

**ASISTENCIA TÉCNICA PARA LA REALIZACIÓN DEL MODELO DE
INVENTARIO DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS DE FUENTES FIJAS
AÑO BASE 2016 PARA EL ÁREA METROPOLITANA DE
BUCARAMANGA**

ÓSCAR FABIÁN RUEDA VÁSQUEZ

Id. 000243316

Universidad Pontificia Bolivariana

Facultad de Ingeniería Ambiental

Bucaramanga

2017

**ASISTENCIA TÉCNICA PARA LA REALIZACIÓN DEL MODELO DE
INVENTARIO DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS DE FUENTES FIJAS
AÑO BASE 2016 PARA EL ÁREA METROPOLITANA DE
BUCARAMANGA**

ÓSCAR FABIÁN RUEDA VÁSQUEZ

Id. 000243316

Informe final presentado como requisito para optar al título de:

INGENIERO AMBIENTAL

Docente Supervisor

I.Q. PhD. KENTO TARO MÁGARA GÓMEZ

Universidad Pontificia Bolivariana

Facultad de Ingeniería Ambiental

Bucaramanga

2017

Agradecimientos

En primer lugar, a mis padres y mis hermanos, por su amor y apoyo incondicional en todo momento de mi vida.

A mis compañeros y profesores, que han hecho de este proceso formativo algo verdaderamente enriquecedor e inolvidable.

A toda mi familia, por ser el pilar fundamental en mi formación como persona.

A Dios, por la vida y las oportunidades que me ha dado y que me han llevado hasta donde hoy me encuentro.

Contenido

Resumen General de Trabajo de Grado	1
General Summary of Work of Grade.....	2
Introducción	3
Capítulo 1. Generalidades de la Empresa	4
1.1 Identidad Bolivariana.....	4
1.2 Presentación del Centro de Investigación e Innovación (CIDI)	4
1.3 Presentación del Grupo de Investigaciones Ambientales Sede Medellín.....	6
1.4 Presentación del Grupo de Investigaciones en Ingeniería Ambiental y Sanitaria Sede Bucaramanga	7
1.5 Datos de la Supervisora de la Empresa	8
Capítulo 2. Delimitación y Alcance del Proyecto	9
Capítulo 3. Justificación	10
Capítulo 4. Objetivos	12
4.1 Objetivo General	12
4.2 Objetivos Específicos	12
Capítulo 5. Marco Teórico	13
5.1 Inventario de Emisiones.....	13
5.1.1 Fuentes Fijas o Puntuales.....	14
5.1.2 Fuentes de Área.....	14
5.1.3 Fuentes Móviles.	14

5.1.4 Fuentes Biogénicas.....	15
5.2 Tipos de Inventario	15
5.2.1 Inventario de Contaminantes de Criterio.....	15
5.2.1.1 Monóxido de Carbono (CO).....	15
5.2.1.2 Óxidos de Nitrógeno (NOx).....	16
5.2.1.3 Óxidos de Azufre (SOx).....	16
5.2.1.4 Material Particulado (PM).....	16
5.2.2 Inventario de Gases de Efecto Invernadero.....	16
5.2.3 Inventarios Top Down.....	16
5.2.4 Inventarios Bottom Up.....	17
5.3 Factores de Emisión.....	17
Capítulo 6. Metodología.	20
6.1 Fase Preliminar - Definición de las Características del Inventario.....	20
6.1.1 Definición del Dominio Espacio Temporal del Inventario.....	21
6.1.2 Definición de Fuentes de Emisión.....	23
6.1.3 Definición de Contaminantes.	23
6.2 Inventario de Emisiones de Fuentes Fijas.	23
6.2.1 Recopilación de la Información.	24
6.2.2 Carga de Información Recopilada a la Base de Datos MODEAM.	31
6.2.3 Clasificación de acuerdo a la Actividad Productiva.	35
6.2.4 Clasificación de las fuentes de acuerdo al tipo de equipo o proceso que genera la emisión.	36
6.2.5 Identificación de Fuentes con Información Suficiente para Calcular la Emisión con Factores de Emisión.	37

	vi
6.2.6 Estandarización de Unidades de Producción y Consumo.	38
6.2.7 Cálculo de Emisiones de Contaminantes Criterio.	39
6.2.8 Modelización de Dispersión de Contaminantes Criterio.	39
6.2.8.1 Meteorología del Área Metropolitana de Bucaramanga.	41
Capítulo 7. Resultados y Discusión.	45
7.1 Análisis de la Información Recopilada.	45
7.1.1 Distribución de Empresas por Municipio.	45
7.1.2 Distribución de Empresas y Fuentes por Sector Industrial.	46
7.1.3 Distribución de Fuentes por Tipo de Combustible.	48
7.2 Cálculo de Emisiones Atmosféricas.	49
7.2.1 Porcentaje de Emisiones por Sector Industrial.	50
7.2.2 Porcentaje de Emisiones por Tipo de Combustible.	51
7.3 Modelización de la Dispersión de Contaminantes Criterio.	52
Capítulo 8. Conclusiones.	56
Capítulo 9. Recomendaciones.	58
Lista de Referencias.	59
Anexo 1. Registro Fotográfico de Visitas Realizadas.	61
Anexo 2. Registro de Solicitud de Información a Empresas Vía Correo Electrónico.	67

Lista de tablas

Tabla 1. Consolidado de empresas visitadas.....	26
Tabla 2. Empresas identificadas sin información.	30
Tabla 3. Actividades productivas susceptibles de tener descargas atmosféricas en el Área Metropolitana de Bucaramanga.	36
Tabla 4. Clasificación de equipos o procesos generadores de emisiones.	37
Tabla 5. Distribución de empresas por municipio.	45
Tabla 6. Distribución de empresas y fuentes por sector industrial.	47
Tabla 7. Distribución de fuentes por tipo de combustible.	48
Tabla 8. Emisiones totales de contaminantes criterio.	49
Tabla 9. Emisiones totales de contaminantes criterio en Bogotá y el AMVA.	50

Lista de figuras

Figura 1. Actividades realizadas durante la fase preliminar del inventario de emisiones.	20
Figura 2. Extensión Territorial del Área Metropolitana de Bucaramanga.....	21
Figura 3. Jurisdicción del AMB.	22
Figura 4. Actividades realizadas para la elaboración del inventario de fuentes fijas.	24
Figura 5. Paso 1 para carga de datos al aplicativo MODEAM.	31
Figura 6. Paso 2 para carga de datos al aplicativo MODEAM.	32
Figura 7. Paso 3 para carga de datos al aplicativo MODEAM.	32
Figura 8. Paso 4 para carga de datos al aplicativo MODEAM.	33
Figura 9. Paso 5 para carga de datos al aplicativo MODEAM.	34
Figura 10. Paso 6 para carga de datos al aplicativo MODEAM.	34
Figura 11. Paso 7 para carga de datos al aplicativo MODEAM.	35
Figura 12. Metodología para la aplicación del modelo de dispersión en AERMOD ®.	40
Figura 13. Puntos de meteorología seleccionados para el Área Metropolitana de Bucaramanga.	41
Figura 14. Rosa de vientos para la zona norte del municipio de Girón.	42
Figura 15. Rosa de vientos para la zona centro del municipio de Girón.	42
Figura 16. Rosa de vientos para la zona sur del municipio de Girón.	42
Figura 17. Rosa de vientos para la zona norte del municipio de Bucaramanga.	43
Figura 18. Rosa de vientos para la zona centro del municipio de Bucaramanga.	43
Figura 19. Rosa de vientos para la zona sur uno del municipio de Bucaramanga.	43
Figura 20. Rosa de vientos para la zona sur dos del municipio de Bucaramanga.	43
Figura 21. Rosa de vientos para la zona uno del municipio de Floridablanca.	44

Figura 22. Distribución de empresas por municipio.	46
Figura 23. Distribución de empresas y fuentes por sector industrial.	47
Figura 24. Distribución de fuentes por tipo de combustible.	48
Figura 25. Porcentaje de emisiones por sector industrial.	50
Figura 26. Porcentaje de emisiones por tipo de combustible.	51
Figura 27. Dispersión de material particulado para el Área Metropolitana de Bucaramanga.	53
Figura 28. Dispersión de óxidos de nitrógeno para el Área Metropolitana de Bucaramanga.	54
Figura 29. Dispersión de dióxido de azufre para el Área Metropolitana de Bucaramanga.	55
Figura 30. Fotografía 1 de la planta de Harinagro S.A.....	61
Figura 31. Fotografía 2 de la planta de Harinagro S.A.....	61
Figura 32. Fotografía 1 de la planta de Linco S.A.....	62
Figura 33. Fotografía 2 de la planta de Linco S.A.....	62
Figura 34. Fotografía de la caldera de la planta de Freskaleche S.A.S.....	62
Figura 35. Fotografía de la caldera de la planta de Gavassa y Cia Ltda.....	63
Figura 36. Fotografía del recorrido por la planta de Balco Ltda.....	63
Figura 37. Fotografía de las chimeneas en la planta de Sandesol S.A E.S.P.....	64
Figura 38. Fotografía de las autoclaves en la planta de Metrollantas.....	64
Figura 39. Visita a la planta de Tostadora de Café Bon-Ami Ltda.....	65
Figura 40. Recorrido por la planta de Lubryesp Ltda.....	65
Figura 41. Fotografía 1 de la visita a la planta de Icopores de Colombia.....	66
Figura 42. Fotografía 2 de la visita a la planta de Icopores de Colombia.....	66
Figura 43. Pantallazo de solicitud de información a Salsan Ltda.....	67
Figura 44. Pantallazo de solicitud de información a Ornelo S.A.S.....	67

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

TITULO: ASISTENCIA TÉCNICA PARA LA REALIZACIÓN DEL MODELO DE INVENTARIO DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS DE FUENTES FIJAS AÑO BASE 2016 PARA EL ÁREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA.

AUTOR(ES): ÓSCAR FABIÁN RUEDA VÁSQUEZ

PROGRAMA: Facultad de Ingeniería Ambiental

DIRECTOR(A): KENTO MÁGARA GÓMEZ

RESUMEN

Un inventario de emisiones atmosféricas es una herramienta fundamental en la gestión de la calidad del aire, en varias regiones del país como Bogotá y el Área Metropolitana del Valle de Aburrá (AMVA), ya se cuenta con este instrumento. El presente informe muestra el trabajo de realizado como practicante en el marco del convenio de asociación N° 000195 de 2017 entre el Área Metropolitana de Bucaramanga (AMB) y la Universidad Pontificia Bolivariana (UPB). Se exponen entonces, el alcance del trabajo a realizar, los objetivos que buscan cumplirse, la metodología planteada para cumplir dichos objetivos y finalmente los resultados y conclusiones del proyecto. Mediante la información recolectada se encontró que, la mayoría de las empresas del AMB se encuentran asentadas en el municipio de Bucaramanga, también que el sector más representativo en la región es el de bebidas y alimentos y que el combustible más empleado es el gas natural. Finalmente se concluye que los mayores aportantes a la emisión de contaminantes de criterio son el sector de bebidas y alimentos y las industrias que emplean carbón como combustible, por lo tanto es necesario enfocar los esfuerzos al control y seguimiento de estos sectores.

PALABRAS CLAVE:

Inventario, emisiones, fuentes fijas, AMB, gestión de calidad del aire.

V° B° DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

TITLE: TECHNICAL ASSISTANCE FOR THE REALIZATION OF THE ATMOSPHERIC EMISSIONS INVENTORY MODEL OF FIXED SOURCES BASE YEAR 2016 FOR THE METROPOLITAN AREA OF BUCARAMANGA.

AUTHOR(S): OSCAR FABIAN RUEDA VASQUEZ

FACULTY: Facultad de Ingeniería Ambiental

DIRECTOR: KENTO TARO MAGARA GOMEZ

ABSTRACT

An atmospheric emissions inventory is a fundamental tool in the air quality management, in various regions of the country such as Bogotá and the Metropolitan Area of the Aburrá Valley (MAAV), this instrument is already available. This report shows the work done as an intern in the frame of the association agreement N° 000195 of 2017 between the Metropolitan Area of Bucaramanga (MAB) and the Bolivarian Pontifical University (BPU). Then, the scope of the work to be carried out, the objectives that seek to be fulfilled, the methodology proposed to meet said objectives and finally the results and conclusions of the project are exposed. Through the information gathered it was found that, most of the companies of the MAB are settled in the municipality of Bucaramanga, also that the most representative sector in the región is the food and beverages sector and that the most used fuel is natural gas. Finally it is concluded that the largest contributors to the emission of criteria pollutants are the food and beverages sector and the industries that use coal as fuel, therefore it is necessary to focus the efforts on the control and monitoring of this sectors.

KEYWORDS:

Emissions, inventory, fixed sources, MAB, air quality management.

V° B° DIRECTOR OF GRADUATE WORK

Introducción

El Área Metropolitana del Valle de Aburrá (AMVA) ha venido desarrollando desde el año 1996, junto con instituciones de educación superior de la región, el inventario de emisiones atmosféricas del Valle de Aburrá, el cual, a partir de entonces ha sido actualizado varias veces a través de diferentes convenios (AMVA - UPB, 2015).

En el año 2017 se entregó el informe final de la actualización más reciente del inventario de emisiones atmosféricas del AMVA, con año base 2015, en el cual se logró un reajuste de la base de datos de fuentes fijas mediante la revisión de informes técnicos en el Sistema de Información Metropolitano (AMVA - UPB, 2017).

Este proyecto se inscribe en el Convenio de Asociación No 000195 de 2017 que consiste en aunar esfuerzos técnicos, administrativos, económicos y financieros para la elaboración del inventario de emisiones atmosféricas provenientes de las fuentes fijas y móviles en el perímetro urbano del Área Metropolitana de Bucaramanga (AMB) año base 2016, proyecto de cuya ejecución se encargó la Universidad Pontificia Bolivariana.

En este informe se presenta el trabajo realizado como auxiliar enfocado específicamente al desarrollo del inventario de emisiones atmosféricas de fuentes fijas, se detalla la metodología ejecutada para este objetivo y se exponen los resultados obtenidos durante el periodo de trabajo, así como las conclusiones y recomendaciones propuestas para futuros proyectos de similar índole.

Capítulo 1

Generalidades de la Empresa

Presentación de la Universidad

La Universidad Pontificia Bolivariana fue fundada el 15 de septiembre de 1936 con el nombre de Universidad Católica Bolivariana, posteriormente accedió al nombre de Pontificia Bolivariana el 16 agosto de 1945 por decreto firmado en Roma. Cuenta con personería jurídica No. 48 del 22 de febrero de 1937, expedida por el Ministerio de Gobierno.

1.1 Identidad Bolivariana

Es misión de la Universidad la formación integral de todas las personas que la conforman, propiciando el desarrollo de sus potencialidades humanas: pensamiento, creatividad, lenguaje, criticidad, libertad, solidaridad, responsabilidad y sociabilidad, con base en los valores del humanismo cristiano.

Por consiguiente, la Universidad Pontificia Bolivariana promueve el desarrollo integral del hombre como ser pensante, social, ético, religioso, artístico, político y dador de sentimiento humanista a su entorno a través de un proceso de mejoramiento continuo.

1.2 Presentación del Centro de Investigación e Innovación (CIDI)

La Universidad Pontificia Bolivariana, consciente de su misión transformadora del ser humano y de la sociedad, ha dado, desde hace 40 años, un lugar prioritario a la

investigación como un macro-proceso de valor que propicia la profundización del conocimiento y su transferencia, y contribuye al desarrollo del entorno social y empresarial a partir del fortalecimiento de las alianzas con los sectores productivos, la empresa y el Estado.

La investigación y la innovación son argumentos fundamentales en el proceso de desarrollo de la Universidad. Con esta intencionalidad cada grupo logra su crecimiento y desarrollo estratégico a partir de una orientación de las líneas de investigación, en consonancia con los planes regionales y nacionales de ciencia y tecnología, y con los programas internacionales de cooperación para la investigación. Adicionalmente la Universidad Pontificia Bolivariana incentiva los programas estratégicos de transferencia (PET), los cuales buscan fomentar la interdisciplinariedad entre los grupos de investigación con el diseño y la ejecución de proyectos que involucran el saber de las distintas disciplinas que intervienen en ellos.

La garantía y sello de calidad se otorga a partir del cumplimiento de la norma ISO9001:2000 a la Gestión de Proyectos de Investigación y Transferencia de Conocimiento, certificación que a 2013 ha sido renovada en cuatro oportunidades, garantizando el mejoramiento continuo enmarcado en la cultura de la calidad.

Es un compromiso de presente y futuro, ser una institución destacada en el medio universitario por realizar investigación aplicada desde los principios del Humanismo Cristiano y en aporte a la transformación social y humana.

1.3 Presentación del Grupo de Investigaciones Ambientales Sede Medellín

El Grupo de Investigaciones Ambientales – GIA – de la Universidad Pontificia Bolivariana es una de las 35 unidades de trabajo con las que cuenta el Centro de Investigación para el Desarrollo y la Innovación (CIDI). Tiene su origen en el año 1974 con la creación del Laboratorio de Medición Ambiental y el surgimiento de los posgrados en ciencias del ambiente en la década de los 80's. En la década de los 90's se consolida como Grupo de Investigaciones Ambientales teniendo objetivo principal la contribución al desarrollo regional, protegiendo el medio ambiente. Durante este recorrido, el GIA ha fortalecido su desempeño con una intensa labor de investigación, formación académica, asesoría y servicios planteando y aportando alternativas en el diagnóstico y solución de problemas ambientales, lo que le ha valido un reconocido prestigio en el ámbito nacional.

Líneas de Investigación

- Línea de estudios atmosféricos
- Línea de valorización y gestión de residuos
- Línea de reuso y uso eficiente del agua
- Línea de Gestión Ambiental

Laboratorio Ambiental: con más de 110 parámetros en las diferentes matrices ambientales acreditado por el IDEAM.

El GIA es reconocido además por Colciencias y por el sistema de calificación de grupos de la Universidad como A1, ya que es un grupo consolidado que encamina sus acciones a la excelencia.

1.4 Presentación del Grupo de Investigaciones en Ingeniería Ambiental y Sanitaria

Sede Bucaramanga

El GINSA tiene por misión el desarrollo de investigaciones sanitarias y ambientales, que conlleven a prevenir, solucionar y mitigar problemas, a través de propuestas estratégicas, metodologías y tecnológicas que conduzcan al desarrollo social, ambiental, económico y político de la región, bajo los principios ético-humanísticos que orientan la Universidad Pontificia Bolivariana, siguiendo como lineamientos.

OBJETIVOS: Optimizar los mecanismos de evaluación y seguimiento de las actividades científicas y tecnológicas que se desarrollan dentro del núcleo. Generar recursos económicos que garantice la auto-sostenibilidad del GINSA. Fomentar la capacitación del talento humano en el área ambiental. Realizar investigaciones enmarcadas dentro de las políticas ambientales regionales. Incentivar en el estudiante de Ingeniería Sanitaria y Ambiental el espíritu investigativo, a través de su participación el semillero de investigación.

Establecer alianzas interinstitucionales para el desarrollo y financiación de la investigación. Divulgar los resultados de las investigaciones ante la comunidad científica e industrial regional y nacional.

El GINSA es reconocido por Colciencias como B, ya que es un grupo consolidado que encamina sus acciones a la excelencia.

Líneas de investigación

- Aire.
- Biodiversidad.
- Educación ambiental.
- Manejo y conservación del recurso hídrico.
- Suelos.

1.5 Datos de la Supervisora de la Empresa

Nombre: Jessica Daniela Camacho Cáceres

Cargo: Profesional de Transferencia

Profesión: Ingeniera Ambiental - UPB

Capítulo 2

Delimitación y Alcance del Proyecto

Se buscó realizar el inventario de emisiones atmosféricas de fuentes fijas en la jurisdicción demarcada para el Área Metropolitana de Bucaramanga (AMB), conformada por la zona urbana de los cuatro municipios que la componen (Bucaramanga, Floridablanca, Girón y Piedecuesta), de contaminantes criterio (CO, NO_x, SO_x y material particulado) tomando como año base el 2016 empleando los factores de emisión listados en la AP42 de la EPA (Compilación de factores de emisión de contaminación atmosférica) y la información recopilada de las diferentes empresas identificadas como generadoras de emisiones atmosféricas.

Se excluyeron del estudio ciertos establecimientos como: restaurantes, asaderos y panaderías argumentando que, a pesar de llevar a cabo una actividad generadora de emisiones, como lo es la preparación de alimentos, presentaban una serie de complicaciones en el momento de la recolección de información sobre consumo de combustibles y especificaciones de los equipos empleados en el proceso, ya que en su mayoría esta clase de locales no llevan un registro adecuado de esta clase de datos, por lo que no sería posible realizar un cálculo acertado de los contaminantes que emiten.

Capítulo 3

Justificación

El Área Metropolitana de Bucaramanga, como autoridad ambiental urbana, según la ley 99 de 1993 tiene la responsabilidad de: “efectuar el control de vertimientos y emisiones contaminantes,..., dictar las medidas de corrección o mitigación de daños ambientales y adelantar proyectos de saneamiento y descontaminación”. (Art 66)

Del mismo modo su misión de programar y coordinar el desarrollo armónico e integrado del territorio, para alcanzar una administración eficiente del mismo en materia ambiental, en busca del desarrollo humano sostenible, el ordenamiento territorial y la racional prestación de los servicios públicos, la urge a desplegar una serie de medidas y programas que deben estar respaldados por información consistente y de calidad estimulando de esta manera el apoyo y la mejor aceptación de los mismos por parte de la comunidad.

Además de cara a los recientes episodios de contaminación atmosférica presentados en el área metropolitana, como el ocurrido en el mes de Marzo del 2016, se puso sobre la mesa la situación de la ausencia de un diagnóstico representativo sobre la calidad del aire, lo cual impedía a la autoridad ambiental señalar responsables y poner en marcha medidas de prevención y mitigación de ser necesarias.

En el marco de estas responsabilidades y funciones el AMB aceptó la propuesta desarrollada por la Universidad Pontificia Bolivariana para poner en marcha el proyecto de realización del modelo de inventario de emisiones atmosféricas con año base 2016, cuyo

producto permitirá, generar conocimiento en el tema, alimentar indicadores ambientales, apoyar la toma de decisiones y optimizar la gestión ambiental de la corporación, mediante la información ambiental de calidad disponible. Adicionalmente se promueve el fortalecimiento en el conocimiento de la calidad del aire no solo para la autoridad ambiental, sino también para la comunidad en general, desarrollando una herramienta de información de fácil acceso y gestión.

Capítulo 4

Objetivos

4.1 Objetivo General

Apoyar la construcción de la línea base con la información requerida para realizar el inventario de emisiones de contaminantes de criterio generados por fuentes fijas en el Área Metropolitana de Bucaramanga.

4.2 Objetivos Específicos

- Realizar el censo de industrias que evidencien fuentes de emisión de contaminantes atmosféricos y que estén asentadas dentro de la jurisdicción del área metropolitana de Bucaramanga.
- Cuantificar las emisiones de gases criterio y material particulado generados en el Área Metropolitana de Bucaramanga.
- Implementar una base de datos con información de los inventarios de gases criterio provenientes de fuentes fijas y de las mediciones de las emisiones atmosféricas realizados desde el 2016.
- Identificar las zonas de mayor impacto de las emisiones atmosféricas generadas por fuentes fijas en el Área Metropolitana.

Capítulo 5

Marco Teórico

5.1 Inventario de Emisiones

Un inventario de emisiones busca básicamente estimar los contaminantes de interés que son emitidos a la atmósfera por diversas actividades humanas y fuentes de origen natural para un periodo de tiempo y área geográfica determinados. Un inventario de emisiones puede tener diferentes propósitos, pero fundamentalmente lo que se busca es identificar las fuentes de emisión atmosférica y su contribución a la problemática de cierta región, para con base en retrospectiva y prospectiva generar legislación.

Es decir un inventario de emisiones es esencialmente un diagnóstico detallado con base en datos existentes con el cual se puede determinar si existe o no una problemática de contaminación del aire y sobre el cual se establecen medidas a futuro.

Los propósitos de un inventario de emisiones pueden variar según las necesidades específicas y las circunstancias, por ejemplo, es diferente el objetivo que busca una empresa particular, al que procura una entidad gubernamental regional. En el primer caso se pueden utilizar los resultados de este inventario para establecer si la empresa está cumpliendo o no con las regulaciones existentes, mientras que para un ente regional puede significar el sustento de programas de calidad de aire y la valoración de los impactos, ambientales y a la salud, que pueden tener las fuentes emisoras en el área de su jurisdicción.

Existen diferentes tipos de fuentes que pueden ser evaluadas en un inventario de emisiones, como las siguientes.

5.1.1 Fuentes fijas o Puntuales

Son aquellas que como su nombre lo indica tienen su foco de emisión definido en un punto inmóvil y además con una dimensión espacial relativamente pequeña, como una chimenea o conducto, dentro de esta categoría se encuentran la mayoría de fábricas, industrias o plantas productivas y es la clase de fuentes de que trata este informe.

5.1.2 Fuentes de Área

Esta clase de fuentes, también llamadas difusas, son también fuentes inmóviles, pero a diferencia de las fuentes puntuales no concentran su emisión en un conducto sino en un área o región representativa por lo que se les estudia de forma colectiva, ejemplo de estas fuentes pueden ser grandes tanques de almacenamiento de combustibles, que por volatilidad generan emisiones o vías sin pavimentar al generar una gran re-suspensión de sólidos al ambiente.

5.1.3 Fuentes Móviles

Las fuentes móviles, como su nombre lo indica, son fuentes emisoras que se encuentran en constante circulación a través de un área de estudio, esto hace referencia al parque automotor de un área generalmente urbana.

5.1.4 Fuentes Biogénicas

Este tipo de fuentes emisoras hacen referencia a aquellas que se presentan de manera natural, sin ninguna intervención o control por parte de los seres humanos, en este rubro se consideran fuentes como, erupciones volcánicas, la vegetación, las sales marinas y las tormentas eléctricas, entre otras.

5.2 Tipos de Inventarios

Según el objetivo general que se tenga se requiere de diferentes metodologías para llevar a cabo un inventario de emisiones, las clases de inventarios que se pueden encontrar más comúnmente son las siguientes.

5.2.1 Inventario de Contaminantes de Criterio

Como es el caso de este proyecto su principal enfoque es a la protección de la salud, generalmente son inventarios de carácter más local que regional y como su nombre lo indica, los contaminantes que interesan a este tipo de inventarios son los contaminantes denominados como “criterio”, esto por su facilidad de medición y por lo tanto de regulación. Para este estudio se enfocó en los siguientes contaminantes:

5.2.1.1 Monóxido de Carbono (CO)

Es un gas incoloro e inodoro, resultante de la combustión incompleta de combustibles fósiles. El origen principal de este gas en áreas urbanas son los vehículos automotores.

5.2.1.2 Óxidos de Nitrógeno (NO_x)

Este término incluye al óxido nítrico (NO), al dióxido de nitrógeno (NO₂) y otras formas menos comunes de óxidos nitrogenados. Los NO_x son típicamente formados durante los procesos de combustión a altas temperaturas y son precursores del ozono troposférico.

5.2.1.3 Óxidos de Azufre (SO_x)

Este término comprende a los óxidos de sulfuro (SO₂) y otros óxidos de azufre. Es un gas de olor fuerte, incoloro y se forma por la combustión de fósiles ricos en azufre.

5.2.1.4 Material Particulado (PM)

Este término se refiere a partículas sólidas o líquidas que son transportadas por el aire. Como TSP se conoce a las partículas suspendidas totales. Aquellas partículas que son de diámetro menor a los 10 micrómetros se las simboliza PM₁₀ y aquellas con diámetro menor a 2,5 micras PM_{2.5}.

5.2.2 Inventario de Gases de Efecto Invernadero

Esta clase de inventarios abarca compuestos como CO₂, CH₄, N₂O y los denominados CFC's (Clorofluorocarbonados), por esto mismo se conoce por estar más enfocado a la protección del medio ambiente y son inventarios de carácter regional.

5.2.3 Inventarios Top Down

Literalmente, de arriba hacia abajo, esta clase de inventarios permite determinar un consumo global de combustible dentro de un dominio determinado y así según el consumo

de combustibles es posible establecer una serie de emisiones unitarias y una emisión global a partir de unos factores de emisión.

Con base en la emisión total determinada, se debe realizar una desagregación espacial de las emisiones teniendo en cuenta factores como, densidad poblacional, industrial y de transporte, es decir, esta metodología proporciona una idea general pero no permite obtener datos finos y es mayormente empleada para inventariar fuentes móviles.

5.2.4 Inventarios Bottom Up

Literalmente, de abajo hacia arriba, en este caso se realiza un proceso inverso al de un inventario Top down, ya que se realiza primero un fraccionamiento del dominio en lo que se denominan celdas y en cada una de ellas se determina la emisión específica por las clases de fuentes y finalmente se suman y se establece una emisión global. Este tipo de inventarios es generalmente empleado para fuentes fijas, ya que estas permiten puntualizar y ubicar su emisión en las celdas del dominio y finalmente obtener la emisión total del área de estudio.

5.3 Factores de Emisión

Los factores de emisión son definidos por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (US EPA, por sus siglas en inglés), como un valor representativo que intenta relacionar la cantidad de un contaminante liberado a la atmósfera con una fuente generadora de dicho contaminante en función de su nivel de actividad.

Los factores de emisión más utilizados son los que la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (US EPA, por sus siglas en inglés) ha compilado para una gran variedad

de fuentes y niveles de actividad (como producción o consumo), y cuyos resultados son reportados en el *AP-42 Compilation of Air Pollution Emission Factor*, específicamente en el Volumen I (5° edición) que incluye factores de emisión para fuentes fijas y fuentes de área (U.S Environmental Protection Agency, 1995).

Sin embargo existen factores de emisión publicados por diferentes entes de igual representatividad, como los de la Agencia Europea de Medio Ambiente (AEMA) en cooperación con el Programa Europeo para el Monitoreo y la Evaluación de Contaminantes Atmosféricos (EMEP, por sus siglas en inglés) y los del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés).

Estos factores de emisión se expresan generalmente como la masa del contaminante dividido por una unidad de masa, volumen, distancia o duración de la actividad emisora del contaminante, por ejemplo, kilogramos de partículas emitidas por mega-gramo de carbón quemado. En la mayoría de los casos, los factores de emisión son promedios de todos los datos disponibles de calidad aceptable, y en general se supone que sea representativo de los promedios a largo plazo para todas las instalaciones en la categoría de fuente (U.S Environmental Protection Agency, 1995). La ecuación general para la estimación de emisiones mediante factores de emisión es la siguiente:

$$E = A \times EF \times \left(1 - \frac{ER}{100}\right)$$

Donde:

- E es la emisión.

- A es el nivel de actividad.
- EF es el factor de emisión establecido.
- ER es la eficiencia del equipo de control de emisiones, %.

Capítulo 6

Metodología

6.1 Fase Preliminar – Definición de las Características del Inventario

Se determinaron las condiciones de partida para el inventario de emisiones, definiendo aspectos como el dominio espacio temporal del proyecto, las fuentes a evaluar y los contaminantes a analizar, a partir de la obtención de datos locales.

En la Figura 1 se presenta un esquema resumen de las actividades llevadas a cabo durante la fase preliminar al desarrollo del inventario de emisiones y más adelante se detalla en que consiste cada una de ellas.

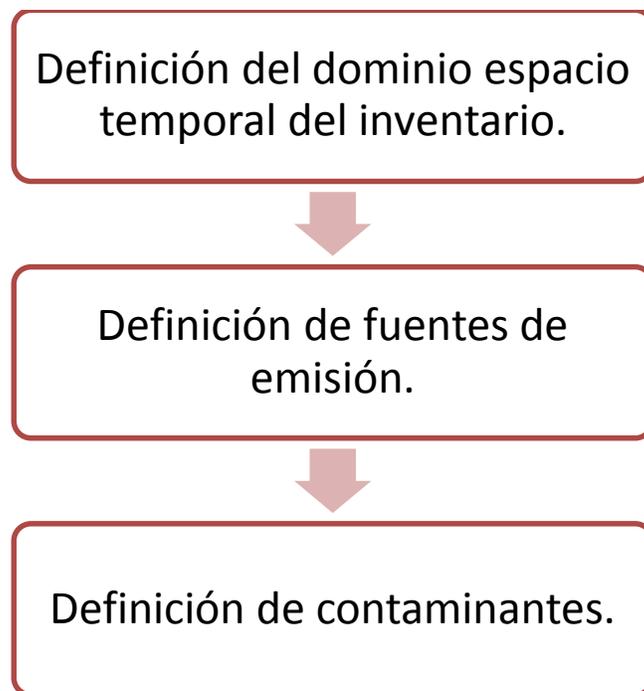


Figura 1. Actividades realizadas durante la fase preliminar del inventario de emisiones.

6.1.1 Definición del Dominio Espacio Temporal del Inventario

Se definió entonces el área de interés como aquella demarcada por la jurisdicción del Área Metropolitana de Bucaramanga, es decir la fracción urbana de los municipios de, Bucaramanga, Floridablanca, Girón y Piedecuesta.

En la Figura 2 se observa la extensión total del territorio delimitado por el Área Metropolitana de Bucaramanga, el cual abarca una suma de 1165,86 kilómetros cuadrados, de los cuales 1095,9 kilómetros cuadrados corresponden a suelo rural y tan solo 69,95 kilómetros cuadrados conforman el suelo urbano.

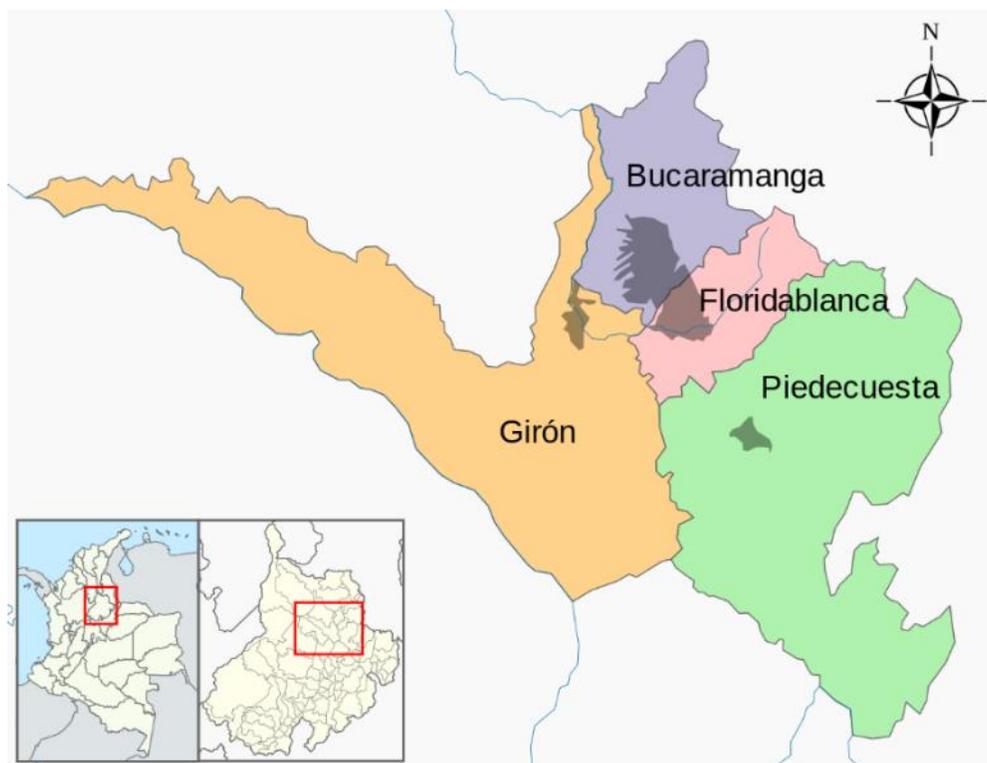


Figura 2. Extensión territorial del Área Metropolitana de Bucaramanga.

En la Figura 3 se observa en detalle la fracción urbana cobijada por la jurisdicción del AMB, área que fue objeto de estudio en este proyecto.



Figura 3. Jurisdicción del AMB. Fuente. Google Earth Pro.

El modelo de inventario de emisiones atmosféricas se desarrolló con año base en el 2016, es decir con información recopilada a partir de este año.

6.1.2 Definición de Fuentes de Emisión

Las fuentes evaluadas en el inventario de emisiones fueron las debidas al sector industrial, es decir las fuentes puntuales.

6.1.3 Definición de Contaminantes

Los contaminantes que se tuvieron en cuenta para el estudio fueron los denominados contaminantes criterio, es decir, monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO_x), óxidos de azufre (SO_x) y material particulado (PM).

6.2 Inventario de Emisiones de Fuentes Fijas

Teniendo claro que la estimación de emisión de fuentes fijas utiliza el método basado en factores de emisión, en la Figura 4 se presenta un esquema resumen de las actividades llevadas a cabo para la elaboración del inventario de fuentes fijas y más adelante se describe en que consistió cada una de ellas.

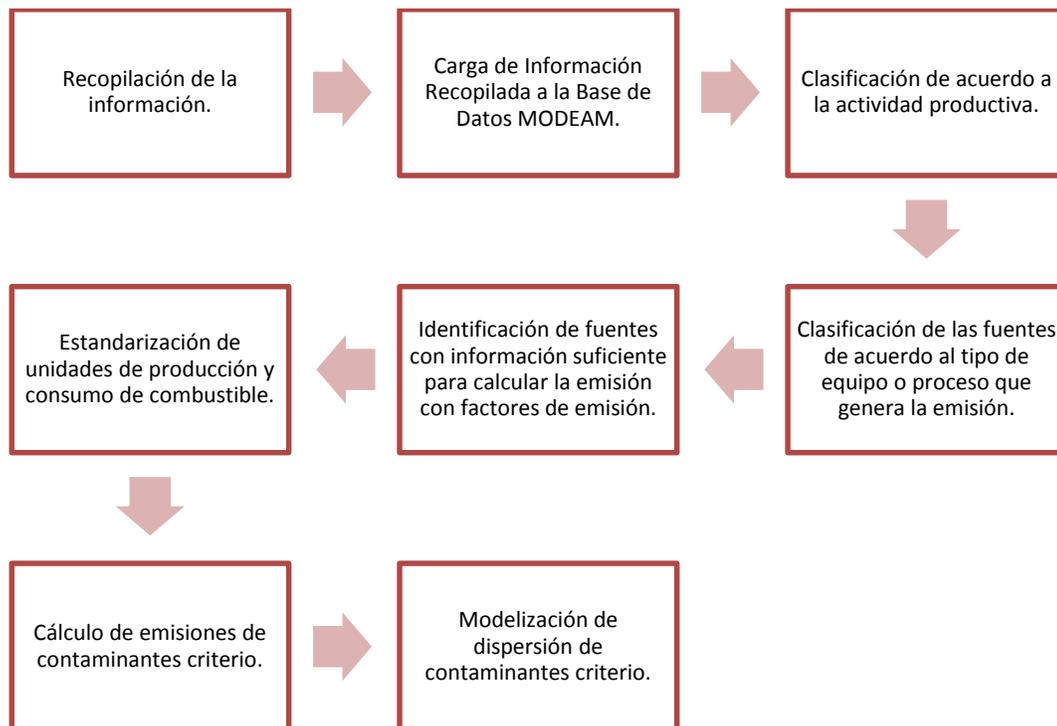


Figura 4. Actividades realizadas para la elaboración del inventario de fuentes fijas.

6.2.1 Recopilación de la Información

La información concerniente a las fuentes fijas se recopiló a través de la revisión de expedientes en el Archivo Ambiental del Área Metropolitana de Bucaramanga, complementado por una labor de identificación de fuentes en campo. De esta manera, se recopiló la información de 62 empresas.

Inicialmente se realizó una recopilación previa de información en las instalaciones del AMB; Informes isocinéticos de 6 empresas fueron proporcionados por parte del Ingeniero Javier Flórez así como la información de contacto de 17 empresas. En las últimas 17 empresas mencionadas fue programada visita por medio de oficios elaborados en el AMB,

debidamente radicados y finalmente entregados personalmente por los Ingenieros Leandro López y Daniela Camacho. Anterior a estas visitas, gracias a la gestión del Ingeniero Javier Flórez fue posible realizar inspección a las plantas de la empresa Avidesa MacPollo. Durante los recorridos que se hicieron para recolectar la información de las empresas mencionadas, fue posible identificar y solicitar información de contacto de otras fuentes de emisión para así seguir el conducto utilizado con las primeras empresas. Todos los oficios fueron entregados personalmente por los miembros del equipo UPB.

A partir de la base de datos de Cámara de Comercio proporcionada por el AMB fue posible identificar algunas fuentes mediante la ubicación de las mismas en la herramienta Google Earth Pro para realizar posteriormente visitas de inspección visual en las zonas de interés dentro de los municipios pertenecientes al área metropolitana de Bucaramanga. Mediante estas visitas fue posible identificar fuentes entre las que se encuentran empresas como Operadora Avícola de Colombia Planta de Harinas, Quesos D'Lusia, Pastas Gavassa, Tecniprosos del Oriente, Recubrimientos Futura e Industrias Alimenticias Ornelo, entre otras.

En las visitas realizadas la dinámica fue la misma, se puso en contexto a los encargados sobre el proyecto en cuestión, comentándoles el propósito del mismo. Se procedió a la revisión de los informes isocinéticos de las chimeneas que contaban con éste, además de solicitar la información faltante a los encargados por parte de las empresas o, en dado caso que no se tuviera este estudio, se solicitó información relacionada con producción, tipo y consumo de combustible, frecuencias de operación en las plantas, así como generalidades de la empresa y los equipos generadores de emisiones. En dado caso que hiciera falta

información después de realizada la visita, se realizó contacto telefónico o vía correo electrónico para la obtención de la misma. En algunas empresas no fue posible realizar inspección a los equipos debido a restricciones que se manejan en las plantas o procesos especiales que se estaban desarrollando en el momento de la visita. Adicionalmente, se realizaron alrededor de 10 recorridos o censos de reconocimiento por las zonas del área metropolitana consideradas de interés para el proyecto por tener industrias que podrían ser fuentes de emisión. Estas zonas están ubicadas al norte, centro y zona industrial de la ciudad de Bucaramanga, centro de Piedecuesta, Floridablanca y zonas industriales de Girón.

En la Tabla 1 se listan las empresas visitadas, con su respectiva dirección y con la fecha en que esta fue llevada a cabo. Cabe resaltar que previa mi vinculación con el proyecto, este ya se encontraba en marcha, por lo tanto algunas de las fechas de las visitas no coinciden con el periodo de tiempo trabajado, sin embargo se incluyen debido a su relevancia en la obtención de resultados del proyecto. En el Anexo 1 se encuentra el registro fotográfico de las visitas realizadas.

Tabla 1. Consolidado de empresas visitadas.

Empresa	Dirección	Fecha de visita
Avidesa McPollo Planta de Concentrados	Km 3 vía Palenque - Café Madrid	26 de Julio
Avidesa McPollo Planta de Harinas	Km 6,5 vía Palenque - Café Madrid	26 de Julio
Avidesa McPollo Planta de Beneficio	Km 7 vía Floridablanca - Piedecuesta	26 de Julio
Avidesa McPollo Planta de Embutidos	Calle 4 # 5 - 27, Floridablanca	26 de Julio

Crudesan S.A	Km 1 vía Palenque - Café Madrid	31 de Julio
Finca S.A.	Km 3 vía Palenque - Café Madrid	31 de Julio
Campollo S.A Planta de Concentrados	Km 2 vía Palenque - Café Madrid	31 de Julio
Saceites S.A.S	Km 1 vía Palenque - Café Madrid, Zona industrial Chimitá	31 de Julio
Solla S.A	Km 1 vía Palenque - Café Madrid	31 de Julio
Industria Nacional de Gaseosas (Coca Cola FEMSA)	Km 2 Vía Girón	1 de Agosto 2017
Italcol S.A	Km 6 Vía Girón	1 de Agosto 2017
Avimol S.A.S	Calle 58 # 16 - 90 Km. 7 Vía Girón	1 de Agosto 2017
Tintorería Apocalipsis 3:20 Sucesión S.A.S	Carrera 13 # 57 - 138 Km. 7 Via Girón	1 de Agosto 2017
Baterías Faico Ltda	Km 7 Vía Girón	2 de Agosto de 2017
Lubrigras S.A	Carrera 15 # 20 - 33	2 de Agosto de 2017
Tintorería Procolor	Calle 24 # 10 - 21	2 de Agosto de 2017
Tintorería Discovery Colo'rs	Calle 21 # 13 - 55	2 de Agosto de 2017
Distraves S.A.S	Km 7 Vía Girón	1 de Agosto 2017
Tintorería Prointex	Calle 22 # 10 - 11	3 de Agosto de 2017
Edepsa E.S.P S.A.S	Calle 2 # 3a - 69	3 de Agosto de 2017
Productos Vicky S.A.S	Carrera 21 # 48 - 35	4 de Agosto de 2017
Fiberglass (Isover) S.A	Km1 Vía Palenque-Chimitá	9 de Agosto de 2017
Harinagro S.A.	Km 6.5 Vía Palenque Café Madrid	17 de Agosto de 2017
Operadora Avícola de Colombia S.A.S Planta de beneficio	Anillo Vial # 2- 46	22 de Agosto de 2017
Operadora Avícola de Colombia S.A.S Planta de harinas	Carrera 14 # 4 - 13 Bucaramanga	29 de Agosto de 2017
Linco S.A	Carrera 4 # 5 - 04	22 de Agosto de 2017

Sebosander S.A.S	Km 6.5 Vía Palenque Café Madrid	23 de Agosto de 2017
Queso D'Lusia	Carrera 19 # 5 - 21 Bucaramanga	29 de Agosto de 2017
Ryctel Ltda	Carrera 15 # 7 - 29	29 de Agosto de 2017
Industria de Cauchos Record Ltda	Calle 23 # 13 - 35	29 de Agosto de 2017
Chocolate Gironés	Calle 29 # 8 E - 76 La Cumbre, Floridablanca	30 de Agosto de 2017
Incubadora de Santander Planta Lanza	Km. 5 Vía Palenque Café Madrid	7 de Septiembre 2017
Filtros Partmo	Km 7 Vía Palenque - Café Madrid Parque Industrial 2	11 de Septiembre 2017
Tecniprosesos del Oriente	Carrera 22 # 22 - 04	12 de Septiembre de 2017
Alba del Fonce	Calle 33 # 13 - 37	12 de Septiembre de 2017
Freskaleche S.A.S	Parque Industrial de Bucaramanga I Etapa Km 3 Vía Chimitá	14 de Septiembre de 2017
Rubber Colombia	Parque Industrial de Bucaramanga I Etapa Km 3 Vía Chimitá, Manzana C Bodega 15	15 de Septiembre de 2017
Promitec	Parque Industrial de Bucaramanga I Etapa Km 3 Vía Chimitá	15 de Septiembre de 2017
Recubrimientos Futura	Parque Industrial de Bucaramanga I Etapa Km 3 Vía Chimitá	15 de Septiembre de 2017
Terpel	Km. 2. Vía Palenque Café Madrid	18 de Septiembre de 2017
Gavassa y Cia. Ltda.	Calle 20 # 12 - 50	25 de Septiembre de 2017
Café Bumangués	Carrera 12 # 22 - 12	25 de Septiembre de 2017

García Vega S.A.S	Calle 21 # 11 - 41	26 de Septiembre de 2017
Balsa de Colombia Ltda (Balco)	Km.4 Carretera Café Madrid	26 de Septiembre de 2017
Nexans Colombia S.A	Km.3 Vía Palenque Café Madrid Parque Industrial I	27 de Septiembre de 2017
Descont S.A E.S.P.	Km. 1 Zona Industrial Chimitá, Girón	28 de Septiembre de 2017
Sandesol S.A E.S.P.	Km. 6.5 Vía Palenque Café Madrid	28 de Septiembre de 2017
Surtimineros	Carrera 16 # 13 - 56	3 de Octubre de 2017
Arped	Carrera 17 # 14 - 35	3 de Octubre de 2017
Publiplaca	Calle 14 # 17 - 64	3 de Octubre de 2017
Metrollantas	Calle 14 # 15 - 75	3 de Octubre de 2017
Lácteos Las Camelias	Carrera 21 # 13 - 36	20 de Octubre de 2017
Tostadora de Café Bon - Ami	Calle 23 # 13 - 34	27 de Octubre de 2017
Lubryesp Ltda	Carrera 3 # 2 - 105 Zona Industrial Chimitá, Girón	27 de Octubre de 2017
Icopores y Aligeramientos de Colombia	Carrera 3a # 2 - 87 Zona Industrial Chimitá, Girón	27 de Octubre de 2017
Ortiz y Compañía S.A.S	Carrera 34w # 71 - 67 Parque Industrial Provincia de Soto 1 Bodega 54	30 de Octubre de 2017
Bavaria S.A	Km. 4 Carretera Café Madrid	2 de Noviembre de 2017
Lavandería Industrial Ultramatic Ltda.	Calle 28 # 14 - 58	8 de Noviembre de 2017
Fuller Pinto	Calle 70 # 43W - 310 Autopista Girón Km 4	8 de Noviembre de 2017

Fuente. El autor.

Además de estas visitas se logró recopilar información de algunas empresas como Salsamentaria de Santander Ltda (Salsan), Industrias Alimenticias Ornelo S.A.S y Grupo SAMSARA S.A.S (Dulces El Paraguaitas) vía correo electrónico. En el Anexo 2 se encuentra el registro fotográfico (pantallazos) de las conversaciones vía correo electrónico.

Sin embargo durante todo el proceso de recopilación de información se presentaron algunos inconvenientes al visitar ciertas empresas, que argumentaban no estar al tanto del proyecto, por lo cual no podían brindar la información o que incluso se mostraron reacios a facilitarla a pesar de todo el protocolo llevado a cabo, de enviar el oficio debidamente radicado por parte del AMB y programar la visita. Las empresas identificadas de las que no se logró recopilar información por lo antes mencionado se listan en la Tabla 2.

Tabla 2. Empresas identificadas sin información.

Empresa	Dirección	Estado
Empracol S.A.S	Carrera 12 # 23 - 46	Se envió carta con radicado N° 7246 por parte del AMB pero el personal UPB no fue atendido en la fecha programada.
Bicicletas Milán	Boulevard Santander # 16 - 03	Se realizan por lo menos tres visitas para programar la inspección y se envía oficio por parte del AMB, pero en todas las ocasiones se reciben respuestas evasivas por parte del personal a cargo.
Pronalci	Km. 4 Vía Girón, Sector El Bueno Interior 1	Se entrega oficio por parte del AMB, pero el día de la visita se niegan a recibir al personal UPB y al realizar contacto vía telefónica, afirman no tener disposición para participar del proyecto.

Fuente. El autor

6.2.2 Carga de Información Recopilada a la Base de Datos MODEAM.

Una vez recopilada la información se continuó a cargarla al aplicativo MODEAM, el cual fue implementado como base de datos para el cálculo de las emisiones del proyecto. A continuación se describe detalladamente su funcionamiento.

Paso 1: Se debe crear una cuenta e ingresar al aplicativo.



The image shows a web application interface for 'Gestión de inventarios de MODEAM' at the Universidad Pontificia Bolivariana. The page features a dark blue header with the university's logo and name on the left, and the application title on the right. Below the header is a light gray background with a white login form centered. The form contains two input fields: 'Email' with the value 'oscar.rueda.2013@upb.edu.co' and 'Contraseña' with a masked password '.....'. Below these fields is a blue 'Entrar' button and a blue 'Regístrate' link.

Figura 5. Paso 1 para carga de datos al aplicativo MODEAM. Fuente: el autor.

Paso 2: Ingresar al menú “Empresa” y dar click en “Nueva empresa”.



Figura 6. Paso 2 para carga de datos al aplicativo MODEAM. Fuente: el autor.

Paso 3: Digitar los datos básicos de la empresa como: nombre, NIT y sector industrial en el que desempeña sus actividades, así como información sobre su ubicación y datos de algún contacto dentro de la empresa, una vez finalizado dar click en “Agregar proceso”.

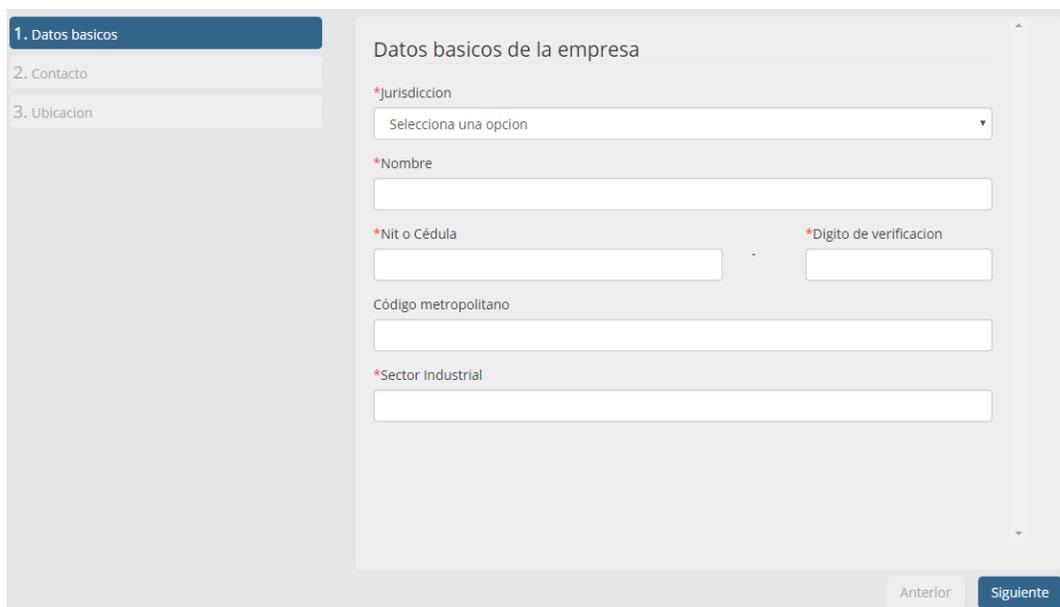
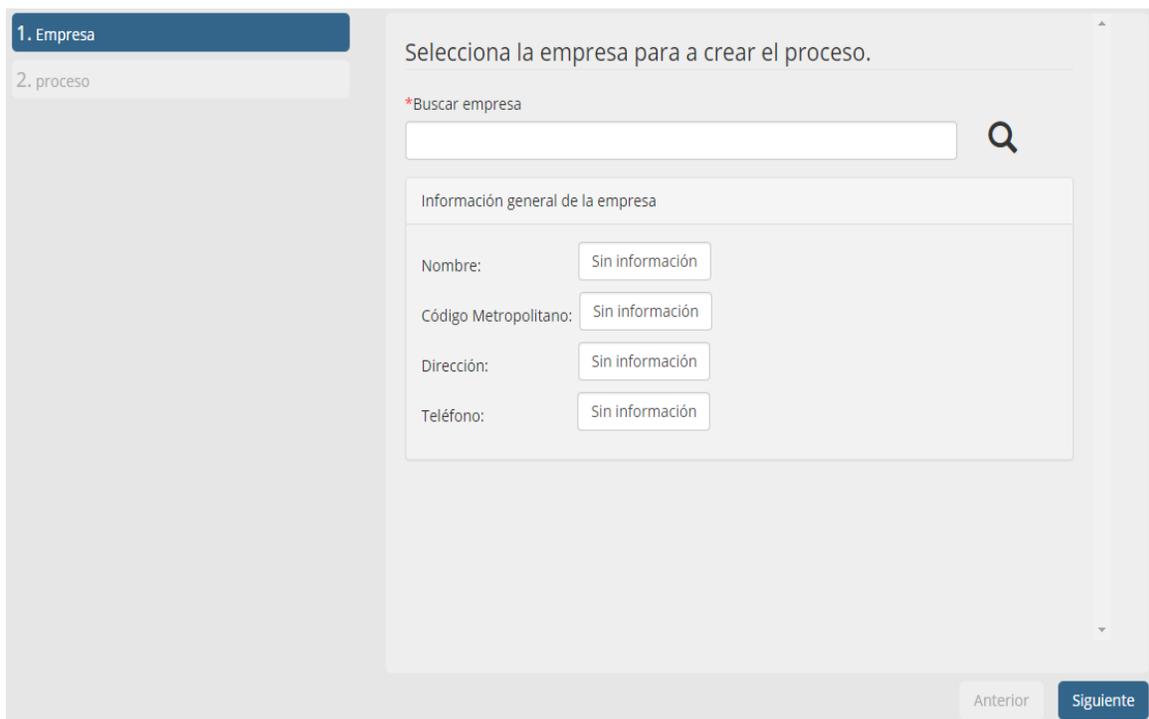
The image shows a form titled 'Datos basicos de la empresa' with a sidebar on the left containing steps: '1. Datos basicos', '2. Contacto', and '3. Ubicacion'. The form fields are: '*Jurisdiccion' (dropdown menu with 'Selecciona una opcion'), '*Nombre' (text input), '*Nit o Cédula' (text input), '*Digito de verificacion' (text input), 'Código metropolitano' (text input), and '*Sector Industrial' (text input). At the bottom right, there are 'Anterior' and 'Siguiente' buttons.

Figura 7. Paso 3 para carga de datos al aplicativo MODEAM. Fuente: el autor.

Paso 4: Seleccionar la empresa creada y luego especificar el proceso en el cual se emplea el equipo generador de emisiones, una vez concluido dar click en “Agregar equipo”.



The screenshot displays a web application interface for data entry. On the left, a vertical sidebar contains two steps: '1. Empresa' (highlighted in blue) and '2. proceso'. The main content area is titled 'Selección de empresa para a crear el proceso.' and features a search bar labeled '*Buscar empresa' with a magnifying glass icon. Below the search bar is a section titled 'Información general de la empresa' containing four fields: 'Nombre:', 'Código Metropolitano:', 'Dirección:', and 'Teléfono:'. Each field has a corresponding button labeled 'Sin información'. At the bottom right of the interface, there are two buttons: 'Anterior' (disabled) and 'Siguiete' (active).

Figura 8. Paso 4 para carga de datos al aplicativo MODEAM. Fuente: el autor.

Paso 5: Nuevamente seleccionar la empresa en la que se está trabajando, luego ingresar la información básica del equipo objeto de estudio: tipo de equipo (caldera, horno, quemador, entre otros), marca, año de fabricación, capacidad y finalmente ingresar información sobre equipos de control de emisiones de ser necesario, posteriormente dar click en “Agregar fuente”.

1. Empresa

2. Equipo

3. Emisiones

Selecciona la empresa para a crear el equipo.

*Buscar empresa

Información general de la empresa

Nombre: Sin información

Código Metropolitano: Sin información

Dirección: Sin información

Teléfono: Sin información

Anterior Siguiente

Figura 9. Paso 5 para carga de datos al aplicativo MODEAM. Fuente: el autor.

Paso 6: Seleccionar la empresa, el proceso y el equipo al cual se va a relacionar la fuente (chimenea) en cuestión, ingresar datos como: geometría, altura y diámetro de la chimenea y dar click en “Agregar monitoreo”.

1. Empresa

2. proceso

3. Fuente

Selecciona la empresa para a crear la fuente.

*Buscar empresa

Información general de la empresa

Nombre: Sin información

Código Metropolitano: Sin información

Dirección: Sin información

Teléfono: Sin información

Anterior Siguiente

Figura 10. Paso 6 para carga de datos al aplicativo MODEAM. Fuente: el autor.

Paso 7: Una vez más seleccionar la empresa, el proceso, el equipo y la fuente sobre los cuales se completará la siguiente información necesaria: producción de la empresa, combustible y consumo del mismo y de existir informe isocinético de la fuente, completar los datos de características de la emisión, condiciones locales, gases de combustión y concentración de contaminantes y finalmente dar click en “Guardar borrador”.

The screenshot displays the 'Empresa' step in the MODEAM application. On the left, a vertical sidebar lists 11 steps: 1. Empresa (highlighted), 2. proceso, 3. Fuentes, 4. Datos generales, 5. Combustibles, 6. Uso de combustibles, 7. Características de la emisión, 8. Condiciones locales, 9. Gases combustión, 10. Concentración contaminantes, and 11. Observaciones. The main content area is titled 'Selecciona la empresa para a crear el monitoreo.' and features a search bar labeled '*Buscar empresa' with a magnifying glass icon. Below the search bar is a section titled 'Información general de la empresa' containing four fields: 'Nombre:', 'Código Metropolitano:', 'Dirección:', and 'Teléfono:'. Each field has a button labeled 'Sin información'. At the bottom right of the form, there are two buttons: 'Anterior' and 'Siguiente'.

Figura 11. Paso 7 para carga de datos al aplicativo MODEAM. Fuente: el autor.

6.2.3 Clasificación de acuerdo a la Actividad Productiva

Seguido de la carga de la información al aplicativo se procedió a clasificar las empresas de acuerdo a la actividad productiva, para esto se definen doce sectores, presentados en la Tabla 3, los cuales son susceptibles de realizar descargas a la atmósfera.

Tabla 3. Actividades productivas susceptibles de tener descargas atmosféricas en el Área Metropolitana de Bucaramanga.

Actividad productiva	Descripción
BAT	Bebidas, Alimentos y Tabaco (incluido alimentos para animales).
TXT	Textil y de Confección. Procesamiento y producción de textiles. Incluye procesos de teñido.
CVL	Cerámicos y Vítreos; ladrilleras, alfareras, tejaras e industrias de cerámica.
PAP	Papel, Cartón, Pulpa e Impresión.
PCE	Plásticos, Cauchos y Empaques; incluidas reencauchadoras, fabricación y procesamiento de llantas.
MMC	Metalmecánico; fundición y manejo de metales, hierro, metales no ferrosos, producción de maquinaria eléctrica y no eléctrica.
QMC	Química; producción de compuestos químicos, producción de jabones y detergentes, pinturas y resinas.
CUR	Cueros; curtimbres y calzado.
ASF	Derivados del petróleo; producción y procesamiento asfaltos y emulsiones asfálticas, explotación y tratamiento de triturados.
TER	Terciario; incluye empresas del sector terciario, comercial y de servicios que por su actividad posean calderas u hornos eléctricos, por ejemplo, hoteles, hospitales, cementerios, lavanderías y otros.
MAD	Aserríos, depósitos de maderas, e industrias que trabajan la madera.
OTR	Otras Industrias. En este sector se agrupan las industrias que no se pueden clasificar en ninguna de las categorías anteriores.

6.2.4 Clasificación de las Fuentes de acuerdo al Tipo de Equipo o Proceso que

Genera la Emisión

Posteriormente se clasificaron las fuentes de acuerdo al tipo de equipo o proceso que genera la emisión. Identificándose así las categorías listadas en la tabla 4.

Tabla 4. Clasificación de equipos o procesos generadores de emisiones.

Tipo de fuente	Descripción
Caldera (CAL)	Equipo de combustión externa que genera vapor a través de una transferencia de calor a presión constante, en la cual el fluido, originalmente en estado líquido, se calienta y cambia su fase.
Horno (HOR)	Un horno es un dispositivo que genera calor y que lo mantiene dentro de un compartimento cerrado.
Cabina (CAB)	Cuarto aislado para realizar diferentes actividades generadoras de emisiones contaminantes, por ejemplo cabinas de pintura, cabinas de pulido, etc.
Sistemas de captación (CAP)	Sistemas colectores de polvo y otros contaminantes generados en diferentes áreas de trabajo.
Procesos de transferencia de masa (TMA)	Procesos para promover el contacto entre las fases y el desarrollo de la superficie interfacial a través de la cual se produce la transferencia de materia.
Procesos de impresión (IMP)	Procesos para la producción de textos e imágenes sobre una superficie.
Sistemas de extracción (EXT)	Sistema para la evacuación de gases y partículas contaminantes.
Procesos de trituración y/o molienda (TYM)	Dispositivo para la reducción de tamaño de rocas, minerales y otros materiales.
Quemador (QUE)	Dispositivo para quemar combustible líquido, gaseoso o ambos (excepcionalmente también sólido) y producir calor generalmente mediante una llama.
Otros (OTR)	Equipos o dispositivos que no se pueden clasificar en ninguna de las categorías anteriores.

6.2.5 Identificación de Fuentes con Información Suficiente para Calcular la Emisión con Factores de Emisión

Después de clasificar las empresas de acuerdo a la actividad productiva y las fuentes según el equipo o proceso que genera la emisión, se procedió a identificar las fuentes con información suficiente para calcular la emisión con factores de emisión. Por ejemplo, en el caso de combustibles como el carbón, el diésel o el gas natural se debía conocer el consumo

de los mismos en determinado periodo de tiempo; en el caso de procesos como fabricación de ladrillos se debía saber la producción de ladrillos (en masa) en un periodo de tiempo determinado.

6.2.6 Estandarización de Unidades de Producción y Consumo

Una vez identificadas las fuentes con suficiente información para calcular sus emisiones con factores de emisión, se derivó a estandarizar las unidades de producción y/o consumo de combustible de acuerdo al nivel de actividad del factor de emisión. Por ejemplo, el nivel de actividad para la combustión de carbón es el consumo de carbón en mega-gramos (Mg), para la combustión de gas natural es el consumo de gas en metros cúbicos (m³) y para la combustión de biomasa es la energía disponible en ella, en giga-Joules (GJ); el nivel de actividad para la fabricación de pan es la producción de pan en mega-gramos (Mg) y para la impresión de superficies es la cantidad de tinta utilizada en kilogramos (kg).

En cuanto a la unidad temporal, las emisiones fueron calculadas en base horaria y posteriormente en base anual para el inventario de emisiones. Así, la producción y el consumo de combustible se estandarizaron de acuerdo al nivel de actividad y se calcularon en base horaria, y más adelante las emisiones horarias fueron llevadas a base anual. Para ello se contaba con información sobre los periodos de operación de la fuente de forma diaria (horas/día), semanal (días/semana) y anual (meses/año); y cuando esta información no se encontraba disponible para algunas fuentes, se asignó un valor promedio de otras fuentes similares pertenecientes al mismo sector y que utilizaran el mismo combustible.

La estandarización de unidades se hizo con el fin de facilitar los cálculos posteriores y además permitió la identificación de valores ilógicos de producción y consumo de combustible.

6.2.7 Cálculo de Emisiones de Contaminantes Criterio

Una vez identificadas las fuentes con información suficiente para continuar con el proyecto y estandarizadas sus unidades de producción y consumo se procedió a calcular las emisiones de contaminantes criterio haciendo uso de la ecuación general previamente mencionada.

6.2.8 Modelización de Dispersión de Contaminantes Criterio

Finalmente a partir de las emisiones estimadas por factores de emisión de las diferentes empresas discriminadas, se realizaron modelizaciones de la calidad del aire del área metropolitana de Bucaramanga, mediante el simulador BREEZE AERMOD (American Meteorological Society/Environmental Protection Agency Regulatory Model) diseñado por la US EPA.

Este programa resuelve las ecuaciones aplicando el método gaussiano para diferentes periodos tanto cortos (horas) como largos (año), según la necesidad o las características de los escenarios a simular. Este modelo de dispersión es muy versátil en su uso, tiene un tiempo de cálculo relativamente corto y la información que requiere es de mediana complejidad.

En la etapa de simulación con AERMOD[®] se siguió la metodología mostrada en la Figura 12 donde se llevaron a cabo las siguientes actividades:

- Alimentación al modelo con la información recolectada referente a las fuentes de emisión, topografía y meteorología.
- Simulación de la dispersión de los contaminantes provenientes de las fuentes, de tal forma que se evalúen las concentraciones de los contaminantes criterio en las zonas de inmisión.
- Obtención de las isopletras, ilustrando el promedio anual de las concentraciones de los contaminantes criterio y las concentraciones de inmisión de estos componentes sobre las áreas afectadas por la actividad de la planta o empresa respectiva.

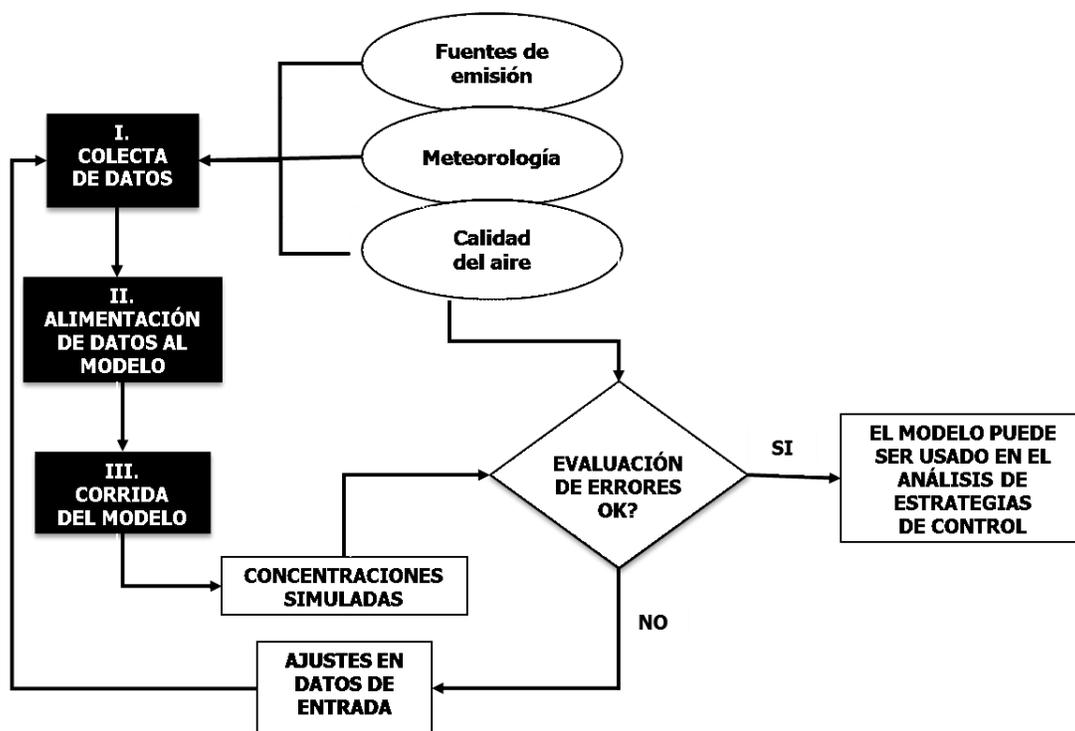


Figura 12. Metodología para la aplicación del modelo de dispersión en AERMOD[®].

6.2.8.1 Meteorología del Área Metropolitana de Bucaramanga

Para el Área Metropolitana de Bucaramanga, se realizaron las modelizaciones correspondientes a los contaminantes criterio de MP, NO_x y SO₂, en los municipios de Girón, Floridablanca y Bucaramanga. Debido a las condiciones topográficas de la región, fue necesario dividir cada municipio en subsecciones para la obtención de la información meteorológica. Para el municipio de Girón se tomaron 3 zonas, para Bucaramanga se tomaron cuatro zonas, mientras que para Floridablanca se tomó una zona. Esto también debido a que el modelo no cuenta con una resolución suficientemente alta para analizar los tres municipios en cuestión.

En la Figura 13 se muestra la ubicación de los puntos escogidos para la obtención de la información meteorológica de cada zona.

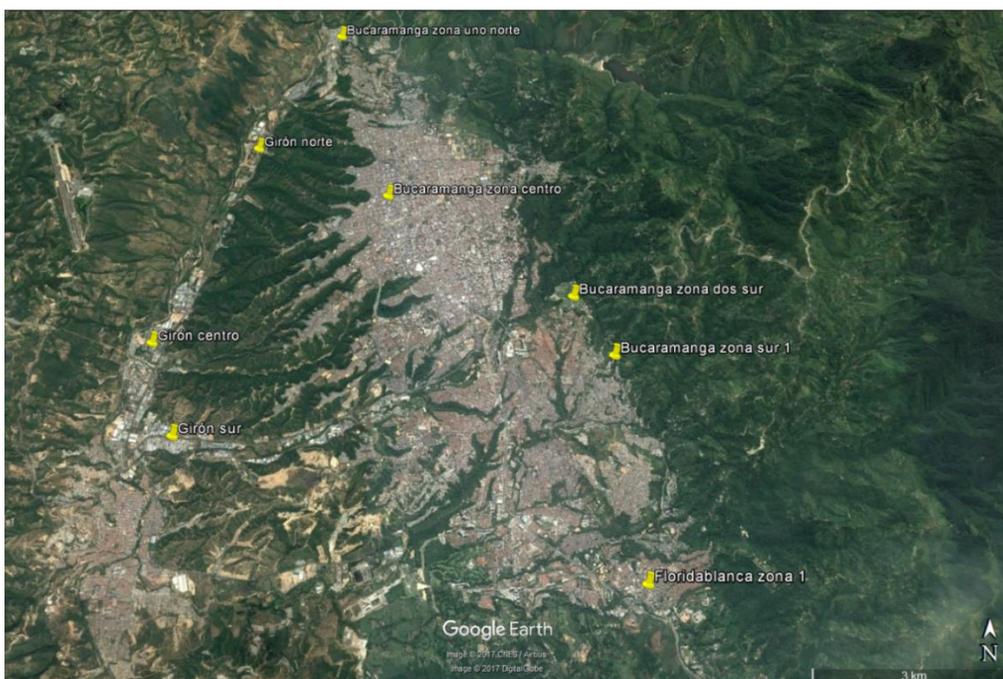


Figura 13. Puntos de meteorología seleccionados para el Área Metropolitana de Bucaramanga.

A continuación se muestran las Rosas de Vientos correspondientes a cada zona descrita.

En las Figuras 14, 15 y 16 se observan las rosas de vientos del municipio de Girón, en las que no se obtuvieron diferencias marcadas entre las tres zonas analizadas, conservando una velocidad del viento predominante en dirección Noroeste y Sur sudeste de 1.54 m/s.

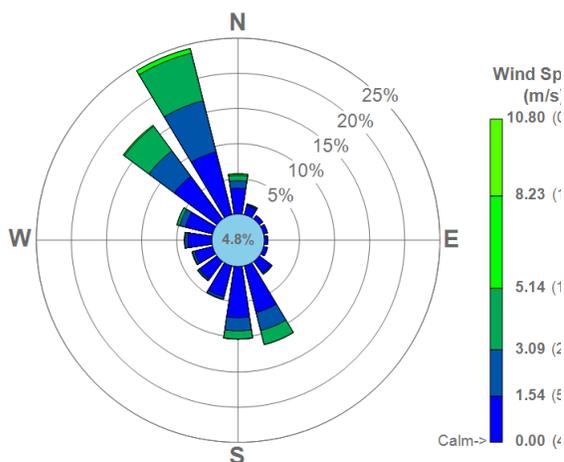


Figura 14. Rosa de Vientos para la zona norte del municipio de Girón.

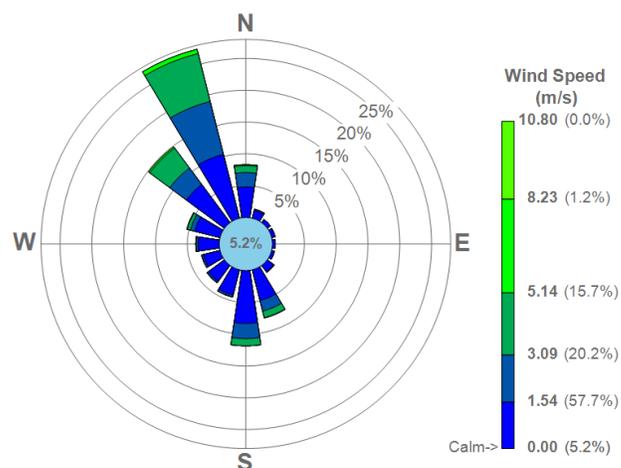


Figura 15. Rosa de Vientos para la zona centro del municipio de Girón.

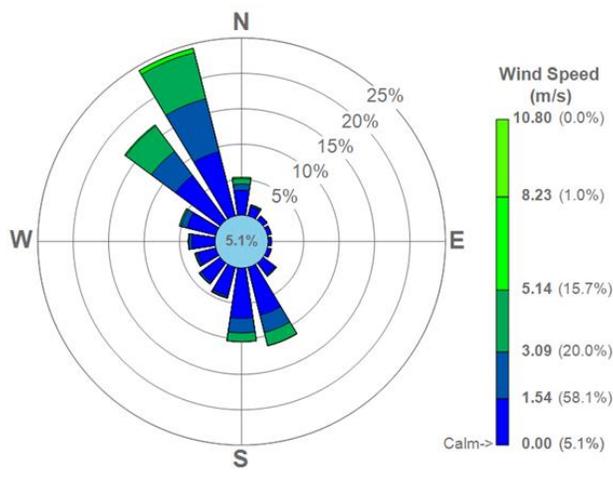


Figura 16. Rosa de Vientos para la zona sur del municipio de Girón.

Por el contrario para el municipio de Bucaramanga se presentaron ciertas diferencias entre las zonas evaluadas. Por ejemplo en la Figura 17 del norte de Bucaramanga se observan velocidades predominantes en dirección Norte, Noroeste y Sur, comportamiento similar al encontrado en la Figura 18, zona centro, mientras en la Figura 20, zona sur dos, aparece un pétalo adicional con dirección Noreste y finalmente en la Figura 19, zona sur uno, se observa prácticamente un único pétalo con dirección Noroeste.

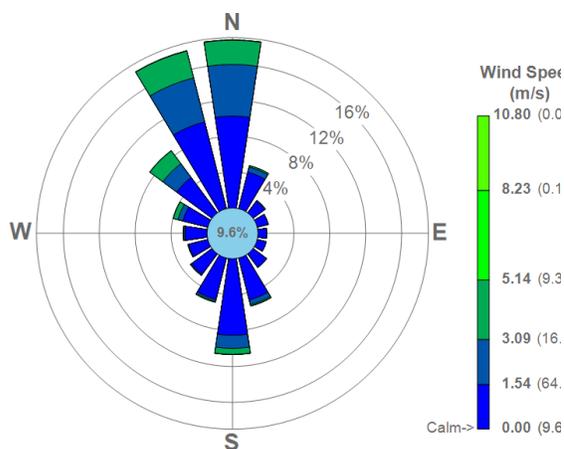


Figura 17. Rosa de Vientos para la zona norte del municipio de Bucaramanga.

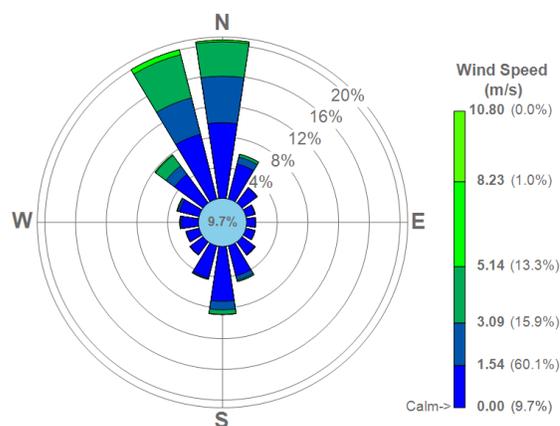


Figura 18. Rosa de Vientos para la zona centro del municipio de Bucaramanga.

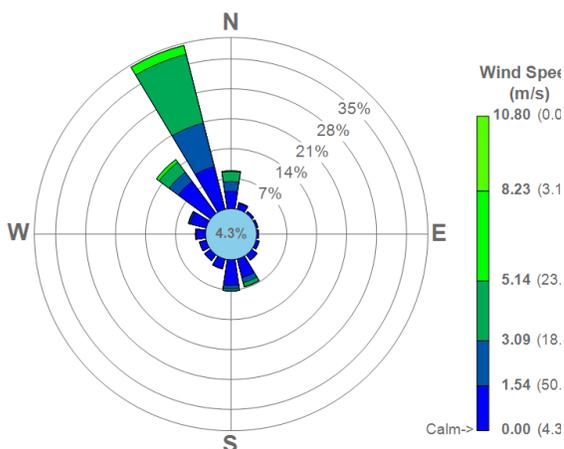


Figura 19. Rosa de Vientos para la zona sur uno del municipio de Bucaramanga.

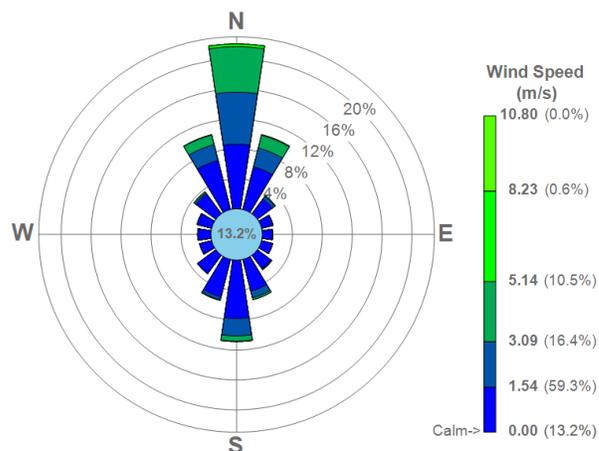


Figura 20. Rosa de Vientos para la zona sur dos del municipio de Bucaramanga.

Por último para el municipio de Floridablanca se tienen velocidades de viento predominantes en dirección Nor noroeste y Sureste como se observa en la Figura 21.

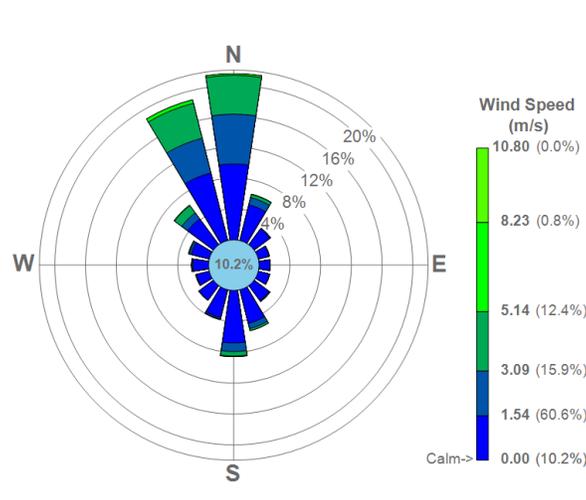


Figura 21. Rosa de Vientos para la zona uno del municipio de Floridablanca.

Capítulo 7

Resultados y Discusión

7.1 Análisis de la Información Recopilada

Una vez recopilada toda la información posible, se determinó que existen un total de 62 empresas generadoras de emisiones atmosféricas en el área metropolitana de Bucaramanga, que a la vez cuentan con un total de 80 fuentes, estas empresas se clasificaron según el municipio en el que se encuentran, según la actividad productiva que desempeñan y según el combustible que utilizan, como se detalla a continuación.

7.1.1 Distribución de Empresas por Municipio

Como se observa en la Figura 22, correspondiente a la Tabla 5, Bucaramanga es el municipio con el mayor número de empresas con un 66% del total, seguida por Girón con el 26% y Floridablanca con el 8% del total de industrias del área metropolitana.

Tabla 5. Distribución de empresas por municipio.

Municipio	Número de empresas	Número de fuentes	% de Empresas
Girón	16	19	26
Bucaramanga	41	54	66
Floridablanca	5	7	8
Total	62	80	100

Fuente. El autor.

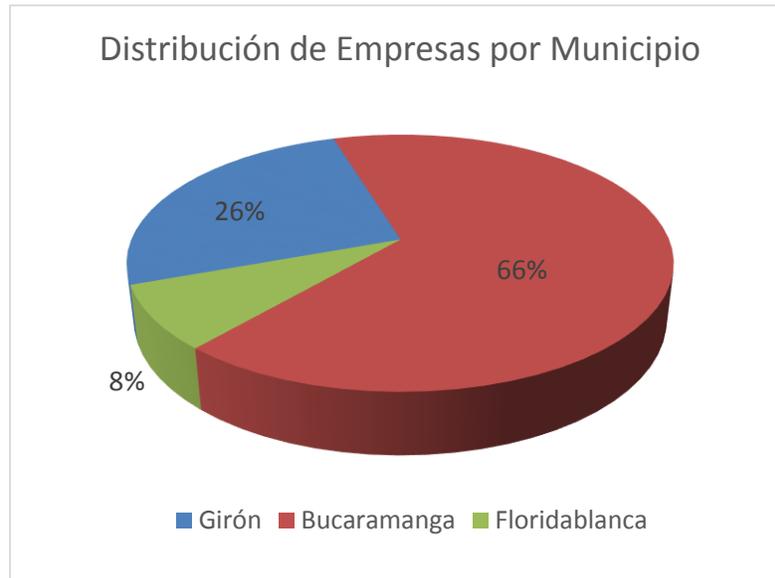


Figura 22. Distribución de empresas por municipio. Fuente. El autor.

7.1.2 Distribución de Empresas y Fuentes por Sector Industrial

En la Tabla 6 y la Figura 23 se observa la distribución de empresas y fuentes por sector industrial. Es claro que el sector predominante en el área metropolitana de Bucaramanga es el que corresponde a Bebidas, Alimentos y Tabaco (BAT), en el cuál también se encuentran incluidas las industrias de producción de harinas y concentrados para animales, con 53% y 58% del total de empresas y fuentes respectivamente.

Seguido de este sector se encuentran las industrias textiles y metalmecánicas, principalmente representadas por tintorerías y lavanderías y pequeñas empresas de fundición de metales respectivamente, estas con el 11% de empresas y el 9% de fuentes, cada una.

Tabla 6. Distribución de empresas y fuentes por sector industrial.

Sector Industrial	Número de empresas	Número de fuentes	% de Empresas	% de Fuentes
Textil (TXT)	7	7	11	9
Metalmecánico (MMC)	7	7	11	9
Bebidas, Alimentos y Tabaco (BAT)	33	47	53	58
Plásticos, Cauchos y Empaques (PCE)	3	4	5	5
Otras Industrias (OTR)	3	4	5	5
Terciario (TER)	3	4	5	5
Derivados del Petróleo (ASF)	5	5	8	6
Madera (MAD)	1	2	2	3
Total	62	80	100	100

Fuente. El autor.

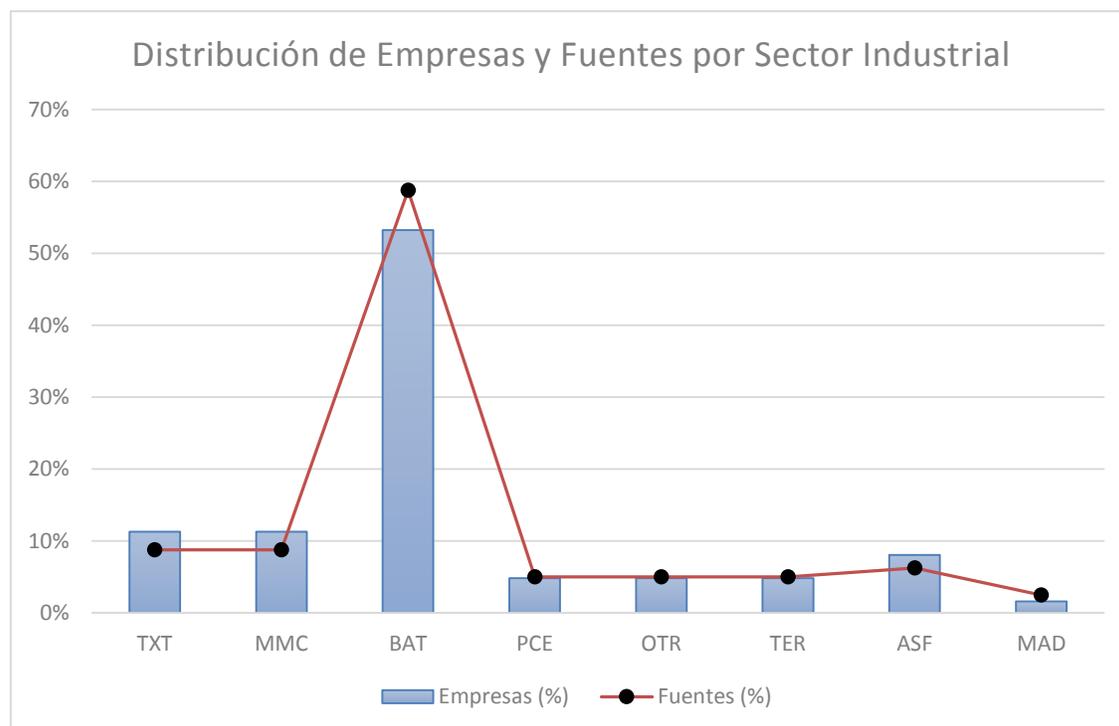


Figura 23. Distribución de empresas y fuentes por sector industrial. Fuente. El autor.

Finalmente se encuentra el sector de derivados del petróleo, compuesto por industrias de lubricantes principalmente, con un 8% de empresas y 6% de fuentes, luego los sectores de plásticos, terciario y otras industrias con el 5% de empresas y fuentes, cada uno y por último el sector de maderas conformado por una única empresa que cuenta con dos fuentes de emisión.

7.1.3 Distribución de Fuentes por Tipo de Combustible

Se realizó además la distribución de las fuentes según el tipo de combustible que utilizan obteniéndose los resultados observados en la Tabla 7 y la Figura 24.

Tabla 7. Distribución de fuentes por tipo de combustible.

Combustible	Número de Fuentes	% de Fuentes
Gas Natural	58	72,5
Carbón	8	10
Fuel Oil	5	6,25
Biomasa	6	7,5
Otro	3	3,75
Total	80	100

Fuente. El autor.

Distribución de Fuentes por Tipo de Combustible

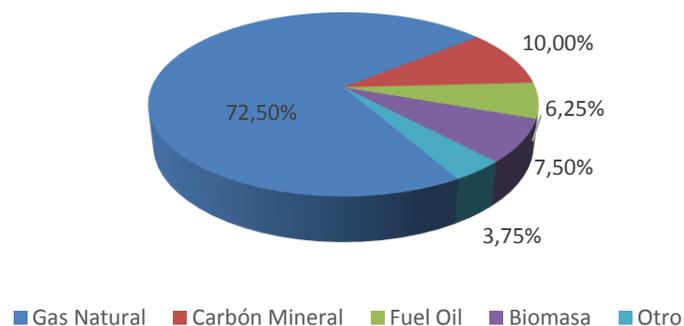


Figura 24. Distribución de fuentes por tipo de combustible. Fuente. El autor.

Se puede afirmar entonces que la mayoría de las fuentes identificadas utilizan como combustible el gas natural, con un 72,5%, seguidas por apenas un 10% de fuentes que emplean carbón y un 17,5% de fuentes que usan otros tipos de combustible como biomasa o combustibles líquidos.

7.2 Cálculo de Emisiones Atmosféricas

Del total de 62 empresas identificadas, solo 34 de ellas contaban con información completa de monitoreos isocinéticos de 41 fuentes, para estimar la emisión de los equipos o procesos que generan emisiones atmosféricas a través del método de factores de emisión. Los resultados de estos cálculos se observan en la Tabla 8.

Tabla 8. Emisiones totales de contaminantes criterio.

Contaminante	Emisión (Ton/año)
CO	79
NO _x	73
SO _x	120
VOC	14
PM	70

Como se observa en la Tabla 8 el contaminante criterio con mayor emisión anual corresponde a los óxidos de azufre, lo que se puede adjudicar a un alto contenido de este elemento en los combustibles que son utilizados a lo largo del área metropolitana, seguido de este se encuentra el monóxido de carbono con 79 Ton/año, cuya principal fuente es la combustión incompleta de combustibles fósiles y finalmente se encuentran los óxidos de Nitrógeno y el material particulado con 73 y 70 toneladas anuales producidas.

Al comparar estos resultados con los obtenidos en estudios realizados en otras grandes urbes del país como Bogotá o el Área Metropolitana del Valle de Aburrá (AMVA) en Antioquia, es posible afirmar que el caso del Área Metropolitana de Bucaramanga es poco alarmante, ya que observando la Tabla 9, las emisiones de contaminantes criterio, provenientes de fuentes fijas, en Bogotá y el AMVA son notablemente superiores a las calculadas para este estudio.

Tabla 9. Emisiones totales de contaminantes criterio en Bogotá y el AMVA.

Contaminante	Emisión (Ton/año) Bogotá	Emisión (Ton/año) AMVA
CO	600	3233
NO _x	2500	2992
SO _x	2100	3089
VOC	-	1768
PM	1300	2353

Fuentes. Pachón, J. E. (2013). AMVA-UPB (2017)

7.2.1 Porcentaje de Emisiones por Sector Industrial

Se realizó una distribución porcentual de las emisiones de contaminantes criterio de cada sector industrial como se observa en la Figura 25.

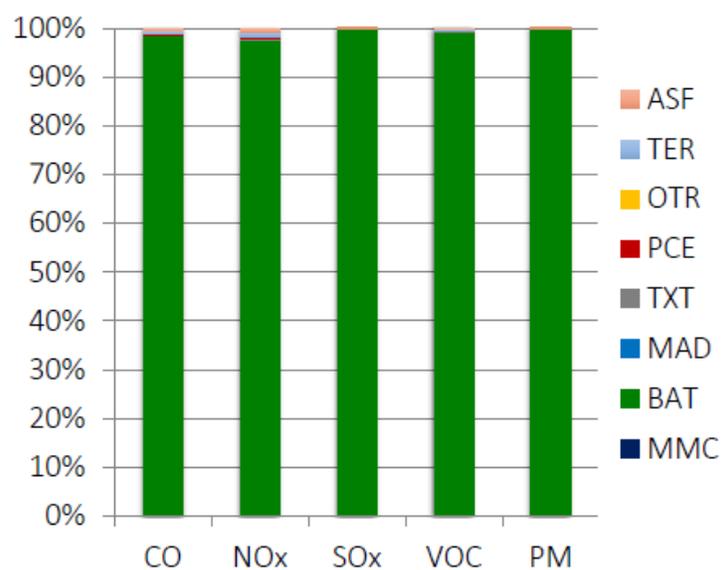


Figura 25. Porcentaje de emisiones por sector industrial.

Se puede decir entonces que el sector de bebidas y alimentos además de ser el más representativo en el AMB, en cuanto a número de fuentes y empresas, es también el que mayor aporte de contaminantes criterio tiene, con casi la totalidad de los 5 contaminantes calculados. Por el otro lado el 47% de empresas restantes, correspondientes a los demás sectores industriales tienen un aporte prácticamente imperceptible a la emisión de contaminantes criterio.

7.2.2 Porcentaje de Emisiones por Tipo de Combustible

También se realizó la distribución porcentual de emisiones de contaminantes criterio según el tipo de combustible, obteniéndose como resultado lo observado en la Figura 26.

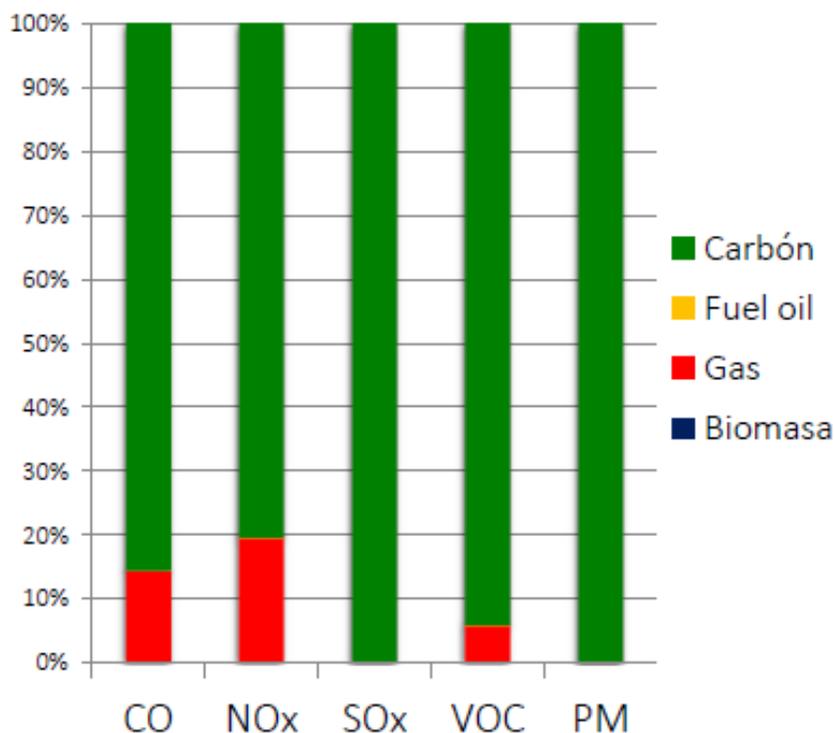


Figura 26. Porcentaje de emisiones por tipo de combustible.

Observando la Figura 26 es claro que el mayor aporte de emisiones atmosféricas de contaminantes criterio proviene del uso del carbón como combustible pues este es responsable de casi el 100% de la emisión de SO_x y de material particulado, así como del 80% de las emisiones de NO_x y más del 75% de las emisiones de monóxido de Carbono.

Solamente una fracción de menos del 15% de CO y cerca del 20% de las emisiones de NO_x son generadas por fuentes que utilizan gas natural como combustible, por lo tanto si se quiere hacer gestión sobre la mayoría de las emisiones de contaminantes criterio es necesario buscar medidas de control y vigilancia sobre las fuentes que emplean carbón.

7.3 Modelización de la Dispersión de Contaminantes Criterio

Para el Área Metropolitana de Bucaramanga se realizó la modelización de la dispersión de contaminantes criterio, para los municipios de Girón, Floridablanca y Bucaramanga. En los tres sectores donde se recolectó información de fuentes fijas, los contaminantes atmosféricos analizados fueron material particulado (PM), óxidos de Nitrógeno (NO_x) y dióxido de Azufre (SO₂).

En las Figuras 27, 28, y 29 se muestran los mapas de dispersión de cada contaminante evaluado, observándose una serie de isopletas a diferentes concentraciones, contrastando con la normatividad vigente (Resolución 610 de 2010 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible para la calidad del aire) la concentración máxima permisible para cada contaminante.

Como se observa en la Figura 27 para el material particulado siendo la concentración máxima anual permisible de $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$, la concentración máxima anual arrojada por el modelo fue de $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, extendiéndose la pluma principalmente por todo el valle de Girón, logrando las concentraciones más altas al norte, mientras que la dispersión a lo largo del casco urbano del municipio fue inferior a una concentración de $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$, estas bajas concentraciones también se lograron percibir hacia el sur del municipio de Floridablanca.

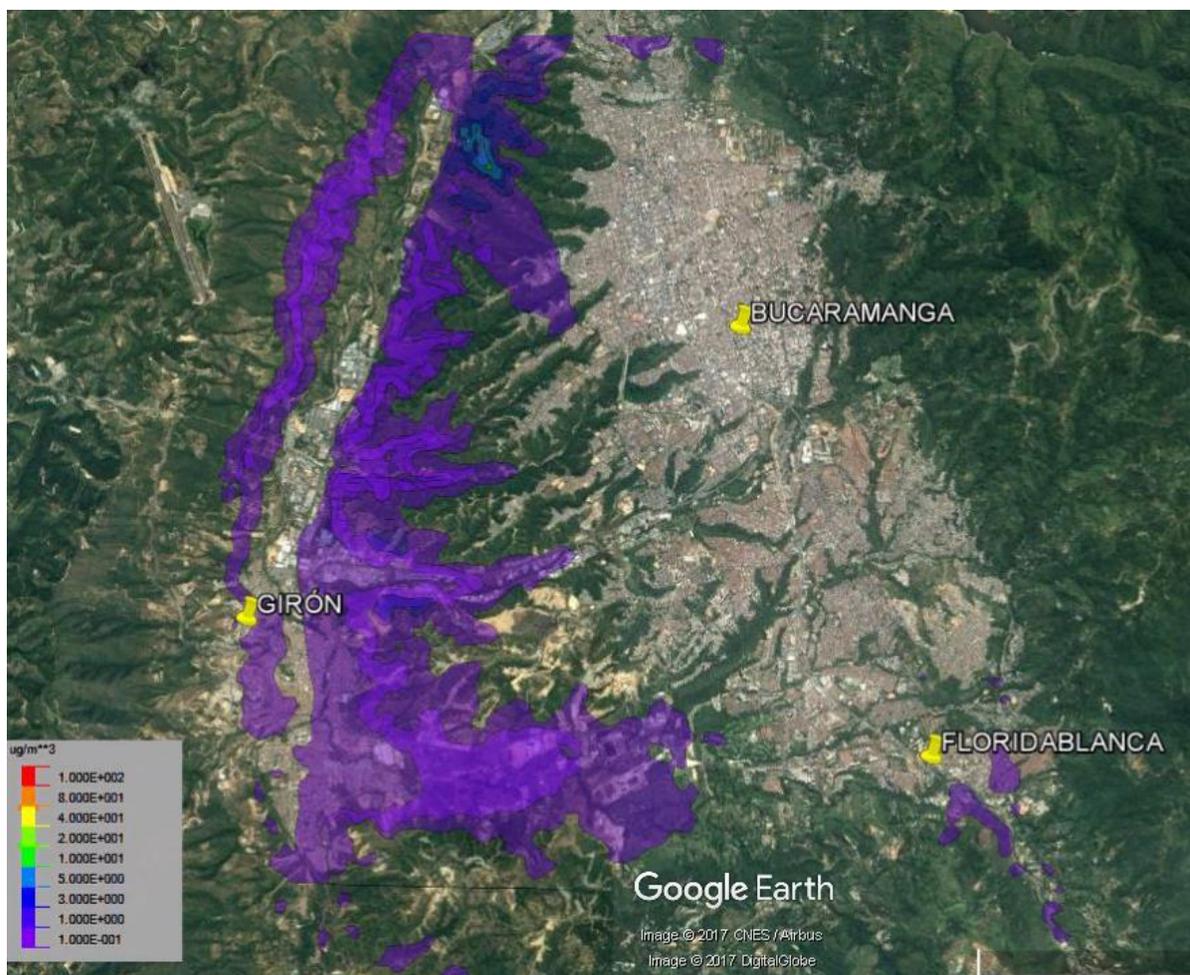


Figura 27. Dispersión de material particulado para el Área Metropolitana de Bucaramanga.

En el caso de los óxidos de nitrógeno, en la Figura 28, no se presenta una dispersión considerable, observándose únicamente dos focos pequeños, uno al norte de Girón y otro en Floridablanca, estos dos focos con concentraciones inferiores a $0.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

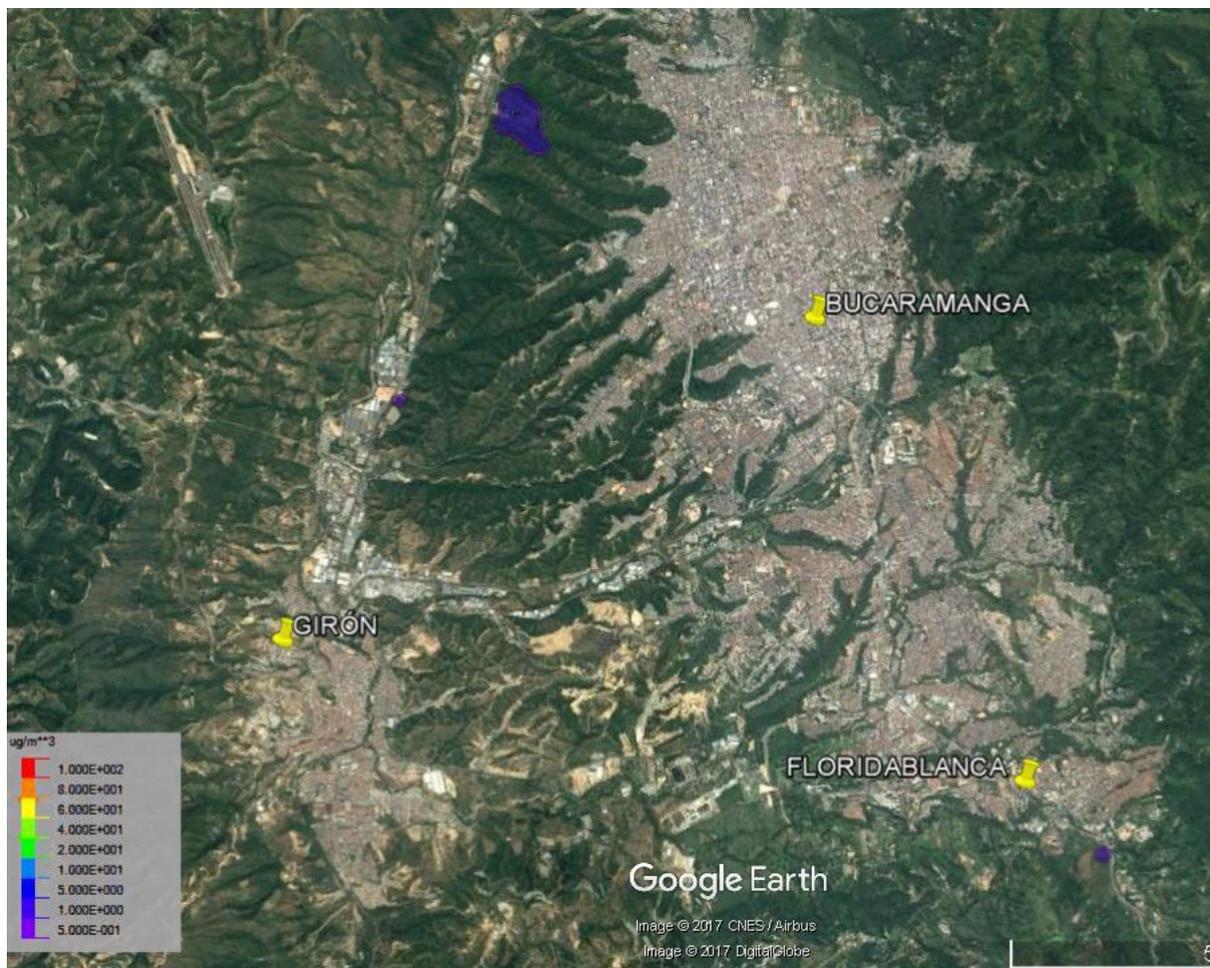


Figura 28. Dispersión de óxidos de Nitrógeno para el Área Metropolitana de Bucaramanga. Para el dióxido de azufre, solo se observaron isoplethas distribuidas en el municipio de Girón, al este de su casco urbano y al norte, de igual manera la concentración máxima anual arrojada por el modelo fue de $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, esto se observa en la Figura 29.

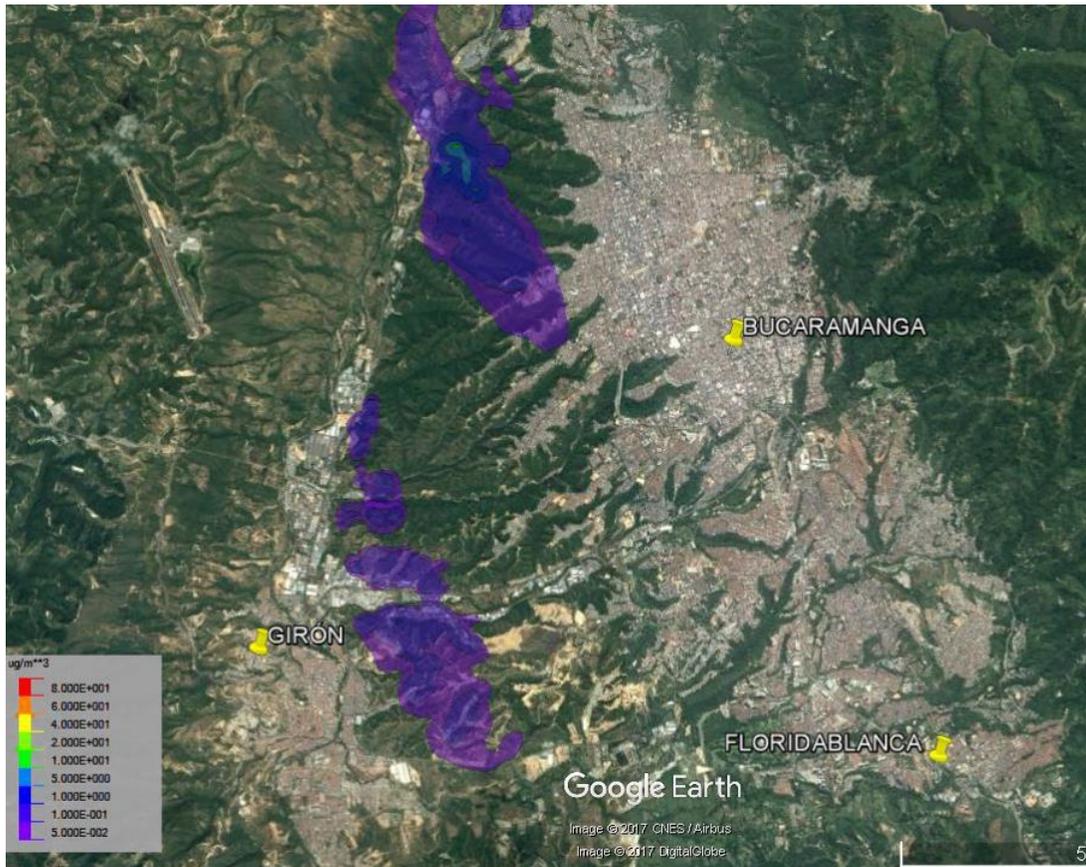


Figura 29. Dispersión de dióxido de Azufre para el Área Metropolitana de Bucaramanga.

La dispersión de contaminantes criterio en el Área Metropolitana de Bucaramanga, se analizó mediante el modelo AERMOD® y se obtuvo que ninguno de los contaminantes evaluados (MP, NO_x y SO₂) excedió una concentración de 5 µg/m³.

También hay que mencionar que no se obtuvieron isopletras para el municipio de Bucaramanga debido a que no se tiene suficiente información para la estimación de los factores de emisión correspondientes a las fuentes fijas de las empresas asentadas.

Capítulo 8

Conclusiones

- Se logró completar el censo de industrias identificadas como generadoras de emisiones atmosféricas en el Área Metropolitana de Bucaramanga, observándose un notable predominio de empresas asentadas en Bucaramanga con un 66% del total, seguido por el 26% ubicadas en Girón y el 8% restante en Floridablanca.
- Se concluyó, a través de la cuantificación de los contaminantes criterio emitidos en el AMB, que los óxidos de azufre son los que más se generan de las actividades industriales, con 120 toneladas anuales, esto debido al alto contenido de azufre en los combustibles utilizados.
- También se determinó que con el fin de lograr una reducción considerable en la emisión de contaminantes criterio, es necesario enfocarse en el control y vigilancia de las industrias del sector de bebidas y alimentos, así como todas aquellas empresas que utilizan carbón como combustible, ya que estas son las responsables de casi la totalidad de las emisiones en el AMB.
- Se consiguió desarrollar el aplicativo MODEAM, como base de datos del proyecto con la información correspondiente a las empresas que se encuentran en la jurisdicción del AMB, así como las actividades que desempeñan y las emisiones generadas de dichas actividades, este aplicativo es una herramienta fundamental en la gestión de la calidad del aire de la región ya que es posible actualizarla a medida que se tenga nueva información.

- Se determinó que a pesar de los niveles de contaminación que se presentan en la región estos son muy bajos si se comparan con los resultados obtenidos en otras áreas del país, como Bogotá y el Área Metropolitana del Valle de Aburrá, por lo tanto no se requiere de un plan de descontaminación, pero sí un plan de gestión para evitar problemas mayores en el futuro.
- Finalmente mediante la modelización de la dispersión de contaminantes criterio se concluyó que la zona de mayor impacto de las emisiones atmosféricas generadas por fuentes fijas en el AMB, es la región del valle de Girón, atravesada por la vía conocida como Palenque - Café Madrid.

Capítulo 9

Recomendaciones

- Es importante para una futura actualización de este inventario de emisiones, completar la información de las empresas que ya se tienen identificadas, para que estas puedan ser incluidas en el cálculo de las emisiones y entonces obtener estimaciones más acertadas sobre la calidad del aire del AMB.
- Es indispensable el apoyo conjunto de las autoridades ambientales competentes de la región, como son la Corporación para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga y el Área Metropolitana de Bucaramanga, en el desarrollo de proyectos como este que si son llevados a término satisfactoriamente traerán consigo beneficios en la calidad del aire de la zona, algo que nos afecta a todos sin tener en cuenta límites de jurisdicción.
- Con base en los resultados obtenidos se recomienda al Área Metropolitana de Bucaramanga, fortalecer sus herramientas de seguimiento, gestión y control de la calidad del aire, con el fin de evitar que esta continúe empeorando hasta niveles más alarmantes.

Lista de Referencias

Área Metropolitana de Bucaramanga. (2017). Información General: Misión. Bucaramanga.

Tomado de: <http://www.amb.gov.co/>

Área Metropolitana del Valle de Aburrá - Universidad Pontificia Bolivariana. (2015).

Inventario de Emisiones Atmosféricas del Valle de Aburrá, año base 2013. Convenio 315 de 2014. Medellín.

Área Metropolitana del Valle de Aburrá - Universidad Pontificia Bolivariana. (2017).

Inventario de Emisiones Atmosféricas del Valle de Aburrá, Actualización 2015. Convenio 335 de 2016. Medellín.

Congreso de Colombia. (1993). Ley 99 de 1993. Tomado de:

<http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=297>

Jorge E. Pachón, Ph.D. Universidad de La Salle, Colombia. (2013). Revisión de

Metodologías Usadas para la Elaboración de Inventarios de Emisiones Atmosféricas en Colombia, Caso de Estudio Bogotá. Bogotá.

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010). Resolución 610 de

2010. Tomado de:

<http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/bf->

[Resoluci%C3%B3n%20610%20de%202010%20-%20Calidad%20del%20Aire.pdf](http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/bf-Resoluci%C3%B3n%20610%20de%202010%20-%20Calidad%20del%20Aire.pdf)

Sbarato, D. et. al. Emisiones de Contaminantes en el Aeropuerto Internacional Córdoba, Argentina. Tomado de: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/unc/paper23/teoria1.pdf>

U.S Environmental Protection Agency. (1995). *AP 42, Fifth Edition. Compilation of Air Pollutant Emission Factors, Volume 1: Stationary Point and Area Sources*. North Carolina.

Anexo 1**Registro Fotográfico de Visitas Realizadas**

- Harinagro S.A.: 17 de Agosto.



Figura 30. Fotografía 1 de la planta de Harinagro S.A. Tomada por: Leandro López.



Figura 31. Fotografía 2 de la planta de Harinagro S.A. Tomada por: Leandro López.

- Gavassa y Cia Ltda: 25 de Septiembre.



Figura 35. Fotografía de la caldera de la planta de Gavassa y Cia Ltda. Tomada por: Leandro López.

- Balsa de Colombia Ltda (Balco): 26 de Septiembre.



Figura 36. Fotografía del recorrido por la planta de Balco Ltda. Tomada por: Laura Joya.

- Sandesol S.A. E.S.P.: 28 de Septiembre.



Figura 37. Fotografía de las chimeneas en la planta de Sandesol S.A. E.S.P. Tomada por: Daniela Camacho.

- Metrollantas: 3 de Octubre.



Figura 38. Fotografía de las autoclaves en la planta de Metrollantas. Tomada por: Daniela Camacho.

- Tostadora de Café Bon-Ami Ltda: 27 de Octubre.



Figura 39. Visita a la planta de Tostadora de Café Bon-Ami Ltda. Tomada por: Daniela Camacho.

- Lubryesp Ltda: 27 de Octubre.



Figura 40. Recorrido por la planta de Lubryesp Ltda. Tomada por: Leandro López.

- Icopores y Aligeramientos de Colombia: 27 de Octubre.



Figura 41. Fotografía 1 de la visita a la planta de Icopores de Colombia.

Tomada por: Leandro López.



Figura 42. Fotografía 2 de la visita a la planta de Icopores de Colombia.

Tomada por: Leandro López.

Anexo 2

Registro de Solicitud de Información a Empresas Vía Correo Electrónico

- Salsamentaria de Santander Ltda (Salsan): Solicitud de información.

Enviado: 19 de Septiembre. Estado: información recibida el 13 de Octubre.

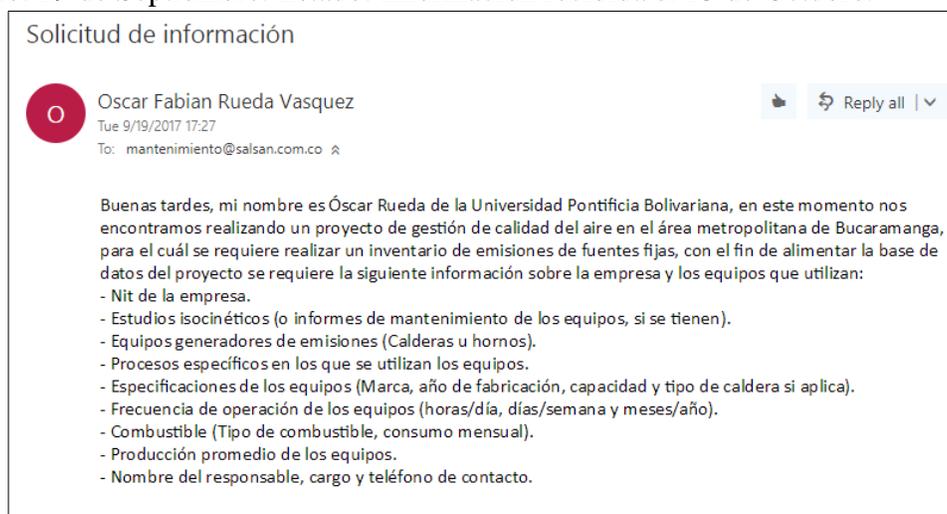


Figura 43. Pantallazo de solicitud de información a Salsan Ltda. Fuente. El autor.

- Industrias Alimenticias Ornelo S.A.S: Solicitud de información.

Enviado: 11 de Octubre. Estado: información recibida el 20 de Noviembre.

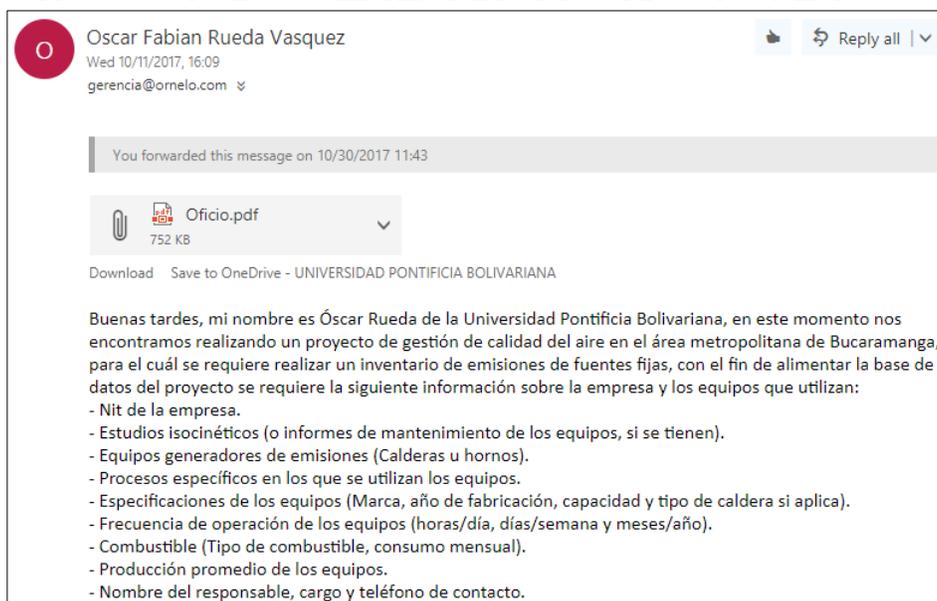


Figura 44. Pantallazo de solicitud de información a Ornelo S.A.S. Fuente. El autor.