

DESAGREGACIÓN ESPACIAL Y TEMPORAL DEL INVENTARIO DE EMISIONES
POR FUENTES FIJAS PARA LA CIUDAD DE VILLACICENCIO-META



CAMILO ENRIQUE PARRADO HERNÁNDEZ



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
INGENIERÍA AMBIENTAL
VILLAVICENCIO
2020

DESAGREGACIÓN ESPACIAL Y TEMPORAL DEL INVENTARIO DE EMISIONES
POR FUENTES FIJAS PARA LA CIUDAD DE VILLAVICENCIO-META.

CAMILO ENRIQUE PARRADO HERNÁNDEZ.

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de ingeniero ambiental

Director (a)

CARLOS DAVID GÓMEZ ORTIZ.

Ingeniero Químico, Magíster en Ingeniería Química

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS

INGENIERÍA AMBIENTAL

VILLAVICENCIO

2019

Autoridades Académicas

P. José Gabriel MESA ANGULO, O.P.

Rector General

P. Eduardo GONZALEZ GIL, O.P.

Vicerrector Académico General

P. José Antonio BALAGUERA CEPEDA, O.P.

Rector Sede Villavicencio

P. Rodrigo GARCÍA JARA, O.P.

Vicerrector Académico Sede Villavicencio

Mg. Julieth Andrea SIERRA TOBÓN

Secretaria de División Sede Villavicencio

Mg. Yésica Natalia MOSQUERA BELTRÁN

Decana Facultad de Ingeniería Ambiental

Notas de Aceptación

YÉSICA NATALIA MOSQUERA BELTRÁN

Decano de la facultad

CARLOS DAVID GÓMEZ ORTIZ

Director trabajo de grado

ANGÉLICA MARÍA SÁNCHEZ

Jurado

JAIR BURGOS CONTENTO

Jurado

Villavicencio, 28 de octubre de 2019

Dedicatoria

*Dedico este proyecto
Primeramente, a Dios por permitirme lograr este objetivo
A mis padres que con su esfuerzo y amor siempre me apoyaron,
Ah pesar de las adversidades nunca dejaron de creer en mi
Razón por la cual estaré eternamente agradecido
A mi compañera de vida, por hacerme cada día mejor persona
A mi hija que es el motor de mi vida y mi fortaleza para vivir
A mi abuela y abuelo que desde el cielo me acompañan. (Camilo e)*

Agradecimientos

Gracias a mi director el ingeniero Carlos David Gómez Ortiz por ser partícipe de este proceso, por compartir sus conocimientos y permitir que este proyecto se desarrollase con normalidad, Gracias por su tiempo, dedicación y paciencia durante estos meses, mil y mil gracias de todo corazón.

Tabla de Contenido

	Pág.
Resumen.....	12
Introducción	14
1. Planteamiento del problema	16
2.1. Descripción del problema.....	16
2.2. Formulación en torno al problema	17
2. Objetivos	18
3.1. Objetivo General	18
3.2 Objetivos Específicos.....	18
3. Justificación.....	19
4. Alcance del proyecto.....	20
5. Antecedentes	21
6. Marco Referencial	23
7.1 Marco Teórico	23
7.2 Marco Conceptual	25
7.3 Marco Legal	28
7. Metodología	30
8.1 Fase 1. Inventario de emisiones.	30
8.1.1 Actividad 1: Levantamiento y validación de la información	30
8.1.2 Actividad 2: Estimación del Inventario de emisiones.	31
8.2 Fase 2. Desagregación espacial y Temporal	33
8.2.1 Actividad 1: Desagregación espacial.....	33
8.2.2 Actividad 2: Desagregación Temporal	34
8.3 Fase 3: Puntos críticos de emisión	35
8. Resultados-Análisis.....	36
9.1 Inventario de Emisiones.....	36
9.1.1 Emisiones Totales de las Fuentes Fijas Industriales.....	36
9.1.2 Diagrama tipos de combustibles incinerados en los procesos productivos de las empresas objeto de estudio.	37
9.1.3 Inventario de Emisiones Estaciones de Servicio.	38
9.1.4 Estudios Significativos en Ciudades de Colombia y Latinoamérica	41

9.2 Desagregación Espacial.....	43
9.2.1. Desagregación Espacial de las emisiones de monóxido de carbono (CO).....	43
9.2.3 Desagregación espacial de las emisiones de óxidos de nitrógeno (NOx)	46
9.2.4 Desagregación espacial de las emisiones de material particulado (PM ₁₀ , PM _{2.5} y PM ₁)	47
9.2.5 Desagregación Espacial de las Emisiones de los Compuestos orgánicos Volátiles (COV).	48
9.3 Desagregación Temporal.....	50
Conclusiones	53
Recomendaciones	54
Referencias Bibliográficas	55
Anexos	59

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1 . Delimitación Geográfica del casco urbano del municipio de Villavicencio	20
Figura 2 Combustible Incinerado en proceso productivo.	38
Figura 3 Emisiones de COV para gasolina corriente para la ciudad de Villavicencio Ton/Año	39
Figura 4. Emisiones de COV para Gasolina Extra Ton /Año	40
Figura 5. Emisiones de COV para combustible diesel Ton/año	40
Figura 6. Ciudades de Latinoamérica que implementaron la metodología de inventario de emisiones.....	42
Figura 7. CO Mapa de emisiones de monóxidos de carbono en Ton/año.	43
Figura 8. SO ₂ Mapa de emisiones Óxidos de azufre en Ton/año.....	45
Figura 9. NO _x Mapa de emisiones óxidos de nitrógeno en Ton/año.....	46
Figura 10. MP Mapa de emisiones de material particulado en Ton/año	47
Figura 11 Mapa de desagregación espacial de las EDS para gasolina corriente	49
Figura 12 Desagregación temporal	50
Figura 13. Grafica de porcentajes por comunas.....	51

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1 Factores de emisión de la EPA e IPCC.....	25
Tabla 2 Normatividad Colombiana calidad del aire	28
Tabla 3 Datos de entrada para el desarrollo del inventario de emisiones.	30
Tabla 4. Factores de emisión de la distribución, almacenamiento, llenado de tanques y derrames.....	32
Tabla 5. Emisiones Totales por tipo de industria en tonelada /año para cada contaminante..	37
Tabla 6. Emisiones de COV generadas por las actividades desarrolladas en las estaciones de servicio.....	41

Lista de Anexos

	Pág.
Anexo 1 Datos de entrada funeraria la paz	59
Anexo 2 Datos de entrada Proteínas del oriente	59
Anexo 3 . Datos De entrada oleaginosas del llano.....	60
Anexo 4 Datos de Entrada Fanagra 1	60
Anexo 5 Datos de Entrada Fanagra 2	61
Anexo 6 Datos de entrada molino Roa 1	61
Anexo 7 Datos de entrada molino Roa 2	62
Anexo 8 Datos de entrada molino Roa 3	62
Anexo 9 Datos de contaminantes por empresa	63
Anexo 10 Datos de consumo de Gasolina corriente	63
Anexo 11 Datos de consumo Gasolina extra	64
Anexo 12 Datos de consumo Diesel	64

Resumen

El crecimiento acelerado de las poblaciones y de la industria afecta de manera directa la calidad del aire en las ciudades, esto representa una problemática que día a día toma más importancia en el ámbito social y ambiental, debido a que generan problemas como afectación a la salud de las personas al deterioro de la capa de ozono y el aumento de la temperatura del planeta, el incremento de emisiones en las grandes ciudades representa un gran reto para las industrias, puesto que dichas emisiones son causantes de enfermedades respiratorias y cardiovasculares, asociadas a los contaminantes primarios trabajados en este proyecto, como modelo para futuros estudios se planteó esta propuesta con el fin de establecer el estado de la calidad del aire de la ciudad, sus horarios y puntos más críticos de concentración de contaminantes primarios. Para esto se realizó una investigación preliminar a partir de información secundaria suministrada por la corporación Cormacarena, a la cual se le solicitó el listado de las empresas que contaban con permisos de emisiones vigentes. Esto se debe a que dichas empresas reportan periódicamente sus emisiones a la corporación basándose en los monitoreos isocinéticos de todas sus fuentes fijas allí presentes, posterior a esto, los datos obtenidos como: concentración de contaminantes primarios, materia prima consumida en el proceso, volúmenes de combustible utilizado y tipo de materia prima, fueron fundamentales para el desarrollo del inventario de emisiones y así poder hallar por medio de los factores de emisión la concentración de contaminantes primarios en Toneladas/Año para cada empresa, posterior a esto los datos de emisión hallados sirvieron como datos de entrada para realizar la desagregación espacial y temporal, la cual es parte fundamental de este proyecto pues allí es donde se logró evidenciar las zonas de la ciudad que más se ven afectadas por las labores diarias de las empresas objeto de este estudio. Para el caso de las fuentes fijas dispersas, se trabajó con las estaciones de servicio de la ciudad basándose en el listado de estaciones de servicio del país suministrado por el (Ministerio de Minas y Energía) en el cual se evidenció un total 34 estaciones de servicio operando con normalidad en la ciudad, a su vez se logró identificar el comportamiento de los contaminantes primarios tanto en fuentes fijas dispersas como puntuales, mostrando un comportamiento similar en los mapas obtenidos.

Palabras claves: Inventario de emisiones, Desagregación de inventarios, Fuente Fija, Contaminantes Primarios.

Abstract

The accelerated growth of the populations of the industry affects in a direct way the quality of the air in the cities, this represents a problematic that day to day takes more importance in the social and environmental scope, because they generate problems as affectation to the health of the people to the deterioration of the ozone layer and the increase of the temperature of the planet, The increase in emissions in large cities represents a great challenge for industries, since these emissions are the cause of respiratory and cardiovascular diseases, associated with the pollutant criteria worked on in this project. As a model for future studies, this proposal was proposed in order to establish the state of air quality in the city, its schedules and the most critical points of concentration of pollutant criteria. For this purpose, a preliminary investigation was carried out based on secondary information provided by the Cormacarena Corporation, which was asked to list the companies that had valid emissions permits. This is due to the fact that these companies periodically report their emissions to the corporation based on the isokinetic monitoring of all their fixed sources present there, after this, the data obtained as: concentration of pollutants criterion, raw material consumed in the process, volumes of fuel used and type of raw material, were fundamental for the development of the emissions inventory and thus to be able to find by means of the emission factors the concentration of pollutants criterion in Tons/Year for each company, subsequent to this the emission data found served as input data to make the spatial and temporal disaggregation, which is a fundamental part of this project because that is where it was possible to evidence the areas of the city that are most affected by the daily work of the companies object of this study. In the case of dispersed fixed sources, we worked with the service stations in the city based on the list of service stations in the country supplied by the (Ministry of Mines and Energy) which showed a total of thirty-four service stations operating normally in the city, At the same time, it was possible to identify the behavior of the pollutants, criteria both in scattered fixed sources and point sources, showing a similar behavior in the maps obtained.

Keywords: Inventory of emissions, Disaggregation of inventories, Fixed Source, Pollutants Criterion

Introducción

El crecimiento de las ciudades trae consigo problemas socio ambientales que afectan a la comunidad y ejercen presiones sobre el medio ambiente, agotando y explotando recursos como lo son el agua, el suelo y el aire, a su vez generando problemas de contaminación de residuos sólidos, vertimientos a cuerpos hídricos, emisiones atmosféricas por parte de las industrias y el parque automotor. Esto desencadena una serie de problemáticas no solo a nivel ambiental y económico, sino también a la salud generando así problemas como, cáncer de vías respiratorias, y accidentes cardiovasculares (Camacho & Guzman, 2009).

Según el Informe del Estado de la Calidad del aire En Colombia (Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible, 2018), los datos encontrados no son muy alentadores en los últimos años, debido a que muchas de las grandes ciudades del país como lo son Bogotá, Cali, Medellín, santa marta, Ráquira, Nemocón y la zona minera del cesar, registraron concentraciones promedio anual que superaron los niveles permitidos y establecidos por la normatividad nacional, Por dicho motivo las corporaciones autónomas regionales y las autoridades ambientales de las grandes ciudades han hecho un gran esfuerzo en mejorar los sistemas de alerta temprana, la automatización de los datos y de los procesos de medición con el fin de especializar y así evidenciar y controlar la contaminación atmosférica (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), 2006).

Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue realizar la desagregación del inventario por fuentes fijas para la ciudad de Villavicencio, con el fin de estimar el estado de las emisiones provenientes de las fuentes fijas puntuales y dispersas, basándose en información secundaria suministrada por las autoridades competentes y a partir de estos resultados observar espacialmente los sectores de la ciudad que son más afectados por la emisión de contaminantes criterio y a su vez, las horas en las que estas emisiones aumentan. Con estos reportes se realizó la estimación de las emisiones de contaminantes primarios proveniente de fuentes fijas. Además, se incluyeron fuentes de área como son las estaciones de servicio las cuales fueron treinta y cuatro, operando en la actualidad, que dieron como resultado, la desagregación espacial y temporal del inventario de emisiones para la ciudad de Villavicencio. Este inventario de emisiones podrá ser utilizado en el desarrollo del modelo de calidad de aire de la ciudad, además, permitirá la identificación de las zonas y horas del día con mayores flujos de

contaminación, información que será de gran utilidad para las autoridades de la ciudad en el desarrollo del Plan de Ordenamiento Territorial, a su vez servirá para el Plan de Gestión de Calidad del Aire (PGCA) y será un insumo para futuras ampliaciones o mejoras del Sistema de Vigilancia de Calidad del Aire (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), 2006).

1. Planteamiento del problema

2.1. Descripción del problema

Está demostrado que la contaminación atmosférica causa graves daños a la salud y al medio ambiente, siendo los más afectados las comunidades vulnerables por su cercanía a las fuentes de emisión como las industrias y los vehículos (Camacho & Guzman, 2009). En la actualidad esta problemática afecta a gran parte de la población en el mundo, logrando así que las entidades gubernamentales en asociación con organizaciones dedicadas a la protección y preservación del medio ambiente y los recursos naturales, enfoquen sus esfuerzos en la creación de políticas y campañas con el fin de incentivar y concientizar a las industrias y a las poblaciones en pro de disminuir las emisiones al ambiente (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), 2006).

La industria desempeña un papel muy importante en la contaminación atmosférica siendo objeto de estudio en diversos campos. Las fuentes industriales se consideran fuentes fijas puntuales cuando sus emisiones se liberan al ambiente a través de chimeneas o ductos. Entre estas fuentes se encuentran derivados de la generación de energía eléctrica y de actividades industriales como son: la química, textil, alimentaria, maderera, metalúrgica, metálica, manufacturera y procesadora de productos vegetales y animales, entre otras. Por otro lado, se pueden tener fuentes de área en las cuales se incluyen la generación de aquellas emisiones inherentes a actividades y procesos, tales como limpieza de superficies y equipos, recubrimiento de superficies arquitectónicas, parques industriales, lavado en seco, artes gráficas, distribución y almacenamiento de combustibles, principalmente. Esta fuente también incluye las emisiones de actividades como son: el tratamiento de aguas residuales, plantas de composteo, rellenos sanitarios, entre otros.

En Colombia la calidad del aire día a día tiene mayor importancia, debido al crecimiento constante de la población, acompañado del crecimiento de la actividad industrial y vehicular, a la formulación de políticas amigables con el medio ambiente en los sectores de pequeñas y grandes industrias del país (Camacho & Guzman, 2009). Su relevancia se da debido a que se ha convertido en una de las causas de muerte por enfermedades cardíacas, cerebrovasculares, cancerígenas en las vías respiratorias y de infecciones respiratorias (Valencia, 2019). Para el año 2015 el Departamento Nacional de Planeación reportó 10.527 muertes asociadas a la contaminación del aire y 67.8 millones de síntomas y enfermedades respiratorias.

Adicionalmente, en Colombia los costos en salud y ambiente asociados a la contaminación atmosférica, se incrementaron exponencialmente en los últimos años en función del desarrollo económico e industrial, pasando de 1.1% del PIB de 2009 (\$5.27 Billones de pesos) a 1.59% del PIB de 2014 (\$12 Billones de pesos) y el 1.93% del PIB en 2015 (\$15.4 de Billones de pesos) generando así, la necesidad de realizar estudios constantes para verificar la calidad del aire e implementar el uso de nuevas tecnologías sostenibles con el medio ambiente con el fin de reducir los efectos nocivos a la salud y los costos elevados por esta problemática (Departamento Nacional de Planeación (DNP), 2017).

En Villavicencio las emisiones no son un tema ajeno a este tipo de problemática debido a las actividades industriales como la industria Molinera la cual afecta a las comunidades aledañas en las que se encuentran sus instalaciones, de elaboración de alimentos, y de incineración de residuos genera problemas ambientales como lo son la contaminación por material particulado, ruido y contaminación de olores (Afanador & Peña, 2019), a su vez el elevado número de automotores que circulan en la ciudad. A esto se le suma un problema de cultura y de planeación territorial puesto que la ciudad ha crecido exponencialmente en los últimos años y por ende se generan conflictos de intereses por parte de las industrias y las comunidades aledañas a las fuentes de emisión (Camacho & Guzman, 2009).

Actualmente, la corporación autónoma regional en jurisdicción del municipio de Villavicencio (CORMACARENA), cuenta con 6 empresas con permiso de emisión de contaminantes a la atmosfera, las cuales reportan la información anualmente de los contaminantes y los puntos de emisión (Resolución No. 2153 DE 2010, 2010).

Según el Informe de Calidad del aire realizado por corporación ambiental Cormacarena en el año 2015, los principales problemas medio ambientales asociados a la calidad del aire de la ciudad son la congestión vehicular, el aumento de material particulado y el sector molinero (Camacho & Guzman, 2009). El aumento en la contaminación del aire en la zona urbana de Villavicencio, y su relación directa con el aumento del parque automotor y la producción de la industria de procesos molineros de la ciudad.

2.2. Formulación en torno al problema

¿Cuál es la distribución espacial y temporal de los contaminantes, producto de emisiones de fuentes fijas puntuales y dispersas en la ciudad de Villavicencio?

2. Objetivos

3.1. Objetivo General

Desagregar espacial y temporalmente el inventario de emisiones por fuentes fijas para la ciudad de Villavicencio –Meta.

3.2 Objetivos Específicos

1. Realizar un inventario de emisiones a partir de información cuantitativa y cualitativa de las empresas que cuenten con permiso de emisiones vigente de la ciudad de Villavicencio.
2. Determinar las variaciones espaciales y temporales de las emisiones por fuentes fijas puntuales y de área.
3. Identificar los puntos más críticos de la ciudad afectados directamente por las emisiones por fuentes fijas.

3. Justificación

El presente proyecto se realizó con el fin de identificar mediante mapas obtenidos a partir de datos numéricos de las empresas que generen algún tipo de contaminación atmosférica; analizarlos y obtener los focos de contaminación con las mayores emisiones de contaminantes criterio. Este proyecto es de gran importancia para la ciudad de Villavicencio, ya que la información permite visualizar el estado de la calidad del aire de la ciudad y servirá como guía para posteriores proyectos y una herramienta para la ejecución de soluciones o estrategias a implementar por parte de los entes territoriales y las corporaciones con jurisdicción en la ciudad y en el departamento (Resolución No. 2153 DE 2010, 2010).

Para entender el impacto ambiental que tienen este tipo de actividades es importante conocer las emisiones de contaminantes que estas generan. Estas emisiones pueden ser recolectadas en inventarios de emisiones, los cuales pueden ser utilizados en la construcción de políticas ambientales y como información de entrada en estudios de modelación de la calidad del aire, para determinar presiones, concentraciones e impactos en el ambiente e identificar las fuentes de emisión (Camacho & Guzman, 2009). Esta identificación de las fuentes de emisión es posible mediante la desagregación espacial del inventario de emisiones. Un inventario de emisiones desagregado espacialmente es el primer paso en el manejo efectivo de la contaminación atmosférica (Giraldo & Behrentz, 2008).

La desagregación espacial y temporal del inventario de emisiones por fuentes fijas puntuales y dispersas permitirá establecer el impacto de las fuentes de emisión en la contaminación del aire en la ciudad. Será una herramienta útil en el desarrollo de los Planes de Gestión de la Calidad del Aire (PGCA) en sus tres componentes básicos de estimación, medición y modelización de los contaminantes. En cuanto a las fuentes fijas, se espera determinar las variaciones temporales considerando las jornadas laborales típicas o turnos de trabajo, se esperarían encontrar las mayores emisiones de contaminantes donde se encuentren mayor cantidad de empresas (Camacho & Guzman, 2009).

4. Alcance del proyecto

La desagregación espacial y temporal del inventario de emisiones por fuentes fijas, se llevó a cabo en el área urbana rural del municipio de Villavicencio departamento del Meta, específicamente en los puntos (Molinos Roa ,Agrocom , Oleaginosas del Ocoa ,Proteínas del Oriente ,AAK Colombia S.A.S y Parque Cementerio funeraria parques de la paz), donde se encuentran ubicados los focos de emisión, los cuales cuentan con permiso de emisiones atmosféricas otorgado por la corporación autónoma regional Cormacarena. La elaboración del Inventario y la desagregación espacial y temporal, se llevó a cabo en un tiempo aproximado de 5 meses, desde el mes de enero hasta junio del año 2019. El alcance del proyecto abarcó la fase preliminar (Información de la corporación, preparación de los datos), Fase Analítica (análisis de datos y modelación en Excel y ArcGIS) y finalmente la fase argumentativa con el fin de conocer el estado de la calidad del aire en el municipio de Villavicencio-Meta.

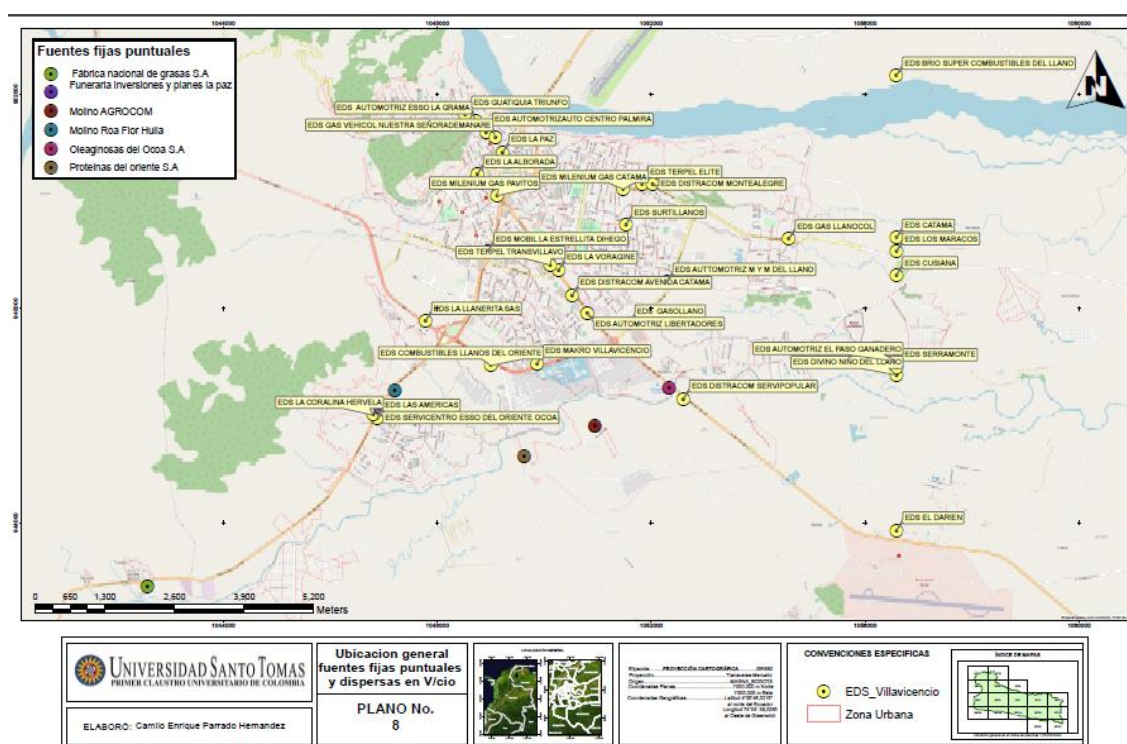


Figura 1 . Delimitación Geográfica del casco urbano del municipio de Villavicencio, por Camilo Enrique Parrado Hernández, 2019

5. Antecedentes

A mediados del siglo XVIII en los inicios de la revolución industrial, se empezó a evidenciar una alta industrialización en el mundo y un crecimiento económico de las grandes ciudades, lo cual repercutió de manera directa en los problemas socio ambientales presentes en la época actual, a pesar de que hoy en día algunas empresas producen de manera sostenible y sustentable con el medio ambiente y pensando en las generaciones futuras, a diferencia de lo que se pensaba en aquella época (Barbero, 2001).

Para el año 1859 el científico sueco Svante Arrhenius (1859-1927), fue el primero en proclamar que las emisiones por combustibles fósiles podrían acelerar el aumento de temperatura en el planeta lo que en la actualidad se denomina cambio climático; relacionó la temperatura con las concentraciones de CO₂ y su capacidad de absorción de radiación infrarroja a esto se le denominó efecto invernadero, este último es un proceso natural, pero combinado con las actividades antropogénicas su efecto se acelera aún más., Para la época este descubrimiento no fue tan relevante puesto que se creía que las actividades humanas no eran la causa principal, debido a que no creían que las emisiones de esa época fueran mayores o igual a las fuerzas de la naturaleza (Barbero, 2001).

Para Colombia en los últimos 20 años según el IDEAM las emisiones por gases de efecto invernadero han aumentado 15% en departamentos como Meta, Antioquia, Caquetá, valle y Santander (Barbero, 2001). Es pequeña debido al aumento en estos últimos 20 años, en la actualidad Colombia se ubica en el puesto cuarenta en el ranking mundial. Según el Inventario Nacional de Emisiones de Gases Efecto Invernadero, el informe más completo elaborado en la actualidad en el país y que fue presentado por el IDEAM y el PNUD, en los últimos 20 años, las emisiones del país aumentaron en un 15 % (36 Mton o millones de toneladas de CO₂ equivalentes), al pasar de 245 Mton, en 1990, a 281 Mton, en 2010 (Correa, 2016).

En Colombia los departamentos que más generan emisiones al medio ambiente son, en primer lugar, Antioquia con (22.9 Mton de CO₂) seguido del departamento del Meta con (21.2 Mton de (CO₂), Caquetá (19,8 Mton), Valle del Cauca (16,5 Mton), Santander (14,3 Mton) (Resolución No. 2153 DE 2010, 2010). Estos cinco departamentos, son responsables del 37% de las emisiones a nivel nacional. Los sectores económicos encargados de los mayores porcentajes de emisión, son el sector forestal con 36%, el sector agropecuario 26%, transporte 11%, industrias manufactureras 11%, minas y energía 10%, el sector que ha tenido mayor

aumento entre 1990 y 2012 ha sido la industria pasando de 14 a 28 Mton seguido del de minas y energía (Correa, 2016).

Se realizó una búsqueda bibliográfica de los diferentes estudios en los que se han realizado inventarios de emisiones de fuentes fijas puntuales y se encontraron datos interesantes de ciudades importantes de Latinoamérica en las cuales se encuentran ciudades como: Cali, Bogotá, Lima, Santiago de Chile, Manizales y se hizo un comparativo con los resultados obtenidos en este estudio para la ciudad de Villavicencio, la ciudad que mayor concentración en Ton/año muestra, es la ciudad de Santiago de Chile, lo interesante es que Villavicencio aparece con un valor representativo de CO (Monóxido de Carbono) como referencia a otras ciudades importantes., Esta metodología de inventarios de emisiones por medio de factores de emisión ha sido muy utilizada en estas grandes ciudades, puesto que da una visión clara de e el estado de la calidad del aire y le da una herramienta a las entidades gubernamentales para afrontar la contaminación atmosférica a su vez sirve como modelo para futuros estudios (Davila, 2015).

6. Marco Referencial

7.1 Marco Teórico

En el desarrollo de un inventario de emisiones es necesario el uso de herramientas que permitan la estimación de las emisiones de los contaminantes, la desagregación espacial y su consolidación. En el caso de las emisiones provenientes del sector industrial, también conocidas como fuentes fijas es común el uso de factores de emisión debido al costo que representa una medición directa en la fuente y representan una mejor alternativa que los balances de materia, debido a que estos últimos no son aplicables a todos los procesos, como algunos procesos con emisiones evaporativas y procesos con reacción química y además requieren de gran cantidad de información específica del proceso, como temperaturas, presiones y flujos que son de difícil adquisición (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2012). Antes de elaborar un inventario de emisiones se debe definir el área de estudio, las fuentes que serán consideradas, los contaminantes que serán evaluados, la resolución espacial y la escala temporal (Costa & Baldasano, 1996).

Los inventarios de emisiones desagregados espacialmente son creados mediante la definición de pequeñas subunidades dentro del área de estudio, estas pueden ser celdas de una cuadrícula uniforme, también conocido como resolución espacial, y el cálculo de las emisiones para cada una de estas subunidades (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, 2013). La definición de la resolución espacial dependerá directamente del tamaño del área de estudio. Un inventario de emisiones desagregado espacialmente es útil en la determinación de zonas con contaminación crítica las cuales pueden ser estudiadas en detalle y además sirven como dato de entrada para modelos químicos u otras investigaciones futuras (Camacho & Guzman, 2009). Por otro lado, la escala temporal, es definida para evaluar la variación de las emisiones en el tiempo, esta dependerá de la longitud del periodo de estudio y del objetivo que tenga el inventario de emisiones, como pueden ser las variaciones durante el día de las emisiones para evaluar su comportamiento influenciado por factores estacionales y/o sociales (festividades, periodos vacacionales) durante los distintos meses del año (Costa & Baldasano, 1996).

Las emisiones atmosféricas pueden ser estimadas utilizando dos metodologías de aproximación denominadas “top-down” y “bottom-up” estas anteriormente mencionadas sirven para generar inventarios de emisiones (Colville, Hutchinson, Mindell, & Warren, 2001). La aproximación “bottom-up” es aplicada mediante el cálculo de las emisiones en cada celda

definida en la resolución espacial del área de estudio. Para esto se requiere un conocimiento al detalle de las actividades que generan todas las emisiones de cada celda, lo que se ve representado en un alto consumo de tiempo en el cálculo (Loibl, Orthofer, & Winiwarter, 1993). Por otro lado, para aplicar la aproximación “top-down”, es necesario tener los datos que describen las emisiones totales a lo largo del área de estudio y posteriormente será desagregada asumiendo que las emisiones locales son proporcionales a alguna otra variable que tenga una distribución espacial similar a la actividad contaminante, como puede ser la densidad poblacional o la longitud de una vía por unidad de área (Colville, Hutchinson, Mindell, & Warren, 2001).

Los contaminantes evaluados dependerán del objetivo del estudio y de las fuentes que son consideradas. Para las fuentes antropogénicas, los contaminantes comúnmente evaluados en el desarrollo de inventarios de emisiones son los contaminantes criterio, los cuales son los que definen la calidad de aire de una región y corresponden al material particulado, dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono y compuestos orgánicos volátiles (Colville, Hutchinson, Mindell, & Warren, 2001).

Sin embargo, como se mencionó anteriormente, dependiendo del objetivo del estudio se pueden evaluar uno o varios contaminantes que pueden ser diferentes al contaminante criterio. Es el caso de los inventarios de emisiones de compuestos orgánicos volátiles diferentes al metano (Loibl, Orthofer, & Winiwarter, 1993), los inventarios de emisiones de dióxido de carbono, los inventarios de emisiones de gases de efecto invernadero, y los inventarios de compuestos orgánicos persistentes (COPs) (Costa & Baldasano, 1996).

Un inventario de emisiones es la estimación las emisiones reales de contaminantes o gases. El método básico para el cálculo de estas emisiones incluye el producto de dos variables, de acuerdo con la Ecuación. 1:

$$E_{i,j} = A_{i,j} E_{Fi,j}$$

Donde $E_{i,j}$ es la emisión del contaminante j debido a la actividad i , $A_{i,j}$ es el nivel de actividad i que produce el contaminante j y $E_{Fi,j}$ es el respectivo factor de emisión (Parra et al. 2006). Entre las bases de datos de factores de emisión más importantes esta la desarrollada por el Panel Intergubernamental en Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) para gases de efecto invernadero (Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2006), en la cual se encuentran factores de emisión para distintos sectores como lo son el energético, el cual incluye consumo de combustibles, procesos industriales, agricultura, entre otros y la base de

datos más importante desarrollada por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (U.S. EPA, por sus siglas en inglés) en la cual se encuentran factores de emisión para sectores específicos, llegando al detalle de equipos fuente, para una amplia variedad de contaminantes (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA), 1995).

En la (Tabla 1 Factores de emisión de la EPA e IPCC), se encuentran las características generales de las bases de datos de factores de emisión mencionados anteriormente. Estos factores de emisión son ampliamente utilizados en la elaboración de inventarios por fuentes fijas, y fuentes naturales.

Tabla 1 Factores de emisión de la EPA e IPCC

Bases de Datos	Categorías Principales	Contaminantes y Gases
IPCC	Energía Procesos industriales y Uso de productos Agricultura, Silvicultura y otros Usos del suelo Desechos Otros	CO ₂ , CH ₄ y N ₂ O Compuestos fluorocarbonados NH ₃ Contaminantes criterio PCDD/Fs.
EPA	Calderas de combustión externa Procesos industriales Motores de combustión interna Categoría de fuentes MACT Fuentes de área diversas Fuentes móviles Fuentes naturales Evaporación de petróleo y solventes Utilización de solventes Fuentes estacionarias de quema de Combustibles Almacenamiento y transporte Disposición de desechos Disposición de desechos, tratamiento y recuperación	Contaminantes criterio Contaminantes del aire

Nota: Descripción de las características generales de las bases de datos de factores de emisión. Adaptado de: (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA), 2018)

7.2 Marco Conceptual

Inventario de emisiones

Un inventario de emisiones es una recopilación o una estimación de las emisiones de contaminantes atmosféricos, producidas por un grupo de fuentes en un periodo de tiempo dado (Corporación Autónoma Regional de Risaralda (CARDER), 2012). En el desarrollo de un inventario de emisiones es necesario el uso de herramientas que permitan la estimación de las emisiones de los contaminantes, la desagregación espacial y su consolidación (Davila, 2015). En el caso de las emisiones provenientes del sector industrial, también conocidas como fuentes fijas es común el uso de factores de emisión debido al costo que representa una medición directa

en la fuente y representan una mejor alternativa que los balances de materia, debido a que estos últimos no son aplicables a todos los procesos, como algunos procesos con emisiones evaporativas y procesos con reacción química y además requieren de gran cantidad de información específica del proceso, como temperaturas, presiones y flujos que son de difícil adquisición (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, 2013).

Desagregación espacial

La desagregación espacial y temporal consiste en localizar las fuentes de emisión dentro del área de estudio y determinar la contribución de sus emisiones a los niveles totales de contaminación, estableciendo la variación de estas emisiones durante un periodo de tiempo. La desagregación espacial y temporal es importante en la localización de las zonas de contaminación críticas en el área de estudio y en la determinación de las horas del día en las que se presenta mayor contaminación (Corporación Autónoma Regional de Risaralda (CARDER), 2012). La desagregación espacial puede llevarse a cabo utilizando Sistemas de Información Geográfica (GIS, por sus siglas en inglés), debido a la facilidad de visualización.

Los Sistemas de Información Geográfica se acoplan a sistemas de inventarios de emisiones que permiten la consolidación, almacenamiento, visualización y manejo de datos, en este campo se ha desarrollado herramientas importantes que se articulan con los modelos de calidad del aire de la región. Sin embargo, para países en los que no se cuenta con un desarrollo de estos modelos, el Centro de Investigación Internacional en Sistemas Sustentables (ISSRC, por sus siglas en inglés), creó el software IED (International Environmental Database), que consiste en una base de datos que permite el manejo de la información de calidad del aire y además es capaz de realizar la desagregación espacial y temporal de las emisiones atmosféricas (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, 2013).

Fuentes Fijas

Se le conoce como fuente fija a toda fuente de emisión situada en un lugar determinado e inamovible, aun cuando el contaminante se produzca de forma dispersa, el contaminante emitido puede ser una sustancia, un elemento en estado sólido, líquido o gaseoso, causando efectos adversos al medio ambiente y a las comunidades aledañas a la fuente fija, estas emisiones pueden ser de origen natural, antropogénico o combinado (Corporación Autónoma Regional de Risaralda (CARDER), 2012).

Factor de emisión

Un factor de emisión es un valor representativo que relaciona, la concentración de contaminante emitido a la atmósfera asociado con una actividad y la emisión de dicho contaminante. Estos factores se expresan en masa de contaminante dividida por una unidad de masa, volumen, distancia o tiempo de la actividad que emite el contaminante (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA), 1995).

Contaminantes Criterio

Los contaminantes que se encuentran en la atmósfera se han clasificado como contaminantes criterio y contaminantes no criterio; los criterios se han demostrado que son perjudiciales para la salud y el bienestar de los seres humanos (Barbero, 2001). Se les llamó contaminantes criterio porque fueron sometidos a evaluaciones publicadas en documentos de calidad del aire en los Estados Unidos (EEUU), con el objetivo de establecer parámetros permisibles que salvaguardaran la salud, el medio ambiente y el bienestar de las comunidades (Corporación Autónoma Regional de Risaralda (CARDER), 2012). Actualmente el término “contaminantes criterio” ha sido acogido en varios países, para cada contaminante criterio se han desarrollado guías y normas de manejo, las guías, prevenciones y recomendaciones que mencionan los niveles permitidos de exposición a contaminantes atmosféricos, esto con el fin de reducir los riesgos o proteger de los efectos nocivos a la salud y al medio ambiente. Las normas establecen las emisiones máximas de los contaminantes atmosféricos que se permiten durante un tiempo definido, estos valores máximos son hechos con un margen de protección ante los peligros y tienen la finalidad de proteger la salud y el medio ambiente (Páez, Bautista, & Cárdenas, 2016).

Fuente Fija Dispersa

Es aquella en que los focos de emisión de una fuente fija se dispersan en un área, por razón del desplazamiento de la acción del viento o algún causante de la emisión, como en el caso de las quemas abiertas controladas en zonas rurales (Páez, Bautista, & Cárdenas, 2016).

Fuente Fija Puntual

Es la fuente fija que emite contaminantes al aire por ductos o chimeneas (Páez, Bautista, & Cárdenas, 2016).

7.3 Marco Legal

Con el fin de dar contexto legal al proyecto, en la (Tabla 2 Normatividad Colombiana calidad del aire), se exponen las normas que mencionan la importancia de contar con ambientes sanos, el cuidado y la conservación del medio ambiente, y en general el control y las regulaciones ambientales en cuanto a la calidad del aire en el país, con el fin de afrontar situaciones y tomar decisiones asertivas para dar solución a las problemáticas.

Tabla 2 Normatividad Colombiana calidad del aire.

Ley	Artículo	Descripción
Constitución política	49,79 y 95	Artículo 49: Servicio de Salud y Saneamiento Ambiental Artículo 79: Derecho a gozar de un ambiente sano. Adicionales a los de la ley. Artículo 95: Son deberes de las personas y los ciudadanos: Proteger los recursos culturales y naturales del país y velar por la conservación de un ambiente sano.
		Son algunas funciones generales del ministerio de medio ambiente referentes al recurso aire: Regular las condiciones generales del saneamiento del medio ambiente.
Ley 99 de 1993	5	Determinar normas ambientales mínimas y regulaciones de carácter general sobre el medio ambiente.
		Dictar regulaciones de carácter general tendientes a controlar y reducir las contaminaciones geosféricas hídrica y de paisaje, sonora y atmosférica.
		Definir y regular los instrumentos administrativos y mecanismos necesarios para la prevención y control de los factores de deterioro ambiental y determinar criterios de evaluación.
Decreto 948 de 1995	General	Establecer límites máximos permisibles de emisión descarga y transporte o depósito de sustancias, productos y compuestos o cualquier otra cosa que pueda afectar el medio ambiente.
		En relación con la prevención y control de la contaminación atmosférica y la protección de la calidad del aire.

Tabla 2. Continuación

Ley	Artículo	Descripción
Decreto 2107 de 1995	75,76 y 86	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. Art 75 (Solicitud del permiso de emisiones atmosféricas) Art 76 (Trámite del permiso de emisiones atmosféricas) Art 86 (Vigencia, alcance y renovación del permiso).
Decreto 979 de 2006	7,10,93,94 y 108	Por el cual se modifican los artículos 7°, 10, 93, 94 y 108 del Decreto 948 de 1995.
Decreto 1530 de 2002	40	Por el cual se modifica el artículo 40 del Decreto 948 de 1995, modificado por el artículo 2° del Decreto 1697 de 1997 y por el Decreto 2622 de 2000.
Resolución 619 de 1997	General	Por la cual se establecen parcialmente los factores a partir de los cuales se requiere permiso de emisión atmosférica para fuentes fijas.
Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire	General	El presente manual de operación de sistemas de vigilancia de la calidad de aire que hace parte del protocolo nacional de monitoreo y seguimiento de la calidad del aire, Incorpora los lineamientos a tener en cuenta para llevar a cabo el diseño y la operación de los sistemas de vigilancia de la calidad del aire en Colombia.
Resolución 909 de 2008	General	Por la cual se establecen las normas y estándares de emisión admisibles de contaminantes a la atmósfera por fuentes fijas y se dictan otras disposiciones.
Protocolo para el control y Vigilancia de la contaminación atmosférica generada por fuentes fijas.	General	El presente capítulo tiene como objetivo establecer los procedimientos de evaluación de emisiones, según lo dispuesto en el artículo 72 de la Resolución 909 del 5 de junio de 2008 o la que la adicione, Modifique o sustituya. Estos procedimientos de evaluación incluyen medición directa, balance de Masas y factores de emisión. Durante la evaluación de emisiones contaminantes, se puede emplear una única metodología o se pueden emplear dos o más de ellas para determinar la confiabilidad de La información obtenida en la cuantificación de las emisiones.
Resolución 2254 de 2017	General	Por la cual se adopta la norma de calidad del aire y se dictan otras disposiciones.

NOTA: Descripción de las normas relacionadas con la regulación y el control, cuidado y conservación del medio ambiente, y la calidad del aire en el país. por Camilo Enrique Parrado Hernández, 2019

7. Metodología

Se planteó la metodología de inventario de emisiones para fuentes fijas puntuales y de área a partir de información cuantitativa y cualitativa suministrada por la corporación ambiental Cormacarena, Posterior a esto se dividió el proceso en tres Fases, las cuales están divididas en Fase 1. Inventario de emisiones, Fase 2. Desagregación espacial y temporal y por ultimo Fase 3. Puntos críticos de emisión, A continuación, en la (tabla 3) se presentan los datos requeridos inicialmente para la realización del inventario de emisiones para las fuentes fijas de la ciudad.

Tabla 3. Datos de entrada para el desarrollo del inventario de emisiones.

Nombre de la Empresa
Fuente fija
Año de instalación de la fuente fija
Combustible utilizado
Consumo combustible
Horas de trabajo
Días de trabajo
Diámetro chimenea
Altura chimenea
Sistema de control
T° Descarga
CO
SO ₂
No _x
MP
Velocidad de salida de la chimenea
VOC

NOTA: Descripción de datos requeridos inicialmente para la realización del inventario de emisiones para las fuentes fijas de la ciudad. por Camilo Enrique Parrado Hernández, 2019

Posterior a esto se procedió a separar en fases las etapas de realización del trabajo, las cuales contaron con una Fase preliminar, Fase 1, Fase 2 y Fase 3.

8.1 Fase 1. Inventario de emisiones.

8.1.1 Actividad 1: Levantamiento y validación de la información

La información disponible para las fuentes fijas, provenientes de los expedientes suministrados por la autoridad ambiental (Cormacarena), fueron revisados y validados. Se tomaron los datos de los últimos monitoreos isocinéticos encontrados en los expedientes suministrados por la Corporación, dentro de esta validación se encontró que actualmente seis empresas cuentan con

permiso de emisiones atmosféricas vigentes y que dichas empresas tienen que renovar su permiso cada cinco años. Posterior a esto se crearon tablas de Excel con la información de mayor relevancia para cada empresa, con el fin de tener condiciones iniciales, las cuales se ingresaron posteriormente al inventario de emisiones (Camacho & Guzman, 2009).

Además, se incluyeron las estaciones de servicio (EDS) de la ciudad como fuentes fijas difusas con el objetivo de estimar las emisiones de compuestos orgánicos volátiles (COV), para esto fue necesario solicitar al Ministerio de Minas y Energía la lista actualizada de las EDS que se encontraban activas a la fecha dio como resultado un total de treinta y cuatro EDS distribuidas en toda la ciudad. Posteriormente se le solicitó al Soldicom (Fondo de Protección solidaria) la distribución minorista de combustible con el fin de obtener los volúmenes consumidos de gasolina corriente, extra y Diésel desde el año 2014 hasta el año 2018.

8.1.2 Actividad 2: Estimación del Inventario de emisiones.

Se desarrolló un inventario de emisiones de contaminantes primarios (PM, SO₂, NO_x, CO y VOC), teniendo en cuenta los datos monitoreados por las empresas y entregado a Cormacarena, por parte de fuentes antropogénicas entre las cuales se evaluaron las fuentes fijas puntuales y de área. El área de estudio corresponde a la zona urbana del municipio de Villavicencio la cual cuenta con un área de 1338 km², se definió esta área de estudio basándose en la guía para la elaboración de inventarios de emisiones, la cual define los alcances de un inventario basándose en macro y micro escala, para el caso de este proyecto se define como micro escala puesto que no tiene un área de estudio tan grande y a su vez no se cuenta con un inventario en la ciudad a esta escala y para los contaminantes primarios definidos en el proyecto (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2012). Se tuvieron en cuenta datos cuantitativos y cualitativos como caudales, velocidades de flujo, coordenadas de las empresas número de fuentes fijas y los monitoreos isocinéticos presentes en cada expediente.

Posterior a esto, las emisiones de los contaminantes que no habían sido reportados en los monitoreos isocinéticos se estimaron a partir de factores de emisión basándose en los consumos de combustible o materia prima de cada una de las empresas, El inventario de emisiones tuvo una resolución espacial de 1km*1km. (Costa & Baldasano, 1996), esta resolución permite que el inventario de emisiones sea utilizado como información de entrada en modelos de dispersión de meso-escala (Colville, Hutchinson, Mindell, & Warren, 2001).

Las estimaciones de emisiones por COV asociados a las estaciones de servicio o de almacenamiento se determinaron mediante la metodología desarrollada por la Agencia Europea de Medio Ambiente (EEA), utilizando los factores de emisión desarrollados por la Agencia de

Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA), Para las estimaciones se hizo uso de la información de los volúmenes vendidos en la ciudad

Se utilizó la Ecuación se determinó la emisión anual de COV para los años 2014 hasta el 2018 provenientes de las diferentes actividades que se realizan en una

Ecuación 1. Factores de emisión para volúmenes de combustible

$$Ei = EFi \times Vi \times 10^{-6}$$

Donde:

Ei: Emisión anual de COV debida al manejo de combustible Kg/año

EFi: Factor de emisión del combustible mg/L

Vi: Ventas anuales de combustible L/año

Los factores de emisión de la distribución, almacenamiento, llenado de tanques y derrames, se tomaron de la base de datos de la EPA-AP42, los cuales se muestran en la (Tabla 4).

Tabla 4. Factores de emisión de la distribución, almacenamiento, llenado de tanques y derrames.

Fuente de Emisión	mg/L
Gasolina	
Llenado de tanque subterráneo	
Tubería sumergida	880
Tubería no sumergida	1380
Tubería sumergida con control de emisiones	40
Contracción y expansión de los gases	120
Llenado de vehículos	
Perdidas por desplazamiento (sin control)	1320
Perdidas por desplazamiento (controlada)	132
Derrames	80
Diésel	
Incluye el llenado de tanques subterráneos, el llenado de vehículos y la concentración y expansión de vapores en el tanque subterráneo	176

NOTA: Resultados de los factores de emisión tomado de la base de datos de EPA, Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, 1995

Para gasolina corriente y extra se utilizaron los factores de emisión correspondientes a tubería no sumergida, la contracción y expansión de los gases en el tanque subterráneo, las

perdidas por desplazamiento y los derrames lo cual el sumatorio total da 2900 mg/l. Para Diésel se utilizaron los factores de emisión de llenado de tanques subterráneos, el llenado de los vehículos y la contracción y expansión de vapores en el tanque subterráneo, adicionalmente se suma un factor de derrames para una suma total de 256 mg/l, debido a la volatilidad de la gasolina con respecto al diésel los factores de emisión son más altos para la gasolina (Valencia, 2019).

8.2 Fase 2. Desagregación espacial y Temporal

8.2.1 Actividad 1: Desagregación espacial

El proceso para la generación de los mapas que muestran la distribución espacial de los contaminantes atmosféricos en los puntos de muestreo y en las estaciones de servicio se inicia con la búsqueda de información cartográfica base de Villavicencio en el Geoportal del Sistema de Información Geográfica para el ordenamiento territorial SIG-OT, donde se obtiene la información pertinente al límite municipal, casco urbano y vías, con esto se tiene una base cartográfica referente para la distribución espacial de los puntos de muestreo.

Una vez obtenidas las capas de información geográfica municipales, se procede a generar una cuadrícula de 1km x 1km que representa el área de afectación de los contaminantes en las muestras recolectadas, esta malla se genera con la herramienta Fishnet del software ArcGis, esta herramienta permite crear parcelas de dimensiones establecidas y con una extensión definida.

Para la ejecución de esta herramienta en metros que es la unidad de medida correcta para este trabajo en específico, es necesario definir el área de trabajo en el sistema de coordenadas planas correspondiente a la región, que en este caso se atribuye a la zona central, con datum Magna Sirgas Colombia Bogotá.

Para crear la malla vectorial de parcelas se sitúa en la ruta de ArcToolbox Data Management Tools > Feature Class > Create Fishnet. Una vez abierta la herramienta se define el límite de la maya vectorial generada, utilizando como referencia las coordenadas superiores e inferiores de la capa del límite municipal de Villavicencio, se define la altura y el ancho de cada celda y se procede a la creación de esta.

Una vez generada la malla de distribución espacial se crea una capa de puntos con las coordenadas y los nombres de los puntos de muestreo y en esta capa se insertan a su vez los datos recolectados a través de la tabla de atributos.

Posteriormente, para interceptar la información de los muestreos en la capa de puntos con la malla de parcelas generadas anteriormente se utiliza la herramienta Spatial Join, esta capa permite unir los atributos de dos o más capas con base en su relación espacial.

La ruta de esta herramienta es ArcToolbox > Analysis Tools > Overlay > Spatial Join, una vez abierta la herramienta en Target Features se referencia la malla de parcelas, para que esta misma guarde los atributos espaciales de la capa de puntos, que posteriormente se inserta en Join Features, lo que resulta finalmente en las parcelas con la información de los muestreos correspondientes a los datos recolectados.

Teniendo finalmente las parcelas con la información de los muestreos se realiza una clasificación por atributos que represente las cantidades a través de una escala de color, esto se realiza modificando las propiedades de la capa; Este proceso se repite para cada contaminante y cada muestreo, finalmente, se generan los planos cartográficos con la información procesada anteriormente.

Para analizar las fuentes fijas dispersas en este caso se tomaron en cuenta las estaciones de servicio de la ciudad de Villavicencio para ello, se tomó la información del Ministerio de Minas y Energía en la cual se encontró el listado de las EDS certificadas de las cuales treinta y cuatro se encuentran operando actualmente, esto con el fin de estimar a partir de los volúmenes de combustible vendido en la ciudad la cantidad de COV emitidos de manera dispersa al ambiente de la ciudad.

8.2.2 Actividad 2: Desagregación Temporal

En el caso de las fuentes fijas, algunas empresas reportan los horarios de operación y cantidad de turnos. Para las empresas que no reportan esta información, se realizó una asignación aleatoria de los inicios de turno y se les asignó un turno de 4h para las seis empresas con permiso de emisiones vigente, esto con el fin de completar 24h de emisiones de contaminantes primarios a la atmósfera de la ciudad y observar las horas de picos de emisión de contaminantes con mayor incidencia sobre la calidad del aire en Villavicencio y a su vez, comparar con los resultados de la desagregación espacial y así dar un resultado más exacto; se calcularon, con el uso de los factores de emisión, las emisiones por turno y se ubicaron a partir de la hora asignada de inicio de turno. (Davila, 2015)

8.3 Fase 3: Puntos críticos de emisión

Para la última fase se obtuvieron mapas en los cuales, se identificaron las horas en la que las fuentes fijas emiten más contaminantes primarios a la atmosfera, se evidenciaron así, los puntos más críticos de emisión de contaminantes en la ciudad, lo cual servirá como base para la elaboración de futuros proyectos y servirá como una guía para los entes territoriales, en estudios del estado de la calidad del aire, (Davila, 2015) la información que se obtuvo en este estudio podrá ser utilizada para valorar la necesidad de la instalación de sistemas de control de emisiones en los procesos, actualizaciones a el inventario de fuentes fijas de la autoridad ambiental competente, apoyar la gestión del control y seguimiento de la contaminación atmosférica, y establecer actos para el desarrollo de la descontaminación atmosférica de áreas afectadas, entre otros (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010).

8. Resultados-Análisis

9.1 Inventario de Emisiones

9.1.1 Emisiones Totales de las Fuentes Fijas Industriales

A partir de los datos suministrados por parte de la corporación (CORMACARENA) se plantearon unas condiciones iniciales para las 6 empresas que actualmente cuentan con permiso de emisiones vigente basándose en los expedientes de cada una de ellas.

Además, se contó con información suficiente y se realizó la estimación de las emisiones de contaminantes primarios proveniente de fuentes fijas que fueron suministrados por la entidad territorial encargada del municipio que es CORMACARENA y entidades gubernamentales como el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible el Ministerio de Minas y Energía, con la cual se realizó la desagregación espacial y temporal del inventario de emisiones para la ciudad de Villavicencio (Páez, Bautista, & Cárdenas, 2016).

Estos datos iniciales fueron obtenidos a partir de los monitoreos isocinéticos que realizan las empresas y la corporación Cormacarena para el control y seguimiento de los permisos de emisión vigentes, los datos fueron procesados en el inventario de emisiones propuesto para este proyecto, estos datos se encuentran en las **(tablas de anexos de la tabla 1 a la 8)** y junto a los factores de emisión se hallaron los contaminantes faltantes, esto debido a que las empresas solo están obligadas a reportar contaminantes que la normatividad exige dependiendo el tipo de industria o producción que se lleve a cabo en la empresa, para este caso de estudio las empresas que cuentan con permiso de emisiones vigentes son de incineración de residuos, procesamientos de alimentos y molinerías (Correa, 2016), a continuación se presenta la tabla final del inventario de emisiones en los cuales se observan los datos de los monitoreos y los datos hallados por factores de emisión. Se clasificaron dependiendo el tipo de industria lo cual dio como resultado cinco empresas en procesamiento de alimentos y una en incineración de residuos como se puede observar en la Tabla 5. Emisiones Totales por tipo de industria en tonelada /año para cada contaminante., posteriormente se recopilaron los contaminantes primarios planteados en la metodología los cuales fueron desagregados espacial y temporalmente en el programa ArcGIS (Páez, Bautista, & Cárdenas, 2016).

Tabla 5.Emisiones Totales por tipo de industria en tonelada /año para cada contaminante.

Tipo de industria	No. Fuentes Puntuales	No. Empresas	Emisiones (Ton/Año)						
			CO	NOx	SO ₂	PM ₁	PM _{2.5}	PM ₁₀	VOC
Procesamiento de alimentos	7	5	48.37	127.93	1134.76	10.856	21.712	52.923	0.339
Incineración de residuos	1	1	2518.67	0.05	0.028	0.0226	0.0273	0.040	0.009
Emisiones por carga, descarga y almacenamiento de combustibles	34	34	0	0	0	0	0	0	1177,3
Total	42	40	2567.04	127.98	1134.79	10.87	21.739	52.96	1177.6

NOTA: Resultados de las emisiones contaminantes primarios, procesado bajo el programa ArcGIS, por por Camilo Enrique Parrado Hernández, 2019

9.1.2 Diagrama tipos de combustibles incinerados en los procesos productivos de las empresas objeto de estudio.

A continuación, se obtuvo como resultado una gráfica circular, en la cual se agruparon los combustibles utilizados por las empresas objeto de estudio, en sus procesos productivos, con el fin de evidenciar en términos porcentuales, que combustible es el que más se utiliza, cabe resaltar, que estas empresas algunas utilizan combustibles mezclados de origen vegetal, como el carbón con la cascarilla de arroz y el carbón y el cuesco, los resultados fueron presentados en la Figura 5

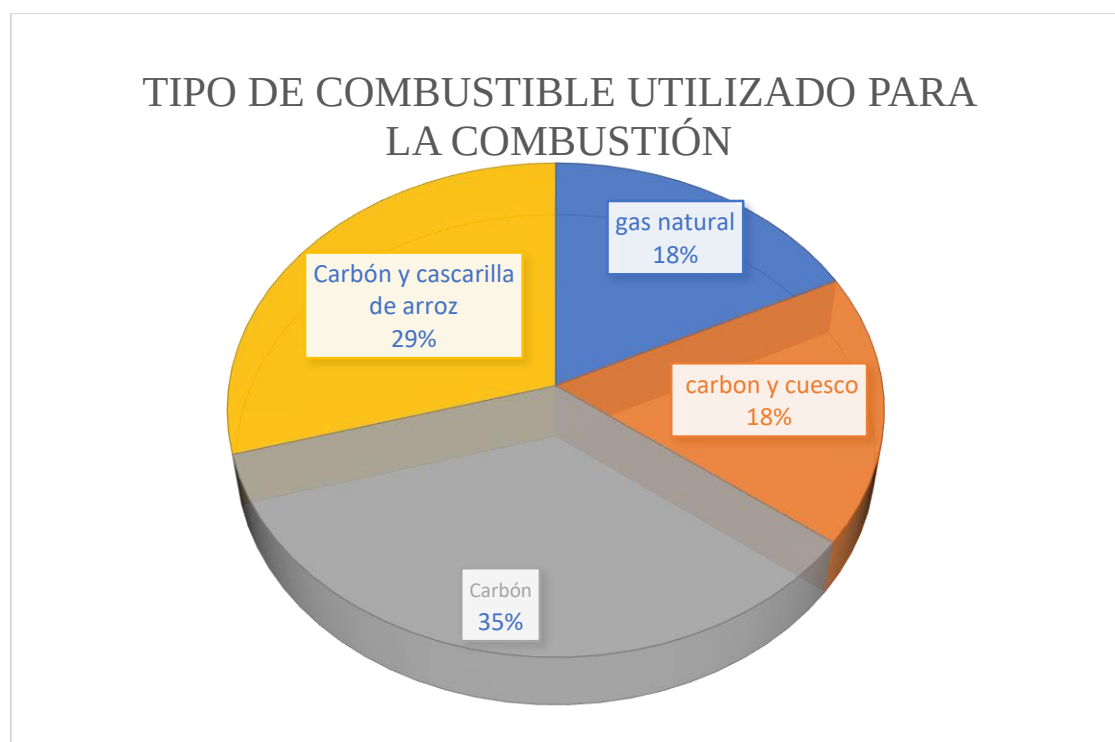


Figura 2. Combustible Incinerado en proceso productivo, por Camilo Enrique Parrado Hernández, 2019

Como se evidencia en la gráfica, el combustible que se utiliza en mayor cantidad es el carbón, pero también sigue presente en los procesos de producción de otras empresas lo cual contrasta lo que se mencionó anteriormente, se tiene que el 82% de los combustibles utilizados tienen carbón y un porcentaje inferior de cuesco y cascarilla de arroz, de ahí surgen los problemas asociados a las emisiones de SO_2 , sus razones se dan debido a que la combustión del carbón es un proceso físico y químico el cual es precursor del aumento de emisiones de SO_2 (Dióxido de Azufre). Los problemas en materia ambiental y la salud de las personas que genera el SO_2 no son menores, cuando se inhala por tiempo prolongado causa daños a las vías respiratorias como ardor, tos, respiración lenta, en el ámbito ambiental el SO_2 es precursor de la lluvia ácida y la alteración a los ecosistemas disminuyendo el follaje y el crecimiento de las Plantas (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA), 2018).

9.1.3 Inventario de Emisiones Estaciones de Servicio.

En Esta sección del trabajo, se hallaron los resultados obtenidos para las emisiones del contaminante primario COV (Compuestos Orgánicos Volátiles), Para esto se planteó desde la metodología las fuentes de área a evaluar, las cuales para objeto de este estudio fueron las EDS (Estaciones de servicio) de la ciudad de Villavicencio, se procedió a realizar una investigación del total de EDS en actividad en la actualidad en la ciudad, se encontraron en total 34 EDS en

funcionamiento en la ciudad , el paso a seguir fue una búsqueda de fuentes en las cuales se pudiera encontrar los volúmenes en ventas de combustibles reportados por estas EDS (Camacho & Guzman, 2009), esta información se encontró en el Fondo Soldicom, los datos encontrados fueron muy generales en cuanto a volúmenes totales por año para la ciudad de Villavicencio tanto para Diesel, Gasolina Corriente y Extra (**Anexo 10,11,12**), El paso siguiente fue por medio de factores de emisión y la metodología escogida para actividades como llenado de vehículos y derrames presentada en la sección **10.3.2**, Por último se presentaron los datos de inventario de emisiones y desagregación espacial los cuales se encuentran en la sección **11. 3** (Instituto Nacional De Ecología y Cambio Climatico, 2015).

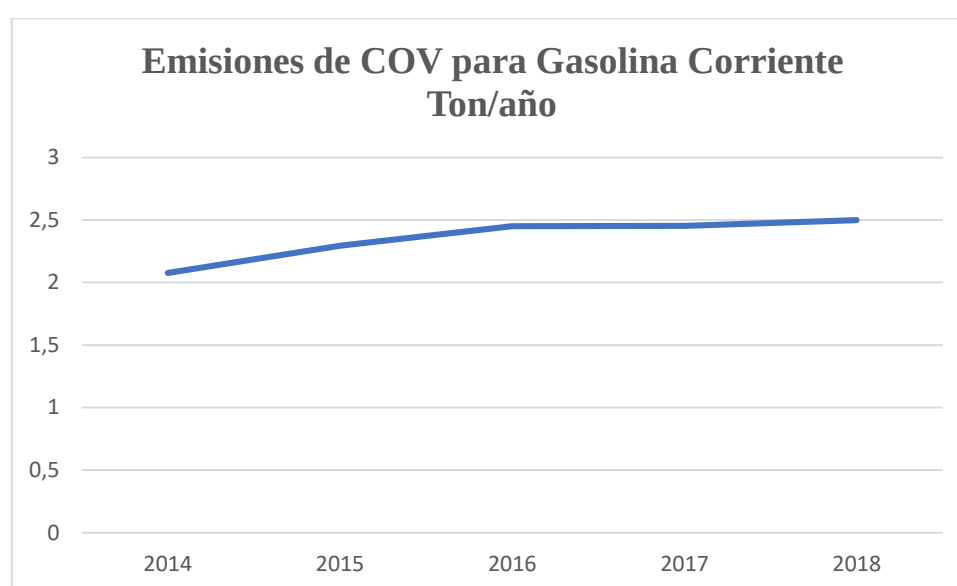


Figura 3. Emisiones de COV para gasolina corriente para la ciudad de Villavicencio Ton/Año, por Camilo Enrique Parrado Hernández, 2019

Como se puede evidenciar las emisiones de COV de Gasolina corriente aumentaron significativamente en los últimos años, esto debido al aumento del parque automotor en la ciudad, siendo el 2014 el año más bajo y el 2018 el más alto, pero a su vez, el crecimiento se está dando de forma más lenta. Esto es un problema para la ciudad debido a que los COV son precursores del ozono troposférico(O_3), las emisiones producidas por el almacenamiento de gasolina y su transporte desde los depósitos hasta las estaciones de servicio y el llenado de vehículos constituyen alrededor del 5% de las emisiones antropogénicas de estos compuestos. Los COV relacionados con el transporte suponen el 10,51% del conjunto de las emisiones (Instituto Sindical de Trabajo, Ambiente y Salud, 2014).

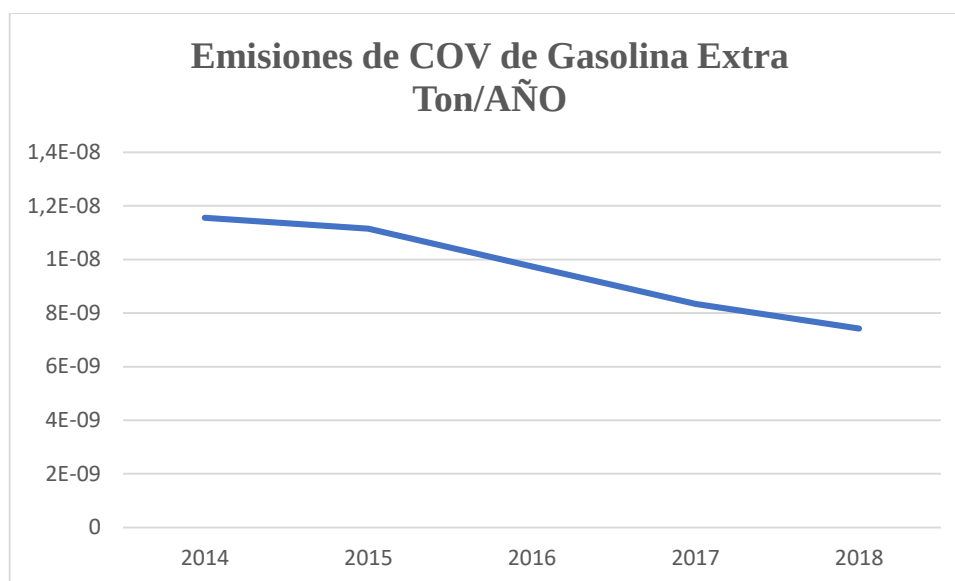


Figura 4. Emisiones de COV para Gasolina Extra Ton /Año, por Camilo Enrique Parrado Hernández, 2019

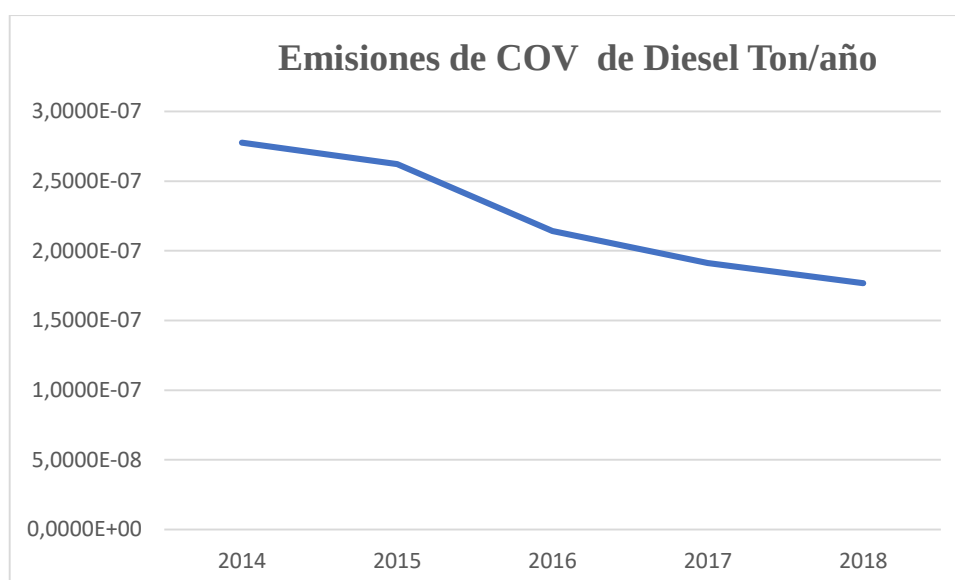


Figura 5. Emisiones de COV para combustible Diesel Ton/año, Fuente (Autor ,2019)

A diferencia del anterior combustible, este no aumentó, si no por el contrario disminuyó notablemente en los últimos años, siendo el más alto el 2014 y los volúmenes más bajos fueron reportados en el 2018, se intuye que se elevó el parque automotor, pero la economía del país en los últimos años se comportó de manera similar lo cual sería variable debido a que las personas desearían economizar en combustible él lo cual si lo vemos en términos de costos es mucho más cara la gasolina extra que la corriente lo cual, sería una razón de peso para que este combustible baje su venta tan aceleradamente (Davila, 2015).

Al igual que la gasolina Extra, el Diesel también bajó su consumo notablemente en los últimos años, pero en menos cantidad que la gasolina extra, los volúmenes reportados de Diesel son más elevados, pero su comportamiento es decreciente al igual que el anterior, esto se podría

presentar como una reacción al decrecimiento de la economía en el país, puesto que los carros que funcionan con motor Diesel su costo supera considerablemente el costo de un auto de gasolina corriente (Davila, 2015).

Los volúmenes de combustible se utilizaron para hallar por factores de emisión la concentración de COV para cada combustible desde el año 2014 hasta el año 2018 posterior a eso se dividió el total de la concentración en treinta y cuatro estaciones de servicio de la ciudad de Villavicencio con el fin de estimar el crecimiento y las zonas más afectadas de la ciudad por este tipo de fuente fija (Costa & Baldasano, 1996).

Tabla 6. Emisiones de COV generadas por las actividades desarrolladas en las estaciones de servicio

Emisiones Estaciones de servicio.						
9# Estaciones de servicio.	Nombre	2014	2015	2016	2017	2018
34 EDS	Gasolina corriente	6.107822463	6.746893794	7.20767519	7.21441271	7.34976297
	gasolina extra	0.339751403	0.327865794	0.28662972	0.24545983	0.21823291
	Diesel	8.165474668	7.715029748	6.30167489	5.6236563	5.19860183

NOTA: resultados de las Emisiones de COV entre los años 2014 y 2018, por Camilo Enrique Parrado Hernández, 2019

En esta tabla se consolidó la cantidad total de contaminante emitido a la atmósfera para cada tipo de combustible desde el año 2014 hasta el 2018 para un total de treinta y cuatro estaciones de servicio, esta tabla sirvió como modelo de partida para realizar la desagregación espacial de estas fuentes fijas dispersas.

9.1.4 Estudios Significativos en Ciudades de Colombia y Latinoamérica

Se realizó la revisión bibliográfica de proyectos o estudios en los cuales fueran implementadas las metodologías de inventarios de emisión para contaminantes primarios, se encontró que en distintas ciudades de Colombia y de Latinoamérica existen proyectos de bastante similitud los cuales sirvieron de comparativo con los resultados obtenidos en el inventario de emisiones que se desarrolló para la ciudad de Villavicencio en este proyecto (Camacho & Guzman, 2009), los resultados obtenidos de contaminantes primarios, fueron agrupados en una gráfica de barras ascendentes, con el fin de evidenciar las emisiones totales de la ciudad, comparadas con ciudades de mayor número de habitantes y de extensión territorial, como se podrá evidenciar en la (Figura 3)

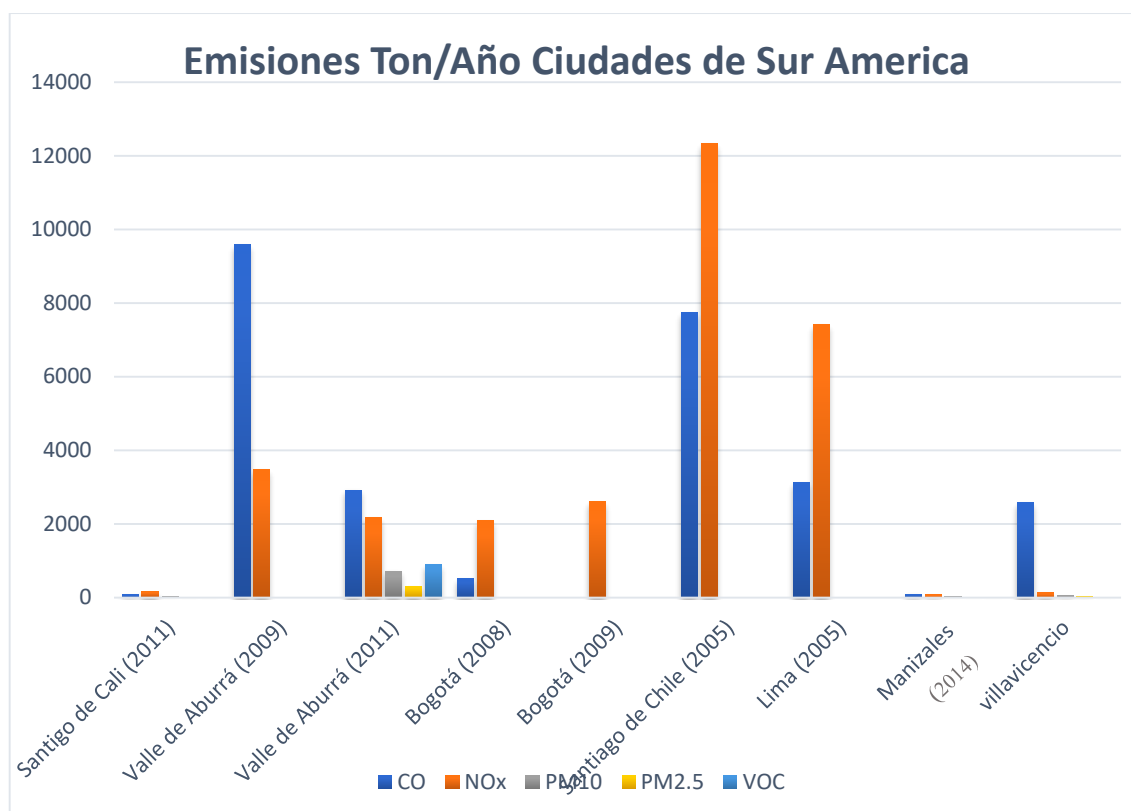


Figura 6. Ciudades de Latinoamérica que implementaron la metodología de inventario de emisiones, por Camilo Enrique Parrado Hernández, 2019

Se compararon los resultados obtenidos con los diferentes estudios realizados en ciudades importantes en materia de calidad del aire, dentro de estas ciudades, se encuentra: Bogotá, Lima, Manizales, Santiago de Cali, Santiago de Chile y todo el Valle de Aburrá. Dentro de estos estudios se analizaron los contaminantes primarios definidos en este trabajo, lo cual fue de gran importancia ya que permitió observar la cantidad en concentración de contaminantes primarios emitidos, con respecto a la ciudad de Villavicencio (Valencia, 2019).

Dentro de esta Comparación, se evidenció las ciudades en las cuales los contaminantes primarios presentaban los picos más altos, estas ciudades son, Santiago de Chile, Lima, Santiago de Cali y el Valle de Aburrá, dentro de estos estudios se marca una tendencia en todas las ciudades anteriormente mencionadas y a su vez en la ciudad de Villavicencio, esta similitud se presenta en los contaminantes CO y NO_x los cuales presentan niveles elevados comparados con los otros contaminantes primarios analizados en estas ciudades (Valencia, 2019).

Para el caso particular de Villavicencio presenta niveles muy altos de CO comparado con ciudades como Manizales y Santiago de Cali, lo cual es muy importante para este estudio puesto que nos da una idea clara de cómo podría estar el estado de la calidad del aire de Villavicencio para este contaminante en particular, comparado con otras ciudades de Latinoamérica, el CO es un contaminante que afecta la calidad del aire de diferentes ciudades

del mundo (Páez, Bautista, & Cárdenas, 2016), este gas se concentra en la atmósfera baja de las ciudades, se genera por la combustión incompleta de los motores de combustión interna y en menor parte las industrias, por ende esta problemática se vuelve un reto para las entidades gubernamentales y entidades dedicadas a salvaguardar y conservar el medio ambiente, puesto que a diario las industrias y el parque automotor crece a medida que las comunidades expanden sus territorios (Camacho & Guzman, 2009).

9.2 Desagregación Espacial

9.2.1. Desagregación Espacial de las emisiones de monóxido de carbono (CO).

Como resultados se obtuvieron los siguientes mapas, en los cuales se pueden observar las distintas zonas de la ciudad que tienen valores de contaminación más altos y las cuales día a día se ven afectadas por los contaminantes primarios, En la siguiente figura se muestra las emisiones de CO en toneladas/año para la ciudad de Villavicencio.

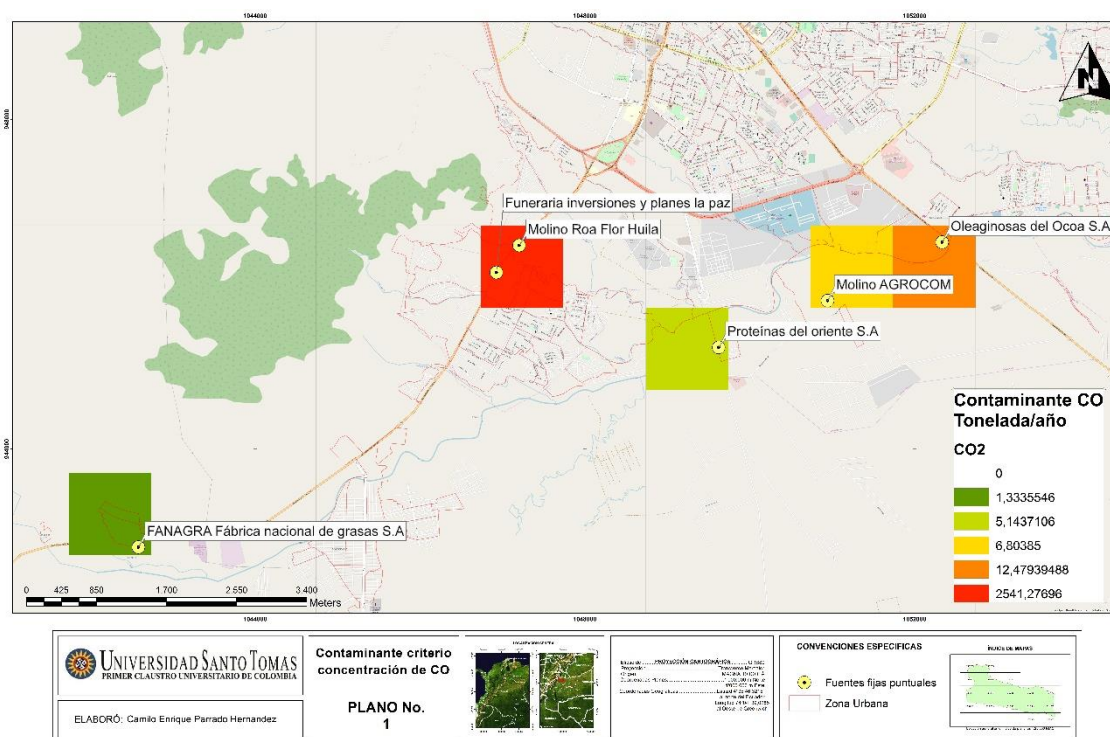


Figura 7.CO Mapa de emisiones de monóxidos de carbono en Ton/año, por Camilo Enrique Parrado Hernández, 2019

Como se observa en el mapa de concentración de monóxido de carbono, la zona más afectada por el contaminante, es la del cuadrado rojo, la cual abarca barrios como Catumare, San Jorge, Montecarlo, Serramonte los cuales forman parte de la comuna 8, siendo afectados directamente por las actividades industriales en sus jornadas diarias de producción evidenciando así un valor

de 2541,2 toneladas por año, en dicha área para este contaminante criterio (CO), no obstante se encontraron dos zonas con valores representativos, las cuales son la zona naranja y la amarilla arrojando un valor total de 12,47 toneladas por año de CO y 6,8 toneladas por año respectivamente para la zona amarilla. Estos valores afectan directamente algunos barrios de la comuna 5 en la cual se encuentran ubicadas las dos empresas objeto de estudio, se puede concluir que en la zona naranja se presenta una concentración de emisiones de CO mayor que en la zona amarilla debido a la cantidad de combustible quemado lo cual está directamente relacionado con la mayor producción de una empresa con la otra (Camacho & Guzman, 2009).

Las altas emisiones de este contaminante afectan directamente la salud de los habitantes y transeúntes de la zona aledaña a los focos de contaminación debido a que el monóxido de carbono es un gas que por sus características lo hace tóxico para las personas y los ecosistemas que allí convergen, este gas es inodoro e incoloro y su peligrosidad se da porque este presenta gran afinidad hacia la hemoglobina de la sangre lo cual provoca problemas cardiovasculares y accidentes cerebrovasculares (Colville, Hutchinson, Mindell, & Warren, 2001), para el caso de tiempos prolongados de exposición, por otro lado, a poco tiempo de exposición causa fatigas y dolor en el pecho; en materia ambiental no son pocos los daños ya que el monóxido de carbono es uno de los contaminantes atmosféricos más comunes y considerado uno de los principales precursores del aumento de temperatura del planeta y del efecto invernadero. Este contaminante se produce en la industria debido a la combustión incompleta del CO₂ en combustibles orgánicos como el carbón y en la combustión incompleta de los automotores, lo cual lo hace uno de los más tóxicos y más comunes (Fundacion Crana Fundazioa, 2015). Estas condiciones anteriormente mencionadas, sumadas a los resultados obtenidos en este estudio, deja un panorama negativo para los habitantes de esta zona ya que día a día estos problemas irán aumentando si no se ejercen o endurecen las políticas ambientales en la ciudad y en el país (Fundacion Crana Fundazioa, 2015).

9.2.2 Desagregación Espacial de las Emisiones de Dióxido de azufre (SO₂).

Por último, Se obtuvo el mapa de emisiones para el contaminante primario SO₂, el cual da como resultado, datos significativos en comparación con los anteriores contaminantes.

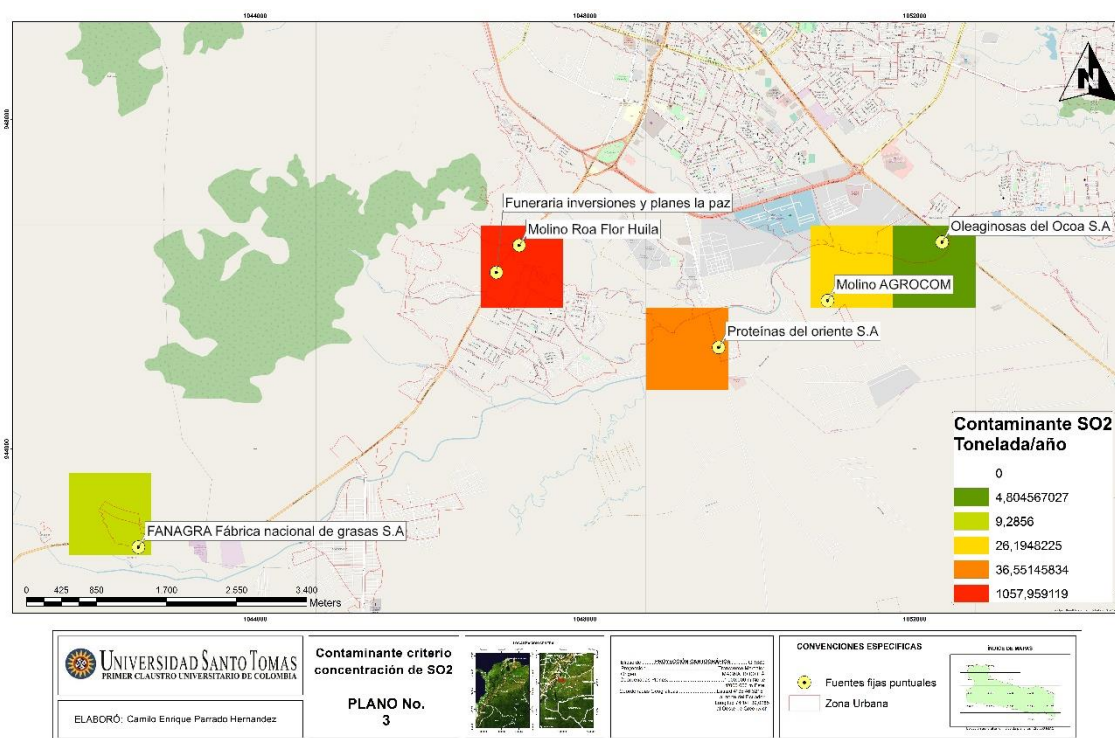


Figura 8.SO2 Mapa de emisiones Óxidos de azufre en Ton/año, por Camilo Enrique Parrado Hernández, 2019

En este mapa se observa la incidencia directa de la contaminación por parte de las empresas ubicadas en la zona roja de la comuna 8 con una emisión de 1057.95 ton/año, seguidas de la empresa ubicada en la zona naranja con 36.55 toneladas de óxidos de azufre al año y con un valor menor (Páez, Bautista, & Cárdenas, 2016), pero representativo la empresa ubicada en la zona amarilla con una emisión de 26.19 ton/año.

Como se mencionó anteriormente el SO_2 es un contaminante muy perjudicial para la salud de las personas y para el medio ambiente, se puede decir que esta zona de la comuna 8 está siendo afectada por varios contaminantes debido a que las empresas allí ubicadas usan para su combustión carbón y gas natural lo cual genera emisiones de los contaminantes anteriormente mencionados (Camacho & Guzman, 2009), a futuro se tendrá una problemática grave en este sector debido a que cada día que pasa las emisiones aumentan, debido a que las poblaciones crecen y por ende la producción de este tipo de empresas dedicadas a la creación de insumos y alimentos también aumentará, lo cual se relaciona directamente con la emisión de contaminantes a la atmósfera y dará como resultado a largo plazo, un aumento significativo en las emisiones de dichas empresas y traerá consigo cambios irreversibles a la calidad del aire del sector (Valencia, 2019).

9.2.3 Desagregación espacial de las emisiones de óxidos de nitrógeno (NO_x)

En el siguiente mapa se presentan los resultados obtenidos del contaminante primario NO_x en toneladas/año. El mapa muestra las emisiones para este contaminante y las zonas en las cuales se presentan los mayores puntos de emisión de este contaminante.

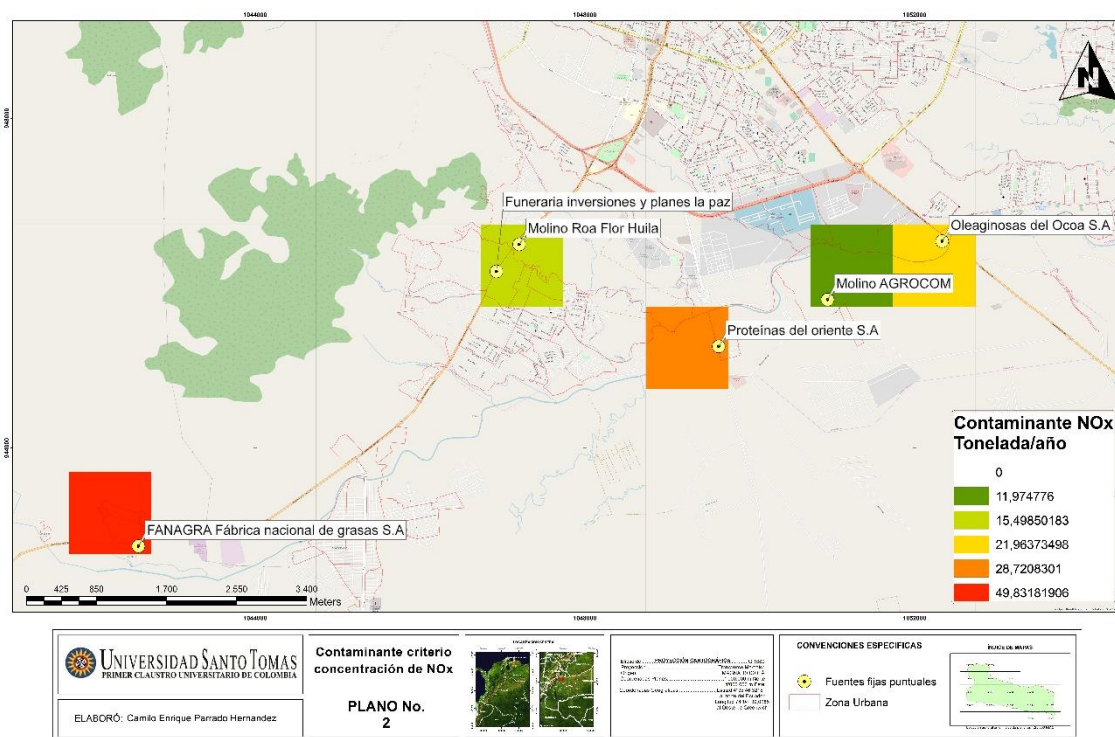


Figura 9. NO_x Mapa de emisiones óxidos de nitrógeno en Ton/año, por Camilo Enrique Parrado Hernández, 2019

El contaminante NO_x se comporta de una manera distinta y nos muestra puntos de concentración altos en diferentes sectores a diferencia de los anteriormente mencionados, los valores más altos de NO_x se presentan en la zona roja con una concentración de 49.83 toneladas por año, seguido de la zona de color naranja claro con un valor de 29.72 toneladas por año, cabe resaltar que, aunque las otras tres empresas tengan valores altos no son igual de representativos. Los NO_x (Óxidos de Nitrógeno) se producen por la quema o combustión de los combustibles fósiles los cuales se encuentran presentes en las empresas objeto de este estudio. (Ministerio para la Transición Ecológica, (España), 2017), los efectos a la salud de la comunidad en dicha zona son causados por la inhalación de este gas, al cual las personas de esta área diariamente son expuestas generándoles problemas respiratorios, en cuanto al medio ambiente tiene una gran incidencia en la formación del smog fotoquímico y al mezclarse con otros compuestos en la atmosfera se convierte en (HNO₃) que posteriormente se precipita y acidifica los suelos y las aguas superficiales lo cual es una afectación a los ecosistemas como

los humedales que regulan el ciclo hídrico de la ciudad (Ministerio para la Transición Ecológica, (España), 2017).

9.2.4 Desagregación espacial de las emisiones de material particulado (PM₁₀, PM_{2.5} y PM₁)

A continuación, se obtiene como resultado el segundo mapa de la desagregación espacial, el cual corresponde al contaminante primario MP (Material Particulado), El mapa muestra las emisiones para este contaminante y las zonas en las cuales se presentan los mayores puntos de emisión de este contaminante.

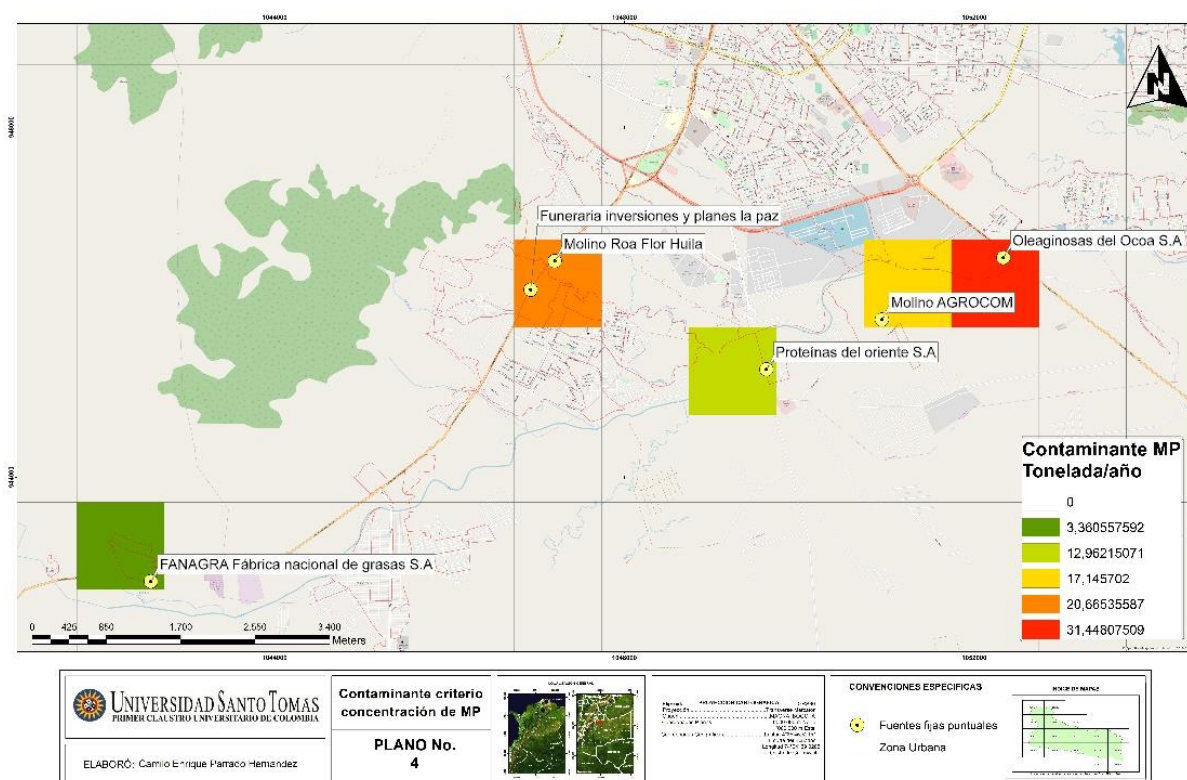


Figura 10.MP Mapa de emisiones de material particulado en Ton/año, por Camilo Enrique Parrado Hernández, 2019

Se hallaron los contaminantes PM 10, PM 2.5 y PM 1, posteriormente se sumaron los tres de cada empresa y se le asignó el valor a cada empresa de MP Total hallados en la Tabla 5. Emisiones Totales por tipo de industria en tonelada /año para cada contaminante.. En el mapa se puede evidenciar que las emisiones más altas de MP (Material particulado) están ubicadas en la zona roja, como se observa el comportamiento de este contaminante es parecido al del CO (Monóxido De Carbono) a diferencia de que la concentración es mayor en la zona roja la cual corresponde a la comuna 5 de Villavicencio con un valor de 31.44 Toneladas por año seguido de la comuna 8 con una concentración de 20.66 toneladas por año; Puesto que el

MP es un contaminante atmosférico que debido a sus condiciones puede generarse de varias formas, como lo son de origen antropogénico o natural, el origen de este MP para este caso de estudio es antropogénico, es decir, se origina industrialmente, este contaminante se caracteriza por ser una mezcla de pequeñas partículas sólidas combinadas con partículas líquidas que dependiendo de su composición hace que varíe su tamaño como por ejemplo hay partículas de PM10 y PM 2.5 e incluso menores (Camacho & Guzman, 2009), el problema de estas partículas radica en que son tan pequeñas que las personas que viven en los barrios más cercanos a las zonas de mayor afectación, respiran este tipo de partículas todos los días; estas partículas pueden ser orgánicas e inorgánicas lo cual representa afectaciones a la salud y al medio ambiente, debido a esas condiciones, se concluye que esto es un problema de gran afectación a las personas que día a día se ven perjudicados por las industrias que allí ejercen sus actividades productivas (Páez, Bautista, & Cárdenas, 2016).

En materia de salud es un tema de difícil manejo ya que afecta la salud de las personas que viven en las zonas aledañas a los focos de contaminación y su fácil inhalación lo vuelve altamente tóxico y perjudicial tanto para adultos como para niños, no menor el impacto a los ecosistemas de plantas y animales, se dice que las partículas de tamaño menor a 2.5 micras, pueden llegar hasta los bronquios lo cual vuelve al MP uno de los principales causantes de enfermedades cancerígenas en vías respiratorias y enfermedades asociadas al aparato respiratorio del ser humano, se cree que es uno de los mayores causantes de muertes en todo el mundo, lo cual lo hace un reto para los entes territoriales en materia de salud y medio ambiente (Costa & Baldasano, 1996), en el ámbito ambiental el MP es uno de los generadores de la polución en La ciudad lo cual trae efectos negativos a los ecosistemas terrestres y acuáticos alterando sus ciclos reproductivos y a su vez causando daños irreparables a la calidad del aire de la ciudad de Villavicencio (Davila, 2015).

9.2.5 Desagregación Espacial de las Emisiones de los Compuestos orgánicos Volátiles (COV).

De acuerdo a los resultados obtenidos en la gráfica de gasolina corriente y los volúmenes reportados por el fondo Soldicom, se observa el crecimiento de las cantidades vendidas en la ciudad desde el 2014 hasta el 2018, esto comparado con el decrecimiento de la curva de la gráfica de gasolina extra y diesel. Por ende, las emisiones asociadas a estos combustibles disminuyen, lo cual no se consideró apropiado para desagregar espacialmente, puesto que sus valores van decreciendo y son directamente proporcionales a las emisiones producidas (Colville, Hutchinson, Mindell, & Warren, 2001).

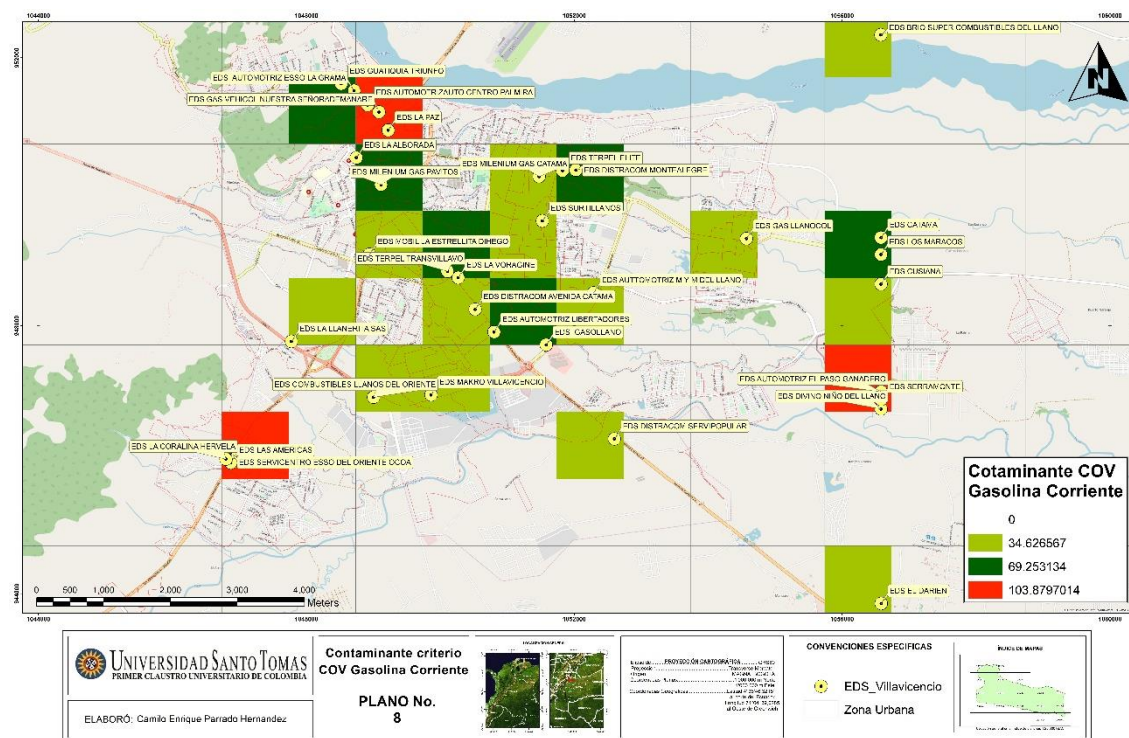


Figura 11 Mapa de desagregación espacial de las EDS para gasolina corriente, por Camilo Enrique Parrado Hernández, 2019

En el mapa de gasolina corriente como resultado se obtuvo, que es uno de los combustibles que más ha aumentado su consumo en los últimos años, factores como el aumento del turismo y el aumento del parque automotor, con causas directas de esta demanda de combustible en la ciudad, como se puede observar en el mapa, las zonas rojas son los puntos más críticos de aumento de emisiones y de contaminante COV emitido a la atmósfera de manera indirecta por parte de las estaciones de servicio allí presentes, (Camacho & Guzman, 2009) estas zonas representan gran reto para la ciudad en cuanto a la buena calidad del aire puesto que comparado con lo que se vive en la actualidad, estas zonas son bastante afectadas diariamente e incluso generan problemas socio ambientales a las comunidades aledañas, tales como la afectación a la salud, irritación en las vistas y vías respiratorias, cefaleas y disminución de la función pulmonar y los riñones, también se genera un problema para el medio ambiente el cual las altas emisiones de COV hacen que se altere la función fotosintética de las plantas. (Valencia, 2019)

Posterior a esto sigue el color verde oscuro que se presenta en una mayor cantidad que el rojo, pero este color se presenta en el centro de la ciudad y hacia el sector de la grama, el cual tiene una gran densidad de estaciones de servicio en distancias muy cortas y por último el color verde claro que es el que más se presenta, pero se encuentra disperso en la ciudad el cual comparado con los anteriormente mencionados no genera valores representativos. (Camacho & Guzman, 2009).

9.3 Desagregación Temporal

Se obtuvieron los datos de entrada para realizar la gráfica basándose en los datos totales de las emisiones de cada contaminante para cada empresa posterior a esto se dividió el número total en doce meses, treinta días y por último veinticuatro horas para tener los datos de emisión por hora de cada contaminante primario, asignando aleatoriamente las horas de operación de cada empresa se obtuvo la siguiente gráfica.

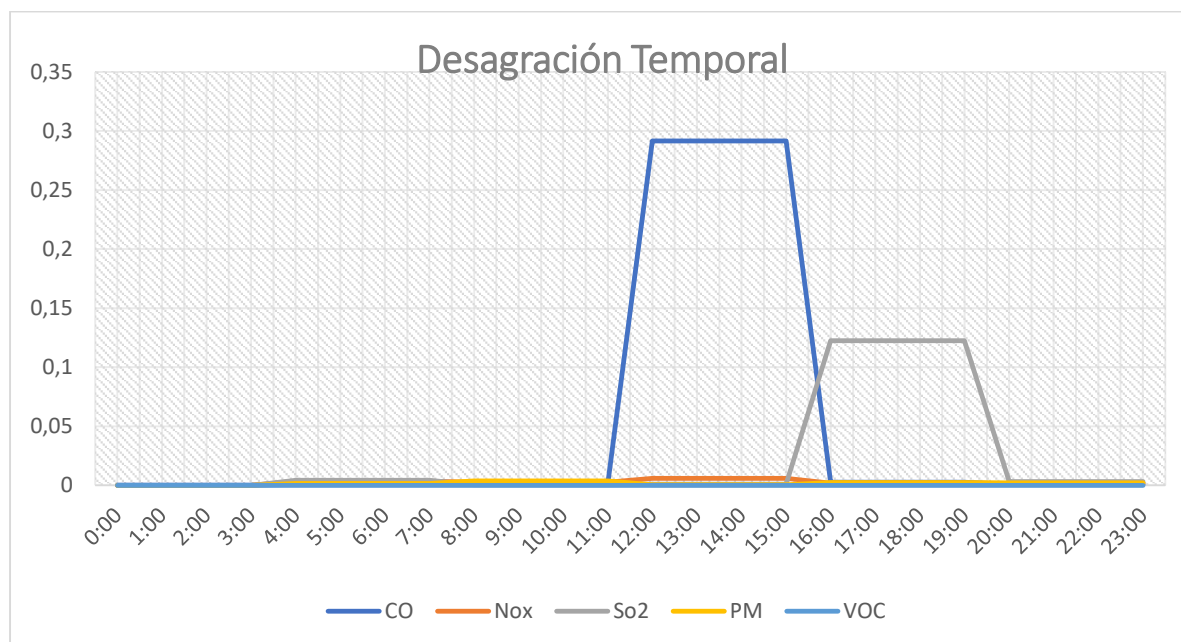


Figura 12 Desagregación temporal, por Camilo Enrique Parrado Hernández, 2019

Como se puede evidenciar en la gráfica los picos más altos de contaminación se presentan para CO entre las 11:00 am y las 4:00 pm y para SO₂ de las 15:00 hasta las 20:00. Basándonos en los resultados obtenidos se evidencia una problemática con respecto a los elevados niveles de CO y de SO₂ debido a que estos contaminantes son precursores de Diversos problemas a nivel de la salud de las personas y a su vez de la fauna y la flora de los lugares donde se encuentre presente en elevadas es, el monóxido de carbono es un gas que pasa desapercibido debido a sus propiedades físicas y químicas lo cual lo hace altamente peligroso en largos periodos de exposición que para este caso es de cinco horas como se evidencia en la gráfica además presenta unas condiciones químicas peligrosas como lo son la alta toxicidad y su alta inflamabilidad y por ende genera una afectación a las comunidades y trabajadores de dichas empresas (Instituto Nacional De Ecología y Cambio Climático, 2015), este gas es menos pesado que el aire por lo cual permanece presente en la atmósfera, este tipo de emisiones son muy comunes en las industrias, en los hornos y calderas que queman combustibles fósiles los

cuales son utilizados por las empresas que se investigaron en este proyecto (Camacho & Guzman, 2009).

Los problemas asociados a la salud tanto humana como animal y vegetal de las zonas aledañas a la exposición de contaminantes no son menores, debido a que en pequeñas cantidades de inhalación causa síntomas como mareos, náuseas y dolor de cabeza, pero si los habitantes del sector son expuestos a inhalaciones prolongadas se podría ver afectado el sistema nervioso y al sistema cardiovascular de los mismos, causando en algunos casos, la muerte, para el medio ambiente de las zonas afectadas no es menos nocivo, este gas trae consigo una serie de problemáticas en la fauna y la flora de las áreas afectadas irreparables, como lo son los incendios y ayuda a formar el ozono troposférico que afecta la capa de ozono, permitiendo que la radiación sea aún mayor afectando el medio ambiente y a las personas que allí conviven (Valencia, 2019).

9.4 Puntos críticos de emisión

Para la fase tres se establecieron las zonas afectadas por comunas, esto con el fin de evidenciar que puntos son los que están siendo afectados por parte de los contaminantes primarios contemplados en este estudio los cuales son CO, MP, SO₂, NO_x, VOC.

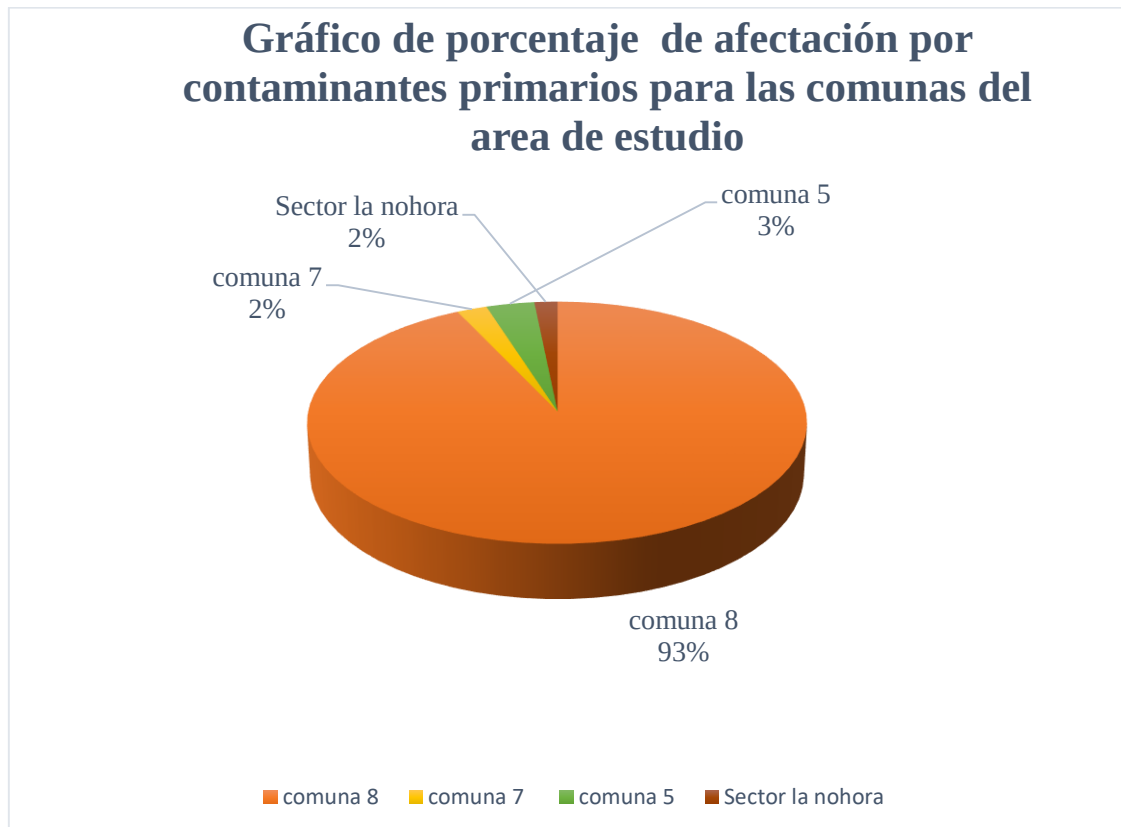


Figura 13. Grafica de porcentajes por comunas. por Camilo Enrique Parrado Hernández, 2019

Se identificaron cuatro sectores, los cuales están siendo afectados directamente por parte de las empresas que allí ejecutan sus procesos productivos, dentro de estos se encuentra la Comuna 8, la comuna 7, Comuna 5 y por último el sector del barrio la Nohora, del cual no se encontró registro alguno, el cual lo haga parte de las comunas de la ciudad, las emisiones totales fueron de gran importancia en la conclusión del proyecto, como resultados finales se pudo evidenciar que la comuna que tiene los valores más elevados en porcentaje, es la comuna 8 con un valor porcentual de 93% con respecto al 100% de emisiones halladas de los contaminantes primarios objeto de este estudio, se concluye que la comunidad que vive en la comuna 8 enfrenta un problema de emisiones que a futuro generara problemáticas de salud pública a los habitantes de los barrios como : Ciudad Porfia, Montecarlo, Catumare, San Jorge, Playa rica, la Rochela , Entre otros (Camacho & Guzman, 2009).

Para la ciudad de Villavicencio, este proyecto es de gran importancia debido a que permite dar una idea de cómo se encuentran las emisiones por fuentes fijas en la ciudad, puesto que no se cuentan con estudios similares a los desarrollados en este proyecto, a su vez permite tener una base para futuros proyectos en temas relacionados al estado de la calidad del aire (Páez, Bautista, & Cárdenas, 2016), también es de gran importancia para los entes territoriales y las corporaciones ambientales, ya que se podrán ubicar estaciones de monitoreo de la calidad del aire apoyándose en el estudio realizado en este proyecto y la modelación de estudios de calidad del aire a futuro (Corporación Autónoma Regional de Risaralda (CARDER), 2012).

Conclusiones

Se realizó el inventario de emisiones basándose en la información recolectada en la corporación (Cormacarena) la cual tiene jurisdicción en la ciudad de Villavicencio, dicha información fue solicitada y entregada satisfactoriamente y la cual fue ingresada al inventario de emisiones, los datos encontrados fueron cualitativos y cuantitativos de todas las industrias que en la actualidad cuentan con permiso de emisiones atmosféricas en la ciudad de Villavicencio.

Se determinaron las variaciones espaciales y temporales de las emisiones por fuentes fijas puntuales y de área por medio de la metodología de desagregación espacial y temporal, la cual dio como resultado las zonas, los horarios de mayor incidencia de los contaminantes primarios planteados inicialmente. A su vez se pudo evidenciar cuál de ellos fue el de mayor concentración y sus efectos nocivos para la salud, para las fuentes fijas de área se pudo establecer las variaciones crecientes y decrecientes de los volúmenes reportados por el fondo soldicom y se desagregó espacialmente el combustible de mayor generación de emisiones de COV.

Se identificaron las zonas más críticas de mayor generación de emisiones en la ciudad, las cuales presentaron un comportamiento similar en la mayoría de mapas, las zonas de mayor incidencia de contaminantes primarios fueron hacia las salidas de la ciudad, como lo son la vía acacias sector loma linda, y gran parte de la comuna 8, la vía a puerto López, sector universidad cooperativa y barrios como doña luz y el sector del río Ocoa.

Recomendaciones

A partir de los datos obtenidos en la desagregación espacial y temporal de las fuentes fijas puntuales y de área se podrán realizar estudios que sirvan como base para el monitoreo a escala temporal de la calidad del aire en las ciudades, con el fin de aportar soluciones para el mejoramiento del medio ambiente en compañía de las autoridades ambientales y las industrias.

Como aporte se sugiere que la Corporación Autónoma Regional exija a las industrias reportar en sus monitoreos isocinéticos la totalidad de datos necesarios y exigidos por la normatividad ambiental legal vigente ya que en la revisión bibliográfica se encontraron datos faltantes los cuales eran importantes para el estudio ya que a partir de estos se podría estimar las emisiones con menor rango de error.

La calidad del aire de la ciudad de Villavicencio se podría decir que se ve afectada por algunos contaminantes primarios como lo son el CO Y SO₂ debido a los valores que fueron analizados y procesados mediante las tablas y las gráficas ubicadas en los resultados, se podrían plantear estrategias para disminuir estas emisiones que afectan la ciudad de la mano de las comunidades, entidades municipales y gubernamentales y a su vez la corporación de jurisdicción correspondiente.

Se evidenció que la problemática de contaminantes primarios afecta gran parte de los países de Latinoamérica y causan graves daños a la salud y el medio ambiente de dichas ciudades, afectando así la salud de las personas, la fauna y la flora que allí vive.

Debido a esto y a los resultados obtenidos, se deberían tomar medidas más estrictas para el control de las emisiones atmosféricas por parte de las industrias y los automotores y a su vez, que las entidades encargadas de velar por la preservación de los recursos naturales, exijan mayor cumplimiento y seguimiento a sus fuentes de emisión.

Referencias Bibliográficas

- Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA). (1995). *Compilation of Air Pollutant Emission Factors*. Obtenido de epa.gov: https://www3.epa.gov/ttn/chief/ap42/oldeditions/1st_edition/ap42_phs_1968.pdf
- Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA). (2018). *Sulfur Dioxide Basics*. Obtenido de epa.gov: <https://www.epa.gov/so2-pollution/sulfur-dioxide-basics>
- Alcaldía de Villavicencio, . (04 de 2016). *Presentación de la ciudad*. Recuperado el 20 de 10 de 2018, de villavicencio.gov.co: <http://www.villavicencio.gov.co/MiMunicipio/Paginas/Presentacion.aspx>
- Barbero, M. (2001). Economía, La Revolución Industrial. En *Historia económica y social general*. Buenos Aires: Macchi,. Recuperado el 2018
- Camacho, D., & Guzmán, L. (2009). Propuesta para el diseño del plan de acción local para mejorar la calidad del aire en la ciudad de Villavicencio-Meta. *Trabajo de grado*. Bogotá, Colombia: Universidad de la Salle. Obtenido de https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1080&context=ing_ambiental_sanitaria
- Colville, R., Hutchinson, E., Mindell, J., & Warren, R. (2001). The transport sector as a source of air pollution. *Atmos. Environ. Revista Atmospheric Environment*, 35(9), págs.1537-1565. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1352231000005513>
- Corporación Autónoma Regional de Risaralda (CARDER). (2012). *Emisiones atmosféricas generadas por fuentes fijas*. Recuperado el 02 de 10 de 2018, de carder.gov.co: <http://www.carder.gov.co/index.php/web/es/fuentes-fijas>
- Correa, P. (03 de 11 de 2016). En 20 años Colombia aumentó en un 15% sus emisiones de Gases de Efecto Invernadero. *Diario El Espectador*. Recuperado el 2018, de <https://www.elespectador.com/noticias/medio-ambiente/20-anos-colombia-aumento-un-15-sus-emisiones-de-gases-d-articulo-663749>
- Costa, M., & Baldasano, J. (enero de 1996). Development of a source emission model for atmospheric pollutants in the Barcelona area. *Revista Atmospheric Environment*, 30(2), págs.309-318. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/135223109500221J>

- Davila, C. (2015). Desagregación espacio-temporal del inventario de emisiones de contaminantes atmosféricos por fuentes fijas. *Tesis de maestría*. Bogota, Colombia: Universidad Nacional. Obtenido de <http://bdigital.unal.edu.co/50965/1/52837545.2015.pdf>
- Department of the Environment and Energy (Australia). (2005). *Sulfur dioxide (SO₂)*. Obtenido de Gobierno de Australia: <https://www.environment.gov.au/protection/publications/factsheet-sulfur-dioxide-so2>
- Departamento Nacional de Planeación (DNP). (07 de 05 de 2017). *Los costos en la salud asociados a la degradación ambiental en Colombia ascienden a \$20,7 billones*. Recuperado el 10 de 2018, de dnp.gov.co: [https://www.dnp.gov.co/Paginas/Los-costos-en-la-salud-asociados-a-la-degradaci%C3%B3n-ambiental-en-Colombia-ascienden-a-\\$20,7-billones-.aspx](https://www.dnp.gov.co/Paginas/Los-costos-en-la-salud-asociados-a-la-degradaci%C3%B3n-ambiental-en-Colombia-ascienden-a-$20,7-billones-.aspx)
- Fundacion Crana Fundazioa. (2015). *Monóxido de carbono (CO)*. Obtenido de CRANA. Fundación Centro de Recursos Ambientales de Navarra: http://www.crana.org/es/contaminacion/mas-informacion_3/monaxido-carbono
- Giraldo, L., & Behrentz, E. (2008). *Estimacion del Inventario de emisiones de fuentes moviles para la ciudad de Bogotá e identificación de variables pertinentes*. Obtenido de Universida de los Andes: https://bogota.gov.co/sites/default/files/inline-files/inventario_de_emisiones_fuentes_moviles.pdf
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. (2013). *Guía metodológica para la estimación de emisiones de fuentes fijas*. México D.F., México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Obtenido de [http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/2F1AECB7E100DA9705257D4D005632DA/\\$FILE/Gu%C3%ADaMetodol%C3%B3gicaParaEstimaci%C3%B3nDeEmisiones.pdf](http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/2F1AECB7E100DA9705257D4D005632DA/$FILE/Gu%C3%ADaMetodol%C3%B3gicaParaEstimaci%C3%B3nDeEmisiones.pdf)
- Instituto Nacional De Ecologia y Cambio Climatico. (11 de 2015). *Tipos y fuentes de contaminantes atmosféricos*. Recuperado el 10 de 2018, de inecc.gob.mx: <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/396/tipos.html>
- Instituto Sindical de Trabajo, Ambiente y Salud. (2014). *Deterioro de la calidad del aire*. Obtenido de ISTAS: <https://istas.net/istas/guias-interactivas/planes-de-movilidad-sostenible-en-empresas/consecuencias-del-modelo-de-4>
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2006). *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Obtenido de ipcc-nggip.iges.or.jp: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/>

- Loibl, W., Orthofer, R., & Winiwarter, W. (1993). Spatially disaggregated emission inventory for anthropogenic NMVOC in Austria. *Revista Atmospheric Environment. Part A. General Topics*, 27(16), págs.2575-2590. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/096016869390031S>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS). (2006). *Emisiones Atmosféricas Contaminantes*. Recuperado el 10 de 2018, de [minambiente.gov.co: http://www.minambiente.gov.co/index.php/asuntos-ambientales-sectorial-y-urbana/gestion-del-aire/emisiones-contaminantes](http://www.minambiente.gov.co/index.php/asuntos-ambientales-sectorial-y-urbana/gestion-del-aire/emisiones-contaminantes)
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2012). *Guía para la elaboración de inventarios de emisiones atmosféricas*. Bogotá: Dirección de asuntos ambientales, sectorial y urbana. Obtenido de http://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/emisiones_atmosfericas_contaminantes/documentos_relacionados/GUIA_PARA_LA_ELABORACION_DE_INVENTARIOS_DE_EMISIONES_ATMOSFERICAS.pdf
- Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible. (2018). *Informe del Estado de la calidad del aire*. Bogotá: IDEAM.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010). *Protocolo para el control y vigilancia de la contaminación atmosférica generada por fuentes fijas*. Bogotá: MAVT. Obtenido de <http://parquearvi.org/wp-content/uploads/2016/11/Protocolo-Contaminacion-Atmosferica.pdf>
- Ministerio para la Transición Ecológica, (España). (2017). *NOX (Óxidos de Nitrógeno)*. Obtenido de [prtr-es.es: http://www.prtr-es.es/NOx-oxidos-de-nitrogeno,15595,11,2007.html](http://www.prtr-es.es/NOx-oxidos-de-nitrogeno,15595,11,2007.html)
- Páez, L. M., Bautista, L. J., & Cárdenas, R. R. (2016). *Química: Su impacto en la salud y el ambiente*. Bogotá: Ecoe Ediciones.
- Resolución No. 2153 DE 2010. (2 de noviembre de 2010). *Por la cual se ajusta el Protocolo para el Control y Vigilancia de la Contaminación Atmosférica Generada por Fuentes Fijas, adoptado a través de la Resolución 760 de 2010 y se adoptan otras disposiciones*. Bogotá, Colombia: Ministerio de Ambiente, Vivienda y desarrollo territorial. Obtenido de <http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/a0-Resoluci%C3%B3n%202153%20de%202010%20-%20Ajuste%20Protocolo%20Fuentes%20Fijas.pdf>
- Satterthwaite, D. (2009). *Problemas sociales y medio ambientales asociados a la urbanización acelerada*. Obtenido de [eure.cl: http://eure.cl/index.php/eure/article/view/1098/200](http://eure.cl/index.php/eure/article/view/1098/200)

Semanario Llano 7 dias. (25 de 09 de 2015). En 2015 el nivel de contaminación del aire aumentó en Villavicencio. *Casa Editorial EL tiempo*. Obtenido de <https://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-16387267>

Valencia, M. C. (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: Universidad Nacional de Colombia. Obtenido de <http://bdigital.unal.edu.co/72890/2/1053827658.2019.pdf>

Anexos

Anexo 1 Datos de entrada funeraria la paz

EMPRESA	FUNERARIA INVENRSIONES Y PLANES LA PAZ
Parámetros	Valores y descripciones de la fuente fija
	Caldera Tecmon
año de instalación	2009
Combustible	Gas Natural
Consumo combustible	880m3/mes
Horas de trabajo	8hr/Dia
Días de trabajo	7dias/semana
Diámetro chimenea	0,48m
Altura chimenea	17,7 m
Sistema de control	cámara de sedimentación
MP	43,57mg/m3
CO	72,72mg/m3
HTC	3,29mg/m3
Benzopireno+dibenzoantraceno	0,01792
Velocidad chimenea	6,07 m/s

Anexo 2 Datos de entrada Proteínas del oriente

EMPRESA	PROTEINAS DEL ORIENTE S. A
Parametros	Valores y descripciones de la fuente fija
Fuente fija	Caldera POWER MASTER
año de instalación	1994
Combustible	carbón y cuesco
Consumo combustible	2268 T/AÑO
Horas de trabajo	24 h
Días de trabajo	286 días/año
Diámetro chimenea	0,51m
Altura chimenea	15,5 m
Sistema de control	multiciclones
T° Descarga	178° C
PST	2,6081 KG/H
SO2	475,25 mg/m3
Nox	270,375 mg/m3
MP	196 mg/m3
velocidad	11,32 m/s

Anexo 3 . Datos De entrada oleaginosas del llano

EMPRESA	OLEAGINOSAS DEL OCOA S.A
Parámetros	Valores y descripciones de la fuente fija
Fuente fija	Caldera Vr ingeniería 500 bhp pirotubular
año de instalación	2002
Combustible	carbón y cuesco
Consumo combustible	5502500 kg/año
Horas de trabajo	24 h/dia
Días de trabajo	7 dias/semana
Diámetro chimenea	0,63m
Altura chimenea	15,5 m
Sistema de control	ciclones
T° Descarga	300°C
PST	187,05
SO2	285,69
Nox	109,5
MP	287,41 mg/m3
velocidad	11,72 m/s

Anexo 4 Datos de Entrada Fanagra 1

EMPRESA	FANAGRA Fábrica nacional de grasas S.A
Parámetros	Valores y descripciones de la fuente fija caldera 1
Fuente fija	caldera jj cardenas 1000 bhp
año de instalación	2001
Combustible	biocombustibles, Carbón
Consumo combustible	49000 kg/mes
Horas de trabajo	144 hr/semana
Días de trabajo	26 días /mes
Diámetro chimenea	0,75 m
Altura chimenea	17,20
Sistema de control	multiciclones
T° Descarga	200°C
PST	135,65 mg/m3
SO2	1,06 kg/hr
Nox	278mg/m3
MP	
velocidad	12,26 m/s
no2	327mg/m3

Anexo 5 Datos de Entrada Fanagra 2

EMPRESA	FANAGRA Fábrica nacional de grasas S.A
Parámetros	Valores y descripciones de la fuente fija caldera 2
Fuente fija	caldera jj cardenas 1000 bhp
año de instalación	2001
Combustible	biocombustibles, Carbón
Consumo combustible	49000 kg/mes
Horas de trabajo	144 hr/semana
Días de trabajo	26 dias /mes
Diámetro chimenea	0,97 m
Altura chimenea	19,30
Sistema de control	multiciclones
T° Descarga	200°C
PST	135,65 mg/m3
SO2	1,6 kg/hr
Nox	327 mg/m3
MP	
velocidad	11,28 m/s

Anexo 6 Datos de entrada molino Roa 1

EMPRESA	molino roa flor huila
Parametros	Valores y descripciones de la fuente fija
Fuente fija	horno 1
año de instalacion	
Combustible	cascarilla de arroz
Consumo combustible	9600 kg/dia
Horas de trabajo	23 hr/dia
Dias de trabajo	7 dias/semana
Diametro chimenea	0,49 m
Altura chimenea	15 m
Sistema de control	ciclones
T° Descarga	107°C
CO	0.460793
cO2	
Nox	0.01283
so2	12.27
velocidad	4,02 m/s

Anexo 7 Datos de entrada molino Roa 2

EMPRESA	molino roa flor huila
Parámetros	Valores y descripciones de la fuente fija
Fuente fija	horno 2
año de instalación	
Combustible	cascarilla de arroz
Consumo combustible	9600 kg/día
Horas de trabajo	23 hr/día
Días de trabajo	7 días/semana
Diámetro chimenea	1,85 m
Altura chimenea	15 m
Sistema de control	ciclones
T° Descarga	25°C
PST	
cO2	
Nox	0.09685
MP	
velocidad	3,81 m/s
so2	92.64
co	0.727083

Anexo 8 Datos de entrada molino Roa 3

EMPRESA	molino roa flor huila
Parámetros	Valores y descripciones de la fuente fija
Fuente fija	horno 3
año de instalación	
Combustible	cascarilla de arroz
Consumo combustible	9600 kg/día
Horas de trabajo	23 hr/día
Días de trabajo	7 días/semana
Diámetro chimenea	0,49 m
Altura chimenea	15 m
Sistema de control	ciclones
T° Descarga	25°C
CO	0.460793
cO2	
Nox	0.01283
so2	12.27
velocidad	4,32m/s

Anexo 9 Datos de contaminantes por empresa

Año 2018							
Empresa	coordenadas x	Coordenadas y	Contaminante N° 1 co	Contaminante N° 2 nox	Contaminante N° 3 s02	Contaminante N° 4 PM	Contaminante N° 5 VOC
FUNERARIA INVENRSIONES Y PLANES LA PAZ	4° 6'32.51" N	73°39'17.54"O	2518.67	0.055583032	0.028532205	0.090513466	0.00092928
PROTEINAS DEL ORIENTE S.A	4° 6'2.85"N	73°37'50.14"O	5.1437106	28.7208301	36.55145834	12.96215071	0.051437106
OLEAGINOSAS DEL OCOA S.A	4° 6'44.37" N	73°36'22.24"O	12.47939488	21.96373498	4.804567027	31.44807509	0.124793949
FANAGRA Fabric nacional de grasas S.A	4° 4'44.09" N	73°41'38.42"O	1.3335546	49.83181906	9.2856	3.360557592	0.013335546
molino roa flor huila	4° 6'43.21" N	73°39'8.59"O	22.60696044	15.4429188	1057.930587	20.5748424	0.0816462
molino AGROCOM	4° 6'21.31" N	73°37'7.30"O	6.80385	11.974776	26.1948225	17.145702	0.0680385

Anexo 10 Datos de consumo de Gasolina corriente

Gasolina Corriente					
Periodo	2014	2015	2016	2017	2018
Enero	1,571	1,640	1,807	1,852	1,932
Febrero	1,430	1,529	1,785	1,765	1,678
Marzo	1,593	1,707	1,890	1,827	2,036
Abril	1,544	1,598	1,825	1,841	1,836
Mayo	1,536	1,677	1,881	1,843	1,922
Junio	1,491	1,677	1,753	1,760	1,798
Julio	1,551	1,896	1,840	1,852	1,834
Agosto	1,630	1,750	1,907	1,917	1,875
Septiembre	1,609	1,796	1,846	1,822	1,859
Octubre	1,653	1,933	1,906	1,933	1,978
Noviembre	1,540	1,667	1,841	1,925	1,929
Diciembre	1,769	2,027	2,044	2,007	2,086
total COV mg/año	207.6659637	229.394389	245.060956	245.290032	249.891941
total COV Ton/año	2.07666E-07	2.2939E-07	2.4506E-07	2.4529E-07	2.4989E-07

Anexo 11 Datos de consumo Gasolina extra

gasolina extra					
Periodo	2014	2015	2016	2017	2018
Enero	87	100	87	83	70
Febrero	81	78	72	47	55
Marzo	84	90	84	62	59
Abril	83	73	58	69	51
Mayo	83	95	76	61	59
Junio	79	73	72	66	60
Julio	83	92	75	56	44
Agosto	85	85	79	76	53
Septiembre	100	84	74	45	48
Octubre	94	86	66	72	54
Noviembre	86	77	59	48	60
Diciembre	108	85	85	75	63
total COV mg/año	11.55154769	11.147437	9.74541048	8.34563437	7.41991879
total COV Ton/año	1.15515E-08	1.1147E-08	9.7454E-09	8.3456E-09	7.4199E-09

Anexo 12 Datos de consumo Diesel

Diesel					
Periodo	2014	2015	2016	2017	2018
Enero	2,004	1,662	1,800	1,409	1,275
Febrero	1,841	1,736	1,915	1,499	1,294
Marzo	2,290	1,970	1,696	1,467	1,484
Abril	2,171	1,909	1,694	1,478	1,341
Mayo	2,324	1,854	1,584	1,469	1,339
Junio	1,985	1,817	1,472	1,344	1,164
Julio	2,188	2,190	1,458	1,482	1,319
Agosto	2,335	2,275	1,654	1,546	1,410
Septiembre	2,148	2,318	1,666	1,417	1,392
Octubre	2,036	2,214	1,553	1,446	1,364
Noviembre	1,943	1,911	1,457	1,479	1,345
Diciembre	2,024	2,038	1,570	1,381	1,374
total COV mg/año	277.6261387	262.311011	214.256946	191.204314	176.752462
total COV Ton/año	2.7763E-07	2.6231E-07	2.1426E-07	1.912E-07	1.7675E-07

Anexo 13. Datos Finales Desagregación Temporal

Hora	CO	Nox	So2	PM	VOC
00:00	0.00015435	6.43322E-06	3.30234E-06	1.04761E-05	1.07556E-07
01:00	0.00015435	6.43322E-06	3.30234E-06	1.04761E-05	1.07556E-07
02:00	0.00015435	6.43322E-06	3.30234E-06	1.04761E-05	1.07556E-07
03:00	0.00015435	6.43322E-06	3.30234E-06	1.04761E-05	1.07556E-07
04:00	0.00059534	0.00332417	0.004230493	0.001500249	5.95337E-06
05:00	0.00059534	0.00332417	0.004230493	0.001500249	5.95337E-06
06:00	0.00059534	0.00332417	0.004230493	0.001500249	5.95337E-06
07:00	0.00059534	0.00332417	0.004230493	0.001500249	5.95337E-06
08:00	0.00144437	0.002542099	0.000556084	0.003639824	1.44437E-05
09:00	0.00144437	0.002542099	0.000556084	0.003639824	1.44437E-05
10:00	0.00144437	0.002542099	0.000556084	0.003639824	1.44437E-05
11:00	0.00144437	0.002542099	0.000556084	0.003639824	1.44437E-05
12:00	0.29151273	0.005767572	0.001074722	0.000388953	1.54347E-06
13:00	0.29151273	0.005767572	0.001074722	0.000388953	1.54347E-06
14:00	0.29151273	0.005767572	0.001074722	0.000388953	1.54347E-06
15:00	0.29151273	0.005767572	0.001074722	0.000388953	1.54347E-06
16:00	0.00261655	0.001787375	0.12244567	0.002381348	9.44979E-06
17:00	0.00261655	0.001787375	0.12244567	0.002381348	9.44979E-06
18:00	0.00261655	0.001787375	0.12244567	0.002381348	9.44979E-06
19:00	0.00261655	0.001787375	0.12244567	0.002381348	9.44979E-06
20:00	0.00078748	0.001385969	0.003031808	0.001984456	7.87483E-06
21:00	0.00078748	0.001385969	0.003031808	0.001984456	7.87483E-06
22:00	0.00078748	0.001385969	0.003031808	0.001984456	7.87483E-06
23:00	0.00078748	0.001385969	0.003031808	0.001984456	7.87483E-06