin de Siglo.
- Montealegre, J. E. (2002). Seguimiento, diagnóstico y predicción climática en Colombia. *Meteorología Colombiana* , 59-65.
- Muñoz-Vallés, S., Cambrolle, J., Figueroa-Luque, E., Luque, T., & Niell, F. (2013). An approach to the evaluation and management of natural carbon sink: From plant species to urban green systems. *ELSERVIER* , 450_453.
- Murillo, G., Florián, M., Pabón, G., Pérez, P., Rojas, M., & Suárez, R. (2017). *Política nacional de cambio climático: documento para tomadores de decisiones*. Bogota D.C: Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.
- Naciones Unidas. (2015). *Aprovision del acuerdo de París*. París: Naciones Unidas.
- Naciones Unidas. (1992). *Convención Marco de las Naciones Unidas Sobre el Cambio Climático*. Nueva York: Naciones Unidas.
- Naciones Unidas. (1998). *Protocolo de Kyoto de la convencion marco de las naciones unidas sobre el cambio climático*. Kyoto: Naciones Unidas.
- Natura, F. (2014). *Guía para elaborar inventarios corporativos de gases efecto invernadero*. Bogotá D.C: Fondo para el medio ambiental mundial FMAM.
- Netting, R. (22 de Enero de 2013). *Ciencia@NASA*. Obtenido de Ciencia@NASA: http://ciencia.nasa.gov/ciencias-especiales/15jan_warming/
- Observatorio Ambiental de Bogotá. (30 de Octubre de 2015). *Observatorio Ambiental de Bogotá*. Obtenido de Observatorio Ambiental de Bogotá: <http://oab.ambientebogota.gov.co/es/indicadores?id=50&v=1>
- Observatorio Ambiental de Bogotá. (S.F). *Observatorio Ambiental de Bogotá*. Recuperado el 26 de Febrero de 2016, de Observatorio Ambiental de Bogotá: <http://oab.ambientebogota.gov.co/es/indicadores-por-localidad>
- Observatorio de Movilidad. (2017). *Balance de Movilidad 2007-2016* . Bogota: Camara de Comercio de Bogota.

ONU. (12 de Julio de 2016). *ONU México*. Recuperado el 16 de Mayo de 2018, de Como surgieron los ODS: http://www.onu.org.mx/linea_del_tiempo_ods/

Ortiz, S. J. (6 de Mayo de 2016). *Casas ecológicas*. Recuperado el 28 de Noviembre de 2017, de Cómo hacer una azotea verde: <http://icasasecológicas.com/como-hacer-una-azotea-verde/>

Pava, M., Villalba, D., Saavedra, F., Carrasco, J., & Rodríguez, W. (2016). *Factores de emisión considerados en la herramienta de cálculo de la huella de carbono corporativa MVC Colombia*. Colombia: Natura.

Ponce, Y., & Cantú, P. (2015). Cambio Climático: Bases Científicas y Escepticismo. *Cultura Científica y Tecnológica*, 5-12.

Rivas, J. (2014). *El tiempo Sevilla*. Recuperado el 25 de Noviembre de 2017, de El tiempo Sevilla: <http://www.eltiemposevilla.es/el-clima-de-sevilla/>

Sampieri, R. H. (2006). *Metodología de la investigación*. Ciudad de México: McGraw-Hill Interamericana.

Sánchez Quintanilla, V. (2014). *Estimación de captura de CO2 en el edificio naturalizado*. Sevilla, España: Nueva Escuela Politécnica de la Universidad de Sevilla.

Secretaría de movilidad. (2015). *Movilidad en cifras 2015*. Bogotá: Alcaldía de Bogotá.

Secretaría de planeación distrital. (2016). *Revisión general del Plan de Ordenamiento Territorial*. Bogotá D.C: Alcaldía de Bogotá D.C.

Secretaría Distrital de Ambiente. (2009). *Elementos técnicos del plan decenal de descontaminación de Bogotá*. Bogota: Alcaldía Mayor de Bogota.

Secretaría distrital de ambiente. (02 de Febrero de 2017). *Red de monitoreo de calidad del aire de Bogotá RMCAB*. Recuperado el 15 de Abril de 2017, de Red de monitoreo de calidad del aire de Bogotá RMCAB: <http://201.245.192.252:81/>

Secretaría distrital de Movilidad. (2016). *Encuesta de Movilidad 2015*. Bogotá D.C: Alcaldía mayor de Bogotá.

Servicio meteorológico Nacional. (Octubre de 2017). *SMN*. Recuperado el 26 de Noviembre de 2017, de SMN: <http://smn.cna.gob.mx/es/climatologia>

Sorensen, M., Barzetti, V., & Williams, K. K. (1998). *Manejo de las áreas urbanas*. Washington D.C.

Sostenibilidad semana. (2017). Bogotá y Medellín registran las temperaturas más altas de su historia. *Semana* .

Soto, M. S., Barbaro, L., Coviella, M. A., & Stancanelli, S. (2013). *Catálogo de plantas para techos verdes*. Buenos Aires, Argentina: Ministerio de agricultura, ganadería y pesca.

Stocker, G., Qin, D., Plattner, G. K., Tignor, M., Allen, S. K., Boschung, J., y otros. (2013). : *Cambio Climático 2013. Bases físicas. Contribución del Grupo de trabajo I*. Estados Unidos de America: Cambridge University.

Universidad Castilla-La Mancha. (S.F). *Ingeniería Rural*. Recuperado el 24 de Noviembre de 2017, de Morteros: https://previa.uclm.es/area/ing_rural/Hormigon/Temas/Morteros.pdf

Universidad los Andes y Camara de Comercio. (2017). *Balance de Movilidad 2007 - 2016*. Bogotá: Observatorio de movilidad.

Urbanscape. (2014). *Sistema de cubierta verde*. Barcelona, España: Knauf Insulation.

Valdivieso Taborga, C. E., Valdivieso Castellón, R., & Valdivieso Taborga, O. Á. (2011). Determinación del tamaño muestral mediante el uso de árboles de decisión. *Investigación & Desarrollo* , 148 - 176.

Vallero, D. A. (1994). Sources and classification of air pollutants. En D. A. Vallero, *Fundamental of Air Pollution* (págs. 7-15). S.C: S.E.

Vengochea, A. (2012). *Las cumbres de las naciones unidas del cambio climatico* . Colombia: Fundación Friedrich Ebert.

Viajeros. (s.f). Recuperado el 29 de Febrero de 2016, de <http://www.viajeros.com/destinos/bogota/3-que-hacer/zona-rosa-bogota>

WGI Technical Support Unit & University of Bern. (2014). *Cambio Climático 2013: Base de ciencia física*. Zaehringstrasse - Suiza: IPCC.

Whittinghill, L. J., Rowe, B. D., Schutzki, R. C., & Cregg, B. M. (2013). Quantifying carbon sequestration of various green roof and ornamental landscape systems. *ELSERVIER* , 41 - 48.