

**Inventario de emisiones atmosféricas de CO₂ provenientes de fuentes móviles en el
municipio de Mosquera por medio del modelo IVE**

Albornoz Bejarano Yudy Alejandra

Guerrero Duarte Creizol Briget

Universidad de Cundinamarca

Facultad de ciencias agropecuarias, pregrado en Ingeniería Ambiental

Facatativá, Colombia

2019

**Inventario de emisiones atmosféricas de CO₂ provenientes de fuentes móviles en el
municipio de Mosquera por medio del modelo IVE**

**Albornoz Bejarano Yudy Alejandra
Guerrero Duarte Creizol Briget**

Trabajo final presentado como requisito para optar al título de:

Ingeniero Ambiental

Director:

Ing. Miguel Antonio De Luque Villa

Docente de Ingeniería Ambiental Extensión Facatativá

Grupo de investigación:

Cundinamarca Agroambiental

Universidad de Cundinamarca

Facultad de ciencias agropecuarias, programa en Ingeniería Ambiental

Facatativá, Colombia

2019

DEDICATORIA

A Dios.

A nosotras por el esfuerzo y la dedicación para que este proyecto saliera adelante.

A nuestros padres por estar con nosotras en todo momento y brindarnos su apoyo.

A nuestros hermanos por estar siempre a nuestro lado.

A las profesionales que seremos para que al igual que ahora, todo acto que realicemos lo hagamos con honestidad, responsabilidad y dedicación.

AGRADECIMIENTOS

Al ingeniero Miguel de Luque por enseñarnos, guiarnos y creer en nosotras.

A nuestros padres por ser los motores de nuestros sueños, confiar y creer en nuestros planes; por lo consejos, valores y principios que nos han inculcado.

A todos los docentes de la Universidad de Cundinamarca que aportaron a nuestra formación como profesionales.

A las personas que están y estarán siempre con nosotras.

TABLA DE CONTENIDO

1	Resumen	1
2	Introducción	2
3	Descripción de la problemática.....	4
4	Justificación	6
5	Objetivos.....	7
5.1	Objetivo general	7
5.2	Objetivos específicos	7
6	Descripción del área de estudio.....	8
7	Marco conceptual	9
8	Marco teórico	11
9	Marco legal	14
10	Metodología	15
10.1	Identificación de vías con mayor tránsito vehicular	15
10.2	Estudio de tráfico vehicular	16
10.2.1	Recopilación y tabulación de la información:	17
10.2.2	Análisis de la información.....	21
10.3	Cálculo de emisiones atmosféricas de CO ₂ proveniente de fuentes móviles en el municipio.	21
10.3.1	Archivo de localidad	22
10.3.1.1	Características de conducción	23
10.3.1.1.1	Calculo Potencia específica del motor (VSP)	23
10.3.1.1.2	Cálculo de estrés del motor	25
10.3.1.1.3	Determinación de patrones de partida	26
10.3.2	Archivo flota vehicular	26
10.3.3	Archivo ajustes generales.....	29
10.4	Simulación de la dispersión de CO ₂ provenientes de las fuentes móviles del municipio de Mosquera.....	29
11	Resultados y discusión.....	32
11.1	Aforo vehicular.....	32
11.2	Patrones de conducción.....	34

11.2.1	Velocidad Promedio.....	34
11.2.2	Potencia específica del motor.....	36
11.2.3	Estrés del motor.....	39
11.3	Estimación de emisiones atmosféricas vehiculares con el modelo internacional de emisiones vehiculares (IVE).....	40
11.3.1	Emisiones de CO ₂ en la Vía Mosquera-Funza.....	41
11.3.2	Emisiones de CO ₂ en la Vía Panamericana.....	43
11.3.3	Emisiones de CO ₂ en la Vía Biblioteca.....	44
11.3.4	Emisiones de CO ₂ en la Vía Parque Principal.....	46
11.4	Modelo de dispersión de CO ₂ en el municipio de Mosquera.....	48
12	Conclusiones.....	57
13	Recomendaciones.....	59
14	Referencias.....	60
15	Anexos.....	62
	Anexo 1. Formulario de registro de autos.....	62
	Anexo 2. Aforo vehicular del 19 al 25 de Noviembre del 2018.....	63
	Anexo 3. Concentración (Kg/hora) de emisiones CO ₂ por vía.....	65

Lista de Figuras

Figura 1. Localización general del área de estudio. Fuente: Autores, 2018.....	8
Figura 2. Identificación puntos de muestreo. Fuente: Autores, 2018.....	16
Figura 3. Punto de muestreo vía Mosquera-Funza. Fuente: Autores, 2018.....	17
Figura 4. Punto de muestreo vía Parque Principal. Fuente: Autores, 2018.....	18
Figura 5. Punto de muestreo vía Biblioteca. Fuente: Autores, 2018.....	18
Figura 6. Cámara de video Mosquera-Funza. Fuente Autores, 2018.....	19
Figura 7. Formulario de registro de aforo vehicular. Fuente: Autores, 2018.....	19
Figura 8. Datos GPS aplicación Avenza Maps. Fuente: Autores, 2018.....	20
Figura 9. Seguimiento de rutas y velocidad. Fuente: Autores, 2018.....	21
Figura 10. Archivo de Localidad en IVE. Fuente: IVE Model 2.0, 2019.....	22
Figura 11. Datos de GPS por trayectoria. Fuente: Avenza Maps, 2018.....	23
Figura 12. Archivo flota vehicular IVE. Fuente IVE model 2.0.....	27
Figura 13. Grilla de modelación Mosquera. Fuente: Autores, 2019.....	30
Figura 14. Archivo de salida AERMOD concentración ($\mu\text{g}/\text{m}^3$). Fuente: AERMOD, 2019.....	31
Figura 15. Distribución diaria vehicular por vía. Fuente: Autores, 2019.....	33
Figura 16. Distribución diaria vehicular por categoría. Fuente: Autores, 2019.....	34
Figura 17. Velocidad promedio por categoría vehicular en cada vía (km/h). Fuente: Autores, 2019.....	35
Figura 18. Velocidad segundo a segundo por vía (Km/h). Fuente: Autores, 2019.....	36
Figura 19. Distribución potencia específica del motor en la vía Mosquera-Funza para vehículo regular. Fuente Autores, 2019.....	37
Figura 20. Distribución potencia específica del motor en la vía Panamericana para vehículo regular. Fuente Autores, 2019.....	37
Figura 21. Distribución potencia específica del motor en la vía Biblioteca para vehículo regular. Fuente Autores, 2019.....	38
Figura 22. Distribución potencia específica del motor en la vía Parque Principal para vehículo regular. Fuente Autores, 2019.....	38
Figura 23. Emisiones diarias de CO_2 vía Mosquera-Funza. Fuente: Autores, 2019.....	42
Figura 24. Concentración de CO_2 horaria de la vía Mosquera- Funza. Fuente: Autores, 2019.....	43
Figura 25. Emisiones diarias de CO_2 por categoría vehicular vía Panamericana. Fuente: Autores, 2019...43	43
Figura 26. Concentración horaria de emisiones de CO_2 vía Panamericana. Fuente: Autores, 2019.....	44
Figura 27. Emisiones diarias de CO_2 por categoría vehicular vía Biblioteca. Fuente: Autores, 2019.....	45
Figura 28. Concentración horaria de CO_2 vía Biblioteca. Fuente: Autores, 2019.....	46
Figura 29. Emisiones de CO_2 diario por categoría vehicular. Fuente: Autores, 2019.....	47
Figura 30. Concentración horaria de CO_2 para la vía Parque Principal. Fuente: Autores, 2019.....	47
Figura 31. Temperatura promedio horaria. Fuente: Autores, 2019.....	48
Figura 32. Velocidad promedio horaria. Fuente: Autores, 2019.....	49
Figura 33. Dispersión CO_2 6:00-7:00 para el municipio de Mosquera. Fuente: Autores, 2019.....	50
Figura 34. Dispersión CO_2 7:00-8:00 para el municipio de Mosquera. Fuente: Autores, 2019.....	51
Figura 35. Dispersión CO_2 8:00-9:00 para el municipio de Mosquera. Fuente: Autores, 2019.....	51
Figura 36. Dispersión CO_2 9:00-10:00 para el municipio de Mosquera. Fuente: Autores, 2019.....	52

Figura 37. Dispersión CO ₂ 10:00-11:00 para el municipio de Mosquera. Fuente: Autores, 2019.....	52
Figura 38. Dispersión CO ₂ 11:00-12:00 para el municipio de Mosquera. Fuente: Autores, 2019.....	53
Figura 39. Dispersión CO ₂ 12:00-13:00 para el municipio de Mosquera. Fuente: Autores, 2019	54
Figura 40. Dispersión CO ₂ 13:00-14:00 para el municipio de Mosquera. Fuente: Autores, 2019.....	54
Figura 41. Dispersión CO ₂ 14:00-15:00 para el municipio de Mosquera. Fuente: Autores, 2019.....	55
Figura 42. Dispersión CO ₂ 15:00-16:00 para el municipio de Mosquera. Fuente: Autores, 2019.....	55
Figura 43. Dispersión CO ₂ 16:00-17:00 para el municipio de Mosquera. Fuente: Autores, 2019.....	56
Figura 44. Dispersión CO ₂ 17:00-18:00 para el municipio de Mosquera. Fuente: Autores, 2019	56

Lista de tablas

Tabla.1 Clasificación de bins.	24
Tabla.2 Coeficientes de velocidad	25
Tabla.3 Distribución de tecnologías IVE.	27
Tabla 4. Distribución diaria vehicular por vía	32
Tabla 5. Distribución diaria vehicular por categoría.....	33
Tabla 6. Estrés del motor por vía	39
Tabla 7. Significado de Bins de VSP	40
Tabla 8. Concentración Kg/día por vía	41

1 Resumen

Se realizó un inventario de emisiones de CO₂ utilizando el modelo internacional de emisiones vehiculares (IVE), este modelo fue diseñado para conseguir una estimación de las emisiones generadas por vehículos con motor con el fin de implementarlo en países en vía de desarrollo. Se realizó un aforo vehicular por medio de un formulario de registro y cámaras de video durante una semana en cuatro (4) vías del municipio con mayor flujo vehicular con el fin de determinar el número de vehículos que transitan por cada vía estudiada. Se clasificó el parque automotor según su tecnología, tamaño de vehículo, tipo de combustible y uso de vehículo en 9 categorías vehiculares determinadas por IVE. Adicionalmente, se usó la aplicación Avenza Maps para conocer la velocidad promedio, velocidad segundo a segundo, altitud, distancia y ubicación; con esta información se calculó la aceleración, potencia específica del motor (VSP), índice RPM, estrés del motor y distribución SOAK, datos requeridos para que el modelo IVE genere las emisiones vehiculares en el municipio de Mosquera. Finalmente, se pudo observar que las emisiones diarias totales en el municipio de Mosquera son de 434.302,53 Kg/día, donde la vía Mosquera-Funza aporta el 67,75% de las emisiones totales, vía Panamericana 27,03%, Biblioteca 3,94 % y Parque principal 1,29%. Por último, se modeló la dispersión de emisiones de CO₂ con el fin de conocer los puntos neurálgicos de mayor impacto y como son distribuidas estas emisiones alrededor del municipio, teniendo en cuenta que estas emisiones son dirigidas hacia los municipios de Funza y Madrid.

2 Introducción

En la actualidad la contaminación atmosférica ha generado gran preocupación en el ámbito ambiental y social, debido a esto las autoridades ambientales han trabajado en la investigación y creación de información referente al monitoreo de la calidad del aire.

La importancia de conocer la calidad del aire radica en la generación de estrategias de mitigación, control de emisiones y normatividad para el control y prevención. Existen diferentes tipos de fuentes que generan emisiones, entre esas están las fuentes fijas y móviles. Las fuentes fijas no generan gran porcentaje de contaminación en comparación con las emisiones por fuentes móviles generadas por el parque automotor (SDA, 2017).

Las emisiones de gases de efecto invernadero provenientes de fuentes móviles tienen su origen en el tipo de combustión que utiliza, por chispa (a gasolina) se expiden gases por el tubo de escape, el carburador, el Carter y el tanque combustible; para los motores por ignición espontánea (a Diésel) las mayores emisiones provienen del tubo de escape (Mobile & Ali, 2007).

El aumento de las emisiones de CO₂ interrumpe el ciclo del carbono causando el aumento de la temperatura; al ser un gas de efecto invernadero en cantidades adecuadas contribuye a la estabilidad en la temperatura, pero cuando sus concentraciones exceden el límite este afecta el equilibrio de la radiación del planeta. Además, es un gas de referencia a partir del cual se miden otros gases de efecto invernadero (IPPC, 2013).

Por esto se han generado diferentes metodologías y modelos para crear inventarios de emisiones de fuentes móviles que permiten consolidar un conjunto de datos que caracteriza las emisiones

de contaminantes específicos y estima las emisiones de diferentes tipos de contaminantes provenientes del parque automotor. Entre estos modelos se encuentran el modelo IVE, este modelo se aplica a países en vía de desarrollo para estimar las emisiones atmosféricas generadas por fuentes móviles.

El modelo internacional de emisiones vehiculares (IVE), predice contaminantes atmosféricos locales, gases responsables de efecto invernadero y tóxicos (International Sustainable Systems Research Center, 2008; Londoño, Correa, & Palacio, 2011). El inventario de emisiones atmosféricas se realizó con el modelo IVE, para el cual se recopiló la información en el municipio de Mosquera realizando un aforo vehicular y seguimiento de las rutas con GPS.

Los inventarios de emisiones atmosféricas son la línea base de información para futuras investigaciones o planes de mitigación de la contaminación del aire. Por esto se desarrolló este proyecto de investigación con el fin de generar un inventario de emisiones atmosféricas de CO₂ y la simulación de la dispersión horaria en el Municipio de Mosquera.

3 Descripción de la problemática

Las actividades económicas, sociales y tecnológicas generan una cantidad significativa de emisiones de gases de efecto invernadero principalmente de dióxido de carbono; estos gases provocan que la radiación infrarroja se detenga en la atmosfera calentando la superficie de la tierra y la parte interior de la atmosfera (Londoño et al., 2011), por esto el monitoreo y control de la contaminación atmosférica se ha convertido en una de las principales preocupaciones en Colombia (Tyler, Acevedo, Bocarejo, & Velasquez, 2013).

En Bogotá y Medellín el 58% de la contaminación atmosférica esta direccionada a las fuentes móviles (SDA, 2015). La mayor cantidad de emisiones de fuentes móviles están en las vías intermunicipales a las 7 a.m. y las 4 p.m. para monóxido de carbono (CO), dióxido de azufre (SO₂), óxido nitroso (N₂O), dióxido de carbono (CO₂), compuestos orgánicos volátiles (COV's) y material particulado (MP) (Dávila Pinzón, 2015).

Una de las estrategias de seguimiento y monitoreo de la calidad de aire se realiza mediante los inventarios de emisiones atmosféricas de contaminantes criterio (CO, NO₂, SO₂, O₃) y dióxido de carbono (por su aporte al efecto invernadero) (Dávila Pinzón, 2015) originadas por fuentes móviles que constituyen una herramienta fundamental para la planeación de Programas de Prevención y Control de la Contaminación así como el cumplimiento de los compromisos adquiridos al ser parte de la Convención Marco Sobre el Cambio Climático (Londoño et al., 2011).

El lugar con mayor influencia de flujo vehicular en Cundinamarca es Bogotá; el crecimiento urbano de Bogotá hacia los municipios como Mosquera entre otros, ha tenido una creciente expansión urbana, lo que conlleva a que muchas personas se movilicen Bogotá-Mosquera viceversa llevando flujo vehicular y emisiones de CO₂ al municipio de Mosquera.

Con el objetivo de conocer los niveles de concentración de CO₂ generado por las emisiones de fuente móviles en el Municipio de Mosquera se realizó el inventario de emisiones atmosféricas con el modelo IVE.

4 Justificación

Mosquera está ubicado en la provincia de Sabana de Occidente en el departamento de Cundinamarca, en este municipio se encuentran diferentes industrias como Doria, Nestlé Mosquera-Funza, Solla entre otras, lo que genera gran flujo vehicular de transporte de materias primas y productos en vehículos pesados, vehículos públicos y particulares. Mosquera es un municipio que queda sobre la vía Panamericana, conectando a varias ciudades y destinos turísticos del país, esto junto con el transporte público al interior del municipio genera un flujo vehicular constante. Por esto, en la zona hay gran presencia de flujo vehicular que genera emisiones de CO₂ a la atmosfera, a pesar de esto no existe información sobre estas emisiones y son pocos los inventarios de fuentes móviles que se han realizado cerca al área estudiada.

Los inventarios de emisiones atmosféricas de CO₂ constituyen una herramienta importante para futuras investigaciones sobre la calidad de aire, adicionalmente permiten verificar si las emisiones de CO₂ son significativas en el municipio, para prevención de riesgos y modelos de pronóstico de calidad de aire en el Municipio de Mosquera. Por esto, es necesaria la elaboración de inventarios de emisiones atmosféricas de CO₂ por fuentes móviles que permitan establecer los niveles de calidad de aire y la exposición a la que se encuentra la comunidad de este Municipio.

5 Objetivos

5.1 Objetivo general

Desarrollar un inventario de emisiones atmosféricas de CO₂ provenientes de fuentes móviles en el municipio de Mosquera.

5.2 Objetivos específicos

- Realizar un estudio de tráfico en las vías identificadas con mayor tránsito vehicular en Mosquera
- Calcular las emisiones atmosféricas de CO₂ proveniente de fuentes móviles en el municipio.
- Simular la dispersión de CO₂ provenientes de las fuentes móviles del municipio de Mosquera.

6 Descripción del área de estudio

El área de estudio de este proyecto de investigación es el municipio de Mosquera que corresponde al Departamento de Cundinamarca y además cubre parte de Sabana Occidente. Este municipio cuenta con una población de 81.108 habitantes, una superficie total de 10.700 hectáreas divididas en 5 veredas y 69 barrios y una densidad poblacional de 832,79 hab/km² (Terridata, 2018). La extensión territorial es de 107 km² donde el área rural ocupa el 94,2 km² (Figura 1).

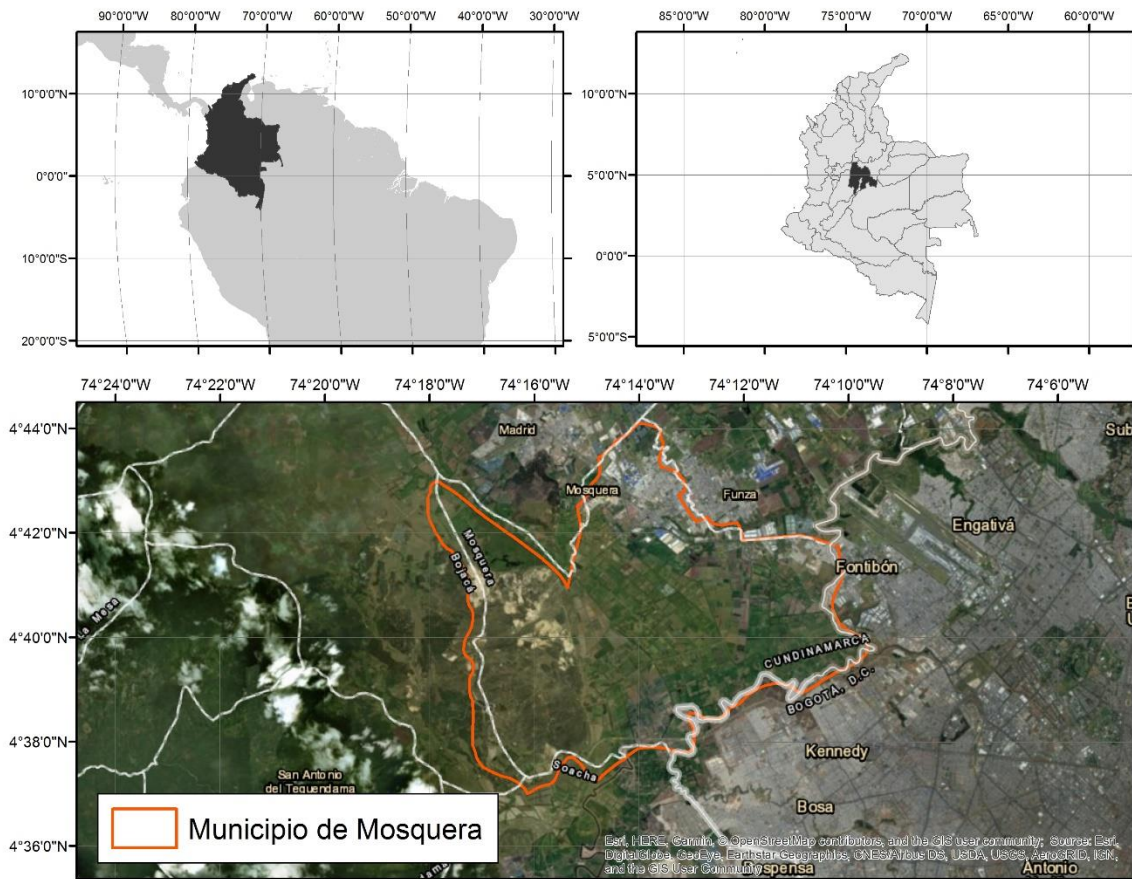


Figura 1. Localización general del área de estudio. Fuente: Autores, 2018

7 Marco conceptual

Para la interpretación del presente proyecto, regulaciones, requerimientos y especificaciones técnicas necesarias para su desarrollo es necesario aclarar los siguientes términos:

- Contaminación atmosférica: la presencia de sustancias o emisiones en la atmosfera en cantidades y/o concentraciones que implique molestias o riesgos para la salud de las personas o el ambiente (Martinez & Morales, 2004).
- Gases de efecto invernadero: Son componentes gaseosos de la atmosfera que pueden ser naturales o antropogénicos, estos emiten y absorben radiación en determinadas longitudes de onda del espectro de radiación infrarroja emitida por la superficie de la tierra, las nubes, y la atmosfera (León Aristizabal & Benavides Ballesteros, 2004)
- Emisión: Según el decreto 948 de 1995 se define como las descargas de una sustancia o elementos al aire provenientes de fuentes de emisión fijas o móviles (Ministerio del Medio Ambiente, 1995b).
- Fuentes de emisión: Operación, actividad o proceso realizado por los seres humanos susceptible a emitir contaminantes al aire (Ministerio del Medio Ambiente, 1995a). Las principales fuentes de emisión de contaminantes atmosféricos se pueden clasificar en fuentes móviles y fuentes fijas. (Mutual, 2013)
- Fuentes móviles: Se entiende por fuente móvil a aquellas que se desplazan de forma autónoma emitiendo contaminantes en su trayectoria (Calla Durandal & Luján Pérez, 2018). Se consideran como fuente móvil todo el parque automotor constituidos por automóviles, camiones y autobuses, entre otros diseñado para operar en carretera pública (Castro & Escobar, 2006) y son

la fuente principal de emisiones de contaminantes primarios que reaccionan entre componentes de la atmosfera y se convierten en secundarios. (Calla Durandal et al., 2018)

- Inventario de emisiones de fuentes móviles: Un inventario de emisiones es una base de datos diseñada para estudiar la tasa de emisión de contaminantes desde cualquier tipo de fuente móvil identificada en el área de estudio y a lo largo del tiempo (Dávila, 2015). Además, pretende cuantificar la emisión de contaminantes con diferentes características y patrones de desplazamiento (Quiñones, 2012).
- Factor de emisión definido como la relación entre la cantidad de contaminante emitido por solo una unidad de actividad (Baquero & Gonzalez, 2016).
- Modelo IVE: El modelo internacional de emisiones vehiculares (IVE) tiene como función predecir contaminantes atmosféricos locales, gases responsables del efecto invernadero y tóxicos (International Sustainable Systems Research Center, 2008).
- Dióxido de Carbono (CO₂): Es uno de los gases más abundantes en la atmosfera y es de vital importancia para procesos de plantas, animales y del ser humano. El CO₂ en cantidades adecuadas es uno de los gases de efecto invernadero que contribuye a que la tierra tenga una temperatura habitable (Gobierno Boliviano, 2013).
- AERMOD: Es un software de modelamiento de dispersión de contaminantes, que por medio del modelo gaussiano simula la dispersión de contaminantes y su disposición, realiza los cálculos teniendo en cuenta las características del terreno y clima (Silva & Arcos, 2011).
- Dispersión de contaminantes: es el transporte de los contaminantes en el aire, esta depende del estado de la atmosfera y de las condiciones meteorológicas como velocidad, dirección del viento y radiaciones solares (Zuluaga & Parra, 2010).

8 Marco teórico

Los gases de efecto invernadero son generados principalmente por emisiones de las chimeneas industriales (Fuentes fijas), parque automotor (Fuentes móviles) y actividades naturales como erupciones volcánicas e incendios forestales (Calla Durandal et al., 2018).

Las emisiones provenientes de fuentes móviles están compuestas por contaminantes como CO, NO_x, SO_x y PM y gases de efecto invernadero como dióxido de carbono (Calla Durandal et al., 2018). En la actualidad el parque automotor es el mayor contribuyente a las emisiones de este tipo, por su gran tasa de adquisición de vehículos generando el deterioro en la calidad del aire y enfermedades asociadas a la contaminación (Castro & Escobar, 2006).

La estimación de las emisiones atmosféricas es una herramienta indispensable para el control y vigilancia en la calidad del aire, así como para diseñar planes de prevención, alerta y/o emergencia (Londoño et al., 2011). Esta estimación se obtiene mediante inventarios de emisiones atmosféricas.

Existen diferentes maneras de generar las estimaciones de emisiones atmosféricas, las cuales son metodologías o modelos que permiten la aproximación de la concentración de los contaminantes emitidos por una fuente móvil; para el año 2017 en el Valle de Aburrá- Colombia se realizó un inventario de emisiones atmosféricas por medio del modelo LEAP estimando las emisiones de contaminantes criterio y gases de efecto invernadero (Prieto, 2017).

La Universidad Nacional de Colombia en el año 2013 realizó una estimación de las emisiones atmosféricas provenientes de las fuentes móviles en el tramo vial Bogotá-Facatativá en donde se

realizó una cuantificación detallada usando la metodología Bottom-up (Rojas, Dávila, & Rojas Aura, 2015), es decir, se realiza teniendo en cuenta los flujos y volúmenes vehiculares, tipo y longitud de vías y/o perfiles de horarios de tráfico (Carmona Aparicio et al., 2016). La estimación calculada con esta metodología se comparó con los datos obtenidos con la metodología IVE (Rojas et al., 2015).

Existen diversos softwares para la determinación de las estimaciones de emisiones atmosféricas, pero muchos de estos determinan la concentración para contaminantes criterio y sólo un pequeño grupo determinan concentraciones de CO₂.

En este último grupo encontramos el modelo IVE, el cual fue diseñado para conseguir una estimación de las emisiones generadas por vehículos con motor y su objetivo principal es implementarlo en países en vía de desarrollo (International Sustainable Systems Research Center, 2008).

El modelo IVE fue desarrollado por el Centro para la Investigación y Tecnología Ambiental (CE-CERT) de la Escuela de Ingeniería de la Universidad de California en Riverside (UCR), Investigación de Sistemas Sustentables Globales (GSSR) y el Centro de Investigación de Sistemas Sustentables Internacionales (ISSRC). El financiamiento fue provisto por la Agencia de Protección del Medioambiente de Estados Unidos (EPA).

Este modelo funciona con una base de factores de emisión y una serie de factores de corrección que se aplican para estimar los contaminantes de gran variedad de vehículos. Los tres componentes críticos que utiliza este modelo son:

- 1) Factores de emisión de vehículos (Base de factores de emisión y factores de corrección)
- 2) Actividad Vehicular (Datos de entrada de la Localidad)
- 3) Distribución de la flota vehicular (Datos de entrada de la Flota)

En Bolivia se realizó un inventario de emisiones atmosféricas de CO₂ utilizando el modelo IVE, donde principalmente caracterizaron el parque automotor y se generó un estudio de tráfico vehicular. Para la recolección de datos realizaron un conteo puntual y por medio de filmaciones en vías preseleccionadas por los investigadores. Por último, se realizó una distribución temporal y espacial de las emisiones atmosféricas mediante el programa ARCGIS. (Calla Durandal et al., 2018)

El modelo IVE ya ha sido utilizado en Colombia para realizar inventarios como en Bogotá donde se encontró que el aporte a la contaminación por parte de los vehículos es del 65%; este estudio permitió de manera económica estimar las emisiones atmosféricas (Giraldo, 2005).

9 Marco legal

La normativa vigente que aplica para nuestro proyecto es la siguiente:

- Constitución política de Colombia 1991: En el capítulo 4, artículo 79. Que todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano. La ley garantizará la participación de la comunidad en las decisiones que pueden afectarlo (Corte Constitucional de Colombia, 1991).
- Ley 769 del 2002: Capítulo 1, Artículo 1 en el cual genera la tipología de clasificación de vehículos, según la clase, tipo de servicio o finalidad, es decir, transporte de pasajeros o transporte de carga. En el Capítulo 3, artículo 8. Por el cual se pone en funcionamiento a través de entidades públicas o particulares en registro único Nacional de tránsito (RUNT) el cual incorporará los registros de incorporación de automotores, conductores, empresas de transporte público y privado, remolques y semirremolques, etc. (Poder Público - Rama Legislativa, 2002)
- Decreto 948 de 1995. El capítulo IV. De las emisiones contaminantes de fuentes móviles, donde se establecen emisiones prohibidas, sustancias de emisión controladas, emisiones de vehículos Diesel, Obsolescencia del parque automotor (Ministerio del Medio Ambiente, 1995b).
- Resolución 910 de 2008: Por la cual se reglamentan los niveles permisibles de emisión de contaminantes que deberán cumplir las fuentes móviles terrestres. Esta es modificada por la resolución 1111 de 2013 (MINAMBIENTE, 2002).
- Decreto 1075 de 2015: Por el cual se expide el decreto único reglamentario del sector ambiente y desarrollo sostenible.

10 Metodología

El proyecto se realizó con el fin de desarrollar un inventario de emisiones atmosféricas de CO₂ provenientes de fuentes móviles en el municipio de Mosquera, la metodología se dividió en torno al cumplimiento de los tres objetivos específicos propuestos.

10.1 Identificación de vías con mayor tránsito vehicular

Para que el inventario de emisiones sea representativo es necesario identificar aquellas zonas donde el flujo vehicular es constante en el municipio.

Esta recolección de información se realizó en el casco urbano del Municipio de Mosquera, en 5 puntos de las 4 vías con mayor tránsito vehicular. Las vías para estudiar son la Carrera 9 vía de acceso a Mosquera por la calle 80, Carrera 3 que comunica Mosquera con Funza (municipio adyacente), la Calle 3 que atraviesa el parque principal de Mosquera y el trayecto de la Vía Panamericana que se encuentra en el municipio (Ver Figura 2) Que para facilidades de interpretación se nombraron como Mosquera-Funza, Biblioteca, Parque principal y vía Panamericana respectivamente.

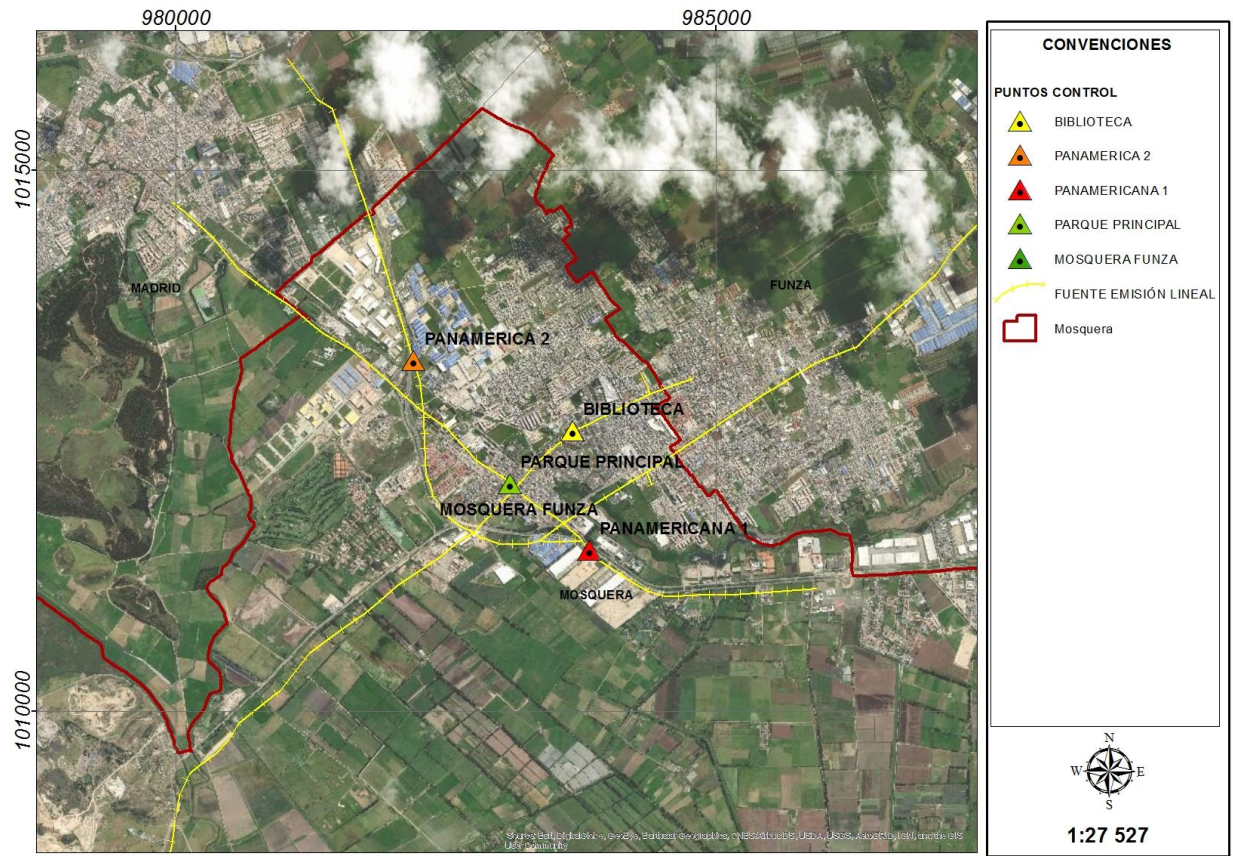


Figura 2. Identificación puntos de muestreo. Fuente: Autores, 2018

10.2 Estudio de tráfico vehicular

El estudio de tráfico vehicular permitió la obtención del volumen de vehículos que se movilizan por las 4 vías identificadas, de esta manera se obtuvo la cantidad promedio de carros por hora en cada vía. El estudio de tráfico se realizó mediante 2 etapas:

- Recopilación y tabulación de la información
- Análisis de la información

10.2.1 Recopilación y tabulación de la información:

Se recopiló la información necesaria para el modelo IVE en el municipio de Mosquera del 19 al 25 de noviembre de 2018. Durante esta semana se realizó aforos (conteos) vehiculares por medio de un formulario de registro (Ver Anexo 1) (Figura 7) y cámaras de videos (Figura 6) en los 5 puntos de muestreo desde las 6:00 am hasta las 5:00 pm (Figura 3-Figura 5). Esta información permitió identificar el flujo vehicular promedio en cada vía por tipo de vehículo y hora del día (Ver Anexo 2).



Figura 3. Punto de muestreo vía Mosquera-Funza. Fuente: Autores, 2018



Figura 4. Punto de muestreo vía Parque Principal. Fuente: Autores, 2018.



Figura 5. Punto de muestreo vía Biblioteca. Fuente: Autores, 2018.

mercancía, motos, mini turbo, camiones, buses, turbos, doble troque y tractomulas) que transitan con regularidad en cada una de las vías estudiadas en Mosquera, mientras estos realizaban su ruta diaria (Figura 9). Este muestreo se realizó en 72 vehículos, teniendo en cuenta que por cada categoría vehicular se realizó el muestreo a las 6:00 am (hora pico) y 10:00 am (hora valle) en cada una de las vías estudiadas con el objetivo de determinar patrones de conducción.



Figura 8. Datos GPS aplicación Avenza Maps. Fuente: Autores, 2018

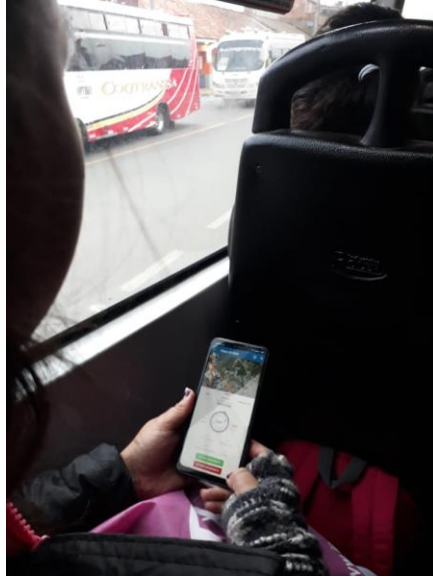


Figura 9. Seguimiento de rutas y velocidad. Fuente: Autores, 2018.

10.2.2 Análisis de la información

La información obtenida permitió reconocer la flota dinámica en el municipio, patrones de conducción, estrés del motor, número de partidas en frío y velocidad promedio en cada vía.

10.3 Cálculo de emisiones atmosféricas de CO₂ proveniente de fuentes móviles en el municipio.

La estimación de las emisiones atmosféricas de CO₂ se calcula por medio del modelo IVE, para esto es necesario conocer el flujo promedio de vehículos regulares, motos, vehículo de transporte de mercancía, buses, mini turbo, turbo y tractomulas por la vía panamericana, biblioteca, Mosquera-Funza y parque principal (Ver Anexo 2). El modelo internacional de emisiones vehiculares (IVE) requiere dos archivos críticos:

10.3.1 Archivo de localidad

En este se consigna la información general de la localidad a la que se le realizara el inventario de emisiones en las que se condiciones ambientales del municipio de Mosquera, características de combustible y características de conducción (Figura 10).

Modelo Internacional de Emisiones Vehiculares

Localidad

Localidad: Mosquera-Panamericana | Flota: Taxi Fleet Motocicletas2019 | Ajustes Generales: - ninguno -

Día: 19 | Mes: Noviembre | Año: 2018 | Día de la Semana: Lunes | Altitud: 2550.0 metros | Tipo de I/M: ninguno

Aire Acondicionado a 27°C | Pendiente Terreno: 0.0 %

Características Combustible

Gasolina: Clases: moderada/premez... | Azufre (S): moderado (300ppm) | Plomo (Pb): ninguno | Benzeno: moderado (1.50%) | Oxigenados: 0%

Diesel: Clases: moderado | Azufre (S): bajo (50ppm)

Hora: 17:00 | Use esta Hora:

Características de Conducción

Humedad: 86.0 % | Distancia/Tiempo: 5354.6 kilómetros | Partidas: 603.0

Temperatura: 12.0 °Celsius

Grupo 1					Grupo 2					Velocidad Promedio
Bin VSP 0	Bin VSP 1	Bin VSP 2	Bin VSP 3	Bin VSP 4	Bin VSP 5	Bin VSP 6	Bin VSP 7	Bin VSP 8	Bin VSP 9	
										41.2 km/hr
										3.33
										1.66
										99.95 %
										100.0 %

15 min: 50.0 | 30 min: | 1 hora: | 2 horas: | 3 horas: 50.0 | 4 horas: | 6 horas: | 8 horas: | 12 horas: | 18 horas: | Total: 100.0 % Distribución Tiempo Soak

Figura 10. Archivo de Localidad en IVE. Fuente: IVE Model 2.0, 2019

10.3.1.1 Características de conducción

Para determinar las características de conducción se utilizó la aplicación Avenza Maps como método de recolección de datos referentes a velocidad promedio, velocidad segundo a segundo, distancia recorrida y numero de partidas de cada categoría vehicular (Figura 11). Con la velocidad segundo a segundo se determinó la aceleración, potencia específica del motor (VSP), índice RPM, estrés del motor y distribución SOAK.

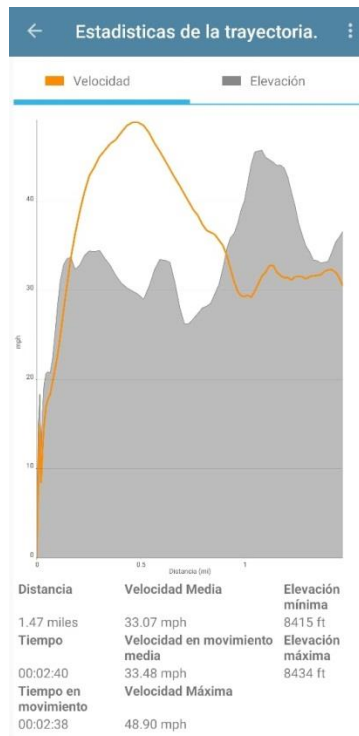


Figura 11. Datos de GPS por trayectoria. Fuente: Avenza Maps, 2018

10.3.1.1.1 Calculo Potencia específica del motor (VSP)

Los VSP se calculan dependiendo de la velocidad segundo a segundo, la aceleración y la altitud (Ecuación 1). Con el resultado del procesamiento de datos se encuentra la fracción de tiempo en cada categoría de VSP. Hay 3 categorías de estrés y 20 categorías de VSP, con un total de 60

bines (Tabla.1). Definir el VSP es importante para encontrar los bins de potencia ya que estos representan las variaciones de potencia y estrés del motor que los vehículos pueden alcanzar en un segundo determinado (Vélez, 2016). Para elegir el Bin se tiene en cuenta la categoría del VSP a la cual pertenece y el estrés del motor calculado. Por ejemplo, si el VSP es de 1,46 y el estrés para este segundo es de 4,09 este vehículo en ese instante estará trabajando en el Bin 32; esto quiere decir que el vehículo presenta una potencia específica vehicular positiva y cambios bruscos de velocidad. El porcentaje de los bins en un trayecto de 60 segundos es consignado en la pestaña de características de conducción (Bins VSP).

$$VSP = v[1,1a + 9,81 (\text{atan}(\sin(\text{pendiente}))) + 0.132] + 0000302 v^3$$

(Ecuación 1)

Dónde:

Pendiente = $(h_{t=0} - h_{t=1})/v$ (t=-1 a 0 segundos)

v= velocidad (m/s)

a= aceleración (m/s²)

h= altitud (m)

Tabla.1
Clasificación de bins.

		VPS (KW/TON)			
MINIMO	MAXIMO	BIN 1	BIN 2	BIN 3	
-88	-44		0	20	40
-44	-39,9		1	21	41
-39,9	-35,8		2	22	42
-35,8	-31,7		3	23	43
-31,7	-27,6		4	24	44
-27,6	-23,4		5	25	45
-23,4	-19,3		6	26	46
-19,3	-15,2		7	27	47
-15,2	-11,1		8	28	48
-11,1	-7		9	29	49
-7	-2,9		10	30	50
-2,9	1,2		11	31	51
1,2	5,3		12	32	52

5,3	9,4	13	33	53
9,4	13,6	14	34	54
13,6	17,7	15	35	55
17,7	21,8	16	36	56
21,8	25,9	17	37	57
25,9	30	18	38	58
30	1000	19	39	59
ESTRÉS	(-1.6- 3.1)	(3.1-7.8)	(7.8 - 12.6)	

Fuente: Adaptado del manual IVE model 2.0

10.3.1.1.2 Cálculo de estrés del motor

El estrés del motor es la descripción del comportamiento que presenta un motor durante los últimos 20 segundos de operación, tomando como punto de referencia el VSP y el índice RPM (Ecuación 2). Un estrés entre -1.6 y 3.1 es identificado como un estrés bajo, es decir que el vehículo se encontró en baja velocidad, aceleración y RPM bajos (Vélez, 2016). El índice RPM es la división entre la velocidad en cada segundo y el coeficiente de velocidad (Tabla.2)

$$\text{Estrés del motor (sin unidades)} = \text{Índice RPM (0,08 ton/kw)} * \text{Potencia prepromedio}$$

(Ecuación 2)

Dónde:

Potencia pre promedio = promedio (VSP_{t=5 segundos to- 25 segundos}) (Kw/ton)

Índice RPM= Velocidad_{t=0}/Divisor de velocidad (sin unidades)

Tabla.2
Coeficientes de velocidad

Rango de velocidades		Rango de potencia específica		Coeficiente velocidad
Min	Max	Min	Max	
0,0	5,4	-20	400	3
5,4	8,5	-20	16	5
5,4	8,5	16	400	3
8,5	12,5	-20	16	7
8,5	12,5	16	400	5

12,5	50	-20	16	13
12,5	50	16	400	5

Fuente: Adaptado del manual IVE model 2.0

10.3.1.1.3 Determinación de patrones de partida

En el modelo IVE una partida en frío es cuando el motor se ha enfriado completamente, reposando por 18 horas o más. Para este inventario consideramos una partida en frío para cada vehículo. Adicionalmente un Soak, es una partida en caliente, es decir, es el periodo de tiempo que un motor es apagado por 5 minutos o menos antes de ponerse en marcha de nuevo.

10.3.2 Archivo flota vehicular

El archivo de flota vehicular (Figura 12) busca establecer las categorías vehiculares a estudiar y sus características técnicas.

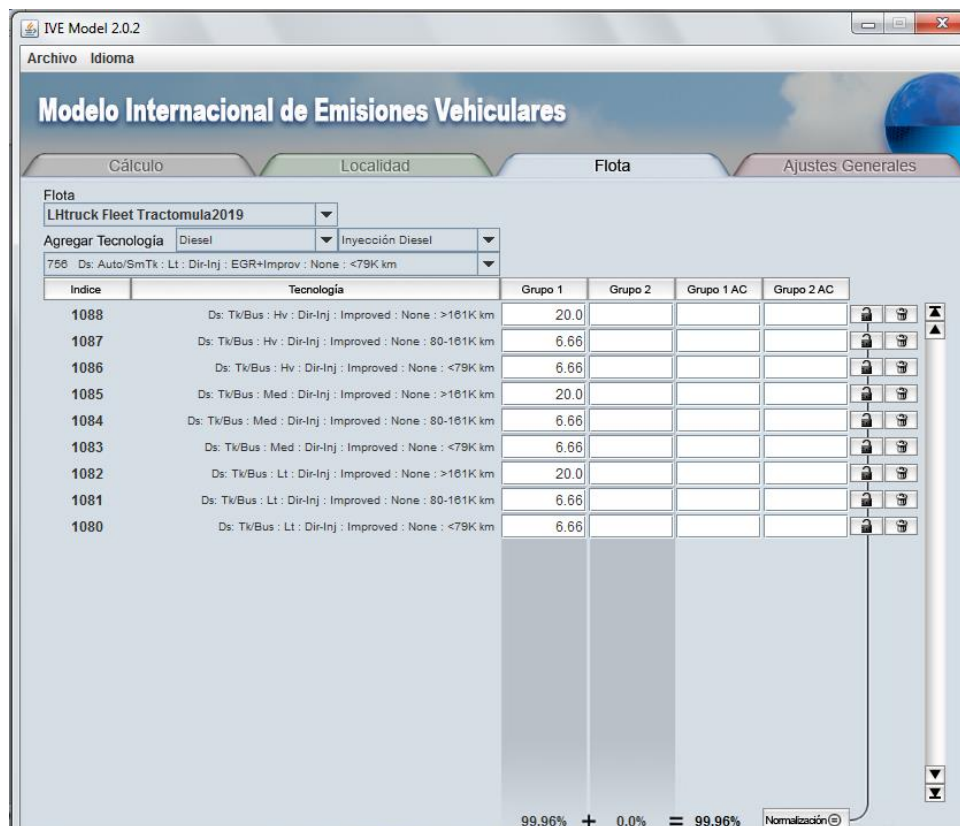













Figura 12. Archivo flota vehicular IVE. Fuente IVE model 2.0

Para este estudio se caracterizó nueve categorías vehiculares con su tecnología respectiva, adicionalmente cada categoría presenta un parámetro de kilometraje donde se distribuyó porcentualmente la flota vehicular. Se realizaron entrevistas a los conductores de diferentes vehículos para conocer tipo de combustible, kilometraje, tamaño de vehículo y uso de vehículo. En la Tabla.3 se muestra la distribución que se utilizó para el presente inventario.

Tabla.3
Distribución de tecnologías IVE.

Tipo	Descripción gráfica	Tecnología IVE	Combustible
------	---------------------	----------------	-------------

Vehículo regular		<p>Pt: Auto/SmTk : Hv : Carb : None : PCV : 80-161K km</p> <p>Pt: Auto/SmTk : Med : Carb : None : PCV : 80-161K km</p> <p>Pt: Auto/SmTk : Lt : Carb : None : PCV : 80-161K km</p>	Gasolina
Vehículo transporte de mercancía		Ds: Auto/SmTk : Lt : Dir-Inj : EGR+Improv : None : 80-161K km	Diesel
Motocicletas		<p>Pt: SmlEng : Hv : 4Cyc Carb : None : None : 28-50K km</p> <p>Pt: SmlEng : Med : 4Cyc Carb : None : None : 28-50K km</p> <p>Pt: SmlEng : Lt : 4Cyc Carb : None : None : 28-50K km</p>	Gasolina
Bus		<p>Ds: Tk/Bus : Hv : Dir-Inj : Improved : None : 80-161K km</p> <p>Ds: Tk/Bus : Med : Dir-Inj : Improved : None : 80-161K km</p> <p>Ds: Tk/Bus : Lt : Dir-Inj : Improved : None : 80-161K km</p>	Diesel
Mini turbo (comida)		Ds: Tk/Bus : Lt : Dir-Inj : Improved : None : 80-161K km	Diesel
Turbo		<p>Ds: Tk/Bus : Hv : Dir-Inj : Improved : None : 80-161K km</p> <p>Ds: Tk/Bus : Med : Dir-Inj : Improved : None : 80-161K km</p> <p>Ds: Tk/Bus : Lt : Dir-Inj : Improved : None : 80-161K km</p>	Diesel
Camión sencillo		Ds: Tk/Bus : Lt : Dir-Inj : Improved : None : >161K km	Diesel
Doble troque		Ds: Tk/Bus : Hv : Dir-Inj : Improved : None : >161K km	Diesel
Tractomula	  	<p>Ds: Tk/Bus : Hv : Dir-Inj : Improved : None : >161K km</p> <p>Ds: Tk/Bus : Hv : Dir-Inj : Improved : None : 80-161K km</p> <p>Ds: Tk/Bus : Hv : Dir-Inj : Improved : None : <79K km</p> <p>Ds: Tk/Bus : Med : Dir-Inj : Improved : None : >161K km</p> <p>Ds: Tk/Bus : Med : Dir-Inj : Improved : None : 80-161K km</p> <p>Ds: Tk/Bus : Med : Dir-Inj : Improved : None : <79K km</p> <p>Ds: Tk/Bus : Lt : Dir-Inj : Improved : None : >161K km</p> <p>Ds: Tk/Bus : Lt : Dir-Inj : Improved : None : 80-161K km</p> <p>Ds: Tk/Bus : Lt : Dir-Inj : Improved : None : <79K km</p>	Diesel

Fuente: Adaptado Model IVE 2.0.

10.3.3 Archivo ajustes generales

En la pestaña de ajustes generales se selecciona el factor de emisión de la localidad; para este inventario se utilizó los factores de emisión determinados por el modelo IVE para la ciudad de Bogotá.

10.4 Simulación de la dispersión de CO₂ provenientes de las fuentes móviles del municipio de Mosquera.

Para generar el modelo de dispersión es necesario tener un archivo de topografía para que el terreno no se asuma como plano, para esto se utilizó el DEM (Modelo de Elevación Digital) ASTGTM2_N04W075_dem.tif del satélite de ASTER de la NASA. Se utilizaron datos meteorológicos del año 2016 de la estación meteorológica del IDEAM ubicada en Mosquera. Para la modelación se generó una grilla de 304 receptores distribuidos en una grilla de 18 km x 18 km cada 1 km (Figura 13).

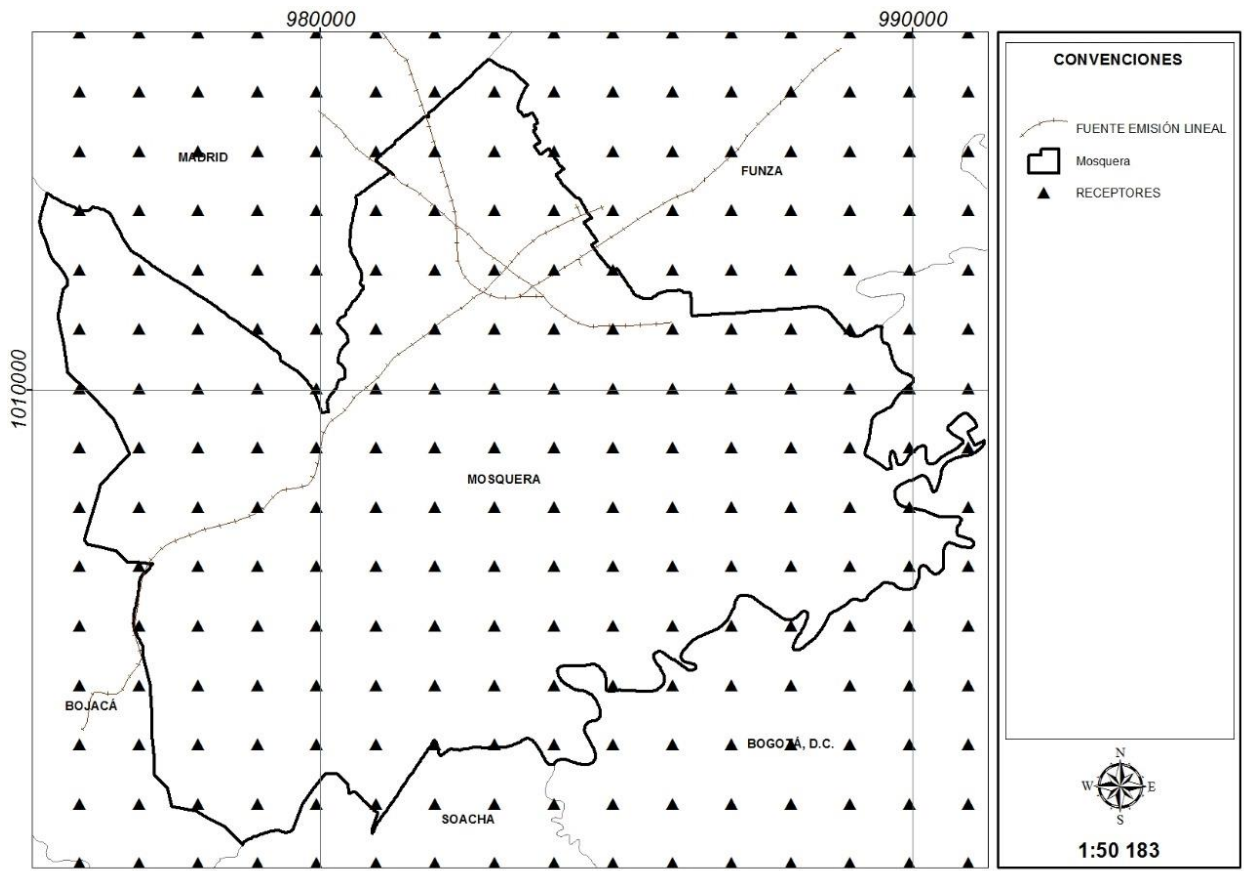


Figura 13. Grilla de modelación Mosquera. Fuente: Autores, 2019

Para simular la dispersión horaria de CO₂ en el municipio de Mosquera, se usó el software AERMOD, donde se determinó la distribución de los contaminantes. La información generada por AERMOD indica la concentración en microgramos por metro cubico ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) en la columna AVERAGE CONC (Figura 14), esta información es la que se requiere inicialmente para realizar el modelo de dispersión en el software ArcGIS 10.5.

12-1: Bloc de notas

Archivo Edición Formato Ver Ayuda

* AERMOD (15181): INVENTARIO 04/22/19
 * AERMET (14134): 19:56:45

* MODELING OPTIONS USED: CONC ELEV RURAL
 * PLOT FILE OF HIGH 1ST HIGH 24-HR VALUES FOR SOURCE GROUP: ALL
 * FOR A TOTAL OF 304 RECEPTORS.
 * FORMAT: (3(1X,F13.5),3(1X,F8.2),3X,A5,2X,A8,2X,A5,5X,A8,2X,I8)

X	Y	AVERAGE CONC	ZELEV	ZHILL	ZFLAG	AVE	GRP	RANK	NET ID	DATE(CONC)
973939.00311	1002022.30832	589.54675	2165.00	0.00	0.00	24-HR	ALL	1ST		16080724
974939.00311	1002022.30832	1891.39267	2648.00	0.00	0.00	24-HR	ALL	1ST		16031524
975939.00311	1002022.30832	2762.69259	2601.00	0.00	0.00	24-HR	ALL	1ST		16031524
976939.00311	1002022.30832	1759.84155	2641.00	0.00	0.00	24-HR	ALL	1ST		16031524
977939.00311	1002022.30832	1832.96781	2565.00	0.00	0.00	24-HR	ALL	1ST		16100924
978939.00311	1002022.30832	1374.94308	2552.00	0.00	0.00	24-HR	ALL	1ST		16060624
979939.00311	1002022.30832	1097.52946	2528.00	0.00	0.00	24-HR	ALL	1ST		16040224
980939.00311	1002022.30832	1204.48388	2537.00	0.00	0.00	24-HR	ALL	1ST		16040224
981939.00311	1002022.30832	1272.14220	2544.00	0.00	0.00	24-HR	ALL	1ST		16040224
982939.00311	1002022.30832	1291.05429	2549.00	0.00	0.00	24-HR	ALL	1ST		16040224
983939.00311	1002022.30832	1316.35414	2548.00	0.00	0.00	24-HR	ALL	1ST		16050224
984939.00311	1002022.30832	1250.81854	2541.00	0.00	0.00	24-HR	ALL	1ST		16040224
985939.00311	1002022.30832	1217.40327	2542.00	0.00	0.00	24-HR	ALL	1ST		16040224
986939.00311	1002022.30832	1370.98189	2538.00	0.00	0.00	24-HR	ALL	1ST		16090824
987939.00311	1002022.30832	1901.96375	2545.00	0.00	0.00	24-HR	ALL	1ST		16090824
988939.00311	1002022.30832	1636.88315	2544.00	0.00	0.00	24-HR	ALL	1ST		16090824
989939.00311	1002022.30832	1177.81997	2554.00	0.00	0.00	24-HR	ALL	1ST		16111824
990939.00311	1002022.30832	913.96746	2551.00	0.00	0.00	24-HR	ALL	1ST		16040224
991939.00311	1002022.30832	1268.70315	2566.00	0.00	0.00	24-HR	ALL	1ST		16111824
973939.00311	1003022.30832	639.66596	2310.00	0.00	0.00	24-HR	ALL	1ST		16080724
974939.00311	1003022.30832	1203.51398	2667.00	0.00	0.00	24-HR	ALL	1ST		16031524
975939.00311	1003022.30832	2276.02682	2639.00	0.00	0.00	24-HR	ALL	1ST		16031524
976939.00311	1003022.30832	2812.42727	2616.00	0.00	0.00	24-HR	ALL	1ST		16031524
977939.00311	1003022.30832	1906.65555	2625.00	0.00	0.00	24-HR	ALL	1ST		16031524
978939.00311	1003022.30832	1310.75407	2537.00	0.00	0.00	24-HR	ALL	1ST		16040224
979939.00311	1003022.30832	1363.67684	2541.00	0.00	0.00	24-HR	ALL	1ST		16040224
980939.00311	1003022.30832	1397.76746	2538.00	0.00	0.00	24-HR	ALL	1ST		16040224
981939.00311	1003022.30832	1475.27378	2546.00	0.00	0.00	24-HR	ALL	1ST		16040224
982939.00311	1003022.30832	1510.88984	2545.00	0.00	0.00	24-HR	ALL	1ST		16040224
983939.00311	1003022.30832	1478.61266	2538.00	0.00	0.00	24-HR	ALL	1ST		16040224
984939.00311	1003022.30832	1442.14472	2538.00	0.00	0.00	24-HR	ALL	1ST		16040224
985939.00311	1003022.30832	1309.06959	2529.00	0.00	0.00	24-HR	ALL	1ST		16040224
986939.00311	1003022.30832	1634.20241	2525.00	0.00	0.00	24-HR	ALL	1ST		16090824
987939.00311	1003022.30832	2034.11765	2546.00	0.00	0.00	24-HR	ALL	1ST		16090824
988939.00311	1003022.30832	1371.61495	2536.00	0.00	0.00	24-HR	ALL	1ST		16090824
989939.00311	1003022.30832	970.20488	2523.00	0.00	0.00	24-HR	ALL	1ST		16040224
990939.00311	1003022.30832	981.80504	2551.00	0.00	0.00	24-HR	ALL	1ST		16040224
991939.00311	1003022.30832	875.43056	2552.00	0.00	0.00	24-HR	ALL	1ST		16040224
973939.00311	1004022.30832	1645.73905	2722.00	0.00	0.00	24-HR	ALL	1ST		16061724
974939.00311	1004022.30832	1633.56868	2631.00	0.00	0.00	24-HR	ALL	1ST		16061724
975939.00311	1004022.30832	1486.50512	2662.00	0.00	0.00	24-HR	ALL	1ST		16031524
976939.00311	1004022.30832	2395.38798	2655.00	0.00	0.00	24-HR	ALL	1ST		16031524
977939.00311	1004022.30832	3383.00392	2586.00	0.00	0.00	24-HR	ALL	1ST		16031524

Figura 14. Archivo de salida AERMOD concentración ($\mu\text{g}/\text{m}^3$). Fuente: AERMOD, 2019

11 Resultados y discusión

11.1 Aforo vehicular

El aforo realizado desde el 19 al 25 de noviembre de 2018 se encuentra en el anexo 2 consignado en este mismo documento. En la Figura 15 se aprecia el resumen del aforo vehicular realizado en Mosquera en las cuatro vías estudiadas dónde se evidencia que la vía Mosquera-Funza tiene la mayor densidad de vehículos durante el día con un 66%, seguida por la vía Panamericana con 18%, biblioteca 11% y por último Parque principal 5%, En la Tabla 4 se encuentra el número de vehículos por día en cada vía ; el parque principal tiene el menor número de carros en todas las categorías porque en esta vía existen 3 semáforos que impiden el flujo vehicular continuo.

Respecto al aforo vehicular de 12 horas por categoría (Tabla 5), se observa que los vehículos regulares son los más significativos en cada vía seguidos por las motocicletas (Figura 16). En la vía Parque principal y Biblioteca no hay presencia de vehículos pesados como doble troque y tractomulas debido a que estas vías son secundarias y solamente funcionan como comunicación entre cabeceras municipales.

*Tabla 4.
Distribución diaria vehicular por vía*

Vía	Número de vehículos
Parque principal	3435
Biblioteca	7919
Panamericana	12198
Mosquera-Funza	45929

Fuente: Autores, 2019

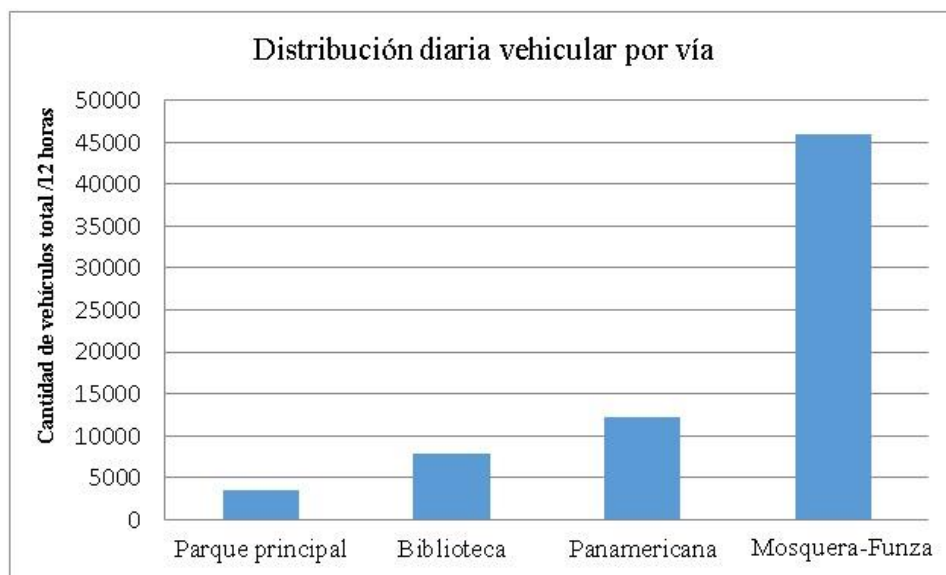


Figura 15. Distribución diaria vehicular por vía. Fuente: Autores, 2019

Tabla 5.
Distribución diaria vehicular por categoría.

Vías de muestreo	Tipo de vehículo								
	Vehículo regular	Vehículo mercancía	Motos	Bus	Mini Turbo	Turbo	Camión Sencillo	Doble troque	Tracto mulas
Parque principal	2785	211	2496	1971	181	187	81	0	0
Biblioteca	7075	354	2347	1731	221	369	101	0	0
Panamericana	10674	523	6366	2238	1060	3120	1243	777	1415
Mosquera-Funza	22019	1083	12304	3076	614	3334	1113	769	1617

Fuente: Autores, 2019

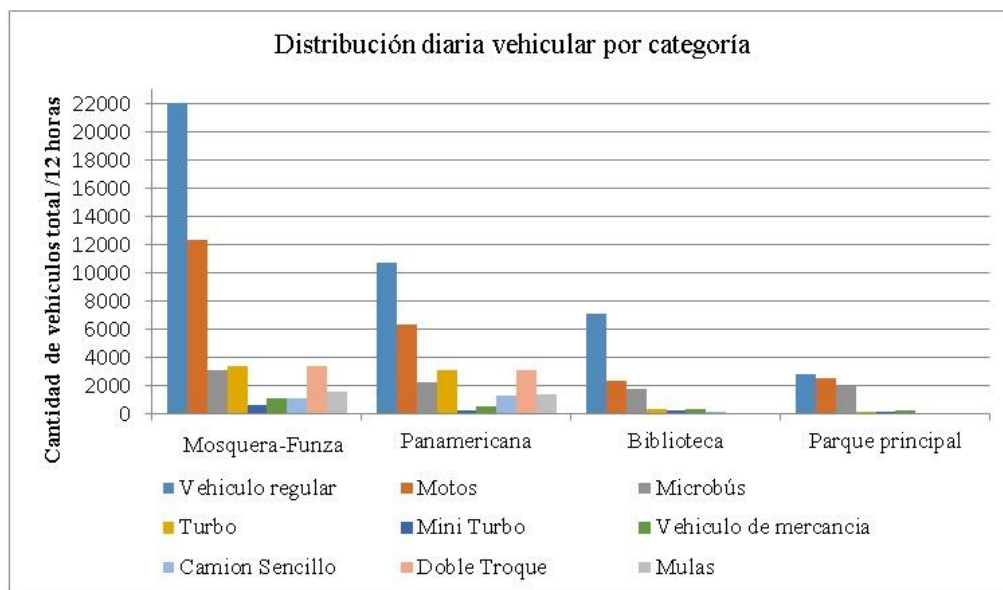


Figura 16. Distribución diaria vehicular por categoría. Fuente: Autores, 2019

11.2 Patrones de conducción

La velocidad, el estrés del motor y la potencia específica del motor juegan un papel importante en las emisiones de CO₂ debido a que son el principal factor diferencial entre cada una de las vías estudiadas, por esto es importante caracterizar cada uno de ellos.

11.2.1 Velocidad Promedio

La velocidad es el principal parámetro para determinar los patrones de conducción para cada categoría vehicular. Respecto a la velocidad promedio de la vía se evidencia que la vía con mayor velocidad es la vía Panamericana en todas las categorías vehiculares estudiadas principalmente las motocicletas 41,2 Km/h, la vía biblioteca presenta menores valores de velocidad entre 7-11 km/h (Figura 17).

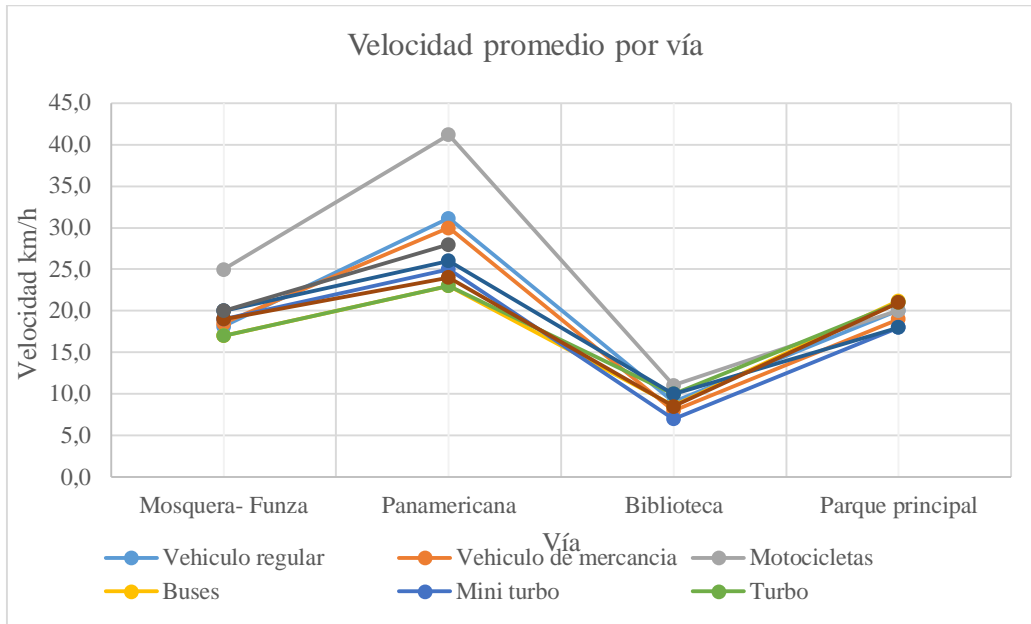


Figura 17. Velocidad promedio por categoría vehicular en cada vía (km/h). Fuente: Autores, 2019

La velocidad segundo a segundo es necesaria para calcular los VSP y de esta manera poder dividirlo en los 60 bins VSP y estrés del motor determinado por IVE. Se puede observar que en la vía panamericana la velocidad segundo a segundo tiende a aumentar mientras que en el la vía biblioteca disminuye gradualmente y se mantiene en valores inferiores a las demás vías como lo muestra la Figura 18.

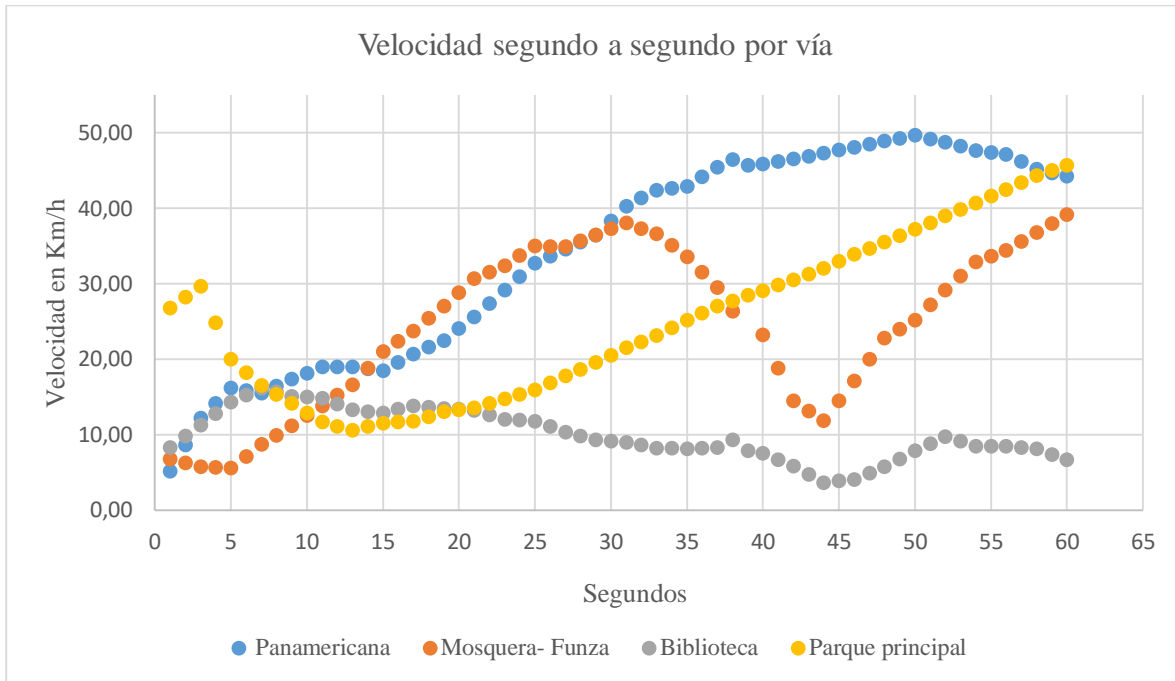


Figura 18. Velocidad segundo a segundo por vía (Km/h). Fuente: Autores, 2019

11.2.2 Potencia específica del motor

El comportamiento de la potencia específica del motor está relacionado con las características de conducción y la vía en la que se evaluara la potencia del vehículo. En el presente proyecto se evaluaron las potencias específicas promedio para cada vía con cada categoría vehicular. En la Figura 19- Figura 22 se muestra la potencia específica presentada por los vehículos regulares en cada vía, las variaciones según el tipo de vía se dan por la continuidad del flujo vehicular y velocidad promedio de cada vía. Las potencias específicas del motor negativas se dan por frenar o desacelerar el vehículo, sin necesidad de apagarlo, causados por cambios de vía, dar paso a un vehículo o peatón, reductores de velocidad, semáforos e intercepción de vías.

En la vía Mosquera-Funza (Figura 19) y la vía Panamericana (Figura 20) se presentan menos valores negativos de VSP debido a que se encuentran un flujo continuo durante el recorrido en comparación con la vía Biblioteca (Figura 21) donde se frena continuamente, la vía Parque

Principal presenta VSP tendientes a 0 (Figura 22), porque su flujo es discontinuo y se encuentra directamente afectado por 3 semáforos que causan que los vehículos frenen permanentemente.

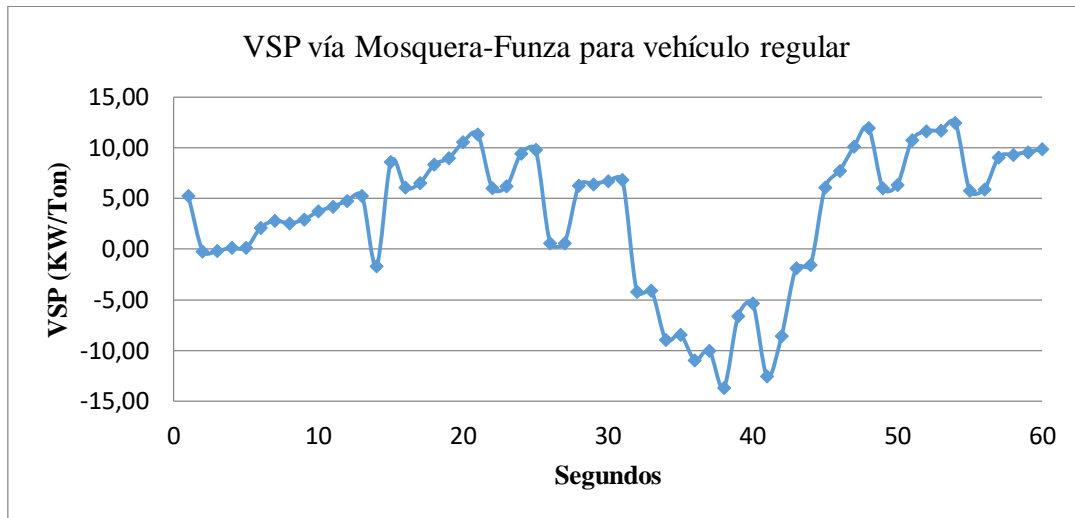


Figura 19. Distribución potencia específica del motor en la vía Mosquera-Funza para vehículo regular. Fuente Autores, 2019

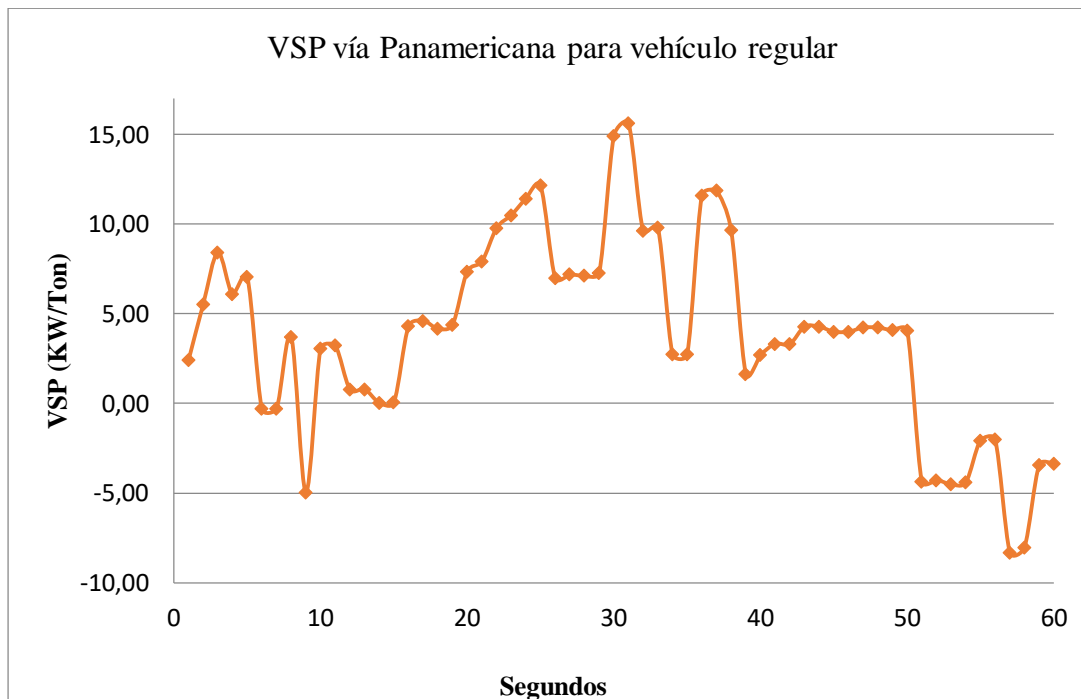


Figura 20. Distribución potencia específica del motor en la vía Panamericana para vehículo regular. Fuente Autores, 2019

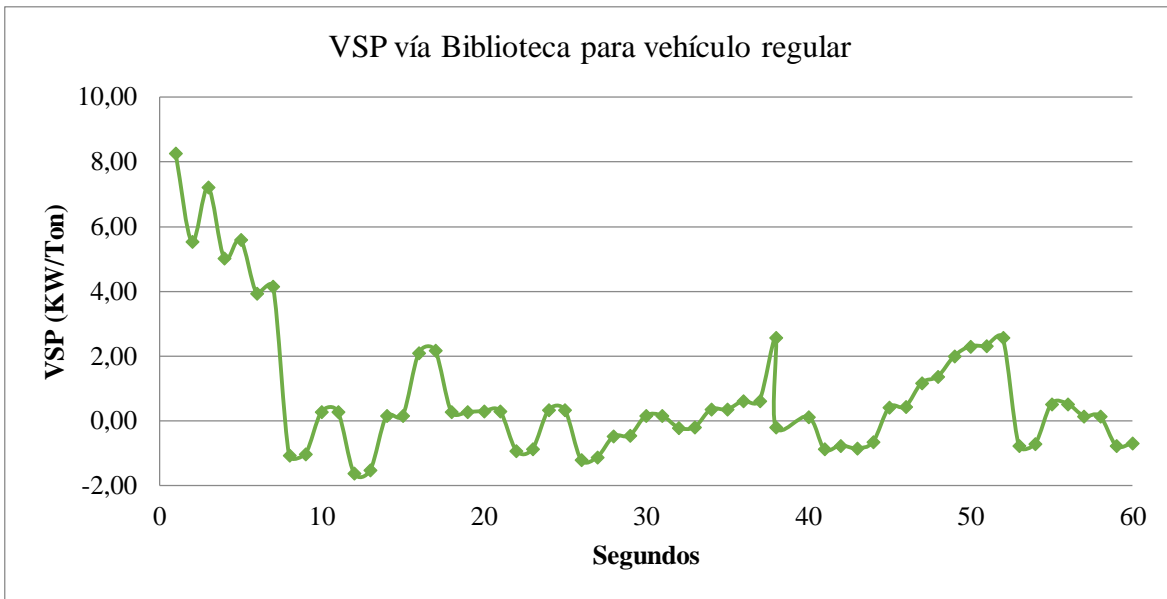


Figura 21. Distribución potencia específica del motor en la vía Biblioteca para vehículo regular. Fuente Autores, 2019

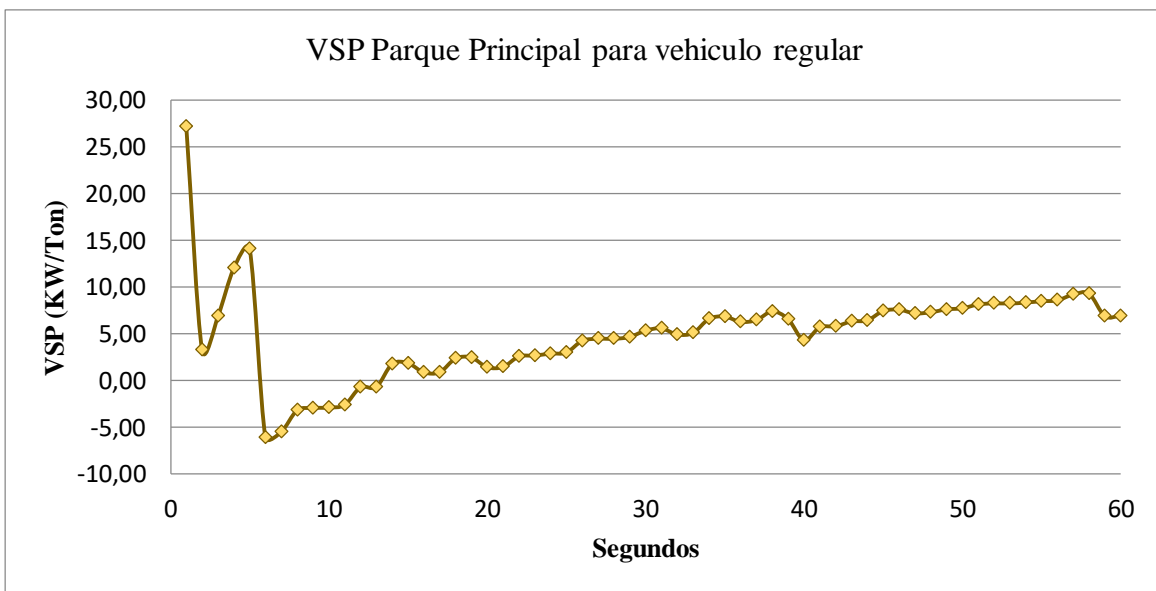


Figura 22. Distribución potencia específica del motor en la vía Parque Principal para vehículo regular. Fuente Autores, 2019

11.2.3 Estrés del motor

Los valores calculados del estrés del motor determinaron las condiciones a las cuales se enfrentó cada vehículo en la respectiva vía durante el recorrido (Tabla 6.) Se pudo observar que en las vías Mosquera-Funza, Panamericana y Parque principal el estrés del motor es medio, esto significa que el vehículo se encontró con una velocidad moderada y pequeños cambios de aceleración en los últimos 20 segundos de funcionamiento durante el recorrido y las RPM son moderadas. En cambio en la vía de biblioteca se observó que el estrés del motor es bajo, es decir, estos vehículos se enfrentaron a velocidades bajas y aceleraciones en el recorrido con RPM bajas (International Sustainable Systems Research Center, 2008).

*Tabla 6.
Estrés del motor por vía*

Vías	Estrés del motor	Carga
Mosquera-Funza	3.1- 7.7	Media
Panamericana	3.1- 7.8	Media
Biblioteca	-1.6 -3,1	Baja
Parque Principal	3.1 -7.7	Media

Fuente: Autores, 2019

Finalmente, con los VSP calculados y el estrés del motor se determina los bins correspondientes segundo a segundo. Donde se corrobora según el significado para cada bin determinado por el modelo IVE (Tabla 7) que los bins resultantes eran correspondientes con la potencia específica y el estrés del motor para cada vía.

Tabla 7.
Significado de Bines de VSP

Rango	Potencia	Comportamiento
1-11	Negativa	Desaceleración, pendientes negativas
12	0 o baja	Ralentí
13-20	Positiva	Aceleración, pendientes positivas

Fuente: Adaptado de Manual IVE model 2.0

11.3 Estimación de emisiones atmosféricas vehiculares con el modelo internacional de emisiones vehiculares (IVE).

Las emisiones totales de CO₂ para el municipio de Mosquera son de 434.302,53 Kg/día, teniendo un mayor aporte de emisiones la vía de Mosquera-Funza con 294.222,77 Kg/día (68%), Panamericana 117.386,42 Kg/día (27%), Biblioteca con 17110,62 Kg/día (4%) y por último el que genera menor porcentaje de emisiones es el Parque principal con 5582,72 Kg/día (1%) (Tabla 8). Las diferencias de emisiones entre las vías se deben principalmente a la cantidad de vehículos que transitan por cada una, además de la velocidad, distancia y tipo de vehículo. Cabe resaltar que como se nombró anteriormente la potencia específica del motor y el estrés del motor juegan un papel importante en las emisiones de CO₂, debido a que dependiendo de los valores de VPS y número de partidas cada vía estudiada mantendrá un comportamiento totalmente diferente a las demás vías y con ello su aporte de CO₂ al municipio será significativo.

Tabla 8.
Concentración Kg/día por vía

Vía estudiada	Concentración (kg/día)
Mosquera-Funza	294222,77
Panamericana	117386,42
Parque Principal	5582,72
Biblioteca	17110,62

Fuente: Autores, 2019

11.3.1 Emisiones de CO₂ en la Vía Mosquera-Funza

El aporte de emisiones de CO₂ para la vía Mosquera-Funza nos indica que el mayor porcentaje de CO₂ es generado por los vehículos regulares con un 55%, turbo 18%, doble troque 7%, Motocicletas 6%, bus y camión sencillo 4% y vehículo de mercancía 1%, esto se debe a que esta vía es el acceso principal desde la Capital hasta Funza donde se encuentra el mayor porcentaje de industrias (Figura 23). Los vehículos regulares utilizan como combustible gasolina, es allí donde se generan las emisiones de CO₂ en la quema del combustible; en comparación con los vehículos pesados estos generaran un mayor porcentaje de emisiones, sin embargo, la cantidad de vehículos regulares que transitan por esta vía es el determinante para que las emisiones de vehículos regulares sean representativas para esta vía.

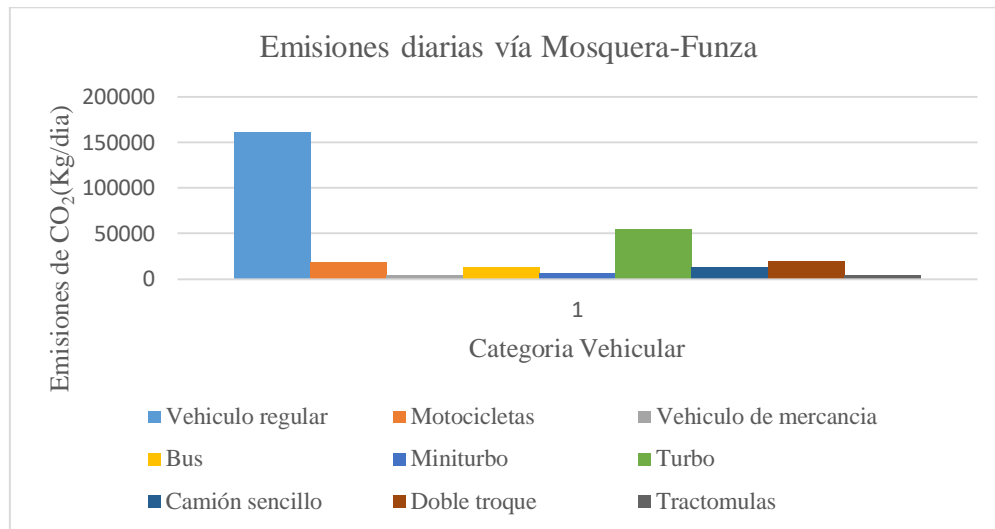


Figura 23. Emisiones diarias de CO₂ vía Mosquera-Funza. Fuente: Autores, 2019

Las emisiones de CO₂ en la vía Mosquera-Funza son las más significativas en este proyecto, debido a que esta genera un mayor porcentaje de emisiones en todo el municipio. La concentración Kg/hora para cada una de las vías determina las horas en que la flota vehicular genera la mayor cantidad de emisiones y es directamente proporcional a la diferencia entre las horas pico y las horas valle.

En la Figura 24 se muestra la concentración de CO₂ por cada hora en la vía estudiada, se puede observar que las horas pico en esta vía es a las 12:00 pm y a las 5:00 pm, es allí donde se generan las mayores emisiones de CO₂ porque se genera un flujo discontinuo y una desaceleración por la cantidad de vehículos que pasan a esa hora (Anexo 3).

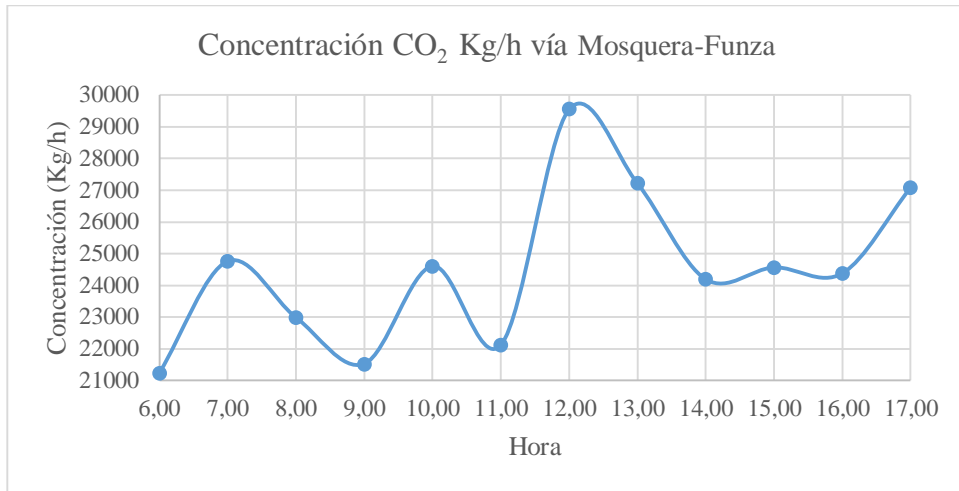


Figura 24. Concentración de CO₂ horaria de la vía Mosquera- Funza. Fuente: Autores, 2019

11.3.2 Emisiones de CO₂ en por la Vía Panamericana

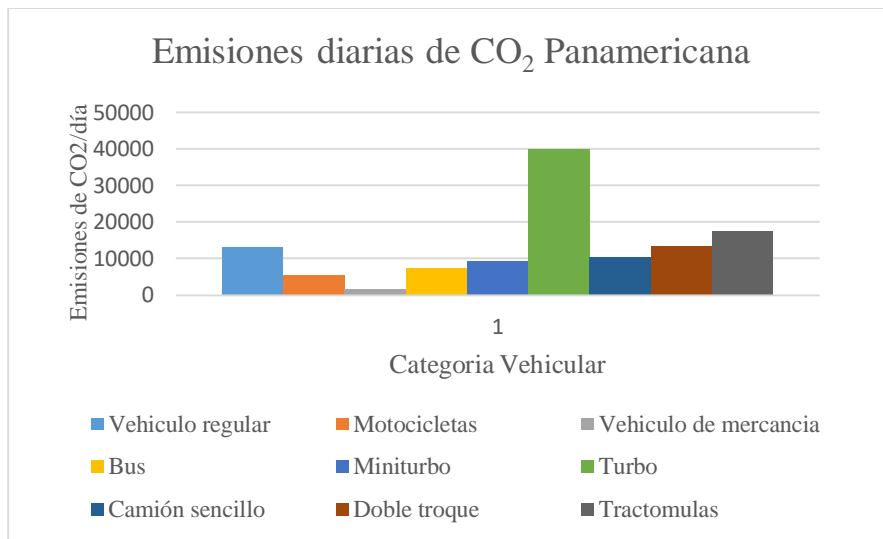


Figura 25. Emisiones diarias de CO₂ por categoría vehicular vía Panamericana. Fuente: Autores, 2019

En la Figura 25 se evidencia el aporte de CO₂ para la vía Panamericana donde representa un mayor porcentaje para vehículos Turbo y tractomulas, debido a que la vía panamericana es una vía que comunica a grandes ciudades de Colombia con su ciudad principal que es Bogotá,

llevando bienes y servicios como combustible, agua, alimentos, provisiones, entre otros. Además, hablando en términos específicos de vehículos pesados estos requieren de una mayor energía para funcionar, es decir, a mayor potencia y mayor peso, el consumo de combustible es mayor y las emisiones de CO₂ incrementan. En cuanto a los patrones de conducción esta vía no presenta mayores variaciones de velocidad, lo que genera que los vehículos tengan bajos niveles de estrés del motor.

La vía Panamericana presenta mayores concentraciones de CO₂ en las denominadas horas pico, como se muestra en la Figura 26 donde a las 7:00 am, 12:00 pm y 13:00 se encuentran concentraciones de 12140 Kg/h, 10763 Kg/h y 10823 kg/h respectivamente.

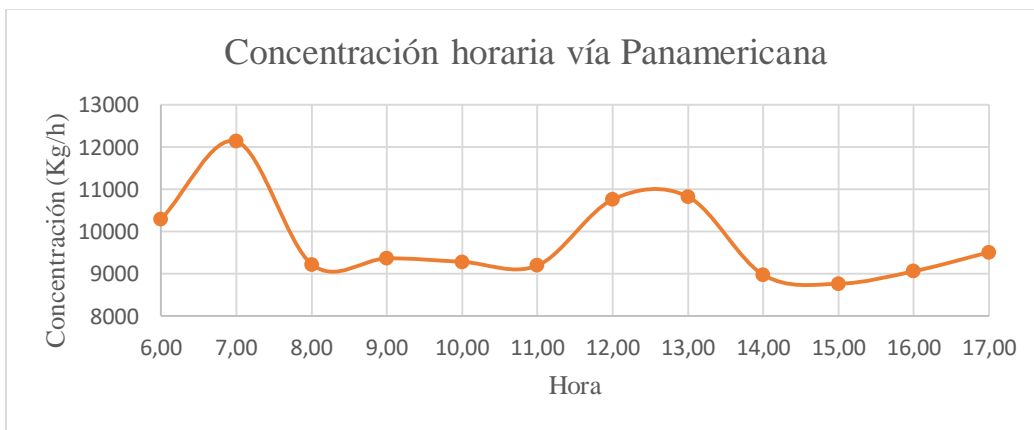


Figura 26. Concentración horaria de emisiones de CO₂ vía Panamericana. Fuente: Autores, 2019

11.3.3 Emisiones de CO₂ en la Vía Biblioteca

En la vía Biblioteca el mayor aporte de emisiones proviene de los vehículos regulares, buses y Turbo (Figura 27), esto se debe a que por ser una vía secundaria es usada principalmente para

transitar dentro del municipio, además de ser la vía que comunica los barrios con el centro del municipio.

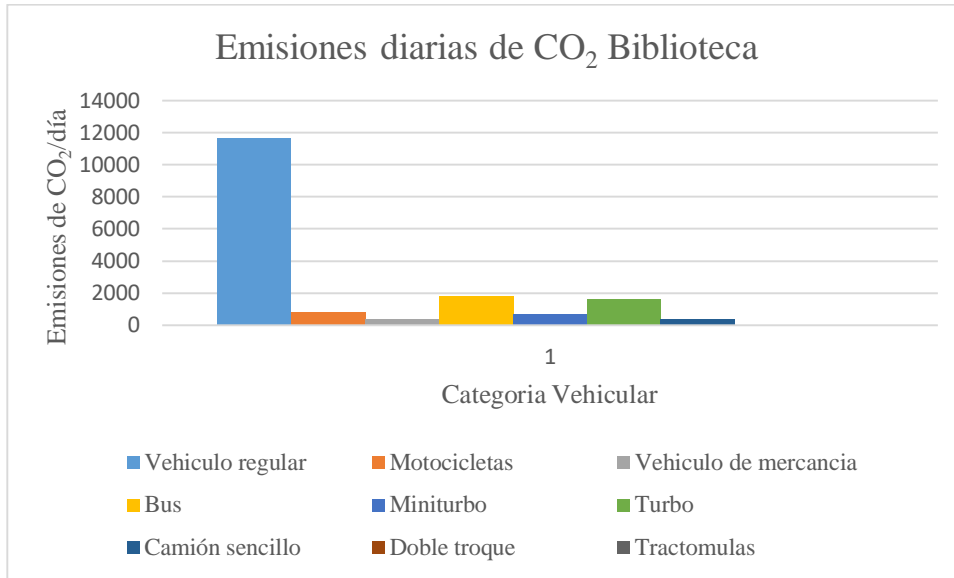


Figura 27. Emisiones diarias de CO₂ por categoría vehicular vía Biblioteca. Fuente: Autores, 2019

Esta vía no presenta variabilidad entre las horas pico y las horas valle, debido a que en el transcurso del día se mantiene con flujo vehicular continuo, generando un mayor estrés del motor para cada una de las categorías vehiculares. Las menores concentraciones de CO₂ son a las 8:00am y 14:00 con emisiones de 981kg/h y 1051 kg/h respectivamente (Figura 28), debido a que en estas horas generalmente no se presenta congestión en la vía.

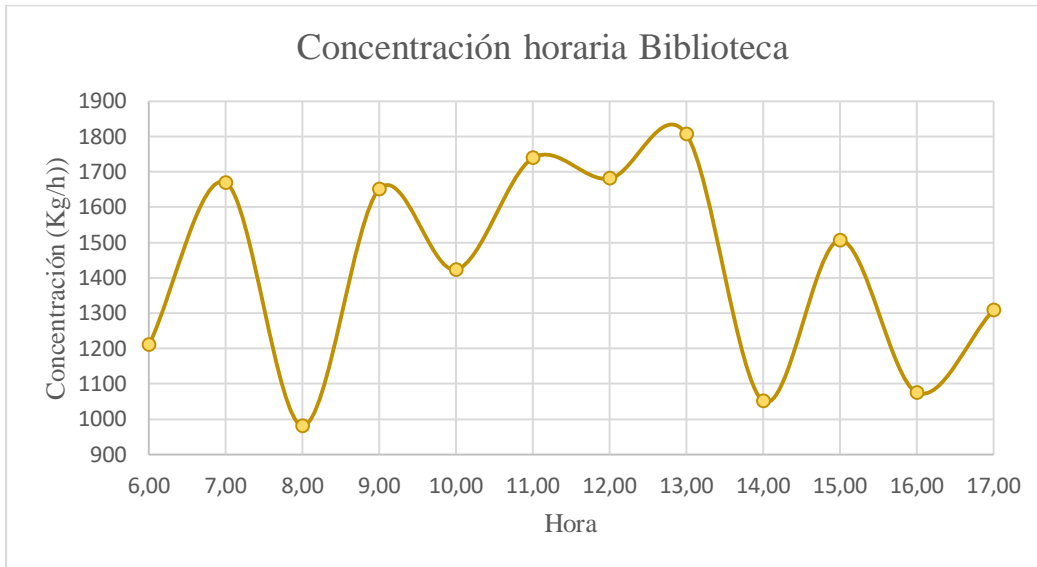


Figura 28. Concentración horaria de CO₂ vía Biblioteca. Fuente: Autores, 2019

11.3.4 Emisiones de CO₂ en la Vía Parque Principal

La vía parque principal presenta un comportamiento similar a la vía Biblioteca a excepción de las motocicletas (Figura 29) que sus emisiones son más significativas en esta vía. Adicionalmente, presenta las menores emisiones de CO₂ de todo el municipio esto se debe principalmente a que se encuentran 3 semáforos que reducen la cantidad de vehículos que pasan por esta vía.

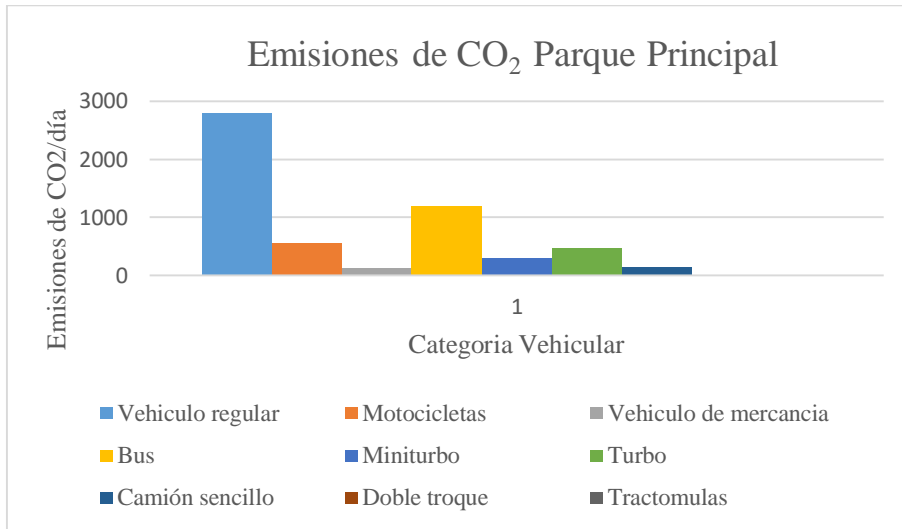


Figura 29. Emisiones de CO₂ diario por categoría vehicular. Fuente: Autores, 2019

Al ser la zona central del municipio la vía parque principal presenta las mayores congestiones viales en los horarios de oficina y escolares (Figura 30) ocasionando el aumento y disminución de las emisiones de CO₂ sea proporcional a las horas pico y horas valle.

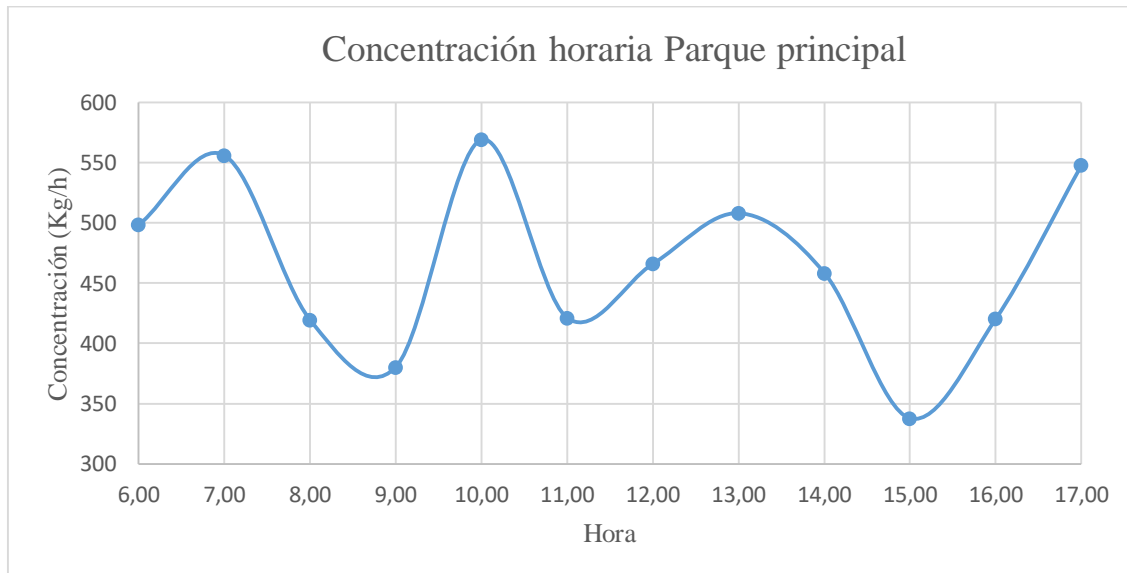


Figura 30. Concentración horaria de CO₂ para la vía Parque Principal. Fuente: Autores, 2019

11.4 Modelo de dispersión de CO₂ en el municipio de Mosquera

La modelación de dispersión por medio de AERMOD, requiere un archivo meteorológico, donde la temperatura es un factor importante en la dispersión. En Mosquera la temperatura promedio diaria oscila entre 10 °C y 16 °C (Figura 31), teniendo una temperatura media de 12 °C. El valor máximo se encuentra a las 13:00 horas, esto indica que a esta hora la dispersión de CO₂ se facilita debido a valores altos de temperatura, contrario a lo que sucede en horas de la mañana donde la temperatura es menor ocasionando concentraciones mayores y una menor dispersión. El comportamiento del CO₂ en el municipio de Mosquera se observa en los mapas de dispersión horaria (Figura 33 -Figura 44). La fuente de emisión presenta niveles menores de CO₂ pero se observa gran dispersión de este contaminante afectando a los municipios de Madrid y Funza.

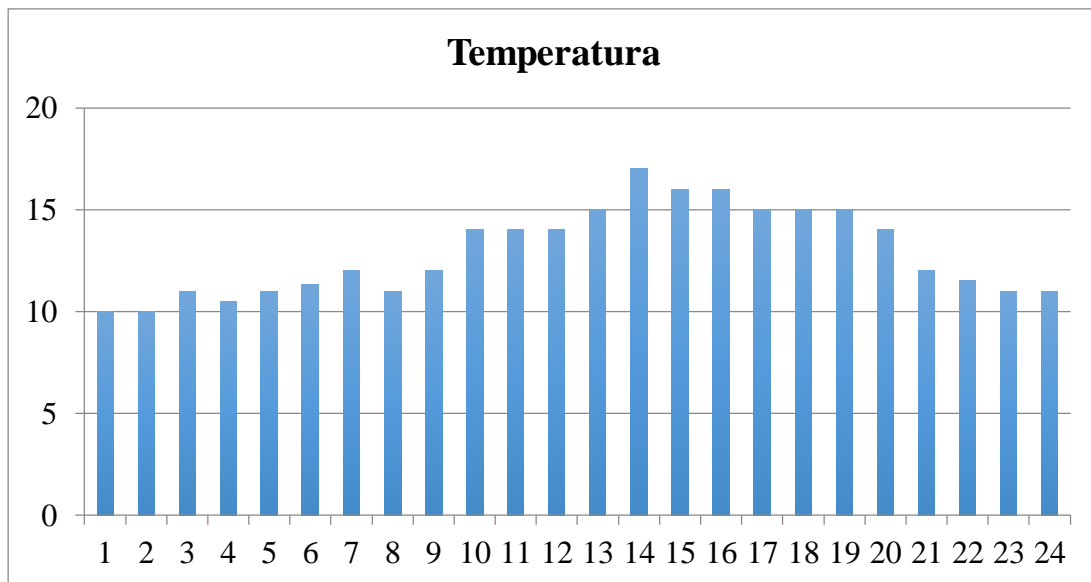


Figura 31. Temperatura promedio horaria. Fuente: Autores, 2019

La velocidad del viento promedio es de 3,1 m/s demostrando la predominación de brisas suaves según la Escala de velocidad del viento Beaufort, el valor máximo de velocidad del viento es con de 3,6 m/s reportado a las 6:00 de la mañana y valores mínimo de 2,1 m/s reportados de

7:00 a 10:00 am (Figura 32). Estas brisas suaves determinan que a menores velocidades del viento la acumulación de CO₂ es mayor.

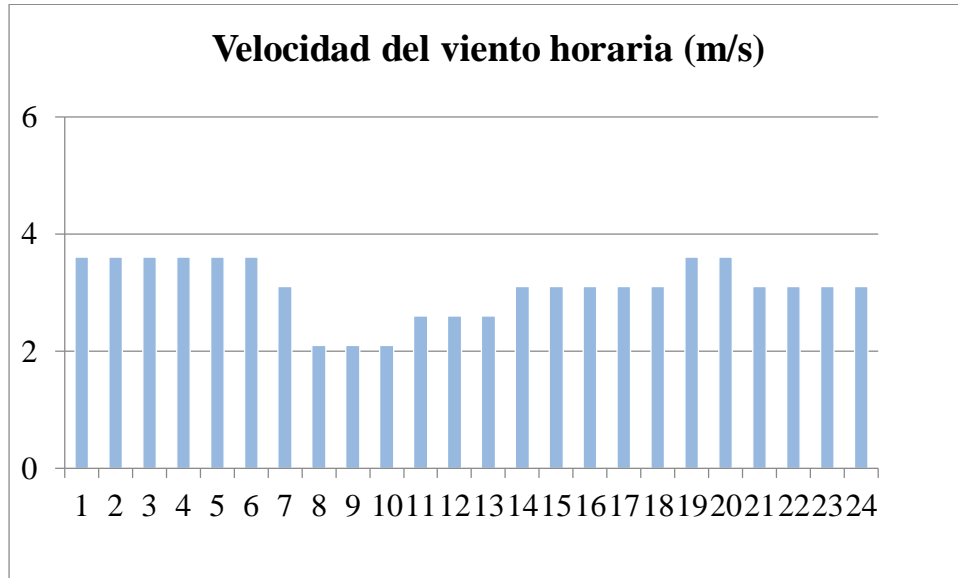


Figura 32. Velocidad promedio horaria. Fuente: Autores, 2019

Al norte de Mosquera, sobre el municipio de Funza se encuentran los puntos neurálgicos de concentración, esto está determinado por la dirección del viento donde el comportamiento es en dirección noreste (NE) lo que conlleva a que la dispersión se genere hacia los municipios de Funza y Madrid.

En la Figura 33 se muestra la dispersión de 6:00 a 7:00 donde se tiene una concentración máxima de 27600.3 µg/m³, valor máximo similar al reportado a las 14:00, 15:00, 16:00 y 17:00 horas (Figura 42- Figura 44).

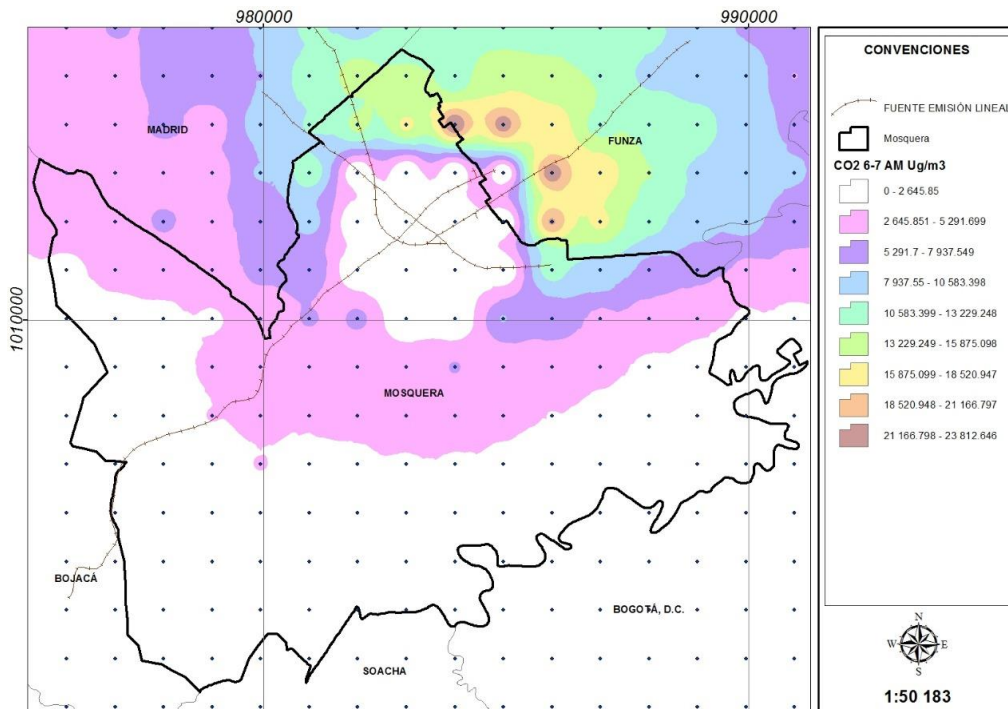


Figura 33. Dispersión CO₂ 6:00-7:00 para el municipio de Mosquera. Fuente: Autores, 2019.

Las modelaciones horarias de la dispersión del CO₂ no presentan variación significativa durante el día a excepción de las 7:00 am (Figura 34) donde el mínimo de concentración de CO₂ es de 14326 µg/m³ y presentan el máximo 5117525 µg/m³, este máximo de concentración es ocasionado porque la dispersión es menor causando acumulación de CO₂ teniendo en cuenta que la dispersión es directamente proporcional a la temperatura promedio en este mismo periodo de tiempo identificado como hora pico en cada una de las vías.

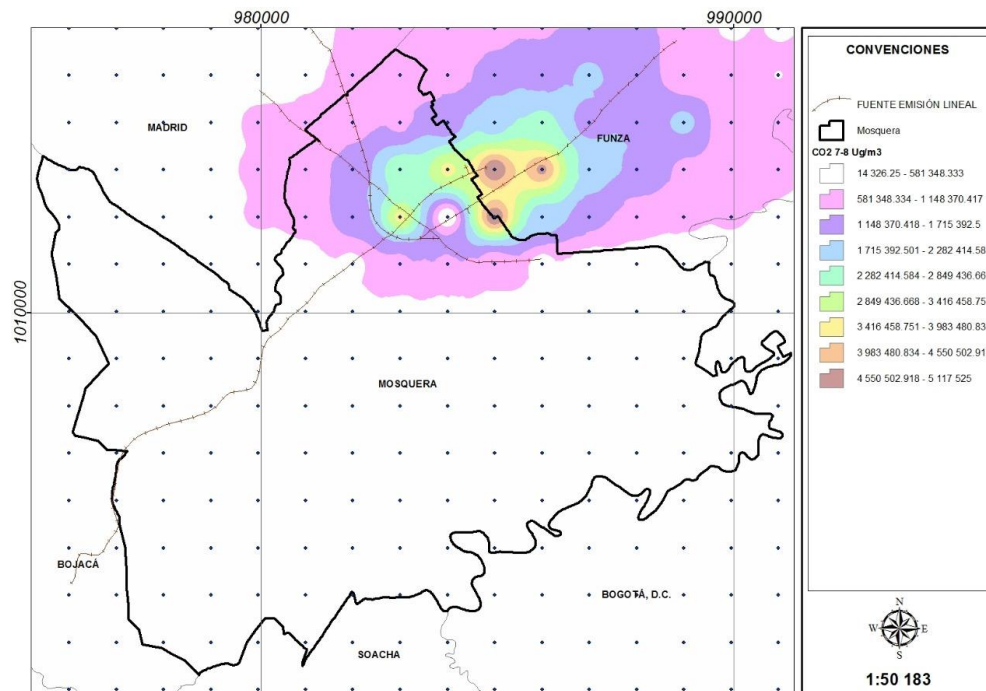


Figura 34. *Dispersión CO₂ 7:00-8:00 para el municipio de Mosquera. Fuente: Autores, 2019.*

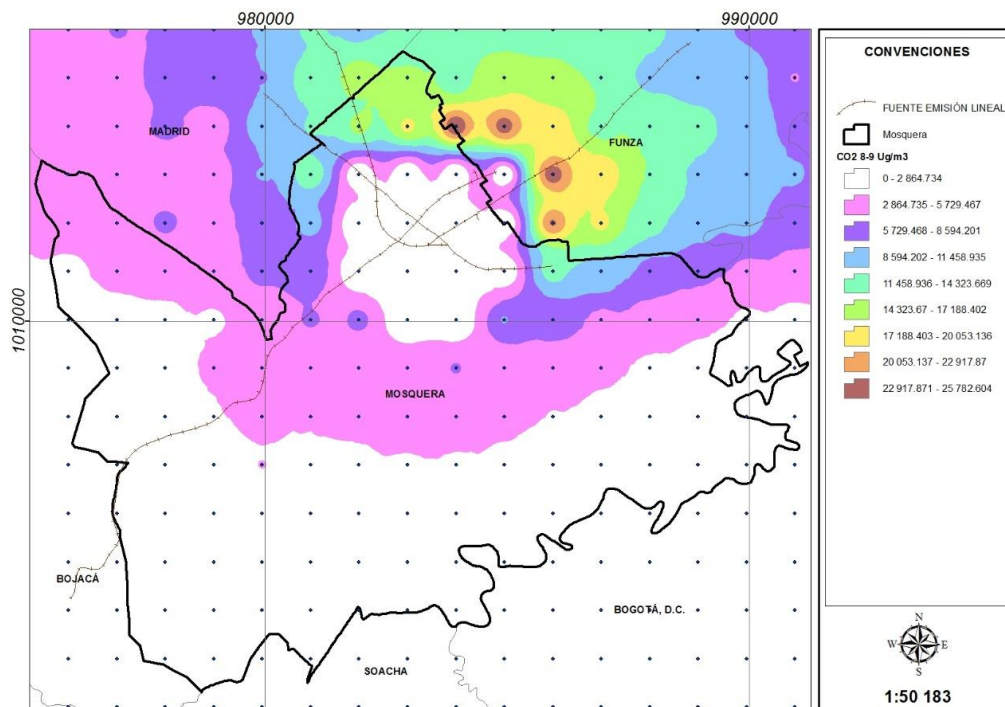


Figura 35. *Dispersión CO₂ 8:00-9:00 para el municipio de Mosquera. Fuente: Autores, 2019.*

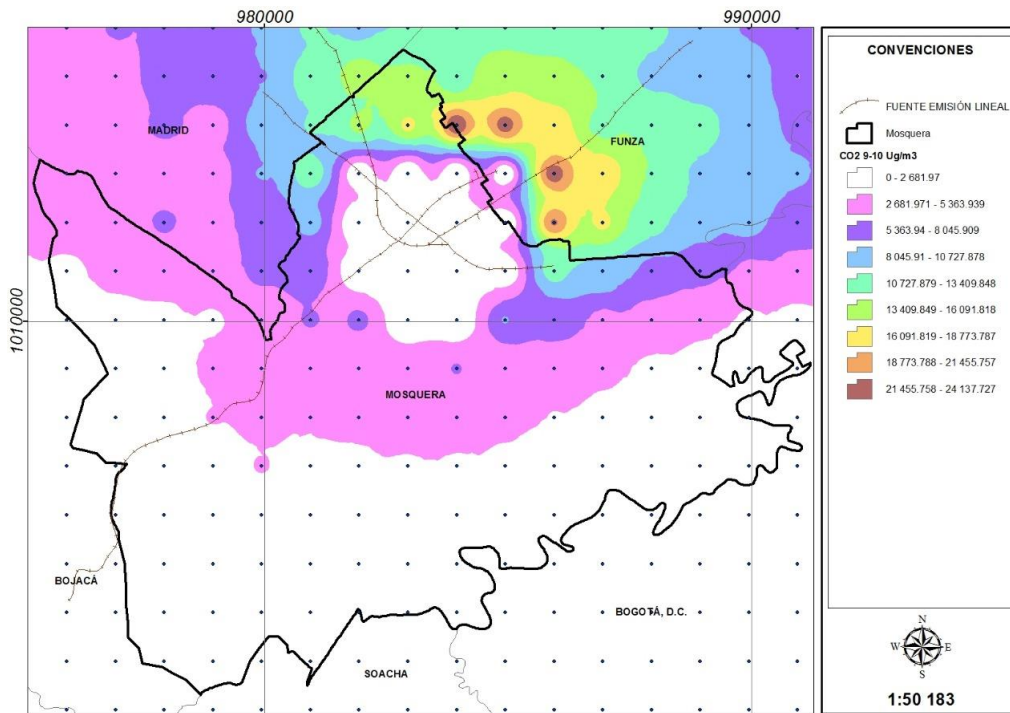


Figura 36. *Dispersión CO₂ 9:00-10:00 para el municipio de Mosquera. Fuente: Autores, 2019.*

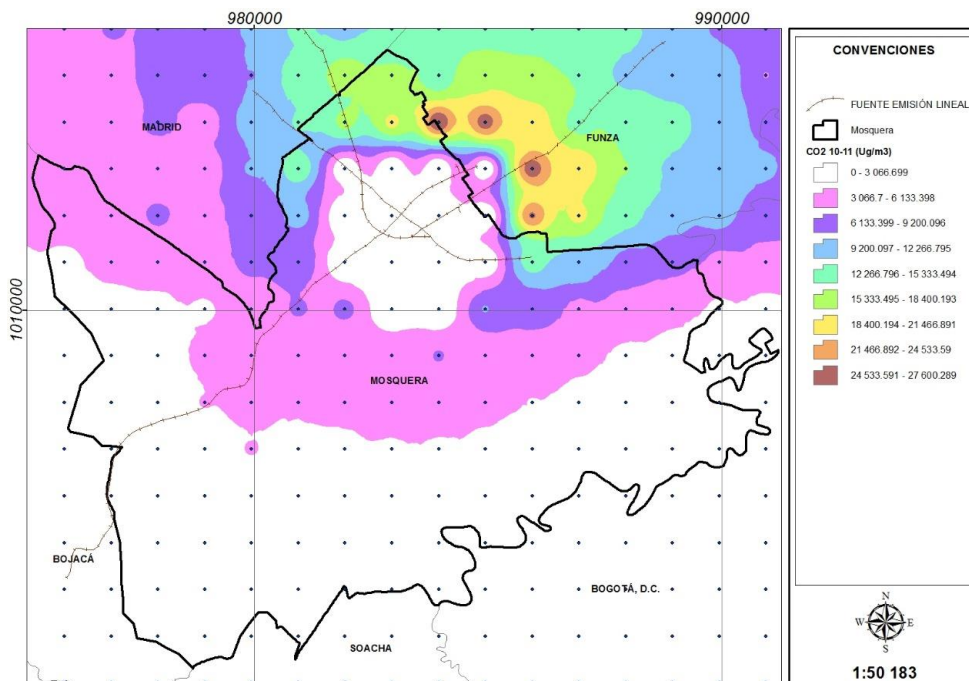


Figura 37. *Dispersión CO₂ 10:00-11:00 para el municipio de Mosquera. Fuente: Autores, 2019.*

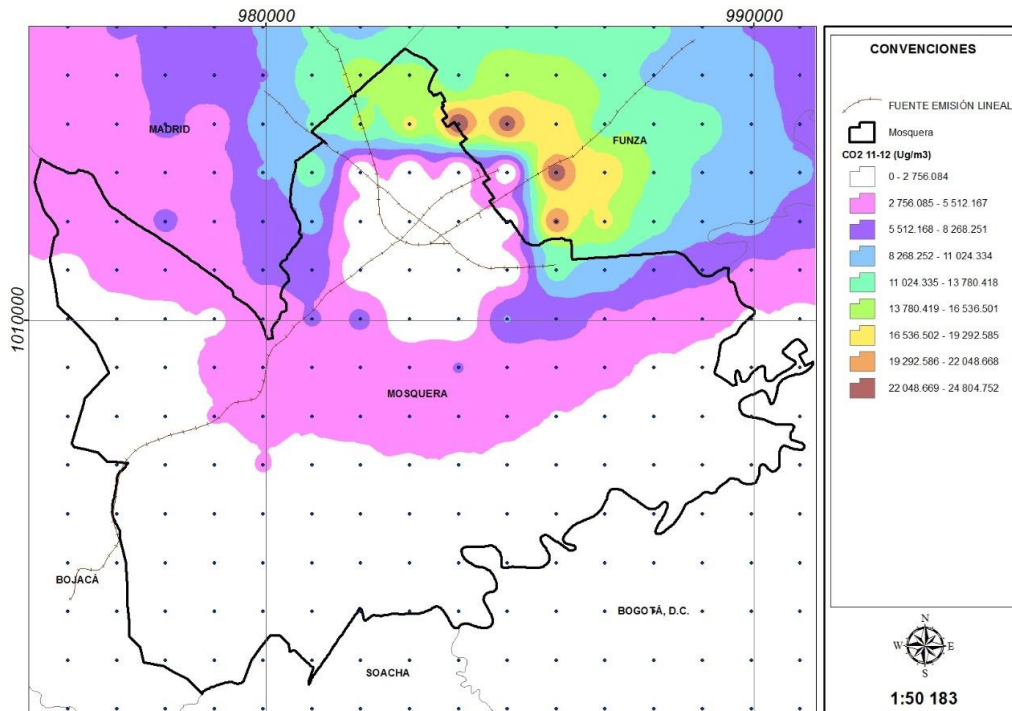


Figura 38. Dispersión CO₂ 11:00-12:00 para el municipio de Mosquera. Fuente: Autores, 2019.

Para las 12:00, 13:00 y 17:00 horas consideradas pico, se encuentran valores más altos que los reportados en las horas valle, factor congruente con el comportamiento horario analizado en cada una de las vías debido a que a pesar de presentar una mayor temperatura la velocidad del viento es menor y no se permite una buena dispersión.

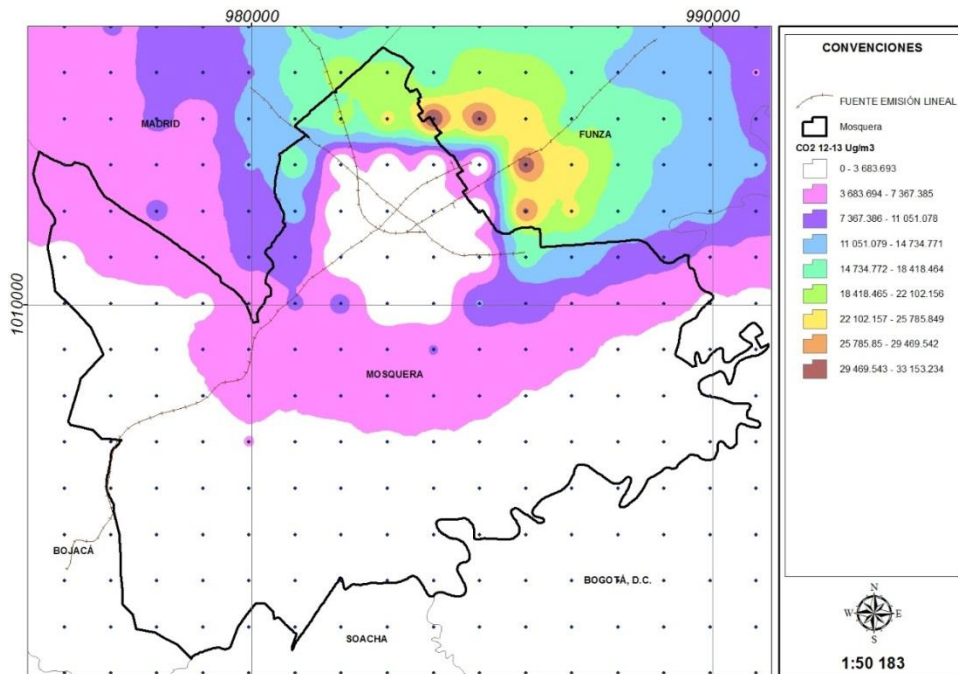


Figura 39. Dispersión CO₂ 12:00-13:00 para el municipio de Mosquera. Fuente: Autores, 2019

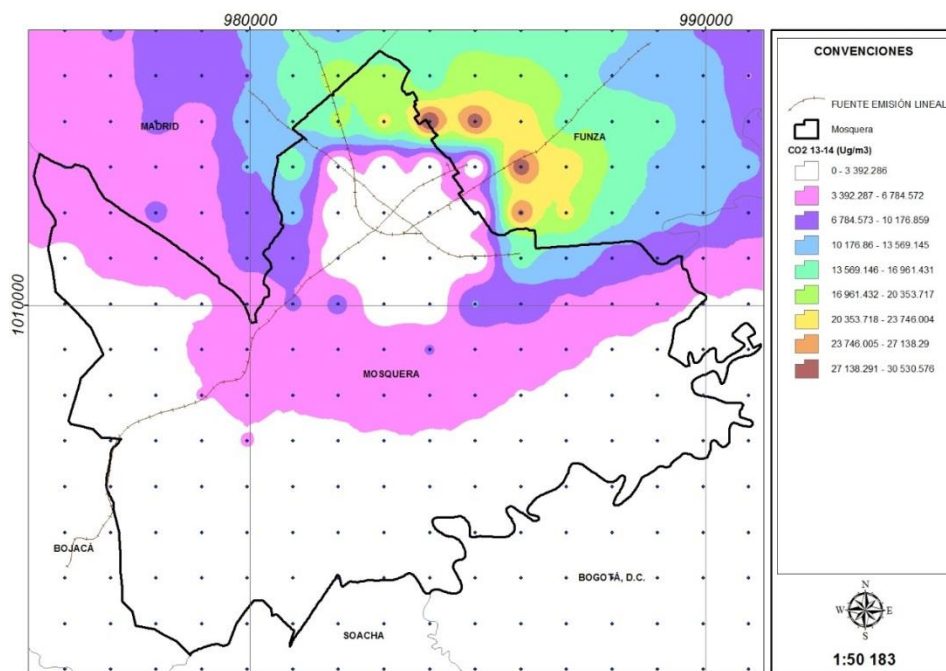


Figura 40. Dispersión CO₂ 13:00-14:00 para el municipio de Mosquera. Fuente: Autores, 2019.

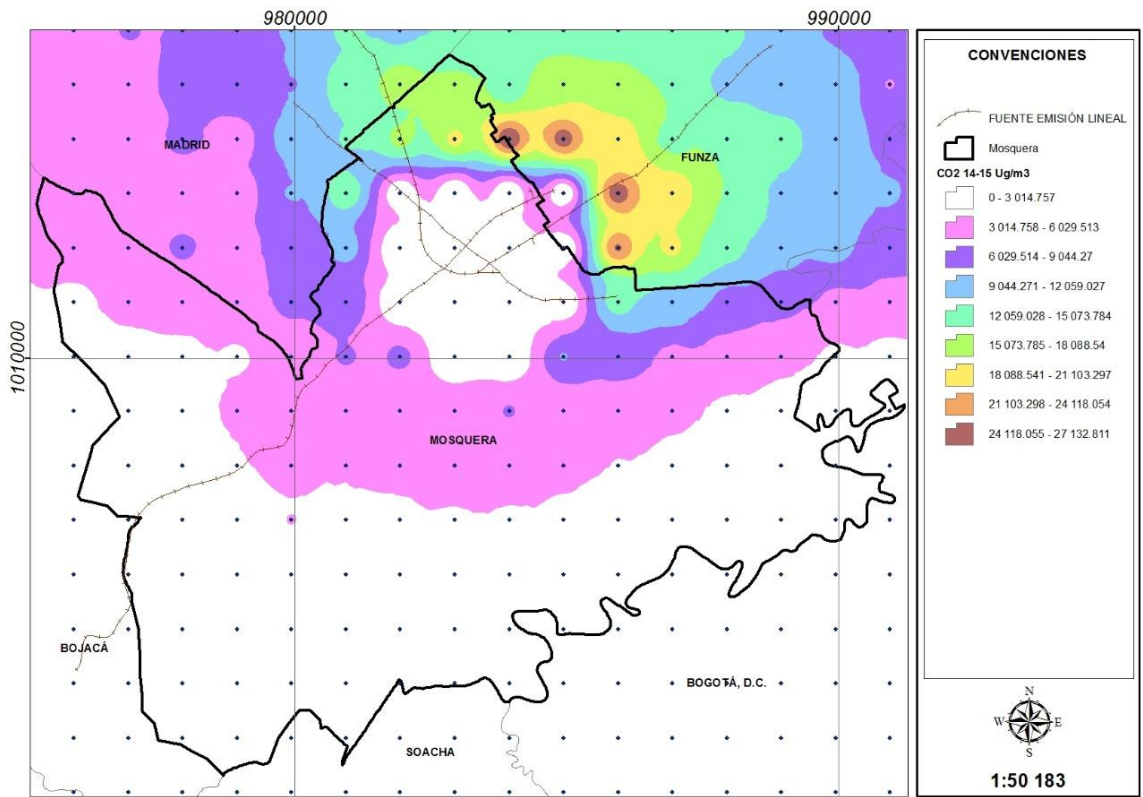


Figura 41. Dispersión CO₂ 14:00-15:00 para el municipio de Mosquera. Fuente: Autores, 2019.

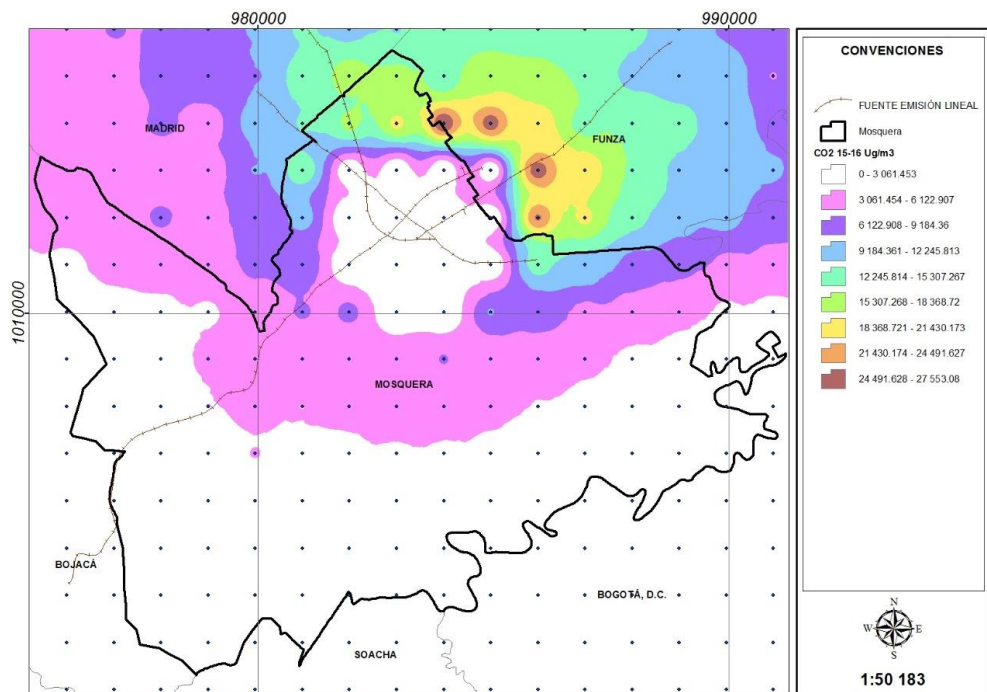


Figura 42. Dispersión CO₂ 15:00-16:00 para el municipio de Mosquera. Fuente: Autores, 2019.

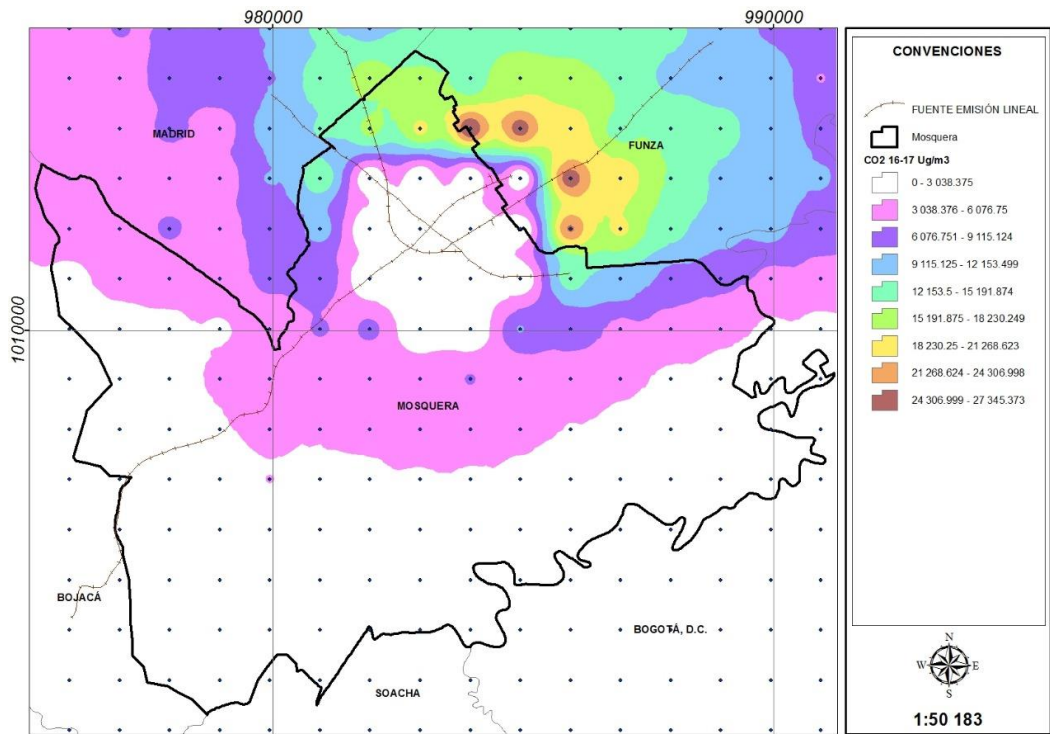


Figura 43. Dispersión CO₂ 16:00-17:00 para el municipio de Mosquera. Fuente: Autores, 2019.

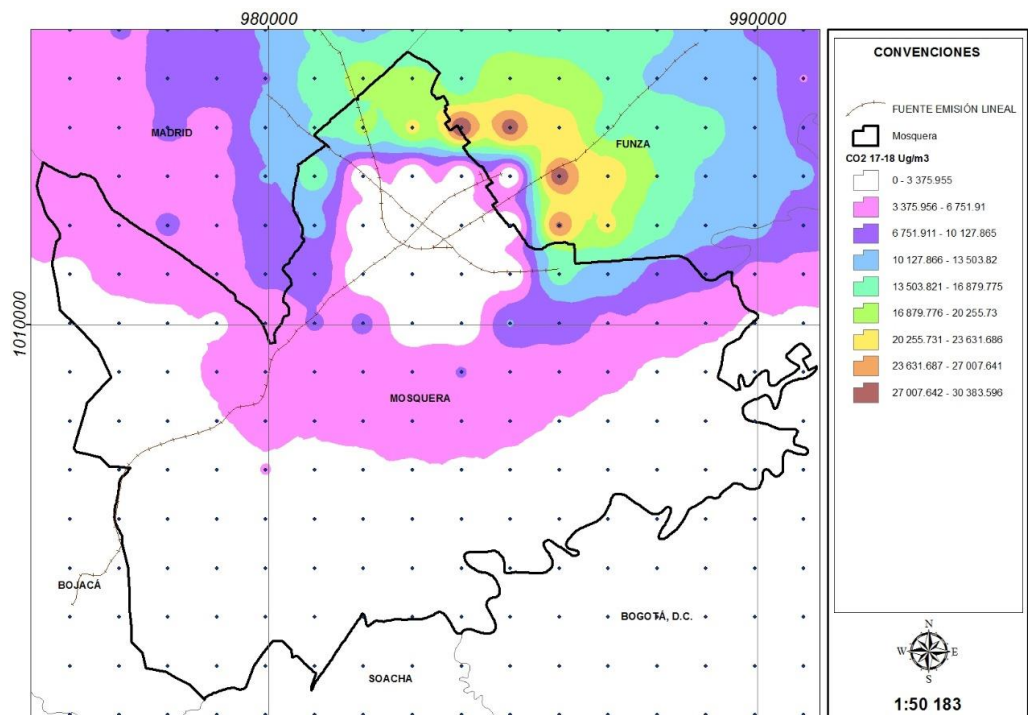


Figura 44. Dispersión CO₂ 17:00-18:00 para el municipio de Mosquera. Fuente: Autores, 2019

12 Conclusiones

Las emisiones diarias totales en el municipio de Mosquera son de 434.302,53 Kg/día, donde la vía Mosquera-Funza aporta el 67,75% de las emisiones totales, vía Panamericana 27,03%, Biblioteca 3,94 % y Parque principal 1,29%.

Los vehículos que generan más emisiones de CO₂ son los doble troque, tractomulas y turbo, a pesar de esto los vehículos regulares se presentan en mayor cantidad en cada una de las vías generando en conjunto mayores cantidades de CO₂.

Es importante resaltar que las emisiones no dependen únicamente de la categoría del vehículo sino también de la potencia del motor y del estrés. Por esto se encuentran diferentes emisiones entre las vías, debido al flujo vehicular de cada vía.

La vía biblioteca genera niveles altos de estrés del motor y emisión de CO₂, sin embargo al presentar menor cantidad de vehículos en comparación con las demás vías, no presenta como significativas estas emisiones.

Gracias al análisis de la dispersión de las emisiones de CO₂, se logró determinar los puntos donde estas emisiones generan un mayor impacto y como son distribuidas en el municipio, sabiendo que su mayor dispersión de emisiones están dirigidas hacia el municipio de Funza y Madrid.

De acuerdo con las horas de mayor producción de emisiones de CO₂, se relacionan proporcionalmente con los periodos de mayor flujo vehicular correspondientes generalmente a las 7:00, 12:00, 13:00 y 17:00.

Al analizar las características de conducción de cada una de las vías se determinó que la vía biblioteca tiene problemas de movilidad que genera que el flujo vehicular sea discontinuo, con velocidades bajas y diferentes aceleraciones, estos comportamientos influyen en una mayor emisión de CO₂.

13 Recomendaciones

Es importante la implementación de bases de datos por parte de la secretaria de tránsito de Mosquera, donde la información sobre vehículos que circulan dentro del municipio esté disponible para ser consultada y poder comparar estos valores con los obtenidos por medio de aforos vehiculares.

Se recomienda realizar la validación de las emisiones atmosféricas por medio de dispositivos a bordo y/o analizadores de gases.

Es importante realizar inventarios posteriores para generar información progresiva sobre las emisiones de CO₂ y otros contaminantes con el fin de mitigar la contaminación atmosférica.

El modelo IVE requiere de factores de emisión por localidad, los factores de Emisión para la ciudad de Bogotá se encuentran disponibles en el modelo pero, generar factores de emisión para Mosquera permitiría tener valores más acertados de emisiones contaminantes.

Este trabajo puede ser usado como referente para investigaciones futuras así como guía para la elaboración de inventarios con el modelo IVE debido a que no se encuentran metodologías sencillas para este modelo.

14 Referencias













- Baquero, A. osorio, & Gonzalez, M. alejandra. (2016). Inventario de emisiones de mercurio en fuentes fijas en la dirección regional sabana centro, según la jurisdicción de la corporación autónoma regional de cundinamarca (CAR). Tesis de pregrado. Facultad de ingeniería, Universidad de la Salle, Bogotá D.C, Colombia.
- Calla, L., Durandal, & Luján, M., Pérez, (2018). Inventario de emisiones de fuentes móviles con una distribución espacial y temporal para el área metropolitana de Cochabamba, Bolivia. *Acta Nova*, 8(3), 322–353. doi: http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1683-07892018000100005&lng=es&nrm=iso&tlng=
- Carmona, L., Aparicio, G., Rincón, M., Pérez, A., Castillo, A., Robles, M., Galvis, B., Remolina, R., Sáenz, H., Pulido, E., Manrique, R., Forero, A., & Pachón, J., Quinche, E. (2016). Conciliación de inventarios top-down y bottom-up de emisiones de fuentes móviles en Bogotá, Colombia. *Revista Tecnura*, 20(49), 59. Doi: <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2016.3.a04>
- Castro, P., Peña, C., & Escobar, M., Wiston, L. (2006). Estimación de las emisiones contaminantes por fuentes móviles a nivel nacional y formulación de lineamientos técnicos para el ajuste de las normas de emisión. Tesis de pregrado. Facultad de Ingeniería Ambiental y Sanitaria, Universidad de la salle, Bogotá D.C, Colombia.
- Dávila, C., Pinzón, P., (2015). Desagregación espaciotemporal del inventario de emisiones de contaminantes atmosféricos por fuentes fijas y móviles en Cundinamarca. Tesis de maestría. Facultad de ingeniería, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá D.C, Colombia.
- Giraldo, L., Amaya, A.,(2005). Estimacion del inventario de emisiones de fuentes moviles para la ciudad de bogotá e identificación de variables . Tesis de pregrado. Facultad de Ingeniería, Universidad de los Andes, Bogotá D.C, Colombia.
- Granada, L., & Cabrera., B., (2007). Estimación de las emisiones de fuentes móviles utilizando el Mobile 6 en Cali- Colombia. AVANCES investigación en Ingeniería.
- León Aristizabal, G. E., & Benavides Ballesteros, H. O. (2004). *Instituto de Hidrología, Metereología y Estudios Ambientales*. Bogotá D.C : IDEAM
- Londoño, J., Correa, M. A., & Palacio, C. A. (2011). Estimación de las emisiones de contaminantes atmosféricos provenientes de fuentes móviles en el área urbana de Envigado, Colombia. *Revista EIA.*, (16), 149–162. doi: [ww.redalyc.org/pdf/1492/Resumenes/Resumen_149222630011_1.pdf](http://www.redalyc.org/pdf/1492/Resumenes/Resumen_149222630011_1.pdf)
- Martinez, E., Lopez , & Morales O., Romero, A., Marin, A., (2004). Estado del arte sobre los estudios de calidad del aire en el Valle de Aburrá.
- Mosquera, (Septiembre de 2018). *Ficha estadística*. Obtenido de Dirección de prospectiva y evaluación .
- POT. (2000). *Plan de ordenamiento territorial Mosquera*.
- Quiñones, L. (2012). Evaluación de los inventarios de emisiones de fuentes móviles de Bogotá

mediante datos de la Red de Calidad de Aire, 107.

- Prieto, E., Soto, 2017. Inventario de atmosféricas del Valle de Aburrá, Universidad Pontificia Bolivariana. Disponible en: https://www.epm.com.co/site/Portals/2/ESTUDIOS%20GNV/Informe_Inventario_emisiones_2015.pdf?ver=2018-05-08-161950-497, consultado: enero de 2018.
- Quiñones, L., Cantor (2012). Evaluación de los inventarios de emisiones de fuentes móviles de Bogotá mediante datos de la Red de Calidad de Aire. Tesis de Maestría. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá D.C, Colombia.
- Rojas, N., Roa Y., Dávila, C., Pinzón, P., & Rojas, A., Perez, L., (2015). Estimated emissions from mobile sources section road Bogota-Facatativa. *Revista Epsilon* (21)., 157- 173.
- Silva, A., & Arcos, D. (2011). Aplicación del programa AERMOD para modelar dispersión de PM10 emitido por equipos de calefacción a leña en la ciudad de Constitución. *Obras y Proyectos*, (9), 4–10. Doi: [://doi.org/10.4067/S0718](https://doi.org/10.4067/S0718).
- Tyler, N., Acevedo, J., Bocarejo, J., & Velasquez, J. (2013). Caracterización de la contaminación atmosférica en Colombia. Universidad de Los Andes, 35.
- Vélez, C. E. (2016). *Aproximación a un inventario de emisiones para buses de transporte público urbano en la ciudad de Cartagena, Colombia*. Bolivar. Cartagena: Universidad tecnológica de Bolivar.
- Zuluaga, C., & Parra, J. (2010). Estudio de la dispersión de contaminantes atmosféricos en la jurisdicción de cornare: informe general, (173), 1–19.

15 Anexos

Anexo 1. Formulario de registro de autos

UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA FORMULARIO DE REGISTRO DE VEHÍCULOS			
			
<i>Punto de muestreo:</i> <i>Contador:</i> <i>Fecha:</i> <i>Hora:</i>			
Tipo	Descripción gráfica	Conteo	Total
Vehículo regular			
Vehículo transporte de mercancía			
Motocicletas			
Microbus			
Miniturbo (comida)			
Turbo			
Camión sencillo			
Doble troque			
Micromula			
Tractomula			
Tractomula pesada			

Anexo 2. Aforo vehicular del 19 al 25 de noviembre del 2018

2.2 Vía Parque principal

Tipo de vehículo	Número de vehículos por hora											
	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00
Vehículo regular	198	203	242	282	262	257	218	201	233	215	216	259
V. de mercancía	14	17	21	25	22	22	17	17	19	9	20	8
Motocicletas	210	211	201	159	246	203	182	194	241	162	241	245
Microbús	178	190	191	190	195	146	162	159	162	123	125	152
Mini turbo	3	11	18	16	19	19	18	27	13	9	13	15
Turbo	12	18	10	16	42	11	8	14	13	19	9	16
Camión Sencillo	10	17	2	3	13	9	9	6	6	4	0	2
Doble troque	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tractomula	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

2.2 Vía Biblioteca

Tipo de vehículo	Número de vehículos por hora											
	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00
Vehículo regular	470	626	564	625	519	660	640	702	671	572	585	440
V. de mercancía	30	27	36	29	31	30	31	23	32	31	33	21
Motocicletas	227	249	219	168	186	213	187	231	171	181	173	142
Bus	128	147	149	136	147	162	151	149	149	153	141	119
Miniturbo	15	23	22	24	24	13	20	20	22	18	10	11
Turbo	7	29	41	45	33	47	35	38	30	26	26	13
Camión Sencillo	6	13	14	7	7	9	7	5	9	9	9	7
Doble troque	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tractomula	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

2.3 Vía Panamericana

Tipo de vehículo	Número de vehículos por día											
	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00
Vehículo regular	840	836	909	939	889	892	939	850	930	875	933	814
V. de mercancía	18	25	53	62	42	37	46	42	45	67	45	42
Motocicletas	644	560	491	537	474	473	477	507	511	495	594	603
Bus	195	191	186	190	182	182	182	182	186	194	199	170
Miniturbo	90	91	85	94	95	99	99	83	87	69	89	79
Turbo	269	280	263	268	250	238	282	274	261	255	251	230
Camión Sencillo	99	101	104	106	120	127	109	113	91	89	91	93
Doble troque	56	58	69	65	66	70	61	74	62	65	65	67
Tractomula	113	117	115	113	126	138	129	132	114	102	111	106

2.4 Vía Mosquera-Funza

Tipo de vehículo	Número de vehículos por día											
	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00
Vehículo regular	1407	1919	1579	1401	1721	1593	2021	1997	2167	2087	2166	1962
V. de mercancía	64	62	86	105	102	97	73	84	86	125	101	98
Motocicletas	1899	1762	923	721	764	610	852	855	837	936	967	1179
Bus	321	324	259	185	249	199	235	249	228	307	265	256
Miniturbo	35	27	46	74	53	61	65	69	55	33	39	57
Turbo	211	175	307	352	343	304	295	234	271	299	273	270
Camión Sencillo	34	73	162	127	120	111	93	73	80	79	81	81
Doble troque	1	17	97	85	125	92	92	65	54	57	51	31
Tractomula	13	28	187	169	197	152	165	105	121	161	182	137

Anexo 3. Concentración (Kg/hora) emisiones de CO₂ por vía.

Panamericana	Concentración (kg/hora)
06:00 a.m.	10300,12
07:00 a.m.	12140,13
08:00 a.m.	9222,06
09:00 a.m.	9362,43
10:00 a.m.	9280,36
11:00 a.m.	9195,78
12:00 p.m.	10763,1
13:00 p.m.	10823,59
14:00 p.m.	8969,93
15:00 p.m.	8760,36
16:00 p.m.	9058,15
17:00 p.m.	9510,41

Mosquera-Funza	Concentración (kg/hora)
06:00 a.m.	21230,32
07:00 a.m.	24761,13
08:00 a.m.	22986,7
09:00 a.m.	21520,2
10:00 a.m.	24607,22
11:00 a.m.	22114,88
12:00 p.m.	29558,08
13:00 p.m.	27219,79
14:00 p.m.	24190,48
15:00 p.m.	24565,23
16:00 p.m.	24380,01
17:00 p.m.	27088,73

Parque principal	Concentración (kg/hora)
06:00 a.m.	498,35
07:00 a.m.	556,17
08:00 a.m.	419,24
09:00 a.m.	380,28
10:00 a.m.	569,26
11:00 a.m.	421,02
12:00 p.m.	466,07
13:00 p.m.	508,12
14:00 p.m.	458,42
15:00 p.m.	337,51
16:00 p.m.	420,25
17:00 p.m.	548,03

Biblioteca	Concentración (kg/hora)
06:00 a.m.	1210,65
07:00 a.m.	1669,95
08:00 a.m.	981,59
09:00 a.m.	1652,32
10:00 a.m.	1424,02
11:00 a.m.	1739,82
12:00 p.m.	1681,53
13:00 p.m.	1807,22
14:00 p.m.	1051,52
15:00 p.m.	1507,3
16:00 p.m.	1075,99
17:00 p.m.	1308,71

