

**ESTIMACIÓN DE EMISIONES CONTAMINANTES ATMOSFÉRICAS
PROVENIENTES DE FUENTES MÓVILES POR TRANSPORTE PÚBLICO
URBANO DE LAS CUATRO EMPRESAS PÚBLICAS, DEL MUNICIPIO DE
POPAYAN.**



FUNDACIÓN
UNIVERSITARIA DE POPAYÁN

**Karol Geraldine Muñoz Ordoñez
Lisbeth Alejandra Buitrón Ledezma**

**FUNDACIÓN UNIVERSITARIA DE POPAYÁN
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES
PROGRAMA DE ECOLOGIA
POPAYAN
2021**

**ESTIMACIÓN DE EMISIONES CONTAMINANTES ATMOSFÉRICAS
PROVENIENTES DE FUENTES MÓVILES POR TRANSPORTE PÚBLICO
URBANO DE LAS CUATRO EMPRESAS PÚBLICAS, DEL MUNICIPIO DE
POPAYAN.**

**Karol Geraldine Muñoz Ordoñez
Lisbeth Alejandra Buitrón Ledezma**

Trabajo de grado para adoptar el “título de Ecólogo”

DIRECTOR

Ing. Ángela María Montaña Fuentes

**FUNDACIÓN UNIVERSITARIA DE POPAYÁN
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES
PROGRAMA DE ECOLOGIA
POPAYAN
2021**

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCION.....	12
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	13
2.1 HIPÓTESIS	14
3. OBJETIVOS.....	15
3.1 OBJETIVO GENERAL	15
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
4. JUSTIFICACION.....	16
5. MARCO TEORICO.....	18
6. MARCO CONCEPTUAL	21
7. MARCO NORMATIVO	24
8. ESTADO DEL ARTE.	27
9. ANTECEDENTES.	29
10. MARCO METODOLOGICO.	32
10.1 Área de estudio	32
10.2 MATERIALES Y MÉTODOS.....	33
10.2.1 Información base.	33
Tabla 4. Información de las cuatro empresas	33
Tabla 5. Datos meteorológicos	33
10.2.2. Identificación de Vías con Mayor Tránsito Vehicular.	33
10.2.3 Actividad vehicular	34
10.2.4. Estimación de emisiones	34
10.2.5 Factores De Emisión.....	37
10.3 Tratamientos De Datos.....	37
10.4 Análisis De Distribución De La Emisiones Por Medio De La Implementación De SIG.....	38
10.5 Planteamiento de estrategias ecológicas	38
11. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	40
11.1. Estimación de carga contaminante producida por el transporte público urbano.....	40
11.1.2 Identificación de puntos críticos de emisiones provenientes de fuentes móviles, en la zona urbana del municipio de Popayán.	42

11.1.3. Variables Ambientales Para La Estimación De Contaminantes Por Medio Del Modelo IVE	49
11.1.4 Aplicación Del Modelo IVE Para Los Puntos Críticos.	50
11.2 Elaboración De Mapas De Distribución Espacial De Los Contaminantes Atmosféricos	61
11.3 ESTRATEGIAS DESDE LA ECOLOGÍA URBANA PARA LA GESTION DEL RECURSO AIRE.....	67
11.3.1. Lineamientos generales identificadas desde la ecología urbana, aplicables al área de estudio.....	67
11.3.2 Aplicación de medidas según cada punto crítico.	69
12. CONCLUSIONES	72
13. RECOMENDACIONES	74
14. BIBLIOGRAFIA	76
15. ANEXOS	83

Lista de tablas

Tabla 1. Normatividad de calidad de aire	249
Tabla 2. Normas de calidad de aire y emisiones atmosféricas.....	20
Tabla 3. Matriz de Marco Lógico.....	315
Tabla 4. Información de las cuatro empresas	337
Tabla 5. Datos meteorológicos	337
Tabla 6. Información referente a los puntos críticos.	435
Tabla 7. Datos para determinar la pendiente.....	445
Tabla 8. Datos de las rutas de la empresa Sotracauca Metro	457
Tabla 9. Datos de las rutas de la empresa Rapido Tambo.....	38
Tabla 10. Datos de las rutas de la empresa de transporte transpubenza.....	39
Tabla 11. Datos de las Rutas Translibertad.....	48
Tabla 12. Datos Meteorológicos de la ciudad de Popayán del año 2019.	491
Tabla 13. Valores calculados para la implementación del modelo.....	42
Tabla 14. Resultados número 1 de los contaminantes criterio empleados con el modelo IVE.....	44

Tabla 15. Comparación de resultados del estudio realizado en Envigado, 2011 y resultados obtenidos para este estudio.....	46
Tabla 16. Datos del total del número de rutas que transitan por cada punto	47
Tabla 17. Resultado número 2 de contaminantes criterio empleados en el modelo IVE.....	48
Tabla 18. Rangos para determinar los contaminantes criterio.....	52
Tabla 19. Aplicación de medida según cada punto crítico.....	61

Lista de Mapas

Mapa 1. Ubicación del Municipio de Popayán (Área de estudio).	32
Mapa 2. Puntos críticos escogidos.....	456
Mapa 3. Rutas Sotracauca Mettro.....	467
Mapa 4. Rutas de Rápido Tambo.....	478
Mapa 5. Rutas Translibertad	489
Mapa 6. Rutas Translibertad	40
Mapa 7 Emisiones de contaminante por transporte público en Popayán.....	53
Mapa 8. Dispersión del contaminante Óxido de nitrógeno (NOx).....	54
Mapa 9. Dispersión del contaminante Monóxido de carbono (Co).....	55
Mapa 10. Dispersión del contaminante Material particulado (PM).....	56
Mapa 11. Dispersión del contaminante Óxidos de Azufre (SOx).....	57

Lista de gráficas e imágenes

Grafica 1. Número de vehículos y modelos de las cuatro empresas de transporte público.....	32
Grafica 2. Rutas autorizadas y hora de entrada y salida de las cuatro empresas de transporte público	33
Grafica 3. Óxidos de Nitrógeno.....	43
Grafica 4. Monóxido de carbono	44
Grafica 5. Material Particulados.....	44
Grafica 6. Compuestos Orgánicos volátiles.....	45
Grafica 7. Dióxido de Azufre.....	45
Grafica 8. Óxidos de Nitrógeno.....	49
Grafica 9. Monóxido de carbono.....	49
Grafica 10. Compuestos orgánicos volátiles.....	50
Grafica 11. Dióxidos de Azufre.....	50
Grafica 12. Material particulado.....	51

Imagen 1. Pestaña Calculo del modelo IVE.....	28
Imagen 2. Pestaña Flota del modelo IVE.....	29
Imagen 3. Pestaña localidad del modelo IVE.....	29
Imagen 4. Visualización de los recorridos de las rutas por ampliación App MOOVID.....	34



PROGRAMA DE ECOLOGÍA

ACTA DE EVALUACIÓN INTEGRAL DE PROYECTO DE GRADO

En Popayán a los 19 días del mes de octubre de 2021, se reunió en esta Sede el Jurado Evaluador, integrado por:

CARLOS ANDRES DURAN y **JULIETH ALEXANDRA CHACÓN**, para evaluar al estudiante de Ecología:

Karol Geraldine Muñoz Ordoñez
Lisbeth Alejandra Buitrón Ledezma

El jurado evaluador atendiendo a los reglamentos del programa en Ecología y considerando que las estudiantes han demostrado suficiencia de conocimientos, capacidad analítica y deductiva, adaptación a situaciones nuevas, capacidad para la comunicación escrita y oral, aptitud para el desarrollo de investigaciones científicas y tecnológicas, le confiere la calificación de:

ACEPTADO x

REPROBADO

Para optar por el título de profesional en Ecología.

Carlos A. Durán

CARLOS ANDRÉS DURAN

Julieth

JULIETH ALEXANDRA CHACÓN



Sedes administrativas: Claustro San José Calle 5 No. 8-58 - Los Robles Km 8 vía al sur
Sede Norte del Cauca: Calle 4 No. 10-50 Santander de Quilichao

Popayán, Cauca, Colombia

PBX (57-2) 8320225

| www.fup.edu.co

| Fundación Universitaria de Popayán



AGRADECIMIENTOS

Este proyecto es el resultado del esfuerzo en conjunto con mi compañera de trabajo Karol Muñoz y a nuestra directora, M.sc. Ángela Montaña, a mis compañeros por compartir risas, tristezas quienes a lo largo de este tiempo han puesto a prueba sus capacidades y conocimientos para finalizar todas nuestras expectativas. A mis padres quienes a lo largo de toda mi vida han apoyado y motivado mi formación académica, creyeron en mí en todo momento. A los docentes del Programa Ecología a quienes les debo gran parte de mis conocimientos, gracias a su paciencia y enseñanza, por último a la universidad la cual abrió sus puertas para preparándonos para un futuro competitivo y formándonos como profesionales.

Lisbeth Buitrón.

Al finalizar este trabajo de grado, y después de terminar nuestro pregrado en la Universidad lleno de alegrías y satisfacciones, es necesario culminar este ciclo en la vida no sin antes expresar nuestros más humildes agradecimientos, en primer lugar a Universidad FUP por habernos permitido adquirir los conocimientos necesarios para desempeñarnos como profesionales; a los profesores de la facultad de Ecología por sus enseñanzas y apoyo en todo nuestro proceso formativo; a la profesora Y Directora de Tesis Angela Montaña, por aceptar colaborarnos en este proyecto, gracias a su dedicación y respaldo constante hemos podido terminar satisfactoriamente este trabajo de grado. A nuestros padres que hicieron posible nuestros estudios, apoyándonos directa e indirectamente a través de todo este tiempo, gracias a ellos hemos podido realizar nuestros sueños y desarrollarnos como personas.

Karol Geraldine Muñoz Ordoñez

DEDICATORIA

A Dios.

Por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad, amor y por haberme puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi apoyo y compañía en momentos difíciles durante todo este tiempo que compartimos juntos estudiando.

A mi madre Rosa Ledezma

Por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por el apoyo incondicional que me ha permitido ser una persona capaz de cumplir una a una mis metas gracias mama por tu apoyo absoluto.

A mi padre Alberto Buitrón

Por los ejemplos de paciencia y firmeza que lo caracterizan y que me ha inculcado siempre sin tener ninguna dificultad gracias papa por brindarme oportunidades de salir adelante.

A mi hermano Arles Buitrón

Por estar conmigo y apoyarme siempre cuando te he necesitado gracias por ser mi apoyo incondicional te quiero mucho.

A mi familia

Por el apoyo los consejos que me han brindado para salir adelante, a pesar de ser un camino duro y constante para cumplir con cada uno de mis objetivos para ser una profesional y salir adelante con mis propios esfuerzos.

Lisbeth Buitrón

Siempre soñé con ser profesional, y hoy me siento con mucha satisfacción al realizar este sueño, el cual lo viví, lo soñé y lo realice y veo que los sueños y las metas por muy dudas que sean si se pueden cumplir.

Hoy dedico este logro y esfuerzo.

Al creador de todas las cosas, el que me ha dado fortaleza para continuar cuando a punto de caer he estado; por ello, con toda la humildad que de mi corazón puede emanar, dedico primeramente mi trabajo a Dios.

De igual forma, dedico esta tesis a mi madre Clara y a mi padre Walter que ha sabido formarme con buenos sentimientos, hábitos y valores, lo cual me ha ayudado a salir adelante en los momentos más difíciles

A mis hermanos: Yuri, Eduardo y Natalia y familia en general, porque me han brindado su apoyo incondicional y por compartir conmigo buenos y malos momentos.

Y Compañera y amiga, Lisbeth gracias a su apoyo, porque sin el equipo que formamos, no habiéramos logrado esta meta.

A Iván Muñoz, por que siempre fuiste mi apoyo incondicional, mil y mil gracias.

Karol Geraldine Muñoz Ordoñez

RESUMEN

Este trabajo de investigación presenta los resultados de la estimación de contaminantes atmosféricos (CO, NO_x, SO₂, PM₁₀ y COV) provenientes del transporte público urbano de categoría pesada del municipio de Popayán para el año 2019. Se utilizó información de las empresas de transporte público urbano de la ciudad de Popayán, Rápido Tambo, Transliterad, Sotracauca y Tanspubenza. Con el objetivo de analizar las dinámicas de las emisiones atmosféricas por transporte público urbano en zonas críticas por el flujo vehicular, para determinar las estrategias de manejo desde la ecología urbana, *“Las emisiones fueron estimadas mediante los factores establecidos en el método IVE que mejor se ajustaron a los patrones de movilidad, características del parque automotor, condiciones climáticas y tipo de combustibles presentes en la zona de estudio”*. Como resultado, fue posible estimar las emisiones de los contaminantes analizados, y con la ayuda de un sistema SIG, se representaron gráficamente. A partir de los resultados, se evidenció que las mayores emisiones se presentaron en los puntos llamados como críticos se encontraron: El Tablazo, Sena Norte, Barrio Bolívar, Campanario; el contaminante que mayor aporte lo hace es el Dióxido de Nitrógeno con un rango de 200 - 550 kg/h, las horas del día con mayor emisión de los contaminantes es en la tarde.

Palabras clave: Fuentes móviles; contaminantes atmosféricos, modelo IVE.

ABSTRACT

This research work presents the results of the estimation of atmospheric pollutants (CO, NO_x, SO₂, PM₁₀ and VOC) from heavy urban public transport in the municipality of Popayán for the year 2019. Information from the urban public transport companies of the city of Popayán, Rápido Tambo, Transliterad, Sotracauca and Tanspubenza was used. With the objective of analyzing the dynamics of atmospheric emissions from urban public transportation in critical areas due to vehicular flow, in order to determine management strategies from the urban ecology perspective, *“emissions were estimated using the factors established in the IVE method that best adjusted to the mobility patterns, characteristics of the vehicle fleet, climatic conditions and type of fuels present in the study area”*. As a result, it was possible to estimate the emissions of the pollutants analyzed, and with the help of a GIS system, they were represented graphically. From the results, it was evidenced that the highest emissions were found in the points called as critical: El Tablazo, Sena Norte, Barrio Bolivar, Campanario; the pollutant with the highest contribution is Nitrogen Dioxide with a range of 200 - 550 kg/h, the hours of the day with the highest emission of pollutants is in the afternoon.

Keywords: Mobile sources; atmospheric pollutants, IVE model.

1. INTRODUCCION

En Colombia se han encontrado diversos problemas de contaminación especialmente del recurso aire, debido a esto se han creado diferentes normas las cuales están encaminadas a mitigar el mismo, sin embargo, según (Pérez, 2017), es evidente que existen problemas importantes causadas por las emisiones del parque automotor, uno de los contaminantes que más afecta la salud humana. De acuerdo a lo mencionado por (Trujillo *et al*, 2009), manifiesta que el transporte público, de Popayán presenta actualmente problemas de movilidad y congestión vehicular, que se hace evidente en las horas pico (dando lugar a emisiones importantes de contaminantes a la atmosfera, contribuyendo así al aumento de gases de efecto invernadero y a las concentraciones de elementos tóxicos en el aire que son nocivos para los seres vivos.

Por tal motivo, el monitoreo y control de la concentración de estas sustancias en la atmósfera ha tomado día a día mayor relevancia, puesto que según la Agencia de Protección Ambiental (2018), la contaminación atmosférica ocasiona una variedad de problemas de salud, por ejemplo la exposición a largo plazo de partículas finas, PM2.5, puede tener un impacto en la salud de la población, así mismo, la Organización Mundial de la Salud, en el año 2012 argumenta que cada uno de las ocho muertes ocurridas a nivel mundial es ocasionada por la contaminación del aire. *“A nivel nacional, el Departamento Nacional de Planeación Estimo que, durante el año 2015, los efectos de este fenómeno asociados a diez mil quinientas muertes y 67,8 millones de síntomas y enfermedades”* (IDEAM, 2014). En ese mismo orden de ideas el Observatorio Nacional de Salud (ONS) del Instituto Nacional de Salud (INS) en el año 2019 manifestó que debido a la mala calidad del aire y agua en Colombia ocurre diecisiete mil quinientos cuarenta y nueve muertes cada año, es decir el 8% del total de la mortalidad anual en Colombia.

Es por esto que se evidencio la necesidad de realizar un análisis de las emisiones producidas por fuentes móviles en los puntos críticos, con base en un inventario de fuentes móviles para la ciudad de Popayán, con el fin de identificar las fuentes y contaminantes atmosféricos más representativos en el área de estudio a partir del análisis de los datos calculados con el modelo IVE. Se logró determinar cuáles son los contaminantes más representativos y los puntos críticos con mayores emisiones a partir del cálculo de la carga contaminante en el modelo de emisiones vehiculares internacionales (IVE), con base a rutas y vías representativas de la zona urbana, como también información respecto a la distribución de las emisiones por medio de un sistema de información geográfico y así georreferenciar y mostrar en un mapa la cantidad de contaminantes emitidos en los diferentes puntos estudiados, de este modo se logró proponer estrategias desde la ecología urbana, dejando información importantes para nuevas investigaciones.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El recurso aire es un elemento esencial para mantener los procesos con factores abióticos y bióticos, que deben contar con condiciones que limiten a los sistemas establecidos en centros urbanos presentes en un hábitat adecuado para el desarrollo de la vida. La contaminación atmosférica es una de las principales problemáticas del mundo, la cual ha incrementado el deterioro de la calidad del aire ocasionando efectos negativos en la salud humana y el medio ambiente (Spiegel & Maystre, 2014). Según una evaluación de la Organización Mundial de la Salud (OMS), más de dos millones de muertes prematuras se pueden atribuir cada año a los efectos de la contaminación en espacios cerrados y espacios abiertos urbanos. Más de la mitad de esta carga de enfermedad recae en las poblaciones de los países en desarrollo. (OMS, 2005). Dado que el efecto de la contaminación del aire atmosférico es mayor en zonas urbanas, provocando el riesgo en la salud de las poblaciones, el cual causa problemas respiratorios afectando la salud de los ciudadanos (Organización Panamericana de la Salud, 2005).

Para entender el impacto ambiental generado por la contaminación atmosférica, es importante que dichos contaminantes puedan ser estimados en un inventario de emisiones (IE), el cual tiene por objetivo organizar la información que permita aportar un diagnóstico cualitativo y cuantitativo de las emisiones que ocurren en el área de estudio (Pimiento Tami, 2009). Es importante resaltar que en tan sólo 17 de los 35 países de América Latina se cuenta con datos disponibles de inventarios de emisiones, y de estos, por lo general, sólo se encuentran en las principales ciudades de cada país (Organización Mundial de la Salud (OMS), 2014). Esta problemática es evidente en Colombia, en donde los inventarios de emisiones se han desarrollado para las ciudades principales, como Bogotá y Medellín (Behrentz & Bogotá, 2005b) y algunas otras como Envigado (Londoño *et al.*, 2011a).

En relación a lo anterior, para el contexto local se observa desde una perspectiva de la gestión ambiental y la planificación del territorio, una poca profundidad referente en la gestión del recurso aire, para las generaciones del presente y futuras en el Municipio de Popayán. El incremento del parque automotor de categoría pesada trae como consecuencia problemas en la movilidad pública, debido que las vías no cumplen las exigencias del crecimiento de los vehículos, se genera mayor contaminación por ruido y gases nocivos emitidos a la atmósfera como el monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NOx), compuestos orgánica volátiles (COV). (Contraloría Municipal de Popayán, 2016). Dado que, el sector urbano del municipio no cuenta con información precisa acerca de la calidad del aire, un inventario de gases contaminantes por fuentes fijas y móviles, que estimen el volumen de los contaminantes emitidos por los vehículos que a diario circulan por la ciudad, además de las características de la flota vehicular como lo es el tipo y cantidad de combustible y de esta manera con dicha caracterización, permitió conocer la estimación de los contaminantes emitidos por las fuentes móviles.

Por esta razón, el incremento y el uso de la movilidad por el parque automotor ha generado pocas alternativas en la movilidad masiva, puesto que no cuenta con una renovación de flotas vehiculares de servicio público, generando un aumento de emisiones por fuentes móviles como también costos en el mantenimiento, además de la poca información referente a los contaminantes que son emitidos a la atmósfera. Una falencia a nivel de la gestión ambiental municipal, dado que no se contaba con estrategias para la gestión ambiental del recurso aire, en relación a diferentes zonas urbanas que se apoyen en un trabajo de investigación sobre la distribución de la carga contaminante.

Considerando el problema descrito se tomó en cuenta lo realizado por Bedoya *et al* 2016, en donde fue necesario realizar un estudio sobre las emisiones, generadas por el transporte público urbano de categoría pesada, con el objetivo de analizar la estimación de los contaminantes que a diario son generados en la ciudad, lo que permitió ver la relación de las emisiones con los desplazamientos y la distribución, de las flotas vehiculares.

Es por esto que, por medio de una gestión ambiental permitió llevar procesos de ecología urbana y así impulsar a un desarrollo sostenible, ya que para esta investigación se consideró el recurso aire como un elemento primordial para un hábitat urbano, es de considerar que es un elemento fundamental en los ecosistemas, el cual permite generar una dinámica de interacción entre factores bióticos y abióticos. El Municipio de Popayán, presenta una demanda en el servicio de transporte público urbano que ha ocasionado un aumento del parque automotor, por lo que fue necesario contar con información para poder llevar a cabo el inventario de gases contaminantes y carga contaminante. Estos tienen repercusión en el ambiente debido al uso de combustible, que conllevan al calentamiento global, enfermedades respiratorias y desequilibrio en la economía en cuanto a la prestación de servicios.

Para la investigación se planteó la siguiente pregunta:

¿Cuál es la caracterización y distribución de la carga contaminante de emisiones atmosféricas por fuentes móviles en zonas urbanas del municipio de Popayán Cauca?

2.1 HIPÓTESIS

La carga contaminante generada por emisiones móviles del municipio de Popayán presenta un incremento en los espacios con mayor actividad económica en relación de las zonas urbanas.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Analizar las dinámicas de las emisiones atmosféricas por transporte público urbano en zonas críticas por flujo vehicular, para determinar estrategias de manejo desde la ecología urbana.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Estimar la carga contaminante producida por el transporte público urbano de categoría pesada, en zonas de mayor flujo vehicular en el municipio de Popayán.

Analizar las dinámicas de distribución de las emisiones por medio de un Sistema de Información Geográfico.

Proponer estrategias desde la ecología urbana, que permitan mejorar la gestión del recurso aire del municipio de Popayán.

4. JUSTIFICACION.

En la actualidad, el desarrollo económico social ,cultural y la globalización han generado un aumento en el consumo para satisfacer necesidades de la sociedad, esto conlleva a observar los resultados provenientes de las actividades antrópicas en función de la dinámica social y económica para contemplar los impactos positivos y negativos ocasionados a los entornos naturales, estos presenta estructuras complejas desde el estudio de la Ecología para estos sistemas naturales, la estructura de estos ecosistemas es de vital importancia para el desarrollo de la vida y el disfrute en el buen vivir. Por este motivo se consideraron estudios que afectan los sistemas naturales relacionados con los recursos agua, suelo, aire y diversidad. De esta manera se tiene presente sus interacciones bióticas y abióticas.

Los estudios que se encuentran direccionados en abordar la búsqueda de información para cuantificar los resultados de impacto negativo en los sistemas naturales, particularmente pretenden brindar soporte para entender los cambios asociados que puedan identificarse en la aceleración del cambio climático a nivel local y el aumento del calentamiento global. Para así de esta manera, apoyar las diferentes estrategias que se pueden diseñar con un sentido ecológico en la planificación del territorio y una gestión ambiental en función de soluciones para problemáticas sociales y ambientales con una matriz de ecología humana para el sitio de estudio.

Es importante realizar estudios sobre los factores de emisión para conocer las emisiones de contaminantes primarios que se generan dentro de la zona por las fuentes móviles, en el que es necesario el uso de métodos alternativos para determinar la cantidad de contaminante que se está emitiendo, en el cual se destacan los modelos de emisión vehicular (Vásquez, 2017); para llevar a cabo ésta investigación, se empleó el modelo de Emisiones Internacionales de Vehículos (IVE) desarrollado por ISSRC y la Universidad de California en Riverside, siendo este importante ya que permite estimar las emisiones de los vehículos motorizados, como también ayuda particularmente a países en desarrollo, permitiéndoles hacer estimaciones precisas de emisiones que son fundamentales para la planificación de la gestión de la calidad del aire (Ortiz & Rios,2019).

Debido al aumento del parque automotor de la ciudad de Popayán (Contraloría Municipal Popayán, 2016). Según la contraloría manifiesta que hasta el momento no se disponía de información referente a inventarios de fuentes móviles de transporte público, se desconocía la estimación de los gases contaminantes emitidos por los vehículos. Es por esto que, fue necesario estimar los diferentes contaminantes producidos por el transporte público que a diario transitan por la ciudad y afectan de manera directa a la población más expuesta dejándola en una situación más vulnerable, a su vez, según el estudio realizado en la contraloría (2016) manifiesta que durante los operativos de control a emisiones de gases

generadas por fuentes móviles, analizaron algunos vehículos de transporte público de las empresas Transpubenza, Translibertad, Sotracauca y Rápido Tambo, que por su parte, de los 107 vehículos utilizados para el transporte público, requeridos en los operativos el 100% fueron rechazados por no cumplir límites permisibles de gases.

El transporte público pesado, es una fuente móvil de contaminación del aire que circulan por todo el Municipio, durante todo el día y hasta altas horas de la noche sin ningún tipo de control. La falta de mantenimiento y cuidado de los vehículos por parte de los propietarios, es una de las principales causas de las emisiones atmosféricas, que arrojan grandes cantidades de material particulado o trazas de carbón que se depositan en los tubos de escape y son los principales responsables de los problemas respiratorios de las personas por acumulación de estos contaminantes en los pulmones.

Además, esta investigación es una herramienta fundamental que permitió estimar las emisiones producidas por los vehículos, Cabe resaltar que el presente proyecto contribuirá significativamente para soportar en la parte de inventarios de emisiones de gases efecto invernadero para posteriores investigaciones de contaminación atmosféricas, como también, permitirá ampliar y profundizar en el ámbito educativo, el conocimiento referente a los gases emitidos por las fuentes móviles como la incidencia que tienen estos en la contaminación, degradación de la atmosfera, la calidad de vida de la población y desde el punto de vista ambiental se pueda asegurar la preservación de los recursos naturales, con el fin de garantizar un ambiente sano.

Dado que, La planificación territorial es un elemento importante para alcanzar un buen vivir con el objetivo de desarrollar políticas que permiten una gestión del ambiente, desarrollo económico, como también un beneficio en el aspecto social. En búsqueda de alinear estas características se requiere una gestión de los recursos naturales, de lo cual es importante contar con herramientas para el diseño de estrategias. Con el fin de planear, vigilar y monitorear actividades que requieren el uso de los recursos naturales, como el recurso aire, con una adecuada gestión del aire se quiere de manera urgente según el caso del municipio de Popayán, un conocimiento basado en información para la estimación de la carga contaminante, como también de los tipos de contaminantes atmosféricos.

El desarrollo del presente proyecto permitió obtener resultados de los diferentes contaminantes que afectan la calidad del aire con el fin de ofrecer alternativas que contribuyan a un ambiente sostenible en la ciudad, Adicionalmente, la herramienta utilizada en este proyecto permite el análisis de escenarios y de sensibilidad para determinar e identificar los factores que tienen una mayor influencia en las emisiones de la flota vehicular de la ciudad.

5. MARCO TEORICO

Para determinar la carga contaminante producida por el transporte público urbano fue necesario realizar un inventario de emisiones atmosféricas los cuales caracterizan y consolidan, mediante sumatoria, las emisiones de contaminantes atmosféricos, de acuerdo con el tipo de fuente y el tipo y cantidad de contaminantes emitidos, en un área geográfica y en un intervalo de tiempo determinados (EPA, 1999a). Los inventarios de emisiones son instrumentos indispensables en los procesos de gestión de calidad del aire y toma de decisiones, ya que son el punto de partida para la implementación, evaluación y ajuste de programas y medidas de control, tendientes a mejorar la calidad del aire (Guía para la elaboración de inventarios de emisiones atmosféricas, 2017). Teniendo en cuenta los factores de emisión estos a su vez relacionan la cantidad de un compuesto que es emitido a la atmósfera. Normalmente se expresan como: masa emitida del contaminante/parámetro dimensional del proceso involucrado (p. ej.: masa procesada, volumen del combustible consumido, consumo de energía, distancia recorrida o el tiempo de operación de la actividad, unidades de producción) (MAVDT, 2010b; Velasco E, Bernabé R, 2004).

Teniendo en cuenta la complejidad que puede acarrear el desarrollo de un inventario de emisiones de fuentes móviles, a nivel mundial se han desarrollado modelos de emisión como herramienta para facilitar la estimación de emisiones, este cuenta con la cantidad y calidad de información disponible, así como características propias de cada región. Dentro de las ventajas de estos métodos se tiene su aproximación al valor real de emisión, gracias a la evolución de los mismos en el tiempo; lo cual constituye una herramienta fundamental para la toma de decisiones (Guía para la elaboración de inventarios de emisiones atmosféricas, 2017). Es por esto que se empleó el Modelo internacional de emisiones vehiculares (IVE), por sus siglas en inglés, desarrollado por el Centro Internacional de Sistemas Sostenibles (ISSRC, por sus iniciales en inglés) y la Universidad de California en Riverside, puesto que, permite estimar emisiones vehiculares para ayudar a las ciudades y regiones con objetivos de a: i) enfocar las estrategias de control y planeación del transporte hacia unas más efectivas) predecir cómo las diferentes estrategias afectarán las emisiones locales, Y) medir el progreso en la reducción de emisiones en el tiempo. Permite estimar emisiones a nivel de proyecto y a escala regional y nacional, incluyendo para este último un módulo para gases causante del efecto invernadero. Se pueden modelar los siguientes contaminantes: CO, COV, NOX, PM2.5, PM10, CO2, N2O, CH4, NH3, benceno, plomo, 1,3 butadienos, y aldehídos. Se desarrolló especialmente para ser aplicado en países en vías de desarrollo, en los cuales existen condiciones de tráfico y tecnología vehicular diferentes a los demás países. Para esto, cuenta con una base de datos muy amplia y flexible de tecnologías vehiculares, que cubre más de 300 categorías de vehículos, distribuidas por edad, tamaño del motor, tecnología del control de emisiones y de alimentación de

combustible (Guía para la elaboración de inventarios de emisiones atmosféricas,2017).

Actualmente, en los proyectos de investigación se resalta la implementación de la tecnología de sistemas de información geográfica siendo esta aplicada en múltiples campos de las ciencias medioambientales: climatología, hidrología, geología, geomorfología, ecología, entre otras. Su utilidad en estas disciplinas no solo estriba en la realización de tareas de inventarios y planificación si no también en las ventajas que ofrece por su capacidad de integración con modelos específicos inherentes a cada uno de ellos, el rango de modelización varía desde el simple empleo de SIG como modelos conceptuales de realidad espacial hasta la opción de módulo de análisis (superposición de coberturas, análisis de redes y áreas de influencia) y de procesamientos de imágenes.

Un Sistema de Información Geográfica (SIG) complementa la forma definida en el plano de cualquier localidad específica, con los datos disponibles en sus atributos temáticos asociados, es decir, combina información cartográfica y bases de datos en forma simultánea, estableciendo una sola base de datos. Esta capacidad de asociación de bases de datos temáticos con la descripción espacial de objetos geográficos y las relaciones entre los mismos, marca la diferencia entre un SIG y otros sistemas informáticos. Esta característica del SIG permite obtener en forma esquemática el desempeño de una variable en función de su magnitud; en este estudio en particular el análisis de la magnitud de la concentración de contaminantes en el aire, como el ozono troposférico es de gran interés, por sus efectos dañinos a la población y al medio ambiente cuando se tienen altas concentraciones, así como para establecer medidas preventivas y/o correctivas. (Nájera Cedillo, *et al.*2005)

Por otro parte dentro de este estudio se tuvo en cuenta la ecología urbana siendo esta una disciplina cuyo objeto de estudio son las interrelaciones entre los habitantes de una aglomeración urbana y sus múltiples interacciones con el ambiente, es una disciplina con un campo teórico en formación que aplicase conceptos y teorías de la ecología tradicional, pero que se nutre con el diálogo con otras disciplinas (urbanismo, economía, sociología, antropología, geografía, ingeniería, derecho e historia). Surge sin duda, como una reacción contra la excesiva especialización en cada una de las áreas de conocimiento.

Algunos de sus objetivos más relevantes son el análisis de la estructura urbana, la cuantificación de los flujos de materia y energía que interrelacionan la ciudad con su entorno y permite su continuidad, el estudio de los impactos producidos por las distintas actividades humanas sobre el ambiente y la búsqueda de criterios, para la gestión de las ciudades. (Yanine, 2019).

Para avanzar en la gestión integral de la calidad del aire es muy importante contar con un sistema de información confiable y de cobertura nacional. Por ello, uno de los grandes desafíos de esta estrategia se centra en el fortalecimiento del

conocimiento científico y técnico. Como resultado de mesas de trabajo del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible²⁴ con diferentes actores, se destacaron temas de interés relacionados con: fortalecimiento de la medición de la calidad del aire y de fuentes emisoras, elaboración de inventarios de emisión, caracterización de material particulado, aplicación de modelos de calidad del aire, generación de una red de conocimiento, desarrollo de talleres de capacitación, fortalecimiento del análisis de la información y bases de datos, y desarrollo de estudios epidemiológicos locales o regionales que relacionen el impacto en salud por la mala calidad del aire, entre otras temáticas, cuyo problemática se presenta a continuación [Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2019a] Frente a la medición de la calidad del aire y de fuentes emisoras, es importante su fortalecimiento a través de los sistemas de vigilancia de calidad de aire. Un SVCA corresponde a un conjunto de equipos para el monitoreo de la concentración de los contaminantes en el aire.

6. MARCO CONCEPTUAL

La contaminación del aire es una variación de los niveles de calidad y pureza del aire debido a las emisiones naturales o de sustancias químicas y biológicas, en la actualidad, la contaminación por la combustión de hidrocarburos (gasolina, diésel y gas), de los automotores es el primer causante de la contaminación aérea en las ciudades de los países industrializados, mientras que las plantas industriales poco eficientes para los países en vía de desarrollo. Sin embargo, no se deben subestimar otras fuentes de contaminación, ya sean ocasionadas por el hombre o de origen natural, los cuales se suman al resto de partículas que contaminan el aire. (Academia Nacional de Medicina, 2015).

El aumento en la parte económica y la urbanización, están asociados al desarrollo de algunas actividades como la industria petrolera, la agroindustria, los servicios y el incremento de las unidades automotoras, como resultado de un consumo intenso de combustibles fósiles; de igual manera, la práctica de actividades agropecuarias no apropiadas inciden en la generación de volúmenes de los contaminantes, que al relacionarse con las condiciones ambientales pueden deteriorar los ecosistemas, los recursos naturales y la salud humana (Romero *et al* 2006). Por otro lado, el desarrollo de actividades de investigación ecológica en la ciudad y su posterior transferencia a la sociedad, permiten conocer los efectos que genera el proceso de urbanización sobre los ecosistemas y a la vez identificar tanto las amenazas como las soluciones para la conservación de la biodiversidad y sus servicios ecosistémicos, siendo esta una subdisciplina de la ecología, la ecología urbana integra teorías y métodos de las ciencias naturales y sociales para estudiar los patrones y procesos de los ecosistemas urbanos.

Para este caso el proceso de crecimiento urbano del municipio de Popayán, ha sido desordenado, posibilitando la pérdida del valor colectivo del espacio público, así como el desconocimiento de su función social, cultural y con ello el incorrecto manejo de los mismos, en relación con el área urbana, los problemas están relacionados con el paso de la mayoría de las rutas del transporte público por el centro de la ciudad, originando congestión, procesos acelerados de contaminación atmosférica, es por esto que, la zonificación ambiental es un soporte para determinar cómo se deben utilizar de la mejor manera los espacios en el territorio, con base en criterios ambientales, lo cual se considera como una síntesis de los análisis biofísico, económico y sociocultural; ya que es la carta de navegación para orientar a los actores sociales quienes intervienen y toman decisión sobre sus actuaciones en la zona, investigando así un equilibrio hombre naturaleza, de tal manera que se garantice para las generaciones futuras la sostenibilidad en términos ambientales, culturales y socioeconómicos (Plan de ordenamiento de Popayán, 2012)

En este mismo sentido, es necesario diseñar programas encaminados a la gestión ambiental especialmente del recurso aire, que permitan minimizar la contaminación en el sector de estudio, los impactos son el efecto de la interacción de varios factores como: el comportamiento de las variables meteorológicas, las características de las fuentes de emisión, la calidad de los combustibles, la concentración de contaminantes al aire, el tiempo de exposición, la vulnerabilidad de la población y de los ecosistemas. Debido a las concentraciones atmosféricas, los niveles de emisión, el ambiente y los efectos en la salud, en Colombia y el mundo se han establecido como referencia de los problemas de contaminación atmosférica los niveles de emisión e inmisión del dióxido de azufre (SO₂), del material particulado (PM₁₀ y PM_{2.5}), del dióxido de nitrógeno (NO₂), del monóxido de carbono (CO), del ozono troposférico (O₃) y también conocidos como contaminantes criterio (SIAG). Es por esto que en la actualidad el parque automotor se le atribuye como el mayor contribuyente a las emisiones de este tipo, por su gran tasa de adquisición de vehículos forjando el deterioro en la calidad del aire y enfermedades asociadas a la contaminación (Castro & Escobar, 2006). Por lo cual, 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. Donde existen diferentes maneras de generar estimaciones de los mismos, como metodologías o modelos que acceden a la aproximación de las concentraciones de los contaminantes emitidos por una fuente móvil. Por esta razón por medio del modelo IVE es posible estimar las emisiones de contaminantes criterio, ya que el modelo cuenta con la opción de ingresar factores de emisión propios de cada ciudad, no obstante es una herramienta que tiene por objetivo apoyar ciudades y regiones en el desarrollo de estimación de emisiones para: Enfocarse en las estrategias más efectivas de control y planeación de transporte, Predecir como diferentes estrategias afectarían las emisiones locales, y Medir el progreso en la reducción de emisiones en el tiempo. (Manual del Usuario del Modelo IVE Versión 2.0 mayo, 2008)

Cabe destacar, que el modelo funciona con una base 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) Distribución de la flota vehicular (Datos de entrada de la Flota). 3) Actividad Vehicular (Datos de entrada de la Localidad) (Giraldo, 2005). De hecho, el modelo IVE ya ha sido usado en Colombia para realizar inventarios como es el caso de Bogotá, donde encontraron que la contaminación por parte de los vehículos es del 65%; este estudio permite estimar las emisiones atmosféricas (Giraldo, 2005).

Por otra parte, las imágenes satelitales se utilizan para diferentes aplicaciones, como detección de desastres naturales, estudios de vegetación, estudios hidrográficos, cambios atmosféricos, agricultura, estudios de suelo, cambios en la

población, calidad del aire, detección de vías, entre otros. Además, manifiestan una visión global de objetos y detalles de la superficie terrestre y facilitan la comprensión de las relaciones entre ellos que pueden no verse claramente cuando se observan desde la Tierra. (Días *et al*, 2014). No obstante, el aplicativo ArcMap (ArcGIS. 10.5) es un sistema que permite, organizar, recopilar, administrar, compartir, analizar y distribuir información geográfica. En efecto, Londoño *et al*/2011. Con el propósito de analizar las emisiones vehiculares en el escenario espacial fueron construidos los mapas donde se distribuyen las emisiones según se explicó. Con la ayuda del software ArcGis 9.3 se efectuó el almacenamiento, manipulación, análisis y presentación eficiente de los resultados obtenidos. La figura 5 muestra la distribución espacial de las emisiones totales obtenidas para cinco contaminantes evaluados (CO, COV, NOx, SO2 y PM10) en el área urbana de Envigado.

7. MARCO NORMATIVO.

En la siguiente tabla 1. Se encuentra las normas de calidad de aire y sus emisiones atmosféricas.

Tabla 1. Normatividad de calidad de aire

NORMA	OBJETO
Constitución política de Colombia	Art 79: 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. Es deber del estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación para el logro de estos fines.
Ley 99 de 1993	Por la cual se crea el MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE, se reordena el sector público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se reorganiza el Sistema nacional ambiental SINA y se dictan otras disposiciones. La ley Determina las normas ambientales mínimas de carácter general sobre medio ambiente a las que deberán sujetarse los centros urbanos y asentamientos humanos y las actividades mineras, industriales, de transporte y en general todo servicio o actividad que pueda generar directa o indirectamente daños ambientales.
Resolución 910 de 2008	Por la cual se reglamenta los niveles permisibles de emisión de contaminantes que deberán cumplir las fuentes móviles terrestres. Fundamenta el desarrollo del proyecto debido a que contempla los límites máximos de emisión permisibles para vehículos a gasolina, gas natural y diésel, según la clasificación de las fuentes móviles.
Resolución 2154 de 2010	Se ajusta el protocolo de la calidad del aire para el monitoreo y seguimiento, adoptado a través de la Resolución mencionada anteriormente 650 de 2010 y se dictan otras disposiciones.

Fuente: Macías & Rincón, 2019

Tabla 2 Normas de calidad de aire y emisiones atmosféricas.

NORMA	OBJETO
Decreto 2107 de 1995	Por medio del cual se modifica parcialmente el decreto 948 de 1995 que contiene el reglamento de protección y control de la calidad del aire.
Resolución 005 de 1996	Por la cual se reglamenta los niveles permisibles de emisión de contaminantes producidos por fuentes móviles terrestres a gasolina o diésel, y se definen los equipos y procedimientos de medición de dichas emisiones y se adoptan otras disposiciones.
Decreto 1697 de 1997	Por medio del cual se modifica parcialmente el decreto 948 de 1995 que contiene el reglamento de protección y control de la calidad del aire.
Decreto 948 de 1995	Por el cual se reglamentan, parcialmente la Ley 23 de 1973, los artículos 33, 73, 74, 75 y 75 del Decreto-Ley 2811 de 1974; los artículos 41, 42, 43, 44, 45, 48 y 49 de la Ley 9 de 1979; y la Ley 99 de 1993, en relación con la prevención y control de la contaminación atmosférica y la protección de la calidad del aire.
Resolución 0601 de 2006	Por la cual se establece la Norma de Calidad del Aire o Nivel de Inmisión, para todo el territorio nacional en condiciones de referencia.
Resolución 0653 de 2006	Por la cual se adopta el procedimiento para la expedición de la certificación en materia de revisión de gases, a que hace referencia el literal e) del artículo 6° de la Resolución 3500 de 2005
Resolución 003500 de 2005	Por la cual se establecen las condiciones mínimas que deben cumplir los Centros de Diagnóstico Automotor para realizar las revisiones técnico mecánica y de gases de los vehículos automotores que transiten por el territorio nacional.

FUENTE: Corporación Autónoma Regional Del Tolima.2009

Ley 276 de 1996	Plantea que el Parque Automotor del Servicio Público de Pasajeros y/o mixto. La vida útil máxima de los vehículos terrestres de servicio público colectivo de pasajeros y/o mixto será de veinte (20) años (Ministerio de transporte, 1996).
Resolución 40103 de 7 abril 2021	Desde el 31 de diciembre del 2012 el combustible Diesel, que se distribuye en el país cumple la especificación del contenido máximo de 50ppm, en masa de azufre en consideración a lo establecido en el parágrafo 2 del artículo 1 de la ley 1205 de 2008.

8. ESTADO DEL ARTE.

La revisión bibliográfica establece que las investigaciones en relación a la epidemiología ambiental, han sido abordadas de manera cuantitativa, enfocada a la estimación de contaminantes producido en fuentes fijas y móviles. Determinando los diferentes niveles de contaminación que son perjudiciales para el ambiente y la salud humana. Dicha investigación bibliográfica se organizó por categorías de acuerdo al abordaje realizado en las investigaciones en el siguiente orden: revisión bibliográfica, inventarios, estimaciones, cálculos y monitoreo.

Por consiguiente, esta ayuda en el desarrollo del conocimiento en los temas que se están abordando, en este sentido, Morantez (2016), realizó un diseño de instrumentos normativos sobre emisiones e inmisiones dirigidos a la calidad del aire. Para así, garantizar los niveles de concentración de contaminantes capaces de preservar la vida y salud humana. De la misma forma, Huertas (2015), encontró que la revisión bibliográfica normativa en Latinoamérica se encuentra enfocada en cinco componentes como: la vigilancia ambiental, la vigilancia epidemiológica, la vigilancia biológica-sanitaria, la vigilancia clínica y la orientación de políticas e intervenciones en la salud ambiental. Seguidamente, Pérez (2017), por medio de revisiones bibliográficas a corporaciones autónomas regionales encontrado que en Colombia las ciudades más contaminadas ambientalmente son Bogotá DC, Medellín, Cali, Barranquilla, Valle de Sogamoso, Cartagena, Bucaramanga y Pereira; de la cual generan un 41% del material contaminante del aire en Colombia.

Por otro lado, las investigaciones relacionadas con los inventarios de emisiones atmosféricas son de gran de importancia puesto que recopila datos que caracterizan mediante sumatorias emisiones de contaminantes atmosféricos, se encontró que Valencia (2019), desarrollo el primer inventario de emisiones atmosféricas de la ciudad de Manizales, incluyendo fuentes estacionarias puntuales y fuentes móviles en ruta. De la misma manera, Núñez *et al* (2018) enfatizaron en la realización de un inventario de emisiones atmosféricas de fuentes fijas y flujo automotriz por una vía principal, ayudando a la actualización de inventarios. Además, Tolvett *et al* (2016). De igual modo en instituciones públicas de Chile, contribuyo en la elaboración de inventarios para el parque automotor de la ciudad. Calla y Lujan (2017), para este caso también siguieron a través de una estimación de fuentes móviles una proyección exponencial del parque automotor del lugar, de esa manera se obtuvo conocer la población con la que se iba a trabajar. De esta manera, estos autores realizaron inventarios que fueron un aporte fundamental en cada una de las ciudades estudiadas, por su parte la realización de estimaciones y cálculos de los diferentes contaminantes emitidos a la atmosfera, han demostrado serias afectaciones no solo al ambiente si no como también al ser humano.

Es por esto que, Gómez (2017), al hacer estimaciones y cálculos de PM10 generados a nivel industrial y por el parque automotor, se obtuvo una alerta roja y naranja de las cuales trago como consecuencias restricciones en la movilidad vehicular y actividades en zonas industriales. Por su parte, Orozco (2018), al analizar las estimaciones de contaminantes atmosféricos, a lo largo de la

investigación elaboro aforos en cinco vías de tráfico vehicular estimando los contaminantes que afectan la calidad atmosférica. Seguidamente, al igual que los autores ya mencionados, Rojas (2018) estima que los contaminantes primarios como el material particulado (PM10 y PM2.5), monóxido de carbono (CO) y óxidos de nitrógeno (NOX) en la ciudad de Medellín, siendo un factor principal para la evaluación del impacto en la salud humana por fuentes de contaminación atmosférica.

No obstante, otros temas abordados referente a la investigación es la realización de monitoreo, los cuales permite establecer acciones para reducir el riesgo del impacto de la contaminación sobre la salud de la población y es fundamental para diseñar estrategia de vigilancias epidemiológicas. Si bien es cierto, temas tratados Charres & González (2016), por su parte, la elaboración de monitoreo es una herramienta fundamental para establecer si existe o no un grado de afectación en la salud de la población. Así mismo el IDEAM (2018), elabora diferentes mediciones y cálculos de PM 10 y PM 2.5 por medio de monitoreo para determinar las afectaciones en la salud humana. A través del estado del arte se identificó que hay pocos estudios enfocados a epidemiología ambiental a nivel nacional, por tal motivo se hace necesario realizar un inventario estimaciones del volumen de gases contaminantes expuestos por fuentes móviles en especial de transporte público de la zona urbana de Popayán, determinando las zonas de mayor circulación vehicular.

Por último, se menciona la investigación realizada por Hoyos& Vidal (2020), la cual menciona que los problemas de contaminación atmosférica, se debe al crecimiento que ha tenido la ciudad, generando problemas en la salud pública como consecuencia del uso inadecuado de los recursos naturales, en donde el propósito de esta investigación es obtener un criterio propio de la calidad del aire en la ciudad de Popayán, como también evaluar un plan de control y mitigación de la contaminación atmosférica.

9. ANTECEDENTES.

A nivel internacional, Caro *et al.* 2016, en sus investigaciones el “análisis de variables significativas para la generación de un inventario de emisiones de fuentes móviles y su proyección” para la realización de este trabajo fue necesario disponer información de instituciones públicas de Chile con el objetivo de generar un inventario de emisiones representativo, el principal indicador fue la tasa de motorización, permitiendo obtener una base de datos detallada de los niveles de emisión, lo que facilitó realizar proyecciones, de emisiones al 2030 con la ayuda de un modelo tradicional llamado MODEM, mostrando una reducción de 76% para material particulado 2,5 micrones, una reducción de 53% en óxidos de nitrógeno y un aumento de 193% en dióxido de carbono en relación al 2008.

Por otro lado, en el trabajo realizado por Correa *et al* (2017) denominado “Bases para inventario de emisiones del parque automotor en la ciudad de Guayaquil. Caso de estudio” realizaron un inventario de fuentes móviles empleando bases de datos que sirvieron de insumo para estimar las emisiones vehiculares directas de gases efecto invernadero, por medio de un método IPCC-2006, el cual refleja las emisiones por consumo de combustible fósil, estas tecnologías permiten aportar información respecto al parque vehicular de las diferentes ciudades, sin embargo es necesario no solo analizar o estudiar las fuentes móviles, si no como también las fuentes fijas que son focos de contaminación.

Es por esto que Caraballo, *et al* (2018) en su estudio “inventario de emisiones de fuentes fijas y móviles, municipio Ranchuelo, provincia Villa Clara Cuba” muestra el inventario de emisiones atmosféricas de las 38 fuentes fijas y el flujo automotriz por la vía principal, con el objetivo de cuantificarlas emisiones a la atmósfera producidas por estas fuentes. Los contaminantes estudiados fueron, el Dióxido de Azufre (SO₂), Óxidos de Nitrógeno (NO_x), Monóxido de Carbono (CO). Donde utilizaron el método de cálculo basado en el factor de emisión para determinar la tasa de los contaminantes de ambas fuentes. Los resultados fueron, actualizar el inventario de emisiones de las fuentes fijas y móviles, estos facilitan las propuestas de acciones para reducir emisiones, además crearon bases para la modelación de la dispersión de los contaminantes y su evaluación.

Por otro lado, Carmona *et al* (2016) en su trabajo de investigación titulado “conciliación de inventarios Top- down y bottom-up de emisiones de fuentes móviles en Bogotá, Colombia” tiene como objetivo realizar la conciliación de un inventario de emisiones de fuentes móviles en Bogotá para el año 2013 aplicando las metodologías top-down y bottom-up, con métodos que se emplean para realizar comparaciones de emisiones de diferentes categorías vehiculares, así como también la distribución geográfica y temporal de las mismas, mediante la creación de un código de procesamiento en JAVA, mostrando una estimación de emisiones para los contaminantes CO, CO₂, COV, NO_x, SO₂ y PM, con el fin de identificar los puntos significativos de emisión para establecer estrategias de reducción en pro a la mejora de calidad de aire.

De la misma forma, Galvis & Moreno (2016) en su trabajo de investigación titulado “inventario de emisiones por fuentes móviles en el perímetro urbano del municipio de Ocaña Norte de Santander” con el objetivo de realizar un inventario de emisiones por fuentes móviles en el perímetro urbano del municipio de Ocaña Norte de Santander, donde realizó un inventario de emisiones midiendo la cantidad de vehículos que se presentan en ocho vías principales durante una semana y a partir de los datos registrados estimaron la concentración de contaminantes atmosféricos (CO, COV, NOX, PM2.5, N2O). Del mismo modo, identificó el tipo y la cantidad de combustible local, estas fueron estimadas mediante un factor de emisión, la distancia de la vía y la cantidad de vehículos. A partir de los resultados evidenciaron que la vía más crítica en cuanto al tráfico vehicular y concentración de gases es la vía 8, haciendo un mayor aporte del contaminante monóxido de carbono (CO) y los compuestos orgánicos volátiles (COV), haciendo un aporte importante acerca de las emisiones que emite el parque automotor.

Por otro lado, Vergel & Páez (2019). En el trabajo de grado titulado “Inventario de emisiones atmosféricas por fuentes móviles y modelación de PM10 en la zona urbana del Municipio de Abrego, Norte de Santander”. Realizaron un inventario de emisiones atmosféricas para dos vías principales de la zona urbana del municipio, mediante el aforo vehicular y la estimación de las emisiones haciendo uso de factores de emisión. La vía Nacional la fragmentaron en 7 tramos con puntos establecidos en el centro de cada uno para llevar a cabo el aforo vehicular por el periodo de 12 horas diarias desde las 6 a.m. hasta las 6:00 p.m. durante una semana por punto. Con la información meteorológica obtenida de los históricos del IDEAM realizaron un modelo de dispersión de PM10 de la hora con mayor flujo vehicular por cada vía mediante el uso del software ENVI_MET que les permitió la liberación, dispersión y depósito presente del contaminante criterio a diferentes grados de dirección del viento.

Por último, Londoño *et al*, 2011 en su trabajo titulado estimación de las emisiones de contaminantes atmosféricos provenientes de fuentes móviles en el área urbana de Envigado, Colombia, en donde presenta los resultados de la estimación de contaminantes atmosféricos (CO, NOx, SO2, PM10 y COV) provenientes de fuentes móviles en la zona urbana del municipio de Envigado para el año 2010. Empleando información de vehículos matriculados en el municipio, aforos, distribución y actividad vehiculares. Las emisiones fueron estimadas mediante los factores establecidos en el método IVE que mejor se ajustan a los patrones de movilidad, características del parque automotor y tipo de combustibles presentes en la zona de estudio. Como resultado, obtuvieron la estimación de emisiones diarias de los contaminantes analizados, y con la ayuda de un sistema SIG, se representaron gráficamente.

Tabla 3. Matriz de Marco Lógico

MATRIZ DE MARCO LOGICO			
OBJETIVOS ESPECIFICOS	METODOS	ACTIVIDADES	MEDIO DE VERIFICACION
Estimar la carga contaminante producida por el transporte público urbano de categoría pesada, en zonas de mayor flujo vehicular en el municipio de Popayán	Recopilación de información secundaria.	Solicitud de vía web a las 4 empresas de transporte público urbano.	Documentos o archivos de las empresas.
			Fotografías.
	Línea de base de la intensidad vehicular por Londoño <i>et al</i> 2011	comprobación de rutas de transporte público urbano.	Registros de control de entradas y salidas.
			App: (Moovit)
	Implementación del Modelo (IVE).	Cálculo de contaminantes criterios	Revisión bibliográfica
	Método para emisiones.		Artículos científicos
Método para el factor de emisión	Implementación modelo (IVE), Datos de estimaciones de los contaminantes		
		Hojas de calculo	
		Valores numéricos de contaminantes estudiados.	
Analizar la dinámica de distribución de las emisiones por medio de un sistema de información geográfica	Análisis espacial por medio de ArcMap	Verificación de zonas de estudio.	Documento P.O.T (2013) Y Plan de Movilidad para el municipio de Popayán. (2015)
		Elaboración de mapas.	
		Generar el modelo de distribución espacial.	Mapas de la distribución espacial de los contaminantes evaluados
Proponer estrategias que permitan mejorar la gestión del recurso aire del municipio de Popayán	Método sintético	Priorizar problemáticas según los resultados obtenidos.	Matriz de Estrategias Ecológicas.
		Determinar criterios de ecología urbana aplicable al proyecto.	
		Establecer estrategias socioambientales y culturales.	

10. MARCO METODOLOGICO.

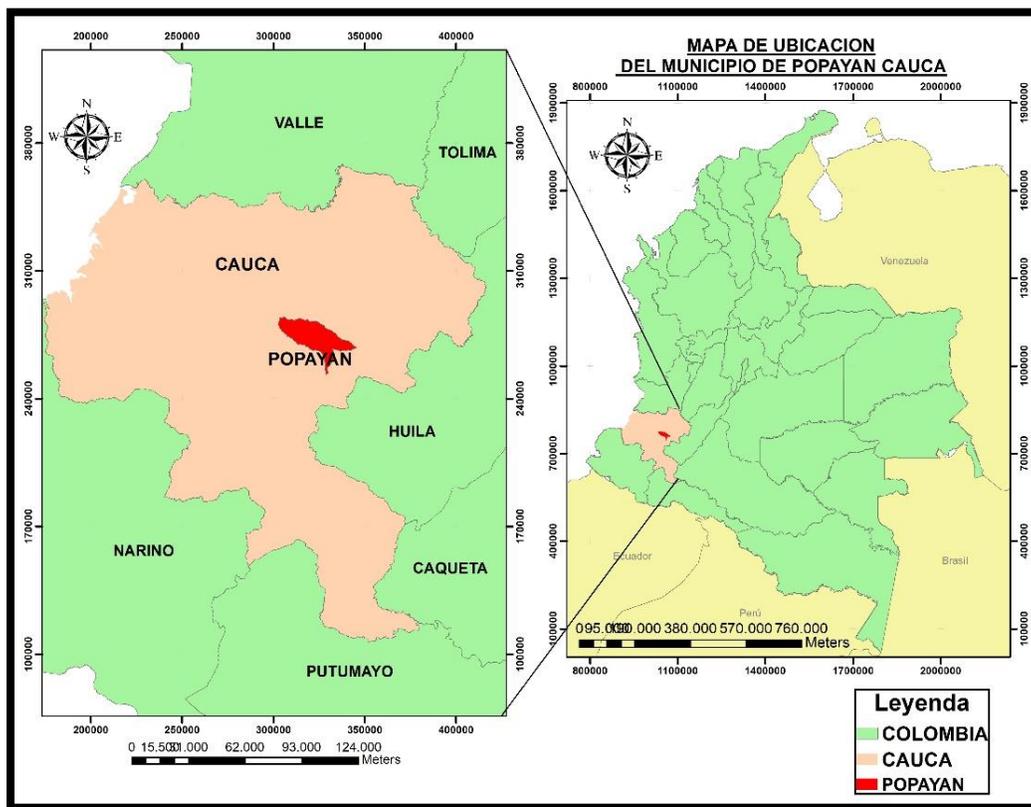
La metodología que a continuación se describe explica cada paso para la estimación de los contaminantes emitidos por fuentes móviles de transporte público de categoría pesada de la zona urbana del Municipio de Popayán Cauca.

10.1 Área de estudio

El área de estudio de este proyecto de investigación es el municipio de Popayán que corresponde al Departamento de Cauca, cuenta con una población de 277.270 habitantes (DANE, 2018) aproximadamente en su área urbana, La extensión territorial es de 512 km², con una altitud de 1.730 msnm y Temperatura promedio: 18.7°C (IDEAM, 2011) está situado al sur occidente de la República de Colombia.

El escenario objeto fue seleccionado buscando la mayor representatividad en el flujo vehicular que transita por el área urbana de la ciudad, comprendiendo un área de 27,25 km², con el propósito de analizar las emisiones vehiculares, por medio de un sistema de información geográfica en donde se evidencio la distribución de las emisiones contaminantes en la zona de estudio.

Mapa 1. Ubicación del Municipio de Popayán (Área de estudio).



Fuente: Elaboración propia.

10.2 MATERIALES Y MÉTODOS.

10.2.1 Información base.

Para llevar a cabo este proyecto fue necesario contar con información de las Cuatro Empresas De Transporte Público De Categoría Pesada, Movilidad futura, Plan de Ordenamiento Territorial Popayán, realizando solicitudes por medio de correos electrónicos y oficios, los cuales eran llevados a las diferentes empresas y así obtener información de primera mano, los datos que se solicitaron fueron : número de vehículos, horas de salida y tiempo en el recorrido, distribución vehicular, kilometraje, combustible, modelo (ver tabla 6), datos meteorológicos, haciendo registros en hojas de cálculo de Microsoft office Excel 2013.

Tabla 4. Información de las cuatro empresas

Información de las Empresas						
Numero vehículo	Hora de salida	Distribución vehicular (ruta y frecuencia)	Kilometraje y duración de cada recorrido	Combustible	Velocidad promedio	Modelo

Tabla 5. Datos meteorológicos

Temperatura Y % Humedad Relativa Ciudad Popayán Año 2019		
MES	Temperatura (C°)	Humedad (%)

10.2.2. Identificación de Vías con Mayor Tránsito Vehicular.

Para la identificación de las zonas con mayor tránsito vehicular, se analizaron las diferentes rutas de cada empresa mostrando los lugares y las frecuencias en tiempo de cada uno de los recorridos por donde estas pasaban, además se hizo la verificación de cada ruta con la aplicación App moovit, la cual muestra en un mapa el recorrido, la hora y el tiempo de la llegada de cada ruta, como también se tuvo en cuenta las zonas de clasificación según el plan de ordenamiento territorial vigente y movilidad futura, además se usó un mapa base de AutoCAD de la ciudad de Popayán, para luego ser plasmadas las zonas ya identificadas y georreferenciada para alimentar el sistema de información geográfica, utilizando el software ArcMap 10.5.

10.2.3 Actividad vehicular.

Esta actividad hace referencia al kilometraje promedio recorrido por los vehículos que hacen parte del parque automotor, para ello las empresas brindaron esta información importante para el cálculo de emisiones, la cual consistió en conocer los recorridos promedio que realizan los diferentes vehículos en la zona urbana.

Todo esto para establecer la distancia promedio diaria recorrida, donde además se tuvo en cuenta criterios como intensidad vehicular, actividad vehicular, exposición de población. El análisis permitió determinar los puntos críticos en cuanto a flujo vehicular por transporte público, La hora de análisis es de 7:00 am y 1 pm obedeciendo las horas pico en oferta y demanda del sistema de transporte público. De acuerdo con lo anterior, las emisiones se estimarán en kg/h. Para cada uno de los puntos críticos.

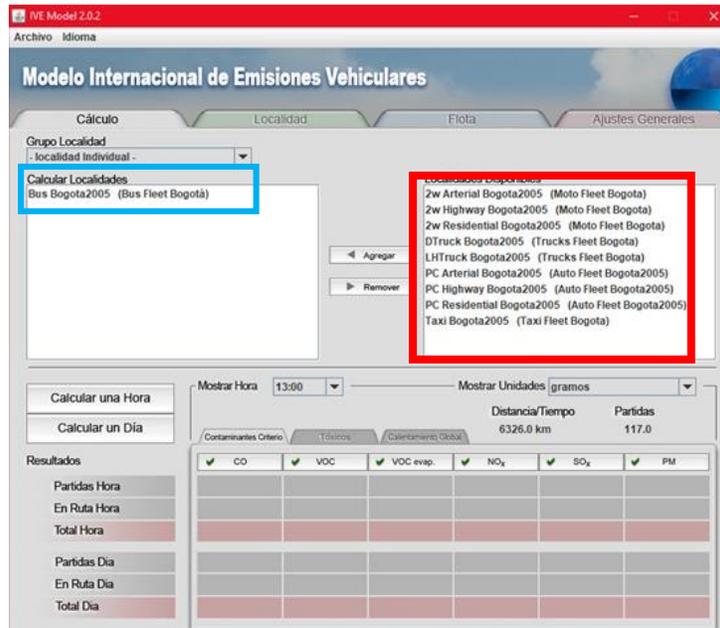
10.2.4. Estimación de emisiones: Para la estimación de las emisiones fue necesario descargar el software libre El modelo Internacional de Emisiones Vehiculares (IVE por sus siglas en Ingles) IVE versión 2.0 escrito en Java, adicionalmente fue necesario descargar una serie de información específica para la ciudad, puesto que IVE tiene para Bogotá condiciones específicas para la tipología vehicular, cuando se usa, se despliegan cuatro pestañas (calculo, localidad, flota y ajustes generales)

En cálculo se encuentra la opción localidad y flota correspondiente, en donde se puede seleccionar la hora, el día, emisiones y las unidades a trabajar (Ver imagen 1)

En la ficha flota, se seleccionó la flota vehicular a estudiar, como también su tecnología. (Ver imagen 2)

En la ficha localidad, se adicionan las condiciones ambientales, variables de combustible.

Imagen 1 Pestaña cálculo del modelo IVE



Fuente: Modelo IVE

En la imagen 1 se pueden ver los datos disponibles para Bogotá, señalados en color rojo, en donde están las localidades disponibles, mientras en azul la localidad escogida para el cálculo de las emisiones del transporte público.

Imagen 2. Pestaña flota del modelo IVE



Fuente: Modelo IVE

En la imagen 2, se muestra que la flota tiene valores para el estándar EURO (además trae su factor de emisión). En este caso, Ds significa diésel; Tk/Bus significa que está en el rango de bus o camión; Hv, Med o Lt, quiere decir si el bus es pesado, mediano o liviano; luego aparece el tipo de EURO; finalmente aparece información del cilindraje y es en este punto donde se puede escoger la antigüedad del bus, sin embargo, la opción más antigua que tiene IVE es: mayor a 161.000 km.

Imagen 3. Pestaña localidad del modelo IVE

The screenshot shows the 'Localidad' tab of the IVE Model 2.0.2 software. The interface is divided into several sections:

- Localidad:** Includes fields for 'Localidad' (Bus Bogota2005, Bus Fleet Bogotá), 'Dia' (01), 'Mes' (Enero), 'Año' (2019), 'Dia de la Semana' (Martes), 'Altitud' (1848.0 metros), and 'Tipo de IEM' (ralentí centralizado (veh. pas.)).
- Características Combustible:** Includes 'Clases' (moderada/sin pre...), 'Azufre (S)' (super bajo (15ppm)), 'Plomo (Pb)' (ninguno), 'Bioxígeno' (super bajo (0.20%)), and 'Oxigenador' (0%).
- Características de Conducción:** Includes 'Humedad' (89.0%), 'Temperatura' (20.0°C), 'Distancia/Tiempo' (29.0 kilómetros), and 'Partidas' (1.0).
- Emission Factors Table:** A grid of VSP values for various engine speeds and conditions.
- Summary:** Shows 'Velocidad Promedio' (36.0 km/hr), 'Total' (100.02 %), and 'Distribución Patencia Especifica Vehicular'.

Fuente: Modelo IVE

En la imagen 3, pestaña de localidad: para el cálculo de las emisiones es necesario saber las variables ambientales correspondientes a Popayán. Temperatura, humedad, pendiente y características del combustible, De acuerdo con la Resolución 40103 de 7 abril 2021, el Diesel usado para el transporte público es biodiesel con un bajo contenido de azufre (50ppm).

10.2.5 Factores De Emisión: Los factores de emisión empleados en este estudio se tomaron para vehículos de categoría pesada de la base de datos del International Vehicle Emission Model (IVE), desarrollados especialmente para la ciudad de Bogotá (L. A. Giraldo, 2005 2; Herrera, 2007, 25); para vehículos de transporte público (buses), Se seleccionaron cinco contaminantes criterio: monóxido de carbono (CO), material particulado (MP), dióxido de azufre (SO₂), compuestos orgánicos volátiles (VOC) y óxido de nitrógeno (NOX); estos fueron seleccionados entre todos los reportados por el IVE, los cuales dependen de la categoría vehicular, tipo de combustible, la edad o modelo por ser los principales contaminantes atmosféricos emitidos por las fuentes móviles dado que ha sido caso de estudio en diferentes investigaciones a nivel nacional y en investigaciones relacionadas con la evaluación del impacto de la contaminación asociado a daños a la salud y al ambiente.

10.3 Tratamientos De Datos: El proceso de estimación de emisiones en el modelo IVE consiste en multiplicar la base de factores de emisión por cada uno de los factores de corrección y por la distancia vehículo para cada tecnología.

El proceso de cálculo interno del modelo para estimar los factores de emisión corregidos se muestra en la Ecuación II.1. Esta ecuación multiplica la base de factores de emisión (B) por la serie de factores de corrección (K) para estimar los ajustes del factor de emisión (Q) para cada tipo de vehículo.

$$Q[t] = B[t] * K(1)[t] * K(2)[t] * \dots * K(x)[t] \quad \text{ecuación II.1}$$

La Ecuación II.2 pondera los factores de emisión corregidos por la fracción de viaje y el tipo de conducción para cada tecnología.

$$Q_{partida} = \sum_t \{f[t] * Q[t] * \sum_d [f[dt] * K[dt]]\} \quad (\text{Ec. II.2})$$

Tabla II.2. Descripción de las variables utilizadas en las ecuaciones de factores de emisión del modelo IVE

VARIABLE	DESCRIPCIÓN
B[t]	Base de factores de emisión para cada tecnología (partida (g/partida) o en ruta (g/km)).
Q[t]	Factores de emisión ajustados para cada tecnología (partida (g/partida) o en ruta (g/km)).
f[t]	Fracción de viaje por tecnología específica.
f[dt]	Fracción de tiempo por cada tipo de conducción o fracción de tiempo soak por tecnología específica.
Ū FTP	Velocidad Promedio del ciclo de conducción LA4 (una constante (kph)).

Ū C	Velocidad Promedio del ciclo de conducción específico, valor ingresado por el usuario en el archivo Localidad (kph).
-----	--

10.4 Análisis De Distribución De La Emisiones Por Medio De La Implementación De SIG

A partir de la información obtenida de la carga contaminante emitida, en la zona de estudio y de las características del comportamiento de los contaminantes, como también las dinámicas propias de cada zona, se hizo un análisis espacial con ayuda del software ArcMap 10.5, se efectuaron el almacenamiento, manipulación y análisis con el propósito de conocer la distribución espacio-temporal de los contaminantes atmosféricos, se realizó un mapa de distribución espacial, para lo cual se identificó y digitalizo los puntos críticos dentro de la zona urbana, por medio de una delimitación por polígonos de zonas de uso de suelo (comercial, residencial, recreacionales y de protección ambiental) y las coordenadas geográficas de inicio y fin de los tramos, como también se tuvo en cuenta el desplazamiento de las diferentes rutas, para posterior ubicación y representación de las diferentes emisiones contaminantes.

Para determinar la distribución de las emisiones se utilizó como información base el mapa del casco urbano de la ciudad de Popayán, del POT. Se determinaron los puntos críticos a partir de la información suministrada por las cuatro empresas de servicio público de la ciudad y con la ayuda de la aplicación moovit. Se uso un GPS para la georreferenciación de los puntos críticos seleccionadas a partir de la información anterior, se estructuro la base de datos del SIG y se digitalizo la información de rutas, puntos críticos y se alimentó la base de datos a partir de los resultados anteriores, información secundaria sobre condiciones ambientales y dinámicas de la flota automotor. A partir de esta se realizó el análisis espacial que permitió generar los mapas de clasificación de la contaminación y dispersión de la contaminación en la zona de estudio.

10.5 Planteamiento de estrategias desde la ecología urbana

A partir de la información que se obtuvo acerca de la estimación de la carga contaminante producida por el transporte público de categoría pesada, se logró identificar todo aquello que afecta el desarrollo ecológico dentro de la zona urbana del Municipio, de esta manera, poder actuar de forma más acertada sobre el desarrollo de la investigación, proponiendo así estrategias que promuevan el uso sostenible del recurso aire y lograr un entorno ecológico sostenible para un ambiente sano minimizando los efectos negativos sobre el área de estudio.

Para esto se realizó una clasificación y valoración de los elementos que mayor afectación generan sobre la calidad del aire de la zona de estudio. Esta evaluación se hizo a partir de la información obtenida en los procedimientos anteriormente planteados estableciendo criterios de valoración.

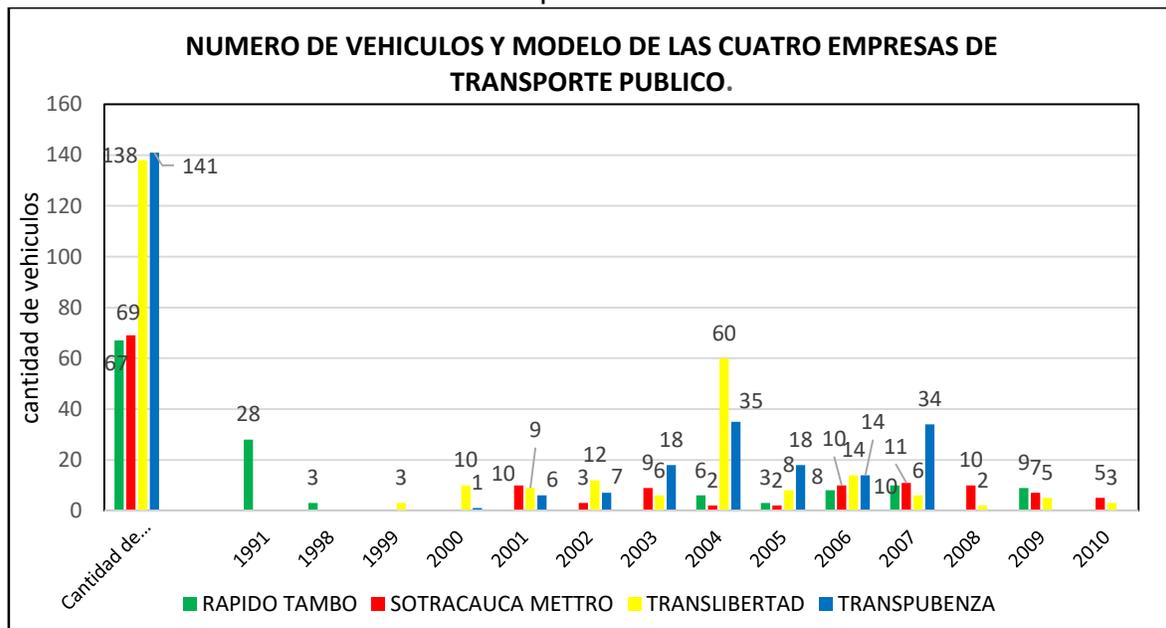
A partir de la evaluación realizada, en orden de importancia se plantearon estrategias enfocadas en la ecología urbana. Por medio de información primaria y secundaria, donde se enfocó en las características ambientales de la zona de estudio y la interacción sociocultural. Como también el Plan de Ordenamiento Territorial (POT), investigaciones y lineamientos técnicos y normativos ambientales.

11. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

11.1. Estimación de carga contaminante producida por el transporte público urbano

A partir de la información suministrada, de las Cuatro Empresas De Transporte Público, del año 2019 se obtuvo información del número de vehículos, combustible, kilómetros recorridos, hora de salidas y tiempo en el recorrido, distribución vehicular y el modelo (ver anexos de tabla 1 – 5). En el informe de Plan de Movilidad para el Municipio de Popayán 2015, se encontró el uso de suelo de la zona urbana del municipio categorizándolo como zona residencial, comercial, y educativa (ver tabla 6). Del Instituto Geográfico Agustín Codazzi se consiguieron datos meteorológicos como temperatura anual y humedad relativa (ver tabla 12), por otra parte por medio de aplicaciones como app GPS ALTURA se encontró la longitud, altura y coordenadas (ver tabla 6), asimismo se empleó la app MOOVIT, la cual permite visualizar cada uno de los recorridos de las diferentes rutas establecidas por las empresas dentro de la zona urbana (ver imagen 4), además con la ayuda de la página calcular todo.com www.calculartodo.com se calculó la pendiente de cada uno de los puntos mencionados anteriormente, (ver tabla 7) todo esto con el fin de obtener datos importantes para llevar a cabo el proyecto de investigación, los cuales fueron organizados, procesados de manera detallada para luego ser analizados.

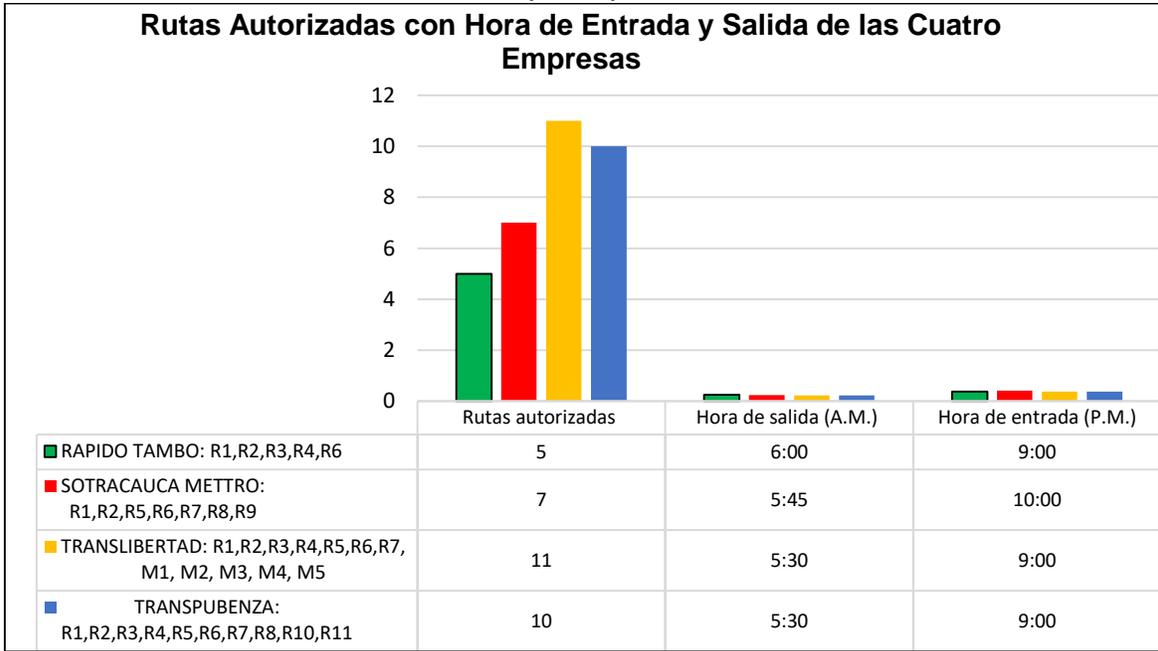
Grafica 1. Número de vehículos y modelos de las cuatro empresas de transporte público.



De acuerdo con la información suministrada por las cuatro empresas de transporte público, se puede evidenciar que la empresa con mayor número de vehículos es

Transpubenza, con 141 vehículos, con modelos del 2001 hasta 2007, seguido de la empresa Translibertad con 138 vehículos con modelos desde 1999 hasta 2010, Sotracauca con 69 vehículos con modelos del 2001 hasta 2010, finalmente rápido tambo cuenta con 67 vehículos de los cuales se encontraron modelos desde 1991-1998- 2004 hasta 2009, a pesar de ser una empresa con el menor número de vehículos se evidencia que su parque automotor no cumple con la ley 276 de 1996, la cual Plantea que el Parque Automotor del Servicio Público de Pasajeros y/o mixto. La vida útil máxima de los vehículos terrestres de servicio público colectivo de pasajeros y/o mixto será de veinte (20) años (Ministerio de transporte, 1996). Lo anterior repercute de manera directa y negativa en los indicadores de la calidad de aire, según Abenoza & Daza afirman que, dado que no existe un proceso de actualización de matrículas que permitan identificar con exactitud el número de vehículos fuera de uso. La falta de legislación nacional e iniciativas del gobierno, los altos índices de ilegalidad, la falta de investigación, las características culturales y la falta de conciencia sobre la responsabilidad ambiental individual.

Grafica 2. Rutas autorizadas y hora de entrada y salida de las cuatro empresas de transporte público



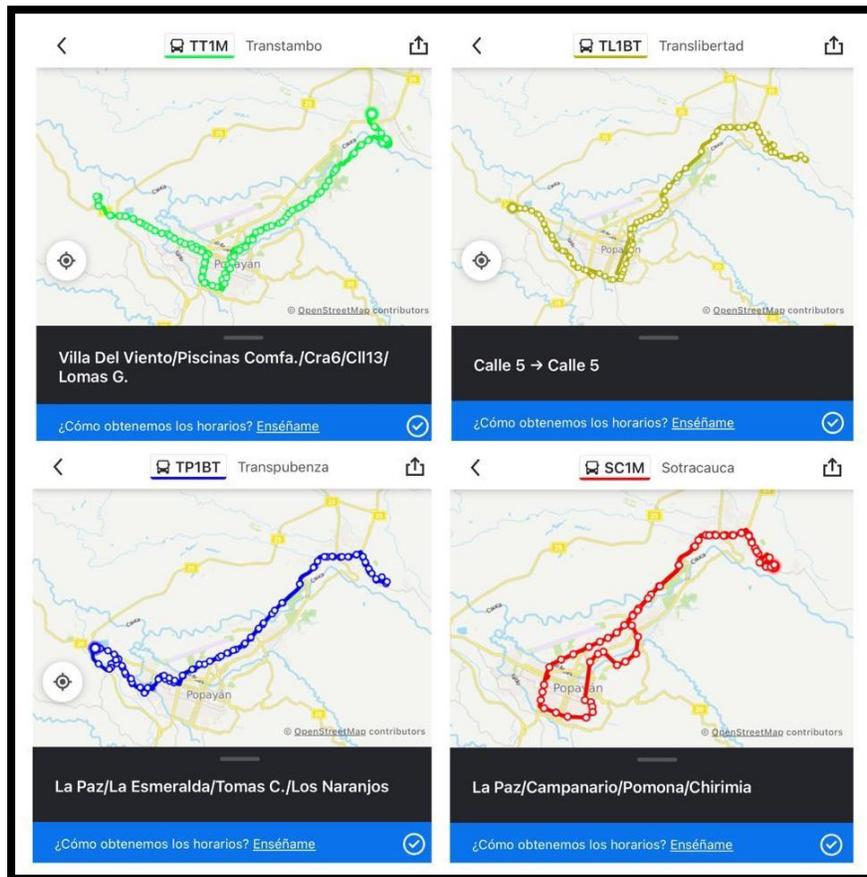
La anterior gráfica, ilustra el número de rutas y horas de entrada y salida, dentro de la zona urbana del municipio, destacando la empresa de Transpubenza con un numero de 10 rutas seguida de la empresa Sotracauca con 7 rutas, Translibertad con 11 rutas y finalmente rápido tambo con 5 rutas. Además, se puede evidenciar que la ruta que sale a las 5:30 am son Translibertad y Transpubenza, por lo tanto antes de esta hora no hay afectación por transporte público, por otro lado la ruta que termina su jornada es Sotracauca a las 10 pm, por consiguiente después de esta hora no hay afectación de contaminación atmosférica generada por transporte urbano por fuentes móviles en la ciudad, por lo tanto, es importante considerar que

para determinar la afectación que genera el transporte urbano, se presenta en el horario comprendido entre las 5:30am hasta las 10 pm.

11.1.2 Identificación de puntos críticos de emisiones provenientes de fuentes móviles, en la zona urbana del municipio de Popayán.

A partir de la digitalización de la información obtenida, se determinaron los puntos críticos dentro de la zona urbana, estos se obtuvieron haciendo el análisis de cada una de sus rutas estipuladas de las cuatro empresas por donde estas transitan, como también se hizo el seguimiento por medio de la aplicación App móvil (Ver imagen 4), para la respectiva verificación, es por esto que, después de este análisis se determinaron como puntos críticos para esta investigación (ver tabla 6), adicionalmente se plasmó esta información en ArcMap para generar mapas mostrando gráficamente los puntos críticos establecidos de acuerdo con el análisis obtenido.

Imagen 4. Visualización de los recorridos de las rutas por ampliación App MOOVID



Fuente: App MOOVID

A continuación, en la tabla 6 se encuentra información referente a los puntos críticos escogidos con su respectivo uso de suelo, coordenadas y altura, con la ayuda de aplicación App GPS Altitud, dado que es información importante para la ejecución del modelo IVE.

Tabla 6. Información referente a los puntos críticos.

Puntos críticos	Uso del suelo	Coordenadas	Altura
Sena Alto	Residencial – Educativo	Latitud 2.482483 longitud -76.563002	1848 msnm
Tablazo	Residencial	Latitud 2.471831 Longitud -76.577837	1772 msnm
Campanario	Residencial – Comercial	Latitud 2.459539 Longitud-76.593390	1765 msnm
Centro registradora	Residencial – Comercial	Latitud 2.442903 Longitud- 76.608070	1718 msnm
Ulloa	Residencial – comercial – Educativo	Latitud 2.438475 longitud – 76.604011	1727 msnm
Glorieta de la Chirimía	Residencial – Comercial	Latitud 2.437162 longitud – 76.616032	1696 msnm
Barrio Bolívar	Residencial	Latitud 2.448081 longitud – 76.603591	1729 msnm
Franciscanas	Residencial – Educativo	Latitud 2.453542 Longitud – 6.594005	1723 msnm
Esmeralda	Residencial	Latitud 2.445356 Longitud-76.615104	1705 msnm
Cementerio	Residencial	Latitud 2.447151 Longitud -76.620465	1706 msnm
Iglesia María Occidente	Comercial	Latitud 2.453026 Longitud – 76.632053	1719 msnm
Lomas de Granada	Educativo	Latitud 2.459850 Longitud – 76.644535	1709 msnm

En la tabla 7 se muestra una de las variables ambientales como es la pendiente de cada uno de los puntos llamados críticos ya que, estos parámetros son incluidos en

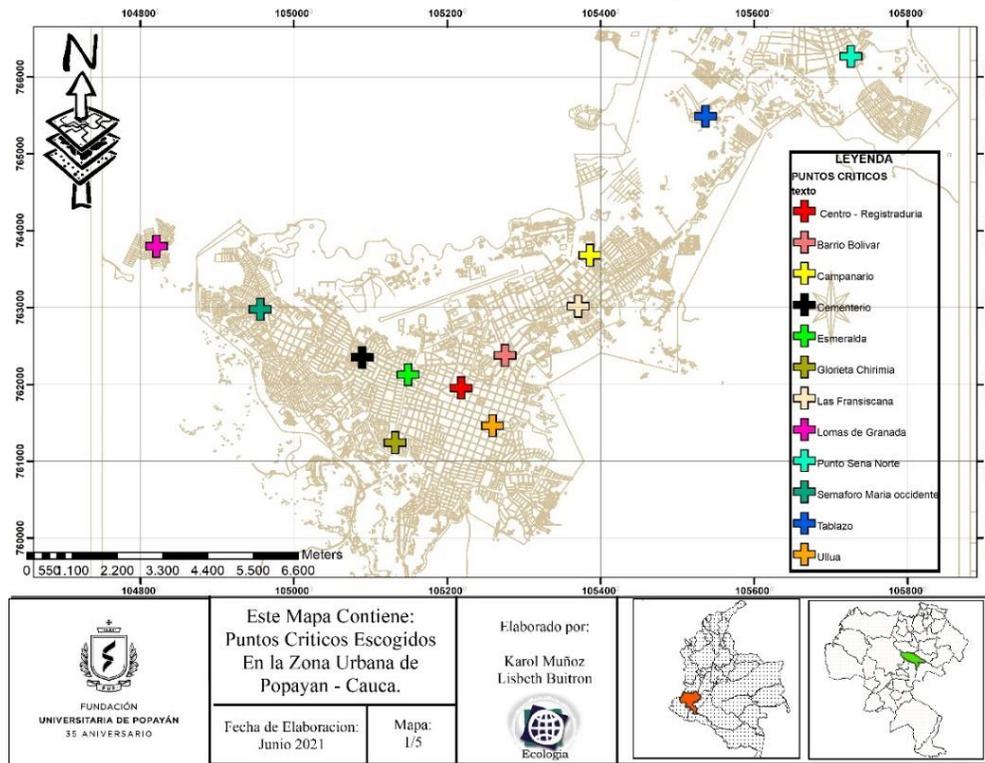
el modelo IVE debido que tiene un notable potencial de tener un impacto significativo en las emisiones.

Tabla 7. Datos para determinar la pendiente.

Puntos críticos	Altura (m)	Longitud (m)	Pendiente (%)
Sena – Tablazo	76	2169.70	3,50
Tablazo – Campanario	7	2410.37	0,29
Campanario - Franciscanas	42	8107.39	0,52
Franciscanas – B. Bolívar	4	1409.44	0,28
B. Bolívar – C. Registradora	9	8083.71	0,11
C. Registradora – Ulloa	11	8007.40	0,14
Ulloa – Glorieta Chirimía	33	1705.07	1,94
Glorieta Chirimía – Esmeralda	9	1061.71	0,85
Esmeralda - Cementerio	1	7472.55	0,01
Cementerio – Iglesia M. Occ.	13	1489.17	0,87
Iglesia M. Occ. – L. Granada	10	1757.04	0,57

Mapa 2: Puntos críticos escogidos. Como resultado de los datos obtenidos se obtuvo un mapa en donde muestra los puntos críticos para este estudio dentro de la zona urbana de la ciudad de Popayán.

Mapa 2. Puntos críticos escogidos.



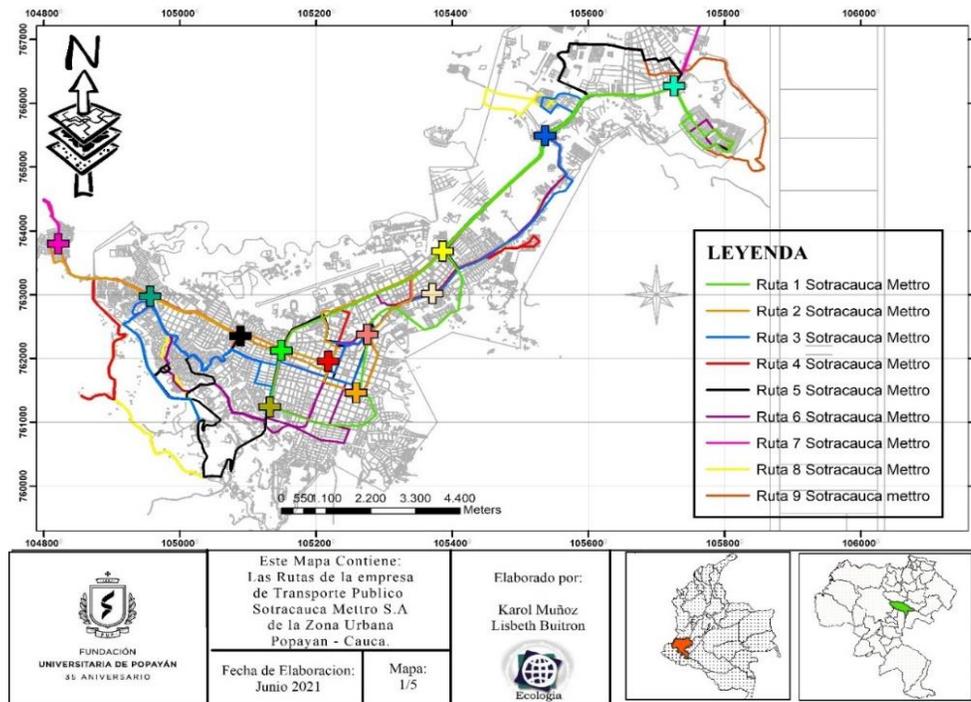
Fuente: Elaboración propia, 2021

Teniendo en cuenta la información suministrada por la empresa Sotracauca Metro, en la tabla 8 se muestra las rutas y el número de veces por donde estas transitan por los puntos ya escogidos llamados puntos críticos dentro de la zona de estudio. Adicionalmente, en el mapa 3, ilustración de rutas por donde estas transitan en la ciudad.

Tabla 8. Datos de las rutas de la empresa Sotracauca Metro

SOTRACAUCA METTRO S.A.										
PUNTOS CRITICOS	RUTAS ESTIPULADAS POR LA EMPRESA									
	1M	2M	3M	4M	5M	6M	7M	8M	9M	TOTAL
1. SENA NORTE	X	X			X	X	X		X	6
2. TABLAZO	X	X	X		X	X	X	X	X	8
3. CAMPANARIO	X	X	X		X	X	X		X	7
4. CENTRO – REGISTRADURIA		X		X		X	X	X		5
5. ULLOA	X	X		X	X			X		6
6. BARRIO BOLIVAR	X	X	X	X	X	X	X	X		8
7. FRANCISCANAS			X	X	X	X	X	X		6
8. GLORIETA CHIRIMIA	X		X		X		X			4
9. ESMERALDA		X		X	X		X	X	X	6
10. CEMENTERIO		X		X	X		X	X	X	6
11. IGLESIA MARIA OCCI.		X		X			X	X	X	5
12. LOMAS DE GRANADA		X					X		X	3

Mapa 3. Rutas Sotracauca Metro



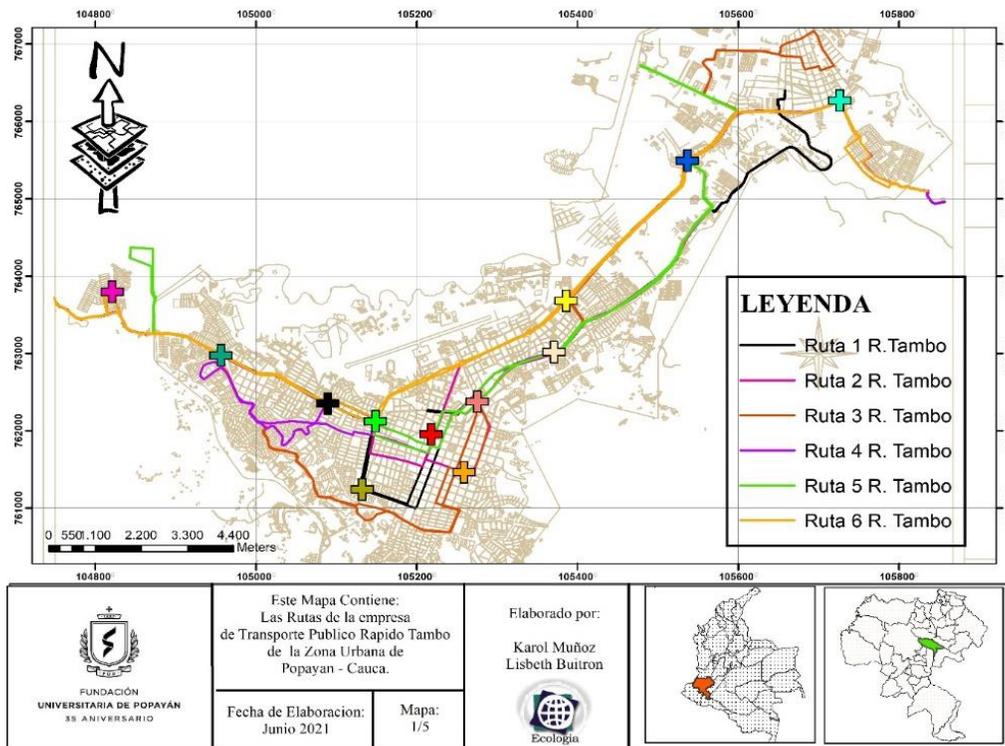
Fuente: Elaboración propia, 2021

Teniendo en cuenta la información suministrada por la empresa Rápido Tambo, en la tabla 9 se muestra las rutas y el número de veces por donde estas transitan por los puntos ya escogidos llamados puntos críticos dentro de la zona de estudio. Adicionalmente, en el mapa 4 se ilustran las rutas por donde estas transitan en la ciudad.

Tabla 9. Datos de las Rutas de Rápido Tambo

RAPIDO TAMBO							
PUNTOS CRITICOS	RUTAS ESTIPULADAS POR LA EMPRESA						
	1M	2M	3M	4M	5M	6M	TOTAL
1. SENA NORTE		X		X		X	3
2. TABLAZO		X	X	X	X	X	5
3. CAMPANARIO		X	X			X	3
4. CENTRO – REGISTRADURIA	X	X		X	X		4
5. ULLOA		X	X				2
6. BARRIO BOLIVAR	X	X	X	X	X		5
7. FRANCISCANAS	X	X	X	X	X		5
8. GLORIETA CHIRIMIA	X						1
9. ESMERALDA	X	X		X	X	X	5
10. CEMENTERIO	X	X		X	X	X	5
11. IGLESIA MARIA OCCI.	X	X	X		X	X	5
12. LOMAS DE GRANADA	X	X	X			X	4

Mapa 4. Rutas de Rápido Tambo



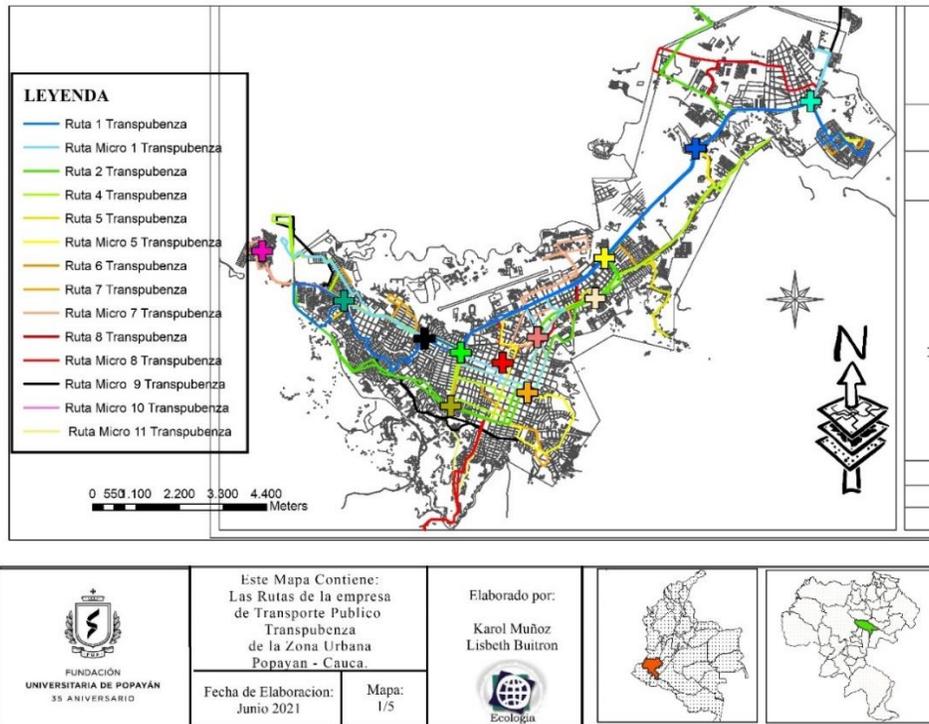
Fuente: Elaboración propia, 2021

Teniendo en cuenta la información suministrada por la empresa Transpubenza, en la tabla 10 se muestra las rutas y el número de veces por donde estas transitan por los puntos ya escogidos llamados puntos críticos dentro de la zona de estudio. Adicionalmente, en el mapa 5 se ilustran las rutas por donde estas transitan en la ciudad.

Tabla 10. Datos de las Rutas Transpubenza.

TRANSPUBENZA															
PUNTOS CRITICOS	RUTAS ESTIPULADAS POR LA EMPRESA														
	1B	2B	2M	4B	5B	5M	6B	7B	7M	8B	8M	9B	10B	11B	TOTAL
1. SENA NORTE	X		X			X	X			X		X	X	X	8
2. TABLAZO	X	X	X			X	X			X	X	X	X	X	10
3. CAMPANARIO	X	X	X			X		X	X		X	X	X		9
4. CENTRO - REGISTRADURIA									X					X	2
5. ULLOA		X	X	X	X	X	X		X	X				X	9
6. BARRIO BOLIVAR		X	X	X	X	X	X		X	X	X	X		X	11
7. FRANCISCANAS		X		X	X	X	X			X				X	7
8. GLORIETA CHIRIMIA		X		X	X		X	X		X	X			X	8
9. ESMERALDA	X		X	X	X		X	X	X	X			X		9
10. CEMENTERIO	X		X	X	X		X	X	X	X			X		9
11. IGLESIA MARIA OCCI.	X		X	X			X		X	X		X	X		8
12. LOMAS DE GRANADA									X				X		2

Mapa 5. Rutas Translibertad



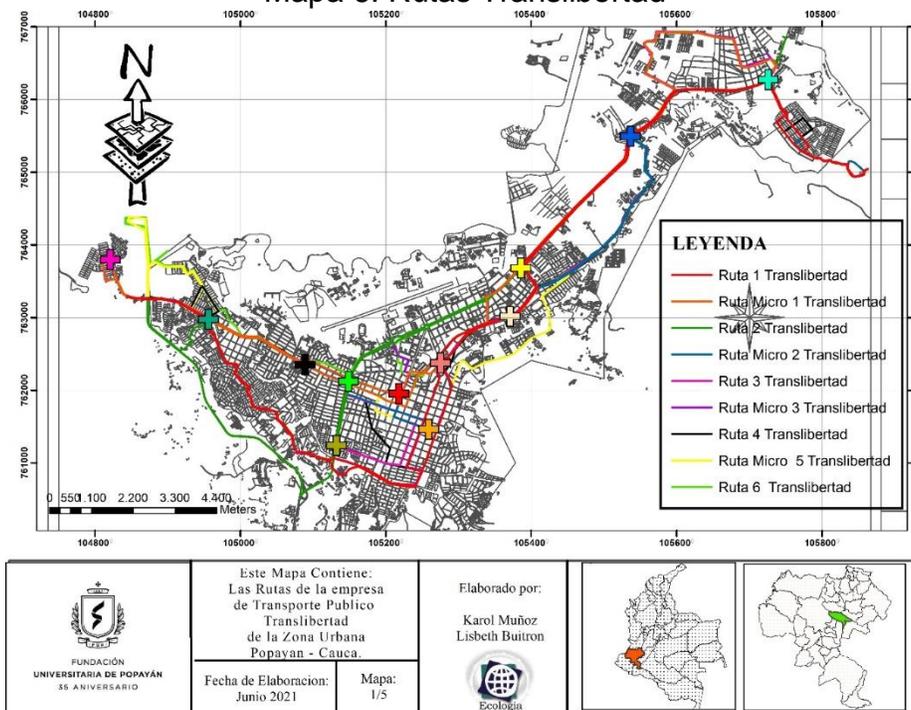
Fuente: Elaboración propia, 2021

Teniendo en cuenta la información suministrada por la empresa Translibertad, en la tabla 11 se muestra las rutas y el número de veces por donde estas transitan por los puntos ya escogidos llamados puntos críticos dentro de la zona de estudio. Adicionalmente, en el mapa 6 se ilustran las rutas por donde estas transitan en la ciudad.

Tabla 11. Datos de las Rutas Translibertad

TRANSLIBERTAD										
PUNTOS CRITICOS	RUTAS ESTIPULADAS POR LA EMPRESA									
	1B	1M	2B	2M	3B	3M	4B	5B	6B	TOTAL
1. SENA NORTE	X	X	X	X	X		X	X	X	8
2. TABLAZO	X	X	X	X	X	X	X	X	X	9
3. CAMPANARIO	X	X	X			X			X	5
4. CENTRO – REGISTRADURIA		X				X		X		3
5. ULLOA	X			X	X	X	X	X		6
6. BARRIO BOLIVAR	X	X		X	X	X	X	X		7
7. FRANCISCANAS	X	X		X	X	X	X	X		7
8. GLORIETA CHIRIMIA			X		X		X			3
9. ESMERALDA		X		X	X		X	X	X	6
10. CEMENTERIO		X		X	X		X	X	X	6
11. IGLESIA MARIA OCCI.	X	X		X	X	X	X	X	X	8
12. LOMAS DE GRANADA		X		X		X				3

Mapa 6. Rutas Translibertad



Fuente: Elaboración propia, 2021

11.1.3. Variables Ambientales Para La Estimación De Contaminantes Por Medio Del Modelo IVE

En la tabla 12, se encuentra información de datos meteorológicos del año 2019, de la ciudad de Popayán, con el fin de ser empleados en el modelo IVE, para la estimación de los contaminantes.

Tabla 12. Datos Meteorológicos de la ciudad de Popayán del año 2019.

TEMPERATURA Y % HUMEDAD RELATIVA CUIDAD POPAYAN AÑO 2019.				
MES	Temperatura (C°)		Humedad (%)	
	7:00 a.m.	1:00 p.m.	7:00 a.m.	1:00 p.m.
Enero	20	30	89	48
Febrero	22	30	90	52
Marzo	21	29	91	52
Abril	21	29	52	56
Mayo	21	28	92	61
Junio	21	29	93	57
Julio	20	29	89	51
Agosto	19	30	88	45

Septiembre	22	33	88	41
Octubre	20	28	92	58
Noviembre	21	29	90	57
Diciembre	21	31	91	54

Fuente: Guillermo León Valencia.

Por consiguiente, al emplear el modelo IVE fue ejecutado utilizando una temperatura en un rango entre 22°C y 30°C y la humedad relativa entre 90% y 52% lo cual corresponde a condiciones extremas (mínimas y máximas) que reporta la estación meteorológica de la ciudad localizada en el aeropuerto Guillermo León Valencia de Popayán para el año 2019. Los resultados no arrojaron ninguna variación en las emisiones, debido a que las variables ambientales son utilizadas como factores de corrección que modifican las variables de los modos de conducción. Teniendo en cuenta este cálculo interno del modelo, la humedad relativa y temperatura modifican la influencia del uso del aire acondicionado en las variables del comportamiento vehicular, no obstante a causa que los buses de la ciudad no utilizan aire acondicionado, el modelo no presenta cambio en las emisiones al realizar.

11.1.4 Aplicación Del Modelo IVE Para Los Puntos Críticos.

La siguiente tabla 13, muestra los valores calculados para la implementación del modelo IVE, usando variables ambientales, patrones de conducción (Velocidad y Tiempo), en donde la altura se obtuvo por medio de la aplicación GPS ALTITUD, la pendiente se calculó usando la altura inicial menos la altura final sobre la longitud. La velocidad promedio y el tiempo se obtuvieron mediante la información suministrada por las empresas, el tiempo promedio fue calculado contando con el tiempo que recorría cada una de las rutas dependiendo el número de rutas que transitaban por cada punto crítico.

Tabla 13. Valores calculados para la implementación del modelo

Puntos Críticos	Altura	Pendiente	Velocidad Promedio	Tiempo Promedio(min)	Tiempo Recorrido(min)
Sena Alto	1848	3.5	32	128	2732
Tablazo	1772	0.29	31.7	81	3429
Campanario	1765	0.52	32.03	125	2405
Centro registradora	1718	0.14	31.4	82	1485
Ulloa	1727	1.94	31.7	69	2202
Glorieta de la Chirimía	1696	0.85	31.2	76	1639
Barrio Bolívar	1729	0.11	31.4	80	3208
Franciscanas	1723	0.28	31.5	82	2659
Esmeralda	1705	0.01	31.5	82	2600
Cementerio	1706	0.87	31.6	82	2600
Iglesia María Occidente	1719	0.57	3.6	83	2527

Lomas de Granada	1709	0.58	32	116	1277
------------------	------	------	----	-----	------

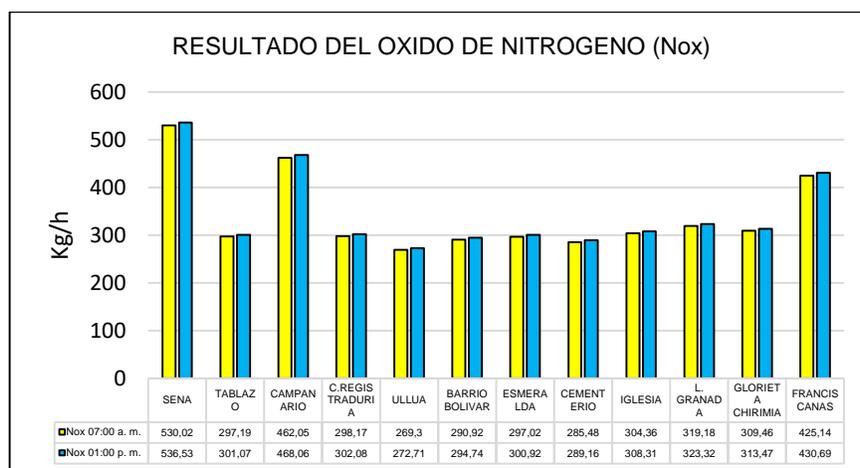
Por otra parte, en la Tabla 14 se muestran los resultados consolidados obtenidos por el modelo IVE para las emisiones totales de contaminantes criterio de la categoría vehicular, año base 2019. La composición del parque automotor de la ciudad de Popayán. Se calculó a partir de la información suministrada por las empresas de transporte público urbano. Los horarios escogidos fueron 7 am y 1 pm, debido a que es el horario más común de entrada y salida para estudiantes y trabajadores. Se aclara que la emisión reportada como material particulado (PM) hace referencia a material particulado con diámetro aerodinámico menor o igual a 10 µm (PM10).

Tabla 14. Resultados número 1, de los contaminantes criterios empleados con el modelo IVE

Puntos críticos	Datos modelo IVE. (kg/h)									
	Co		COV		NOx		Sox		PM	
	7:00 a.m.	1:00 p.m.	7:00 a.m.	1:00 p.m.	7:00 a.m.	1:00 p.m.	07:00 a.m.	01:00 p.m.	07:00 a.m.	01:00 p.m.
SENA	183.16	185.27	37.01	37.0	530.02	536.53	0.57	0.58	66.75	67.52
TABLAZO	100.73	101.91	23.42	23.42	297.19	301.07	0.29	0.3	36.71	37.14
CAMPANARIO	156.8	158.64	36.14	36.14	462.05	468.06	0.46	0.46	57.14	57.81
C.REGISTRADURIA	100.9	102.09	23.71	23.71	298.17	302.08	0.29	0.3	36.77	37.2
ULLUA	92.22	93.29	19.95	19.95	269.3	272.71	0.28	0.28	33.61	34.0
BARRIO BOLIVAR	98.45	99.6	23.13	23.13	290.92	294.74	0.29	0.29	35.88	36.3
ESMERALDA	100.44	101.62	23.71	23.71	297.02	300.92	0.29	0.29	36.61	37.03
CEMENTERIO	97.14	98.28	21,97	21.97	285.48	289.16	0.29	0.29	35.4	35.82
IGLESIA	103.36	104.57	23.71	23.71	304.36	308.31	0.3	0.31	37.67	38.11
L. GRANADA	108.39	109.66	24.86	24.86	319.18	323.32	0.32	0.32	39.5	39.96
GLORIETA CHIRIMIA	105.17	106.4	24.0	24.0	309.46	313.47	0.31	0.31	38.33	38.78
FRANCISCANAS	144.06	145.75	33.54	33.54	425.14	430.69	0.42	0.42	52.5	53.12

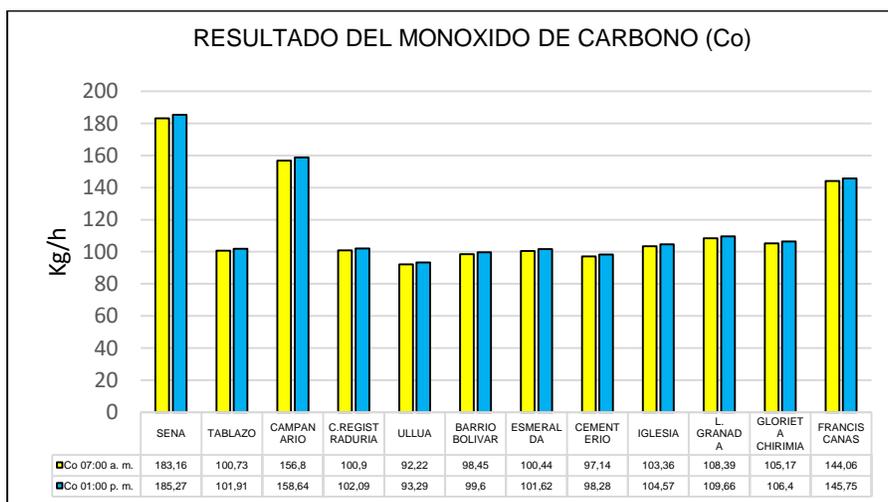
Grafica 3 las emisiones de Óxido de Nitrógeno, al igual que los demás contaminantes presentan una mayor tasa de emisiones sobre las principales zonas, siendo este uno de los contaminantes más emitidos con valores de 530.53Kg/h siendo este el valor más alto, ubicado en el Sena Norte y el valor con menos es de 272.71 kg/h, en el Ulloa, siendo estos valores emitidos en horas de la tarde

Grafica 3. Óxidos de Nitrógeno



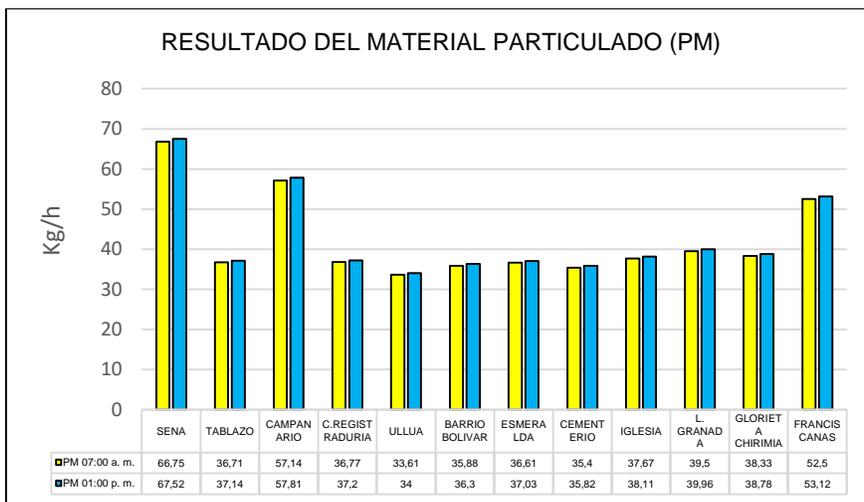
Seguidamente en la gráfica 4 el Monóxido de Carbono, es el segundo contaminante que es emitido en la ciudad de Popayán con unos valores de 185.27Kg/h siendo este el valor más alto, ubicado en el Sena Norte y el valor con menos es de 93.29 kg/h, en el Ullua, siendo estos valores emitidos en horas de la tarde.

Grafica 4. Monóxido de Carbono



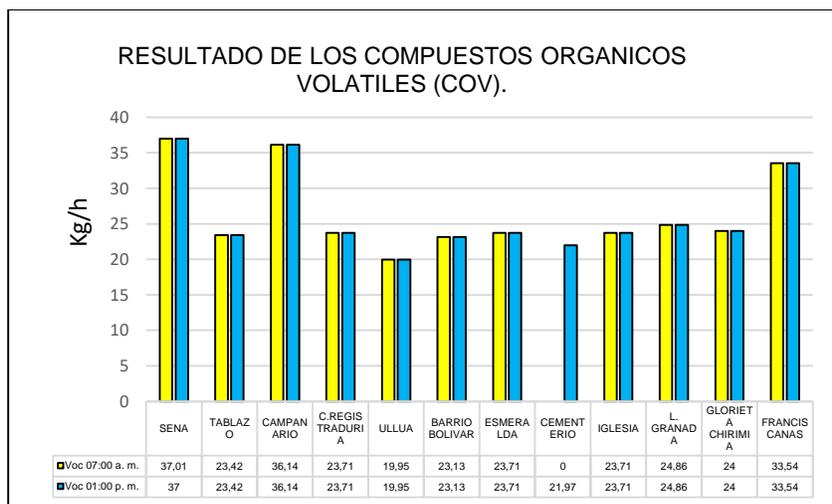
A continuación, en la gráfica 5 el Material Particulado, es el tercer contaminante que alcanza valores de 67.52 Kg/h siendo este el valor más alto, ubicado en el Sena Norte y el valor con menos es de 34.0 kg/h, en el punto crítico llamado el Ullua, estos valores emitidos en horas de la tarde.

Grafica 5. Material Particulado.



Por consiguiente, en la gráfica 6 muestra los resultados del contaminante Compuestos Orgánicos Volátiles, el cual, es el cuarto contaminante que alcanza valores de 37.01 Kg/h siendo este el valor más alto, ubicado en el Sena Norte y el valor con menos es de 19.95 kg/h, en el punto crítico llamado el Ulloa, estos valores emitidos en horas de la tarde.

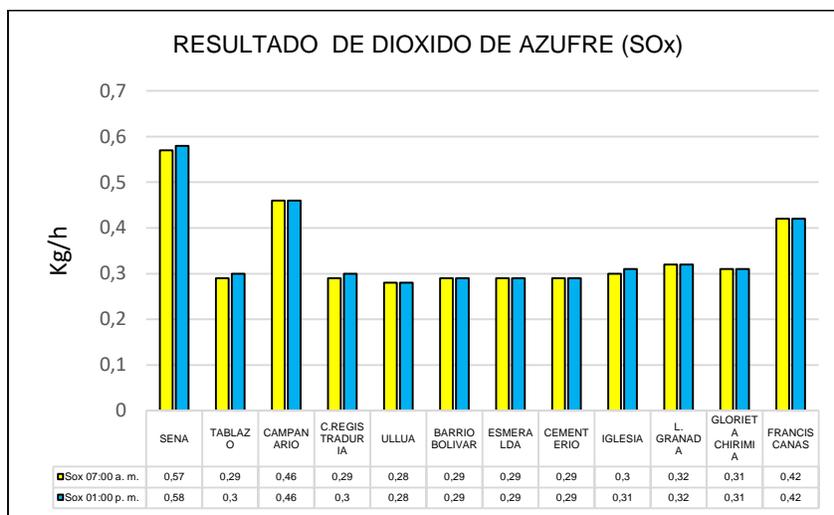
Grafica 6. Puestos Orgánicos Volátiles.



Finalmente, en la gráfica 7 muestra los resultados del contaminante Dióxido de Azufre, el cual es el último contaminante emitido en la zona urbana del municipio de Popayán, alcanzando que valores de 0.58 Kg/h siendo este el valor más alto,

ubicado en el Sena Norte y el valor con menos es de 0.28 kg/h, en el punto crítico llamado el Ulloa, estos valores emitidos en horas de la tarde.

Grafica 7. Dióxido de azufre



De acuerdo con el artículo estimación de las emisiones de contaminantes atmosféricos provenientes de fuentes móviles en el área urbana de Envigado por Londoño *et al* 2011 usando el modelo IVE, como resultado muestra que los buses representaron valores críticos con respecto a su aporte a las emisiones totales de esta categoría dado que es el responsable de un alto porcentaje de contaminación, siendo los Óxidos de Nitrógeno, con un 40% de emisiones, por su parte las horas de mayores emisiones se presentan entre las 11 y 12 y las 14 horas en las cuales se intensifican el volumen vehicular por desplazamientos en el intermedio de la jornada laboral.

Por otro lado, Valencia *et al* 2015 en su investigación titulada modelo para la estimación de emisiones vehiculares como herramienta para la gestión ambiental institucional, muestran los porcentajes de emisión para cada tipo de vehículo donde se encuentra que, para el CO, el vehículo particular es el mayor emisor con un 41 %, debido a la combustión de gasolina corriente, la cual fue reportada como el combustible más empleado. Para los contaminantes MP, SO₂ y NO_x el transporte público colectivo es el mayor responsable de este tipo de emisiones con un 91 % de MP, 94 % de SO₂ y un 89 % de NO_x debido al alto nivel de impurezas y a la quema ineficiente del tipo de combustible utilizado.

Ahora bien, para este estudio en la gráfica 3 se ilustra los valores de los óxidos de nitrógeno (NO_x) siendo el contaminante criterio que más se emite en el ciclo de conducción presentado para la ciudad de Popayán, contando en su máxima emisión con rangos desde 200 – 550 kg/h. Seguido por la gráfica 4, que corresponde a los Monóxidos de Carbono (Co) con un rango de 50 – 200 kg/h. Donde la gráfica 5 del

Material Particulado (MP) con rangos desde 20 - 60 kg/h. Seguidamente de la gráfica 6, de los Compuestos Orgánicos Volátiles (COV) con rangos de 10 - 50 kg/h y por último la gráfica 7, de los Óxidos de Azufre (SOx) con rangos 0.10 – 0,60 kg/h. De acuerdo con los resultados expuestos en la tabla 14 era de esperarse que en las horas de la mañana (7:00 am) las emisiones de contaminantes criterio fueran menores debido a que se presentaron bajos niveles de temperatura y humedad, pese a la influencia en actividad vehicular. De la misma manera los periodos de mayor flujo vehicular se incrementaron a partir de la 1: 00 de la tarde en todos los contaminantes presentan altas emisiones, probablemente debido al aumento de la actividad vehicular dentro de la ciudad.

Según los resultados obtenidos en el estudio llamado estimación de las emisiones de contaminantes atmosféricos provenientes de fuentes móviles en el área urbana de Envigado, Colombia, la siguiente tabla 15 muestra los valores obtenidos por medio del modelo IVE, en donde se realizó la comparación de los valores para la categoría vehicular buses, mostrando el dióxido de nitrógeno como el principal contaminante, para ambos estudios, se tuvieron en cuenta los valores de las horas de la tarde, puesto que se presenta el mayor flujo vehicular para ambas ciudades.

Tabla 15 Comparación de resultados del estudio realizado en Envigado, 2011 y resultados obtenidos para este estudio

RESULTADOS DEL ESTUDIO DE ENVIGADO					
Categoría	Contaminantes				
	CO	VOC	Nox	PM 10	Sox
Buses	964.53	195.89	1422.53	72.75	7.49

RESULTADOS OBTENIDOS DE POPAYAN					
Categoría	Contaminantes				
	CO	VOC	Nox	PM 10	Sox
Buses	185.27	37.0	536.53	67.52	0.58

A continuación, en la tabla 16 se presenta los datos que fueron calculados para determinar la velocidad promedio para cada una de las rutas de las cuatro empresas de transporte en público en Popayán par emplearlos en el modelo IVE.

Tabla 16. Datos del total del número de rutas que transitan por cada punto crítico

Empresas	Puntos Críticos con su Velocidad Promedio (V.P.)											
	Sena norte		Tablazo		Campanario		Registraduría		Ulloa		Barrio Bolívar	
	Nª Rutas	V. P.	Nª Rutas	V. P.	Nª Rutas	V. P.	Nª Rutas	V. P.	Nª Rutas	V. P.	Nª Rutas	V. P.
Sotracauca	6	33.6	8	36.1	7	36	5	36.2	5	35	8	35.5

Transpubenza	8	19	10	19	9	19	2	19	9	19	11	19
Rápido tambo	3	37.6	5	36.6	3	37.6	4	35.7	2	37.5	5	36
Trans libertad	8	35.2	9	35.2	5	35.4	3	35	6	35.3	7	35.2
Total	25	32.0	32	31.7	24	32	14	31.4	22	31.7	31	31.4

Empresas	Franciscanas		Chirimía		Esmeralda		Cementerio		Iglesia		Lomas de granada	
	Nª Rutas	V. P.	Nª Rutas	V. P.	Nª Rutas	V. P.	Nª Rutas	V. P.	Nª Rutas	V. P.	Nª Rutas	V. P.
Sotracauca	6	36.1	4	35.2	6	36.6	6	36.6	5	36.4	3	37.3
Transpubenza	7	19	8	19	9	19	9	19	8	19	2	19
Rápido tambo	5	36	1	35	5	36.1	5	36.2	5	36.2	4	37
Transliterad	7	35.2	3	35.6	6	34.6	6	36.6	8	35	3	35
Total	25	31.5	16	31.2	26	31.5	26	31.5	26	31.6	12	32

De acuerdo con los resultados numero 1 anteriormente mencionado, se obtuvieron datos netos del modelo IVE, para hacer el cálculo exacto de cada contaminante emitido por cada punto crítico lo que se realizo fue contabilizar el número de rutas que transitaban por cada uno de ellos y así determinar la cantidad de emisiones que se generan, para ello se tuvo en cuenta el número de rutas totales, la velocidad promedio y su tiempo de cada recolectado

En la siguiente tabla 17 se encuentra el total de los contaminantes que son emitidos en la zona urbana de Popayán, por cada punto crítico, es decir se sumó el tiempo, la velocidad promedio de cada una de las rutas que transitaban por cada punto, estos datos fueron anexados al modelo, dejando como resultado el valor total de contaminante por punto, es por esto que se determinó de acuerdo al número de rutas, el lugar más crítico o con mayores y menos emisiones dentro de la zona urbana.

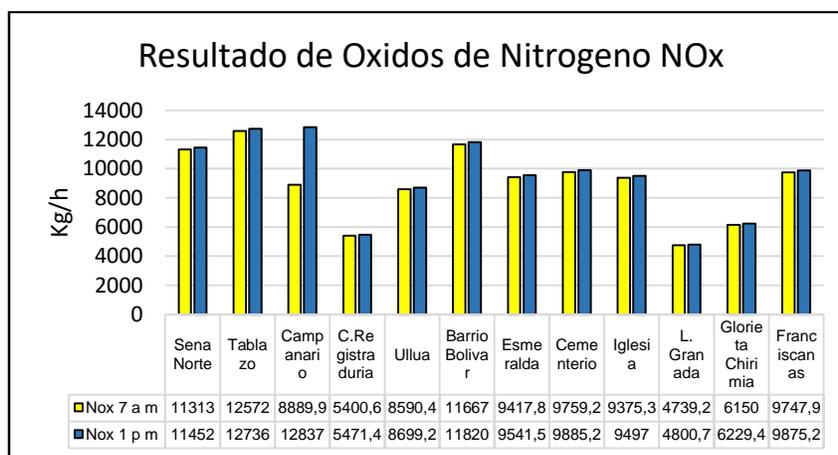
Tabla 17. Resultado número 2 de los contaminantes, criterio empleado con el modelo IVE

Puntos críticos	Resultados del modelo IVE									
	Co		COV		Nox		Sox		PM	
	7:00 a. m.	1:00 p. m.	7:00 a. m.	1:00 p. m.	7:00 a. m.	1:00 p. m.	7:00 a. m.	1:00 p. m.	7:00 a. m.	1:00 p. m.
SENA	3909,42	3954,33	789,89	789,81	11312,54	11451,66	12,2	12,33	1424,71	1441,08
TABLAZO	4260,34	4310,23	991,41	991,32	12571,63	12735,82	12,43	12,56	1552,59	1570,78
CAMPANARIO	3016,87	4350,64	695,35	991,32	8889,85	12837,17	8,84	12,74	199,44	1585,51

C.REGISTRADURIA	1827,62	1849,05	429,35	429,31	5400,59	5471,41	5,3	5,36	666,04	673,85
ULLUA	2941,4	2975,49	636,66	636,59	8590,42	8699,16	8,9	8,99	1071,93	184,36
BARRIO BOLIVAR	3948,14	3994,44	927,52	927,43	11666,72	11819,71	11,46	11,58	1438,82	1455,69
ESMERALDA	3184,84	3222,21	751,73	751,65	9417,75	9541,5	9,22	9,32	1160,65	1174,27
CEMENTERIO	3320,51	3359,24	751,73	751,65	9759,21	9885,15	9,82	9,93	1210,09	1224,21
IGLESIA	3183,61	3220,81	730,62	730,55	9375,29	9496,99	9,35	9,45	1160,2	1173,76
L. GRANADA	1609,38	1628,18	369,21	369,18	4739,15	4800,66	4,73	4,78	586,51	593,36
GLORIETA CHIRIMIA	2092,39	2116,79	473,88	473,83	6150,01	6229,39	6,19	6,25	762,53	771,42
FRANCISCANAS	3303,36	3342,04	768,79	768,71	9747,87	9875,18	9,63	9,74	1203,84	1217,94

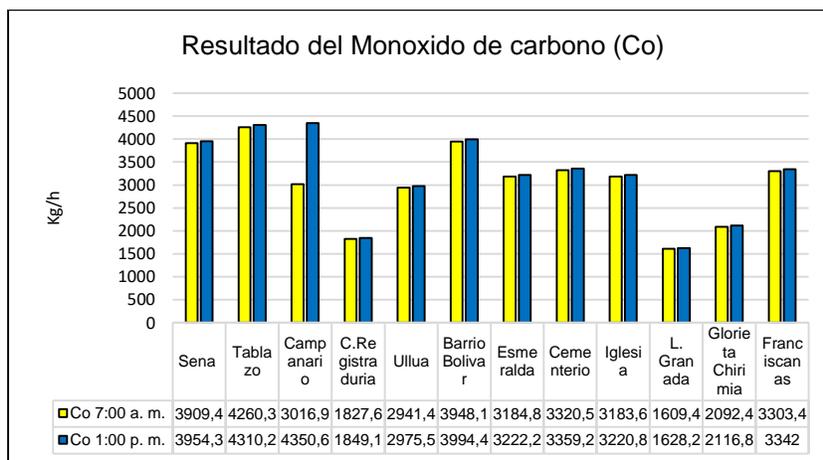
Grafica 8 de acuerdo con la información anteriormente mencionada el Dióxido de Nitrógeno, es uno de los contaminantes que afecta cada punto crítico, pero los lugares que más se ven afectados por este contaminante son el Sena Norte, Tablazo, Campanario, Barrio Bolívar y Franciscanas con rangos desde 9000 hasta 11300 kg/hora, los puntos que menos resultan afectados son Centro Registraduría, Ulloa, Esmeralda, cementerio, Iglesia, Lomas de Granada y Glorieta Chirimía, y con rangos menos es de 4000 hasta 9000 kg/h, se tuvieron en cuenta los valores de la tarde puesto que presentan mayor emisión en horas de la tarde.

Grafica 8. Óxidos de Nitrógeno



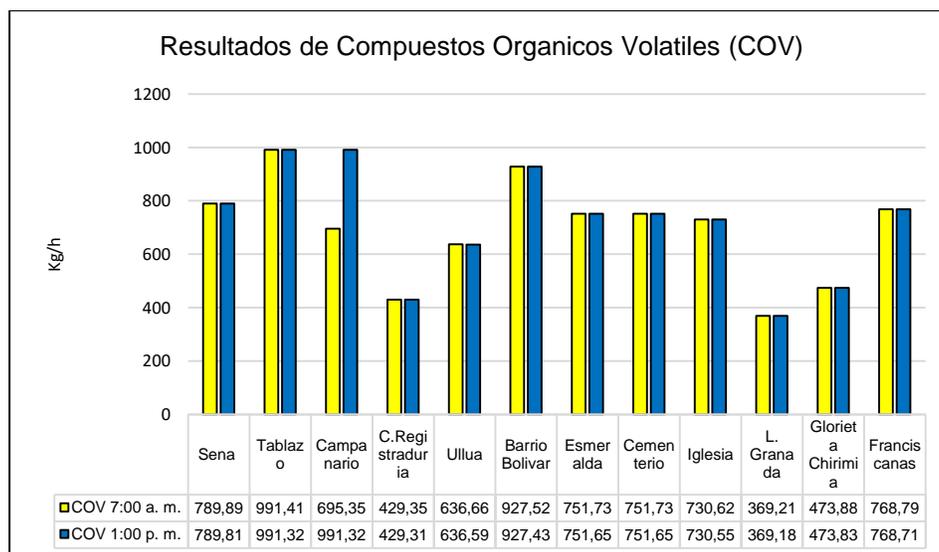
Seguidamente en Grafica 9 de acuerdo con la información anteriormente mencionada (tabla 17) el Monóxido de Carbono, es uno de los contaminantes que afecta cada punto crítico, pero los lugares que más se ven afectados por este contaminante son el Sena Norte, Tablazo, Campanario, Barrio Bolívar y Franciscanas con rangos desde 3500 hasta 5000 kg/hora, los puntos que menos resultan afectados son Centro Registraduría, Ulloa, Esmeralda, cementerio, Iglesia, Lomas de Granada y Glorieta Chirimía, y con rangos menos es de 1500 hasta 2500 kg/h, se tuvieron en cuenta los valores de la tarde puesto que presentan mayor emisión en horas de la tarde.

Grafica 9. Monóxido de Carbono



A continuación en Grafica 10 de acuerdo con la información anteriormente mencionada (tabla 17) el Compuestos Orgánicos Volátiles, es uno de los contaminantes que afecta cada punto crítico, pero los lugares que más se ven afectados por este contaminante son el Sena Norte, Tablazo, Campanario, Barrio Bolívar y Franciscanas con rangos desde 780 hasta 900 kg/hora, los puntos que menos resultan afectados son Centro Registraduría ,Ullua, Esmeralda, cementerio, Iglesia, Lomas de Granada y Glorieta Chirimía, y con rangos menos es de 400 hasta 550 kg/h, se tuvieron en cuenta los valores de la tarde puesto que presentan mayor emisión en horas de la tarde.

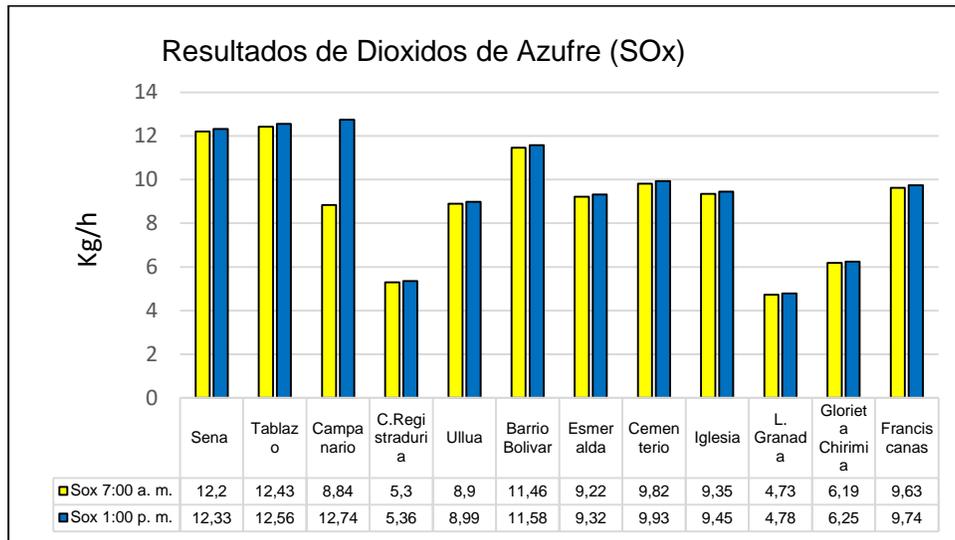
Grafica 10. Compuestos orgánicos volátiles



A continuación en Grafica 11 de acuerdo con la información anteriormente mencionada (tabla 17) el Compuestos Orgánicos Volátiles, es uno de los contaminantes que afecta cada punto crítico, pero los lugares que más se ven afectados por este contaminante son el Sena Norte, Tablazo, Campanario, Barrio

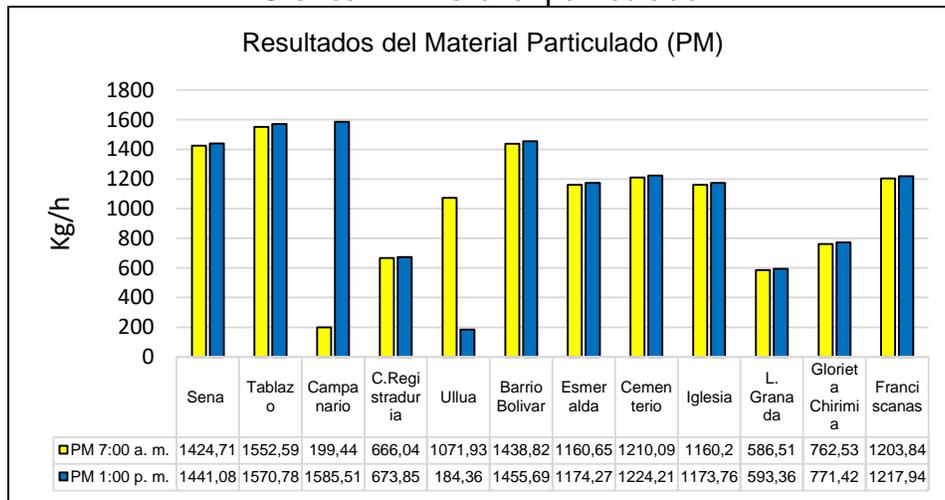
Bolívar y Franciscanas con rangos desde 780 hasta 900 kg/hora, los puntos que menos resultan afectados son Centro Registraduría ,Ulloa, Esmeralda, cementerio, Iglesia, Lomas de Granada y Glorieta Chirimía, y con rangos menos es de 400 hasta 550 kg/h, se tuvieron en cuenta los valores de la tarde puesto que presentan mayor emisión en horas de la tarde.

Grafica 11. Dióxido de azufre



A continuación en la Grafica 12 de acuerdo con la información anteriormente mencionada (tabla 17) el Material Particulado, es uno de los contaminantes que afecta cada punto crítico, pero los lugares que más se ven afectados por este contaminante son el Sena Norte, Tablazo, Campanario, Barrio Bolívar y Franciscanas con rangos desde 1250 hasta 1550 kg/hora, los puntos que menos resultan afectados son Centro Registraduría ,Ulloa, Esmeralda, cementerio, Iglesia, Lomas de Granada y Glorieta Chirimía, y con rangos menos es de 570 hasta 900 kg/h, se tuvieron en cuenta los valores de la tarde puesto que presentan mayor emisión en horas de la tarde.

Grafica 12. Material particulado.



De acuerdo con los resultados obtenidos de los diferentes contaminantes criterios, en las gráficas de la 8 hasta la 12, De los puntos críticos analizados, se determinó que los puntos con más índices de emisiones es el Tablazo, Sena norte, Campanario, Barrio Bolívar y las franciscanas, puesto que en todos los valores de los contaminantes estudiados presenta valores altos, esto debido a que por este sitio transitan el mayor número de rutas de las empresas de transporte público urbano, además son zonas residenciales y educativas, en donde hay mayor flujo de personas y flujo vehicular haciendo trancón, además son sitios aledaños a un centro comercial, no obstante cabe resaltar que es un sitio con mayor pendiente haciendo que los vehículos se esfuercen más y haya mayor consumo de combustible generando altas emisiones, por otra parte, los puntos críticos para este estudio con valores inferiores son: La registraduría, Lomas de Granada y Glorieta Chirimía, a pesar de que son lugares en donde hay flujo de personas y flujo vehicular, son puntos que arrojaron valores bajos para los contaminantes, puesto que el número de rutas del transporte público son pocas, en comparación con los puntos ya mencionados.

Asimismo, cabe mencionar que la edad de los buses es una variable que se debe tener en cuenta para las estimaciones. Esto se debe a que con los años los motores pierden eficiencia y los sistemas de control se vuelven obsoletos. Como ejemplo se pueden citar los buses de la empresa Rápido Tambo, que llevan en operación 28 años y pasan el límite de su vida útil, trayendo como consecuencia mayor generación de contaminantes.

11.2 Distribución Espacial de los Contaminantes Atmosféricos

Los rangos para clasificar los puntos más contaminados y los contaminantes más peligrosos se presentan en la Tabla 18. los rangos que se determinaron para cada uno de los contaminantes, de acuerdo con los resultados que arrojó el modelo, para los cinco contaminantes criterios mostrados en el resultado 1, por otro lado, para determinar cuáles fueron las zonas más afectadas de la zona urbana, mostrando en los resultados dos, de acuerdo con el número de rutas que transitan por cada punto se estipularon rangos de contaminación y así ser clasificada cada zona como alto – medio – bajo.

Tabla 18 Rangos para determinar los contaminantes criterios.

Resultado 1					
Rangos	CO	COV	NOx	Sox	PM
Alto	150 - 200	35 -50	400 - 550	0,40 - 0,60	46 - 60
Medio	100 - 150	20 - 35	280 - 400	0,25 - 0,35	35 - 45
Bajo	50 - 100	10 -- 20	200 - 270	0,10 - 0,25	20 - 34

Resultado 2					
Rangos	CO	COV	NOx	Sox	PM
Alto	3500 - 5000	780 - 900	9810 -12600	9,60 - 13,0	1250 -1550
Medio	2600 -3500	560 -770	6660 - 9800	9,70 - 9, 50	950 - 1200
Bajo	1500 - 2500	400 - 550	4500 - 6550	4,50 - 9,60	570 - 900

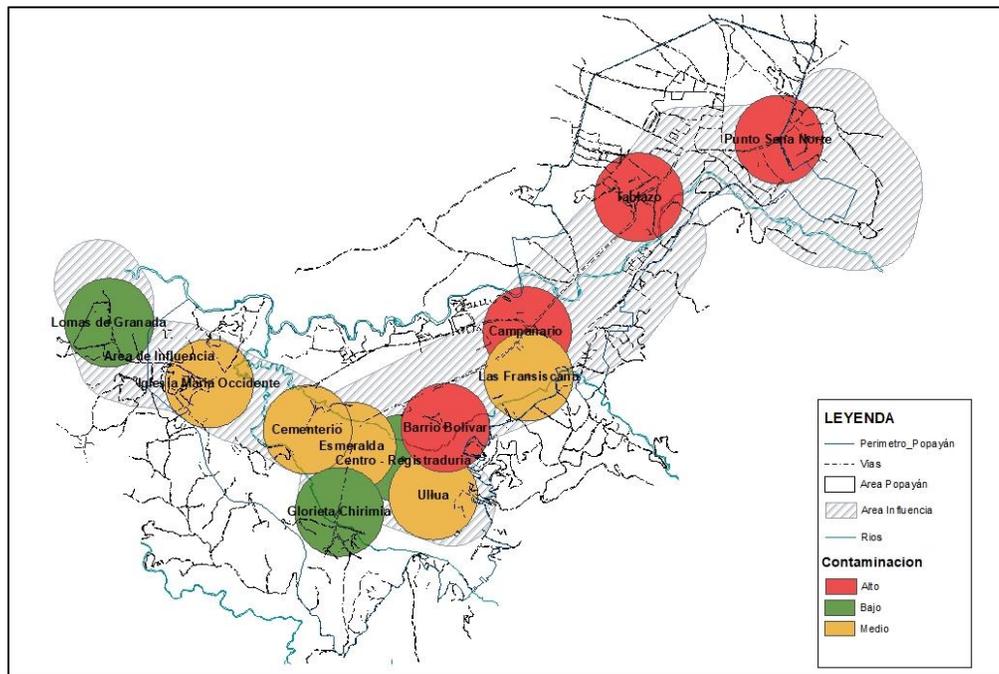
A partir de estos rangos se realizó la clasificación de los puntos críticos, información que alimento la base de datos del SIG del proyecto, y fue el elemento base para el desarrollo de los mapas de distribución de contaminantes de la zona de estudio.

Con el propósito de conocer la distribución espacio-temporal de los contaminantes atmosféricos estudiados en los diferentes puntos críticos, se realizaron mapas de distribución espacial a través del software ArcMap.

En el mapa 7 se presentan los puntos críticos categorizados según la carga contaminante calculada para cada punto, para el análisis se generó un buffer de 600 m, atendiendo a los promedios teóricos establecidos para la dispersión de contaminantes para condiciones climáticas similares a la de la ciudad, por lo tanto, se establece el área de influencia de la contaminación por fuentes móviles en el municipio, en función de los puntos críticos y en el mapa se representa el área de líneas grises. Por lo tanto, se puede inferir que las zonas comprendidas entre las calles 71 norte y carrera novena son de la zona de afectación del Sena Norte, ahora bien para el Tablazo entre la carrera novena se presenta incidencia en este punto,

para el Campanario las calles de afectación comprenden entre Calle 25 Norte y la carrera novena, comprendiendo zonas residencial y comercial, para el Barrio Bolívar, las calles con mayor afectación es la carrera sexta donde presentan zonas residenciales y comercial y un alto flujo vehicular, por otra parte Las Franciscanas comprendida en la carrera sexta, para el punto del Ulloa se encuentra entre la carrera 4 y 3 siendo esta zonas residencial y educativa, en el Centro Registraduría en la carrera novena y calle 4, en la esmeralda por la Calle cuarta siendo esta zonas residencial, comercial, para la Glorieta Chirimía en la calle 13 y carrera 17, para punto crítico del Cementerio esta entre la calle 5, para el punto de la Iglesia María Occidente con calle 4 y calle 5, por ultimo Lomas de Granada en la carrera 56 con calle 13. Cada una de las calles ya mencionadas son aquellas que son afectadas directamente, puesto que son cercanas a cada punto llamado crítico por afectación por la contaminación por fuentes móviles.

Mapa 7. Emisión de contaminantes por el transporte público en Popayán



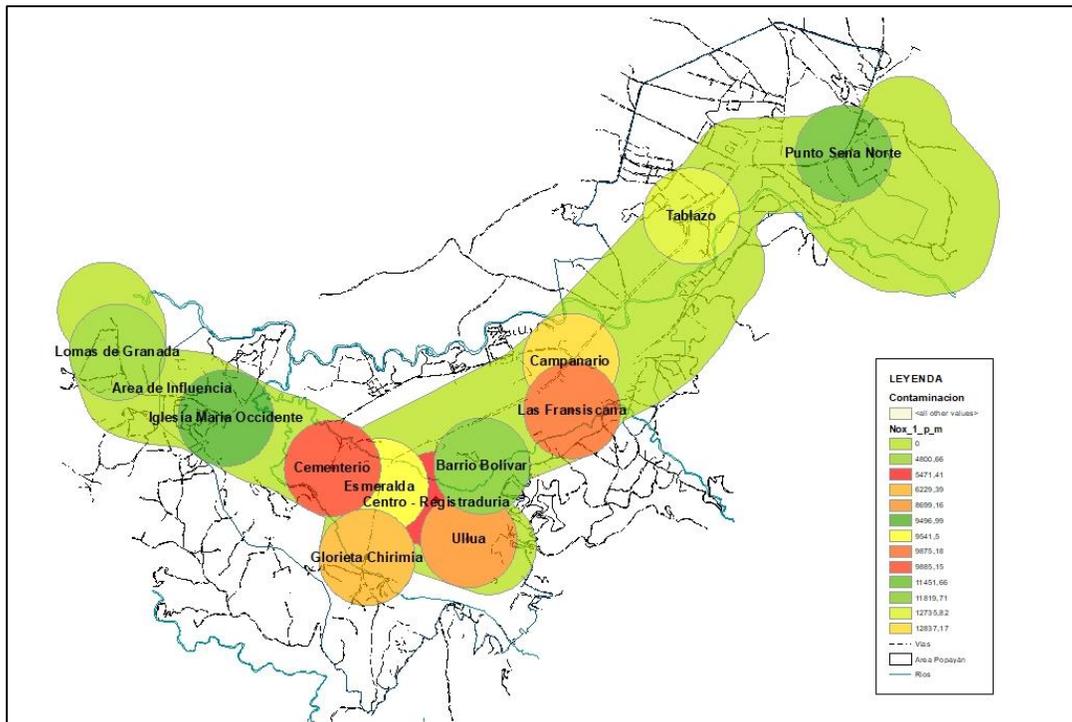
Fuente: Elaboración propia.

Teniendo en cuenta las diferentes dinámicas de contaminantes que se evaluaron para este estudio se tomó el rango de dispersión según bases teóricas donde se tomó los 600mt. Por ser un área que permite visualizar la dispersión de los contaminantes bajo las condiciones de la ciudad.

De acuerdo con los resultados obtenidos, el mapa 7 muestra los diferentes puntos críticos, de la zona urbana con su respectiva clasificación, siendo los círculos de color rojos, zonas críticas en donde hay mayores emisiones (Sena Norte, Tablazo, Campanario, Barrio Bolívar), los círculos de color amarillo representan las zonas de

acuerdo con el rango con emisiones medias para ello tenemos: (Franciscanas, Ulloa, Esmeralda, Cementerio, María Occidente), finalmente se encuentran las zonas con menos afectación, ilustradas con círculos de color verde, para ello tenemos : (Registraduría, Glorieta Chirimía y Lomas de Granada).

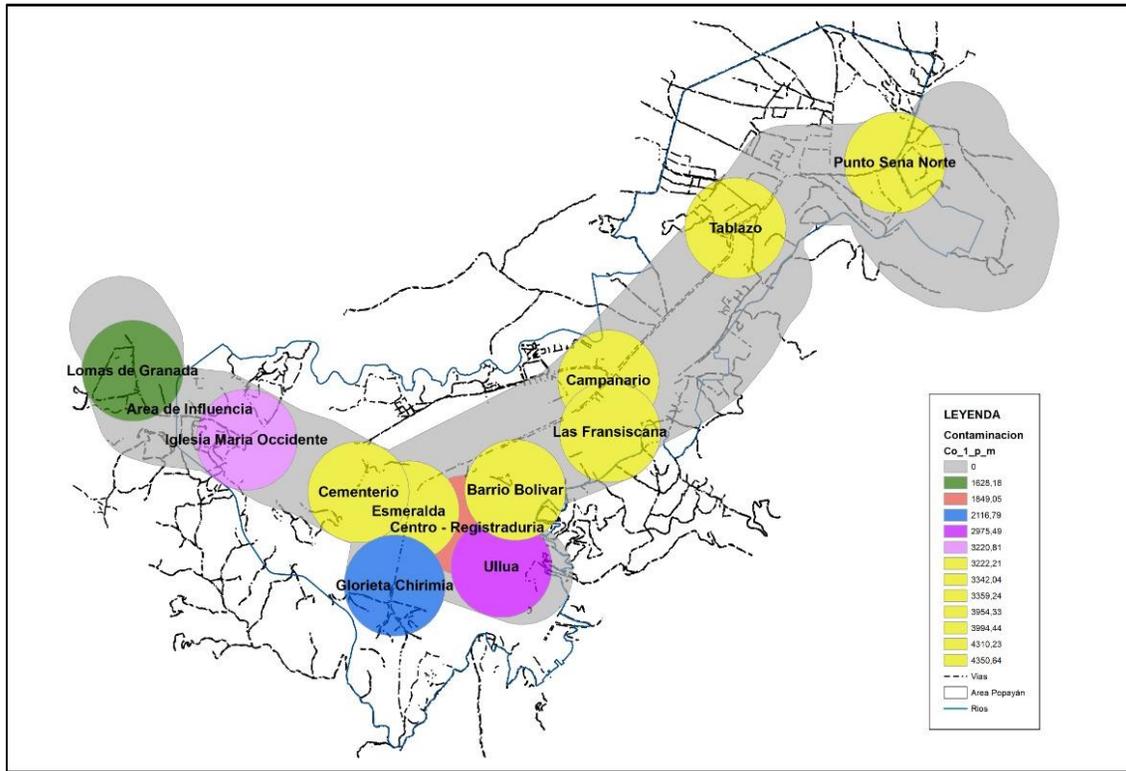
Mapa 8. Dispersión del contaminante Óxidos de Nitrógeno



Fuente: Elaboración propia

En el mapa 8, muestra las dinámicas de la distribución del contaminante óxidos de nitrógeno, siendo este el más emitido en la zona urbana en Popayán, mostrando que los sitios de mayor influencia fueron El Sena Norte (11.451,66kg/h) Tablazo con 12735,82kg/h, Campanario 12837,17 kg/h, Barrio Bolívar 11819,71 kg/h. y las zonas con menores emisiones fueron Ulloa 8699,16 kg/h, Esmeralda 9541,5 kg/h, Cementerio 9885,15 kg/h, Iglesia María Occidente 9496,99 kg/h y Franciscanas con 9875,18 kg/, finalmente las zonas con bajas emisiones fueron Registraduría con 5471,41 kg/h, Lomas de granada 4800,66 kg/h y Glorieta Chirimía 6629.39, cabe resaltar que estos valores ilustrados son de horas de la tarde.

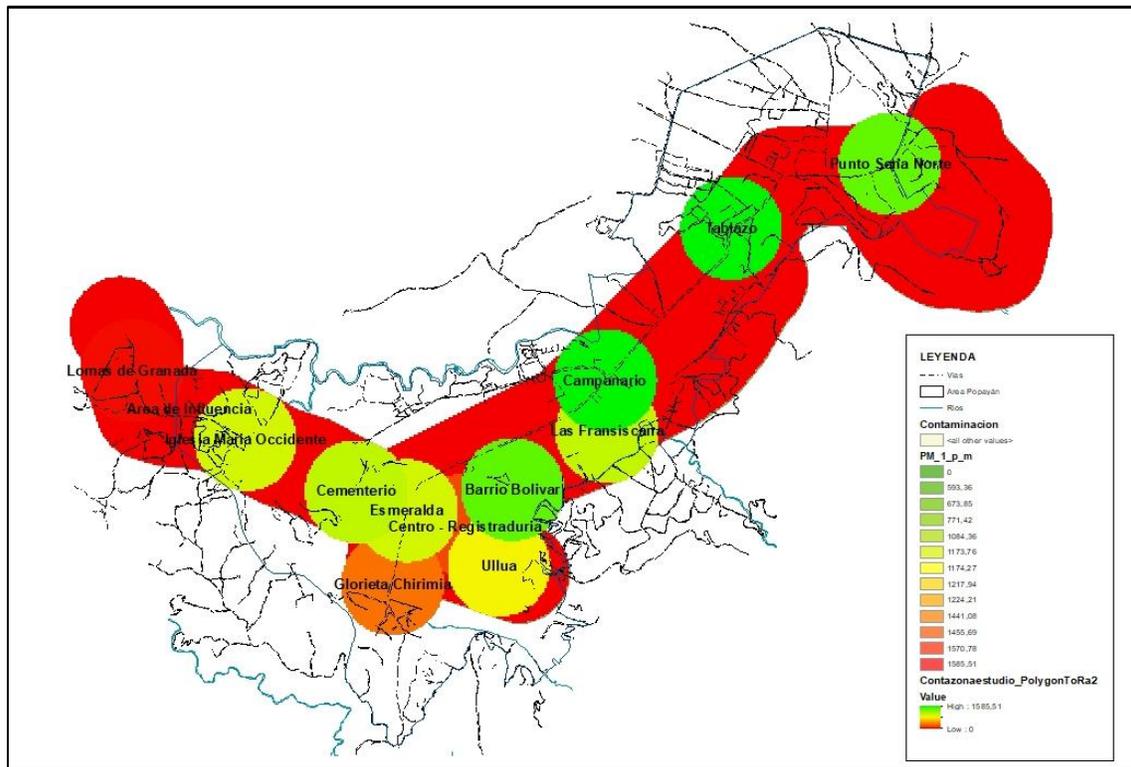
Mapa 9. Dispersión del contaminante del Monóxido de Carbono.



Fuente: Elaboración propia

En el mapa 9, muestra las dinámicas de la distribución del contaminante Monóxido de Carbono, siendo el segundo contaminante emitido en la zona urbana en Popayán, mostrando que los sitios de mayor influencia fueron El Sena Norte (3954,33kg/h) Tablazo con 4310,23 kg/h, Campanario 4350,64 kg/h, Barrio Bolívar 3994,44 kg/h. y las zonas con menores emisiones fueron Ulloa 2975,49 kg/h, Esmeralda 3222,21 kg/h, Cementerio 3359,24 kg/h, Iglesia María Occidente 3220,81 kg/h y Franciscanas con 3342,04 kg/, finalmente las zonas con bajas emisiones fueron Registraduría con 1849,05 kg/h, Lomas de Granada 1628,18 kg/h y Glorieta Chirimía 2116,79 cabe resaltar que estos valores ilustrados son de horas de la tarde.

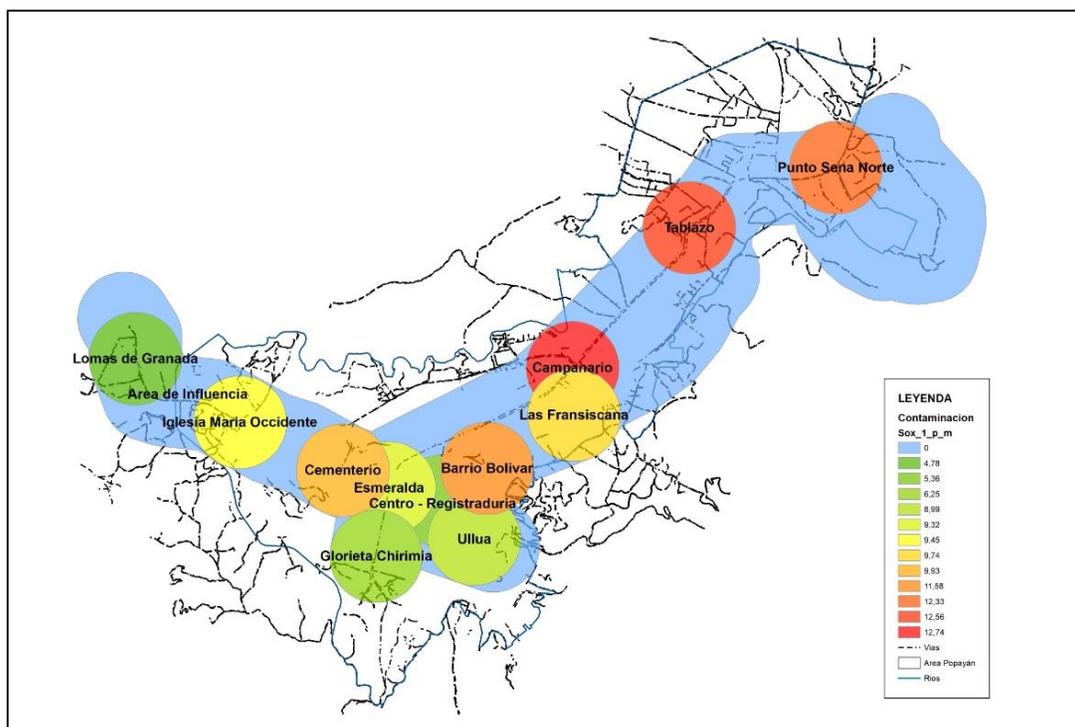
Mapa 10. Dispersión del contaminante Material particulado



Fuente: Elaboración propia

En el mapa 10, muestra las dinámicas de la distribución del contaminante Material Particulado, siendo el tercer contaminante emitido en la zona urbana en Popayán, mostrando que los sitios de mayor influencia fueron El Sena Norte (1424,71kg/h) Tablazo con 1552,59 kg/h, Campanario 1199,44 kg/h, Barrio Bolívar 1438,82 kg/h. y las zonas con menores emisiones fueron Ulloa 1071,93 kg/h, Esmeralda 1174,27 kg/h, Cementerio 1224,21 kg/h, Iglesia María Occidente 1173,76 kg/h y Franciscanas con 1217,94 kg/, finalmente las zonas con bajas emisiones fueron Registraduría con 673,85 kg/h, Lomas de granada 593,36 kg/h y Glorieta Chirimía 771,41 cabe resaltar que estos valores ilustrados son de horas de la tarde.

Mapa 7. Dispersión del contaminante Óxidos de Azufre



Fuente: Elaboración propia

En el mapa 11, muestra las dinámicas de la distribución de los Óxidos de Azufre siendo el contaminante menos emitido en la zona urbana en Popayán, mostrando que los sitios de mayor influencia fueron El Sena Norte (12,33kg/h) Tablazo con 12,56 kg/h, Campanario 12,74 kg/h, Barrio Bolívar 11,58 kg/h. y las zonas con menores emisiones fueron Ulloa 8,99 kg/h, Esmeralda 9,32 kg/h, Cementerio 9,93 kg/h, Iglesia María Occidente 9,45 kg/h y Franciscanas con 9,74 kg/, finalmente las zonas con bajas emisiones fueron Registraduría con 5,36 kg/h, Lomas de granada 4,78 kg/h y Glorieta Chirimía 6,25 cabe resaltar que estos valores ilustrados son de horas de la tarde.

Del mismo modo, que Londoño, 2011, Con el propósito de analizar las emisiones vehiculares para la categoría vehicular de transporte público, fue necesario tener un escenario espacial en donde se construyeron mapas mostrando las distribuciones de las emisiones de cada punto crítico siendo el Sena Norte el más crítico y el menos contaminante Lomas de Granada, según se explicó. De igual manera se empleó el software ArcGis, se efectuó el almacenamiento, manipulación, análisis y presentación eficiente de los resultados obtenidos, mostrando la distribución espacial de las emisiones totales obtenidas para cinco contaminantes evaluados (CO, COV, NOx, SO2 y PM10) en el área urbana de Popayán. Para ambos estudios, se escogieron las zonas de mayor flujo vehicular, para determinar con la ayuda del modelo cuales fueron las zonas de mayor carga contaminante, mostrando las vías y puntos críticos involucrados, para ambas ciudades.

11.3 ESTRATEGIAS DESDE LA ECOLOGÍA URBANA PARA LA GESTION DEL RECURSO AIRE.

De acuerdo con los resultados obtenidos se proponen estrategias que conlleven a buscar alternativas que contribuyan al sostenimiento ecológico dentro de la ciudad, puesto que, se evidencio que en la zona urbana, las emisiones atmosféricas producidas por el transporte público, presentaron índices de contaminación, según el lugar , la zona (comercial, residencial y educativo), y la cantidad de vehículos que transitan, para ello se tuvieron en cuenta los lugares más afectados y así proponer estrategias. A continuación, algunas de las estrategias junto con una matriz evaluando el grado de importancia para cada punto crítico dentro de la ciudad.

11.3.1. Lineamientos generales identificadas desde la ecología urbana, aplicables al área de estudio

- **Educación ambiental**

La educación de las autoridades es fundamental para formular una estrategia integrada de control de la contaminación del aire urbano que incluya medidas económicas y eficaces para controlar las emanaciones de los vehículos.

Para esto es importante realizar campañas de educación en cada una de las empresas de transporte público de la ciudad, con el propósito de educar y concientizar los conductores y dueños de los vehículos que mantengan sus automotores dentro de los parámetros de emisión de gases permitidos por la ley, con el fin de no producir mayor impacto ambiental, debido a que se encontró vehículos que ya expiraron, puesto que la vida útil es de 20 años.

- **Aumento de la cobertura vegetal**

Ampliación de coberturas de áreas verdes, aumentando la arborización en cada uno de los puntos críticos, ya que puede beneficiar un microclima influyendo integralmente sobre el grado de radiación solar, el movimiento del aire, la humedad, la temperatura, y ofreciendo protección contra las fuertes lluvias, puesto que se ha comprobado que las áreas urbanas arborizadas, ayudan a reducir el efecto invernadero.

Es primordial considerar que las especies nativas crean ecosistemas muchos más complejos que aquellos que se pueden apreciar a simple vista, tienen insectos y fauna asociados, que además de controlar su crecimiento para que no se conviertan en maleza, sirven de polinizadores para su reproducción.

Los árboles nativos, arbustos y plantas son aquellas especies que crecen y se reproducen de forma silvestre en el suelo, a las cuales les ha tomado miles de años adaptarse a las condiciones de cada región geográfica.

De acuerdo a los datos obtenidos se sugiere el aumento de la cobertura vegetal en zona urbana de Popayán especialmente en el Sena norte, Tablazo, Campanario y Barrio Bolívar, pues que en estos lugares el aumento del monóxido de carbono es evidente, dado que las especies arbóreas tienen la capacidad de capturar carbono, se recomienda tener en cuenta las siguientes especies para establecer en las zonas mencionadas (Inventario arboreo de los senderos ecológicos de Popayán, 2019)

- ✓ Ciprés Común (*Cupressus Sempervirens L.*)
- ✓ Guayacán (*Handroanthus chrysanthus (Jacq.) S.O.Grose*)
- ✓ Fresno Blanco (*Fraxinus Americana L.*)
- ✓ Guayacán De Manizales (*Lafoensia acuminata (Ruiz & Pav.) Dc*)
- ✓ Carbonero (*Calliandra pittieri*)
- ✓ Nogal (*Cordia alliodora*)
- ✓ Guamo (*Inga densiflora Benth*)
- ✓ Naranja (*Citrus sinensis*)

- **Publicidad Ecológica:**

La publicidad es una herramienta ampliamente utilizada por organizaciones interesadas en comunicar mensajes con contenido ambiental, para promover el conocimiento de lo que se desea dar a conocer, para este caso lo que se desearía es concientizar a la ciudadanía en generar del uso sostenible del transporte público, y que en cada vehículo haya publicidad ecológica, con información importante que puede contribuir a la mejora del medio ambiente, o a reducir la degradación del mismo. Por consiguiente, para este estudio se recomienda, a las empresas de transporte público generar contenidos visuales en pro del cuidado del medio ambiente, en cada uno de los vehículos.

- **Paraderos Ecológicos:**

Esta estrategia consiste en realizar Plantaciones de una capa vegetal especial ultraliviana sobre los techos de paraderos, los cuales deben ser ubicados en los puntos de mayor flujo vehicular, para este caso en los puntos críticos que dieron como resultado altas emisiones, el material sembrado debe ser biosostenible el cual, no requiere riego permanente, a su vez, su sustrato permitirá la retención de agua lluvia y así disminuirá el efecto calor. Con el fin de que estos paraderos presten servicios ambientales los cuales son muy importantes porque absorben las emisiones de los contaminantes de los vehículos tanto de transporte público como particular, como ejemplo está el material particulado, siendo equivalente a la contaminación de 360 vehículos diarios, adicionalmente absorben 230 litros de agua diario para evitar que las calles se inunden, es decir, reduce cerca de 53% las escorrentías de agua”.

Como también, Implementar paraderos para que los buses puedan realizar el ascenso y descenso de los pasajeros, de esta forma los buses no estarán parando cada momento y así no generan gran congestión en la malla vial dentro del municipio. Ya que, es importante que los buses que prestan el servicio de transporte deben estar en las mejores condiciones físicas y mecánicas con los cuales los

usuarios puedan estar seguros de que no causan ningún daño al medio ambiente y que se evitan accidentes por causas mecánicas.

- **Control De Vehículos:**

Dentro de las directrices ecológicas cada ciudad debe de tener una estrategia para el control de los vehículos y su estacionamiento. De acuerdo con la demanda del servicio de transporte público, se recomienda calcular cual, es realmente el uso que se le está dando al transporte, puesto que, en los resultados obtenidos, se determinó que en las horas de la tarde se presenta mayor flujo vehicular, es por esto que, se sugiere que las rutas que transitan por el Sena Norte El Tablazo Campanario y Barrio Bolívar, traten de largar su tiempo en cada salida.

- **Terrazas Verdes:**

Son techos verdes o cubiertas vegetales, son el resultado de un tratamiento técnico con vegetación especialmente adaptada. Pueden aplicarse en superficies horizontales, o inclinadas, de construcciones habitacionales, comerciales, privadas y públicas. De esta manera aseguran un desarrollo urbano sustentable, proporcionan beneficios recreativos, estéticos, ambientales, sociales y económicos.

Esta estrategia, es aplicable para toda la zona urbana de Popayán, especialmente para las zonas residenciales y que a su vez son zonas comerciales, puesto que, hay un aumento en el flujo de personas y flujo vehicular.

- **Transporte Ecológico:**

El sector del transporte presenta un enfoque hacia el transporte no motorizado y público. En este sentido uno de los proyectos más destacables es la web Spinlister, una plataforma que permite a los usuarios particulares alquilar o prestar bicicletas. En ciudades de todo el mundo, muchas bicicletas están sin usar a diario, mientras que otros residentes o los turistas buscan un transporte más ecológico, las dos ruedas. La iniciativa llena este vacío mediante el fomento de que la gente puede acceder a la bicicleta de forma rápida y con un bajo costo e incluso de forma gratuita.

Esta iniciativa, podría contribuir en la disminución de los contaminantes a causa del transporte vehicular, a nivel general se puede implementar en toda la ciudad, con tramos de norte a sur, puesto que ya se cuenta con bicicletas públicas, pero solo en el centro de la ciudad.

11.3.2 Aplicación de medidas según cada punto crítico.

De acuerdo, con las estrategias anteriormente mencionadas, se realizó una matriz, donde se evaluó por cada punto crítico cada estrategia, para determinar con valores numéricos, con una valoración así siendo 3 el más alto, 2 medio y por último 1 que representa el valor bajo, ya si determinar qué medida es aplicable en cada punto.

Tabla 19. Ampliación de medidas según cada punto crítico

Puntos críticos	MEDIDAS A IMPLEMENTAR						
	EDUCACION AMBIENTAL	COBERTURA VEGETAL	PUBLICIDAD ECOLOGICA	PARADEROS ECOLOGICOS	CONTROL DE VEHICULOS	TERRAZAS VERDES	TRANSPORTE ECOLOGICO
Sena Norte	3	1	3	3	3	3	3
Tablazo	3	2	3	1	3	3	3
Campanario	3	2	3	2	3	3	3
C.Registraduría	3	3	2	3	1	1	2
Ulloa	3	1	2	2	2	2	2
Esmeralda	3	3	2	2	2	2	2
L. Granada	3	2	3	3	1	1	2
Cementerio	3	2	2	2	2	2	2
Iglesia	3	2	2	1	2	2	2
Glorieta chirimía	3	2	2	1	1	1	2
Barrio Bolívar	3	2	3	3	3	3	3
Franciscanas	3	2	2	3	2	2	3
Total, punto crítico	36	24	29	26	25	25	29

En la tabla 20, se observan el tipo de clasificación y valoración dados para determinar cuál de estas estrategias mencionadas se cataloga con mayor influencia en este estudio realizado.

Tabla 20. Clasificación y valoración de los puntos críticos.

Clasificación	Valoración
Alto	3
Medio	2
Bajo	1

Por consiguiente, en la tabla anterior 19 muestra las estrategias ecológicas que se proponen para la zona urbana de Popayán, en cada punto crítico, donde se mostró según el análisis que medidas son más aplicables para cada uno de ellos, mostrando que la educación ambiental es aplicable para todos los puntos, debido a que es importante concientizar a las personas y conductores del daño que se le está haciendo al medio ambiente a causa de las emisiones que a diario transitan por el casco urbano de la ciudad de Popayán, otra medida, en la que se debe hacer énfasis es la publicidad ecológica, puesto que, a menudo son largas horas las que los ciudadanos que permanecen dentro de un vehículo y así podrán observar la publicidad que cada vehículo pueda transmitir, ahora bien el transporte ecológico es una de las medidas que a nivel nacional se están implementando dando como resultado bajas emisiones causadas por el transporte público, de esta manera para el caso local, es aplicable, puesto que la ciudad no es muy grande geográficamente y se puede acceder a este transporte ecológico, ahora bien, esta medida de los paraderos ecológicos, se toma como una medida que puede ser implementada en los paraderos ya existentes, con el fin de que absorban las emisiones de los contaminantes de los vehículos.

Finalmente, la estrategia control de vehículos está enfocada para las zonas de mayor concentración de contaminantes como lo es Sena Norte, Tablazo Campanario, Barrio Bolívar, puesto que, en estas zonas hay mucho flujo vehicular trayendo como consecuencia trancones y congestión vehicular y por ende sugerir a las empresas alargar en tiempo de las salidas de las rutas, especialmente en horas de la tarde como también establecer puntos estratégicos en donde las rutas puedan hacer paradas, de este modo, se hace más practico cómodo y accesible para el número de personas que emplean el transporte público, además entre menos paradas hagan, se emiten menos emisiones contaminantes producidos por el transporte utilizado.

12. CONCLUSIONES

Las emisiones contaminantes de los buses de transporte público urbano de la ciudad de Popayán fueron estimadas por medio del modelo internacional de emisiones en fuentes móviles (IVE) efectuando su calidad de modelo de estimación de emisiones para regiones de países en vía de desarrollo, ya que en la ciudad de Popayán no se cuenta con estaciones de monitoreo que permitan contar con información en tiempo real, por lo que es necesario usar métodos alternativos como este modelo para realizar el análisis de calidad de aire de la ciudad.

El contaminante que contribuye más a las emisiones de la ciudad, son los Óxidos de Nitrógeno con un rango 200 - 550 kg/h. Esto es debido a que los combustibles usados por cada una de las categorías, luego de su proceso de combustión, contribuyen con la liberación de dióxido de nitrógeno a comparación de otros contaminantes como los óxidos de nitrógeno y PM10, que son emitidos en su mayoría por un solo combustible (Diésel). Seguido del dióxido de carbono, el contaminante más emitido con rango entre 50- 200 kg/h y luego material particulado de 20 – 60 kg/h, compuestos orgánicos volátiles 10 – 50 kg/h, Óxidos de Azufre 20-60 respectivamente. Ahora bien, de acuerdo con los datos obtenidos, se muestra que para este estudio las zonas con mayores índices de emisiones son Sena Norte, Tablazo, Campanario y Barrio Bolívar. Por otro lado, las zonas con menos emisiones de contaminación, se encuentran en La Glorieta Chirimía, Lomas de Granada, Centro Registraduría.

Las concentraciones encontradas pueden ser fuentes de posibles efectos nocivos en las personas que residen, laboran y transitan por todos los puntos críticos, la contaminación atmosférica ocasiona una variedad de problemas de salud, por ejemplo, la exposición a largo plazo de partículas finas, PM2.5, puede tener un impacto en la salud de la población.

La aplicación del sistema de información geográfica tuvo un impacto significativo para esta investigación, permitiendo mostrar de manera gráfica las emisiones de cada uno de los contaminantes estudiados en la zona urbana de la ciudad, destacando que el Sena norte, Tablazo, Campanario y Barrio Bolívar son los puntos con mayor incidencia en las emisiones de contaminación atmosféricas por fuentes móviles. que presentan en cada uno de los puntos escogidos.

La investigación aporta herramientas significativas para la utilización de estrategias ecológicas, donde se evidencia la necesidad de reconocer y actuar dentro en los puntos críticos dentro de la zona de estudio, para luego tomar conciencia e iniciativas que contribuyan al mejoramiento social, cultural, ambiental de las zonas con mayor contaminación atmosférica que se presenta a causa del transporte público urbano. Para cada punto crítico se establecieron estrategias acordes para cada necesidad según lo estudiado de acuerdo a la zona, al flujo vehicular, flujo de personas, zonas residencial, comercial, educativa y el grado de afectación a las

personas, para el Sena norte, Tablazo y Campanario se consideran: Educación ambiental, publicidad ecológica, control de vehículos, paraderos ecológicos y el transporte público como iniciativa para mejorar las condiciones de la calidad del aire para estos sitios.

Se sugiere los paraderos ecológicos, coberturas vegetales, terrazas verdes para los puntos críticos como: Centro registraduría, Ulloa, Esmeralda, lomas de granada, cementerio central, Iglesia María occidente, Glorieta Chirimía, Barrio Bolívar y Franciscanas, puesto que son lugares donde es escasa la vegetación y a pasar que los índices de contaminación no son tan elevados como los anteriores puntos, esta estrategia aportaría a una buena calidad del aire.

13. RECOMENDACIONES

A partir de las conclusiones extraídas de este estudio se plantea una serie de recomendaciones para mejorar la calidad del aire urbano y reducir la exposición de habitantes y transeúntes.

Se propone y se sugiere a la Autoridad Ambiental de la ciudad, que estudie las emisiones que son emitidas a la atmosfera y como también la implementación del modelo IVE, el cual es una herramienta útil para el cálculo de estos contaminantes.

Acelerar el proceso de salida de circulación de los vehículos que no cuentan con sistema de control de emisiones y promover el uso de vehículos de año modelo más reciente.

Es recomendable iniciar acciones de regulación del flujo vehicular; de tal manera que no se concentre el mismo en un solo sector, sino que permita disipar tanto la contaminación acústica como la ambiental.

Renovación del parque automotor, priorizando La incorporación de tecnologías de Cero y bajas emisiones.

Realizar el mantenimiento preventivo y correctivo de los vehículos y cumplir con la obtención del certificado de revisión técnico mecánica y de emisiones contaminantes de conformidad con las normas aplicables en la materia.

Vehículos eléctricos (motocicletas, coches, autobuses): no generan emisiones y disminuyen la contaminación auditiva, debido a que prácticamente no hacen ruido, por medio de programas que estimulen uso y la adquisición de vehículos eléctricos.

Realizar el mantenimiento preventivo y correctivo de los vehículos y cumplir con la obtención del certificado de revisión técnico mecánica y de emisiones contaminantes de conformidad con las normas aplicables en la materia.

Prevención a la población respecto a la exposición a niveles altos de contaminación.

Teniendo en cuenta el inventario preliminar realizado, el cual demostró una apropiada aproximación en los resultados arrojados por el modelo IVE en kilogramo día. sin embargo para tener menor margen de error, se recomienda mejorar la calidad de la información de entrada al modelo, es decir: tomar patrones de conducción durante todo un día, generar grabaciones durante todo un día, que permita realizar un conteo vehicular más específico, se deben realizar encuestas que abarque la mayor parte de las categorías vehiculares de la ciudad (para el presente caso Motocicletas, automóvil particular, bus, camión y taxis), al momento de realizar las encuestas para obtener las características de la flota vehicular.

Es necesario fortalecer y promover la gestión del conocimiento con el fin de incrementar la participación activa de los actores, facilitar la toma de decisiones en materia de prevención y control de la contaminación atmosférica.

Vincular las instituciones educativas a los procesos de capacitación y educación ambiental, para generar conciencia en las comunidades respecto al cuidado y conservación de nuestros recursos naturales.

Vincular planes de prevención y control de la contaminación atmosférica a todas las entidades del orden territorial que estén relacionadas con la problemática de calidad del aire, con el fin de concertar las acciones que reduzcan las emisiones de contaminantes a la atmósfera.

Implementar programas educativos que induzcan a los actores viales a cumplir con las reglamentaciones existentes como: el respeto por la semaforización, cruces peatonales solamente en los sitios autorizados, respeto por los carriles exclusivos asignados al transporte masivo y a los ciclistas, utilización adecuada de los paraderos de buses, estacionar solo en sitios permitidos, no bloquear las intersecciones, no transitar en contravía, todo esto acompañado de las sanciones pecuniarias correspondientes y sin excepciones.

14. BIBLIOGRAFIA

Alcaldía de Popayán. (2003). Plan para la atención de emergencias en el municipio de Popayán. Popayán – Cauca. Disponible en: <http://www.unicauca.edu.co/docs/comunicados/plan-emerg-popayan.pdf>

Academia Nacional de Medicina. (2015). La contaminación del aire y los problemas respiratorios. México. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0026-17422015000500044

Abenzoza, J. Daza, C. (2011) Gestión de vehículos al final de su vida útil en Colombia. Bogotá. disponible en: https://www.researchgate.net/publication/317389271_Gestion_de_vehiculos_al_fin_al_de_su_vida_util_en_Colombia

Agency For Toxic substances and Diseases registry (2002). Óxidos De Nitrógeno. Disponible: https://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts175.pdf

Bedoya, V. Marquet, O. Miralles. Estimación de las emisiones de CO₂ desde la perspectiva de la demanda de transporte en Medellín. Colombia – Medellín. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/309398812_Estimacion_de_las_emisiones_de_CO2_desde_la_perspectiva_de_la_demanda_de_transporte_en_Medellin

Charres, s. González, D. (2016). Evaluación de la calidad del aire en el municipio de Suesca (Cundinamarca). Colombia. Disponible en: https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/9539/Tesis_Evaluaci%c3%b2n%20de%20la%20calidad%20del%20aire%20en%20el%20Municipio%20de%20Suesca%20-%20Cundinamarca.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Carmona, L. Rincón, M. Castillo, A. Remolina, B. Pulido, H. Forero, R. Quinche, J. (2016). Conciliación de inventarios top-down y bottom-up de emisiones de fuentes móviles en Bogotá, Colombia. Colombia. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6371485>

Carballo. Rodríguez, R. Rojas. González. Otero, M. (2018). Inventario de emisiones de fuentes fijas y móviles, municipio Ranchuelo, provincia Villa Clara, Cuba. Villa Clara – Cuba. Disponible en: <http://rcm.insmet.cu/index.php/rcm/article/view/441/571>

Caro, S. Henríquez, P. Osses, M. (2016). Análisis de variables significativas para la generación de un inventario de emisiones de fuentes móviles y su proyección. Chile. Disponible en: <https://scielo.conicyt.cl/pdf/ingeniare/v24nEspecial/art05.pdf>

Correa, H. Sagñay, J. Crespo, E. (2017). Bases para inventario de emisiones del parque automotor en la ciudad de Guayaquil. Caso de estudio. Guayaquil. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6500074>

Contraloría Municipal de Popayán. (2016) Informe del estado de los recursos naturales y del ambiente del municipio de Popayán vigencia. Colombia. Pag 33. Disponible en:

https://contraloriapopayancauca.micolombiadigital.gov.co/sites/contraloriapopayancauca/content/files/000083/4147_informe-ambiental-vigencia-2015-20042016-final1.pdf

Calla, L. Pérez, M.(2017). Inventario de emisiones de fuentes móviles con una distribución espacial y temporal para el área metropolitana de Cochabamba, Bolivia. Disponible en:

http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1683-07892018000100005

Corporación Autónoma Regional del Cauca. (2015). Mapas de ruido ambiental para el Municipio de Popayán. Popayán – Cauca. Disponible en: [file:///C:/Users/PROFESIONAL19/Downloads/CORPORACI%C3%93N%20AUT%C3%93NOMA%20%20REGIONAL%20DEL%20CAUCA-MRP%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/PROFESIONAL19/Downloads/CORPORACI%C3%93N%20AUT%C3%93NOMA%20%20REGIONAL%20DEL%20CAUCA-MRP%20(1).pdf)

Correa, H. Guaicha, J. Sagñay,A. Crespo,A. (2017). Bases para inventario de emisiones del parque automotor en la ciudad de Guayaquil. Caso de estudio. Guayaquil, Ecuador. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6500074>

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.

Corporación Autónoma Regional Del Tolima.2009. Normas Referentes a la calidad de aire y emisiones atmosféricas. Disponible en: <https://cortolima.gov.co/normas-referentes-calidad-aire-emisiones-atmosfericas>

DANE. (2018). Resultados Censo Nacional de Población y Vivienda 2018. Disponible en: <https://www.dane.gov.co/files/censo2018/informacion-tecnica/presentaciones-territorio/190814-CNPV-presentacion-Resultados-generales-Cauca.pdf>

Díaz, F. Quintero, S, Triana. J, Morón, D. (2014). Aproximación a los sistemas de percepción remota en satélites pequeños. Bogotá - Colombia. Disponible en: <https://repository.usergioarboleda.edu.co/bitstream/handle/11232/545/Aproximacion%20sistemas%20de%20percepci%C3%B3n%20remota%20en%20sat%C3%A9lites%20peque%C3%B1os.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

DNP. (2018). Valoración económica de la degradación ambiental en Colombia. Obtenido de Departamento Nacional de Planeación: <http://www.andi.com.co/Uploads/CONPES%203943%20Calidad%20del%20Aire.pdf>

Esri. Plataforma Arc GIS. Disponible en:
<https://www.sigsa.info/productos/esri/plataforma-arccgis>

EPA Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (2015). <https://espanol.epa.gov/espanol/terminos-c>

----- (2018). Efectos a la salud. Estados Unidos. Disponible en:
<https://espanol.epa.gov/espanol/la-contaminacion-del-aire-y-las-enfermedades-del-corazon>

Giraldo, L., Amaya, A.,(2005). Estimación del inventario de emisiones de fuentes móviles para la ciudad de Bogotá e identificación de variables. Tesis de pregrado. Facultad de Ingeniería, Universidad de los Andes, Bogotá D.C, Colombia.

García, J. Morales, B. Ruiz, L. (2018). Modelo de distribución espacial, temporal y de especiación del inventario de emisiones de México (año base 2008) para su uso en modelización de calidad del aire. México. Disponible en:
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992018000400635&lang=es#B26

García, Camelo. 1996. áreas de aplicación medioambientales de los SIG, MODELACION Y AVANCES RECIENTES. Murcia - España. disponible en:
<https://revistas.um.es/geografia/article/view/45071>

Gómez, Amparo. (2018). contaminación del aire de Medellín por pm10 y pm2.5 y sus efectos en la salud. Medellín. Disponible en:
<https://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/17019>

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (2014). Calidad del aire. Colombia. Disponible en:
<http://www.ideam.gov.co/web/contaminacion-y-calidad-ambiental/calidad-del-aire>

_____. (2011). Evidencias de cambio climático en Colombia con base en información estadística. Colombia. Disponible en:
<http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21138/Evidencias+de+Cambio+Clim%C3%A1tico+en+Colombia+con+base+en+informaci%C3%B3n+estad%C3%ADstica.pdf/1170efb4-65f7-4a12-8903-b3614351423f>

IPCC. (2006). Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Volumen 2: Energía, capítulo 3 “Combustión móvil”.

Instituto nacional de salud (INS). Informe Carga de Enfermedad Ambiental en Colombia. Colombia. Disponible en:
<https://www.ins.gov.co/Noticias/Paginas/Informe-Carga-de-Enfermedad-Ambiental-en-Colombia.aspx>

Huertas Jancy. (2015). Propuesta para establecer un sistema de vigilancia de contaminantes ambientales en Colombia. Colombia. Disponible en:
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84340725002>

Londoño, J. Correa, M. Palacio, C. (2011). Estimación de las emisiones de contaminantes atmosféricos provenientes de fuentes móviles en el área urbana de

envigado, Colombia. Envigado – Colombia. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/eia/n16/n16a12.pdf>

Lents, J. Davis, N. (2010). Advancing Climate and Air Quality Database Management Systems and Emissions Inventories in Developing Countries. Disponible en: http://www.issrc.org/ive/downloads/presentations/IVE_IED_2010_PaperFinal.pdf

Macías & Rincon, 2019. Evaluación de la calidad del aire en dos instituciones educativas de la comuna 8 en la ciudad de Villavicencio, mediante la medición directa de las emisiones de CO, NO_x Y SO₂, procedentes de las fuentes móviles que transitan sobre el kilómetro 1, vía acacias. Villavicencio-Colombia. Disponible en: <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/19244/2019yeimyrincon?sequence=8>

MAVDT (2010b) Colombia. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial -MAVDT. Protocolo para el control y vigilancia de la contaminación atmosférica generada por fuentes fijas. Versión 2.0. Bogotá D.C.: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. 2010.

Ministerio De Ambiente Y Desarrollo Sostenible. 2017. Norma De Calidad Del Aire. Resolución 2254 Del 2017. Colombia. Disponible en: <https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/96-res%202254%20de%202017.pdf>

Moreno, C. (2016). Inventario de emisiones por fuentes móviles en el perímetro urbano del municipio de Ocaña norte de Santander. Santander. Disponible en: <http://repositorio.ufpso.edu.co:8080/dspaceufpso/bitstream/123456789/1576/1/30077.pdf>

Ministerio de transporte. (1996). Ley 276 de 1996. Colombia. Disponible en: <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=313>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2019a). Informe de resultados de talleres “Estrategia nacional de calidad del aire” (sin publicar). Disponible: https://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/emisiones_atmosfericas_contaminantes/ESTRATEGIA_NACIONAL_DE_CALIDAD_DEL_AIRE_1.pdf

Morantes, G. Pérez, N. Santana, F. Rincón. (2016). Revisión de instrumentos normativos de la calidad del aire y sistemas de monitoreo atmosférico: américa latina y el caribe. Caracas – Venezuela. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33944929003>

Nájera Cedillo, *et al.* (2005). Los sistemas de información geográfica como herramienta para observar el comportamiento del ozono en la Zona Metropolitana de Guadalajara. Disponible en: <https://www.ugm.org.mx/publicaciones/geos/pdf/geos05-2/d.pdf>

Núñez, Vladimir. Rodríguez, Rosabel. Saura, Guillermo, Meilyn. (2018). Inventario de emisiones de fuentes fijas y móviles, municipio Ranchuelo, provincia Villa Clara, Cuba. Disponible en: <http://rcm.insmet.cu/index.php/rcm/article/view/441/571>

Orozco, R. & Romaña, (2018). Estimación de las concentraciones de los contaminantes atmosféricos criterios: PM₁₀, SO₂, CO, COVS, NO_x emitidos por las fuentes móviles en las principales vías de la ciudad de Barranquilla. Barranquilla. Disponible en: <http://repositorio.cuc.edu.co/bitstream/handle/11323/64/1045719569%20-%201047217982.pdf;jsessionid=AECFE20B2D8FF13B96B839AD86701283?sequence=1>

Ortiz, N. & Rios, J. 2019. Inventario Preliminar De Emisiones Por Fuentes Móviles En Ruta Para La Ciudad De Villavicencio. Villavicencio-Colombia. Disponible en : <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/19512/2019neryortiz?sequence=6>

Organización Mundial de la Salud. (2005). Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre. Colombia. Disponible en: https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/69478/WHO_SDE_PHE_OEH_06_02_spa.pdf;jsessionid=B5A63CD5279A32A406E04E3C38F09CE6?sequence=1

----- (2012). 7 millones de muertes cada año debidas a la contaminación atmosférica. Disponible en: <https://www.who.int/mediacentre/news/releases/2014/air-pollution/es/>

Plan De Movilidad Para El Municipio De Popayán. (2015). Informe 3 diagnostico parte 1. Disponible en: https://drive.google.com/file/d/1MALx1FLLCFnOZJf_Ev6Fkp5CC6ZBJtHw/view

Pulles, T., & Heslinga, D. The Art of Emission Inventorying Retrieved from http://www.csb.gov.tr/db/necen/editorDOSYA/file/NEC/CollectER_Training/The_Art_of_Emission_Inventorying.pdf

Pérez *et al.* (2017). la calidad del aire en Colombia: un problema de salud pública, un problema de todos. Colombia. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/biosa/v16n2/1657-9550-biosa-16-02-00005.pdf>

Pimiento Tami, L. M. (2009). “Realización Del Inventario De Emisiones Atmosféricas generadas por las actividades del recinto portuario de Veracruz México. Disponible en: <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/19512>

Generadas Por Las Actividades Del Recinto Portuario De Veracruz, México” Tesis.

Guía para la elaboración de inventarios de emisiones atmosféricas. (2017). Disponible en: https://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosAmbientalesySectorialyUrbana/pdf/emisiones_atmosfericas_contaminantes/documentos_relacionados/GUIA_PARA

_LA_ELABORACION_DE_INVENTARIOS_DE_EMISIONES_ATMOSFERICAS.pdf

Rodríguez De Leon, E & Lopez, H. 2018. Caracterización de compuestos orgánicos volátiles, provenientes de seis estaciones de servicio de combustibles de la ciudad de Barranquilla, Colombia. Disponible en: <https://repositorio.cuc.edu.co/bitstream/handle/11323/1135/1079886711%20-%201128329195.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Rodríguez, E. Cifuentes, A. Contreras, D. Fernández A. Ordenamiento territorial como instrumento, para la zonificación ambiental a través de la Estructura Ecológica Principal, como apoyo a la formulación de los POTs y los POMCAS en Colombia. Colombia. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/316732246_Ordenamiento_territorial_como_instrumento_para_la_zonificacion_ambiental_a_traves_de_la_Estructura_Ecologica_Principal_como_apoyo_a_la_formulacion_de_los_POTs_y_los_POMCAS_en_Colombia

Romero. Olite, F. Álvarez. (2006). La contaminación del aire: su repercusión como problema de salud. Habana – Cuba. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1561-30032006000200008

Rojas, Catalina. (2018). Estimación fracción inhalada de contaminantes primarios del aire en la ciudad de Medellín. Colombia. Disponible en: <https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/4319/Estimaci%C3%B3n%20fracci%C3%B3n%20inhalada%20de%20contaminantes%20primarios%20del%20aire%20en%20la%20ciudad%20de%20Medell%C3%ADn.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Sistema de información ambiental de Colombia (SIAG). Aire. Colombia. Disponible en: <http://www.siac.gov.co/en/aire>

Spiegel, J., & Maystre, L. Y. (2014). Control De La Contaminación Ambiental, disponible en: <https://www.insst.es/documents/94886/162520/Cap%C3%ADtulo+55.+Control+de+la+contaminaci%C3%B3n+ambiental/83098e6e-e690-4259-ad95-6c1dd936762d?version=1.0>

Tuía, Devis; Ossés, Margarita. Zah, Mauricio. Zarate, Clappier. (2007). "Evaluation of a simplified top-down model for the spatial assessment of hot traffic emissions in mid-sized cities". Atmospheric Environment, Chile. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/49134471_Evaluation_of_a_simplified_top-down_model_for_the_spatial_assessment_of_traffic_emissions_in_mid-sized_cities_the_case_of_Gran_Concepcion_Chile

Tolvett, Sebastián. Henríquez, Pilar. Osses, Mauricio. (2016). Análisis de variables significativas para la generación de un inventario de emisiones de fuentes móviles y su proyección. Chile. Disponible en: <https://scielo.conicyt.cl/pdf/ingeniare/v24nEspecial/art05.pdf>

Trujillo *et al.* (2009). Sistema integral de transporte público en Popayán. Popayán – Cauca. Disponible en: <https://stadium.unad.edu.co/preview/UNAD.php?url=/bitstream/10596/1303/1/2009-02-01P-0014.pdf>

Vásquez, E. M. (2017). Inventario de emisiones atmosféricas del Valle de Aburrá, (C). Disponible en: https://www.epm.com.co/site/Portals/2/ESTUDIOS%20GNV/Informe_Inventario_emisiones_2015.pdf?ver=2018-05-08-161950-497

Valencia Cárdenas María Camila. (2019). Actualización del inventario de emisiones por fuentes móviles y estimación de emisiones atmosféricas por resuspensión y distribución de combustible en la ciudad de Manizales. Manizales. Disponible en: <http://bdigital.unal.edu.co/72890/2/1053827658.2019.pdf>

Vergel, H. Páez, L. (2019). Inventario de emisiones atmosféricas por fuentes móviles y modelación de pm10 en la zona urbana del municipio de ábrego, norte de Santander. Colombia. Disponible en: <http://repositorio.ufpso.edu.co:8080/dspaceufpso/bitstream/123456789/2682/1/32138.pdf>

Velasco, Erik, Bernabé, Rosa María (2004). Emisiones biogénicas. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México: Instituto Nacional de Ecología. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/236597130_Biogenic_Emissions_Emissions_of_volatile_organic_compounds_no_methane_from_vegetation_and_nitric_oxide_from_soil_in_Spanish

Yanine.G.C.2019.Ecologia urbana. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/424067327/Ecologia-Urbana>

15. ANEXOS

Información suministrada por las cuatro empresas de transporte público de la ciudad de Popayán. **Tabla 1. Sotracauca Metro SA.**

Números de vehículos		Hora de salida y entrada	Distribución vehicular	
N° Vehículos	Rutas autorizadas		Ruta	Capacidad por ruta
Busetas: 5	1, 2, 3,4 5, 6, 7, 8, 9	5: 45 am - 10 :00 pm	R 1	10
Microbuses: 64		5: 45 am - 10 :00 pm	R 2	12
Total: 69		5: 45 am - 10 :00 pm	R 3	10
		5: 45 am - 10 :00 pm	R 4	9
		5: 45 am - 10 :00 pm	R 5	10
		5: 45 am - 10 :00 pm	R 6	12
		5: 45 am - 10 :00 pm	R 7	14
		5: 45 am - 10 :00 pm	R 8	9
		5: 45 am - 10 :00 pm	R 9	14

Km recorridos por Ruta		Duración de cada recorrido		Velocidad promedio	Combustible
Ruta	Kilometraje	Tiempo de recorrido	N° viajes(vueltas)		
R 1	23 km	68 minutos	7.1	31km/h	ACPM
R 2	29 km	105 minutos	5.5	36 km/h	
R 3	27 km	100 minutos	5.2	34 km/h	
R 4	25 km	90 minutos	5.0	33 km/h	

R 5	40 km	136 minutos	3.8	38 km/h
R 6	30 km	110 minutos	5.8	37 km/h
R 7	47 km	135 minutos	4.3	38 km/h
R 8	39 km	135 minutos	4.4	37 km/h
R 9	46 km	130 minutos	4.6	38 km/h

Modelo de los vehículos			
Modelo	Cantidad	Marca	Total
2001	9	Nissan	10
	1	Nissan Trade	
2002	3	Nissan	3
2003	6	Nissan	9
	2	Non Plus Ultra	
	1	Mitsubischi	
2004	2	Non Plus Ultra	2
2005	2	Mitsubischi	2
2006	1	Non Plus Ultra	10
	9	Mitsubischi	
2007	11	Mitsubischi	11
2008	9	Mitsubischi	10
	1	Nissan	
2009	7	Mitsubischi	7
2010	5	Non Plus Ultra	5
			69

Tabla 2 Rápido Tambo

Números de vehículos		Hora de salida y entrada	Distribución vehicular		Km recorridos por Ruta	
N° Vehículos	Rutas autorizadas		<i>Ruta</i>	<i>Capacidad por ruta</i>	<i>Ruta</i>	<i>Kilometraje</i>
Microbuses: 67	1, 2, 3, 4, 6	6:00 am - 9 :00 pm	M: 1	13	M: 1	37 km
		6:00 am - 9 :00 pm	M: 2	13	M: 2	46 km
		6:00 am - 9 :00 pm	M: 3	13	M: 3	43 km
		6:00 am - 9 :00 pm	M: 4	13	M: 4	48 km

		6:00 am - 9 :00 pm	M: 5	13	M: 5	35 km
		6:00 am - 9 :00 pm	M:6	14	M:6	79 km

Duración de cada recorrido		Velocidad promedio	Combustible	Modelo de los vehículos		Marca de los vehículos	
Tiempo de recorrido	N° viajes(vueltas)			Modelo	N° vehículos	Marca	Cantidad
80 minutos	7	35 km/h	ACPM (DISSEL)	1991	28	Daihatsu	47
90 minutos	7	38 km/h		1998	3	Chevrolet	8
90 minutos	7	37 km/h		2004	6	Nissan	10
90 minutos	7	37 km/h		2005	3	Agrale	2
60 minutos	7	33 km/h		2006	8		
120 minutos	7	38 km/h		2007	10		67
				2008	9		

Tabla 3 Transpubenza

Numero de vehículos		Hora de salida y entrada	Distribución vehicular		Km recorridos por Ruta	
N° Vehículos	Rutas autorizadas		Ruta	Capacidad por ruta	Ruta	Kilometraje
Busetas: 89	Buses: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8	5:30 am - 9 :00 pm	1B	10	1B	28,1 km
		5:30 am - 9 :00 pm	2B	10	2B	37,6 km
Microbuses: 52	Microbuses: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 11	5:30 am - 9 :00 pm	4B	10	4B	30,0 km
		5:30 am - 9 :00 pm	5B	10	5B	27,1 km
141		5:30 am - 9 :00 pm	6B	10	6B	32,5 km

		5:30 am - 9 :00 pm	7B	10	7B	30,5 km
		5:30 am - 9 :00 pm	8B	10	8B	38,5 km
		5:30 am - 9 :00 pm	9B	10	9B	62,5 km
		5:30 am - 9 :00 pm	2M	10	2M	37,8 km
		5:30 am - 9 :00 pm	5M	10	5M	30,5 km
		5:30 am - 9 :00 pm	7M	10	7M	32,5 km
		5:30 am - 9 :00 pm	8M	10	8M	27,2 km
		5:30 am - 9 :00 pm	10M	10	10M	35 km
		5:30 am - 9 :00 pm	11M	10	11M	50,2 km

Duración de cada recorrido	Velocidad promedio	Combustible	Modelo de los vehiculos			
			Modelo	Cantidad (Buses y microbuses)	Marca	Total
91 minutos	19 km/h	ACPM (DISSEL)	2000	M: 1	Agrale	1
65 minutos	19 km/h		2001	M: 6	Chevrolet	6
50 minutos	19 km/h		2002	M: 7	Daihatsu	7
132 minutos	19 km/h		2003	B: 1	Agrale	18
109 minutos	19 km/h				M: 17	
50 minutos	19 km/h		2004	B: 26	Chevrolet	35
70 minutos	19 km/h				M: 9	
125 minutos	19 km/h		2005	B: 14	Daihatsu	18
75 minutos	19 km/h				M: 4	
90 minutos	19 km/h		2006	B: 10	Mitsubishi	14

60 minutos	19 km/h			M: 4	Non Plus Ultra	
128 minutos	19 km/h		2007	B: 30	Nissan	34
118 minutos	19 km/h			M: 4		
181 minutos	19 km/h		2008	B: 6	Non Plus Ultra	6
			2009	B: 2		2

Tabla 4. Translibertad

Números de vehículos		Hora de salida y entrada	Distribución vehicular		Km recorridos por Ruta	
N° Vehículos	Rutas autorizadas		Ruta	Capacidad por ruta	Ruta	Kilometraje
Busetas: 88	Buses: 1, 2, 3, 4, 6, 7	5:30 am - 9 :00 pm	1B	17	1B	43,2 km
Microbuses: 50	Microbuses: 1, 2, 3, 5	5:30 am - 9 :00 pm	2B	20	2B	34 km
Total :138		5:30 am - 9 :00 pm	3B	17	3B	32 km
		5:30 am - 9 :00 pm	4B	16	4B	33 km
		06:00:00 a. m. CADA HORA	6B	1	6B	18,5 km
		5:30 am - 9 :00 pm	7B	16	7B	31, 1 km
		5:30 am - 9 :00 pm	1M	14	1M	28,9 km
		5:30 am - 9 :00 pm	2M	6	2M	35 km
		5:30 am - 9 :00 pm	3M	14	3M	36,1 km
		5:30 am - 9 :00 pm	5M	14	5M	34, 5 km
		06:00:00 a. m. CADA HORA	Santa Rosa	3	Santa Rosa	38 km
			Total	138		

Duración de recorrido	Velocidad promedio	Combustible	Modelo de los vehículos			
			Modelo	Cantidad	Marca	Total

120 minutos	37 km/h	ACPM	1999	1	Chevrolet	3
95 minutos	37 km/h			2	Non Plus Ultra	
120 minutos	35 km/h		2000	5	Daihatsu	10
120 minutos	35 km/h			4	Non Plus Ultra	
80 minutos	33 km/h			1	Daihatsu delta	
100 minutos	37 km/h		2001	5	Non Plus Ultra	9
104 minutos	35 km/h			1	Chevrolet	
125 minutos	35 km/h			2	Nissan Trade	
120 minutos	35 km/h			1	Nissan	
125 minutos	35 km/h		2002	12	Non Plus Ultra	12
120 minutos	35 km/h		2003	1	Daihatsu	6
				2	Chevrolet	
				2	Non Plus Ultra	
		1		Mercedes Benz		
		2004	59	Non Plus Ultra	60	
			1	Chevrolet		
		2005	8	Non Plus Ultra	8	
		2006	2	Daihatsu	14	
			10	Non Plus Ultra		
			1	Chevrolet		
			1	Mitsubischi		
		2007	1	Daihatsu delta	6	
			5	Non Plus Ultra		
		2008	1	Daihatsu delta	2	
			1	Daihatsu		
		2009	1	Daihatsu delta	5	
			4	Chevrolet		
		2010	1	Volkswagen	3	
			1	Chevrolet		

	1	Non Plus Ultra	
--	---	----------------	--

Anexos 2 datos calculados para la utilización del modelo IVE

Empresas	Puntos Críticos Calculando su Tiempo Recorrido											
	Sena norte		Tablazo		Campanario		Registraduría		Ulloa		Barrio Bolívar	
	Nª Ruta s	T. Recorri do	Nª Ruta s	T. Recorri do	Nª Ruta s	T. Recorri do	Nª Ruta s	T. Recorri do	Nª Ruta s	T. Recorri do	Nª Ruta s	T. Recorri do
Sotracauca	6	684	8	918	7	784	5	575	5	534	8	879
Transpube nza	8	859	10	1052	9	802	2	241	9	758	11	1085
Rápido tambo	3	300	5	450	3	300	4	320	2	180	5	410
Trans libertad	8	889	9	1009	5	519	3	349	6	730	7	834
TOTAL	25	2732	32	3429	24	2405	14	1485	22	2202	31	3208

Empresa	Franciscanas		Chirimía		Esmeralda		Cementerio		Iglesia		Lomas de granada	
	Nª Ruta s	T. Recorrid o	Nª Ruta s	T. Recorrid o								
Sotracauca	6	709	4	439	6	731	6	731	5	475	3	370

Transpuben za	7	697	8	785	9	755	9	755	8	698	2	178
Rapido tambo	5	410	1	80	5	440	5	440	5	440	4	380
Trans libertad	7	843	3	335	6	674	6	674	8	914	3	349
Total	25	2659	16	1639	26	2600	26	2600	26	2527	12	1277