



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

**INVENTARIO DE EMISIONES A LA ATMÓSFERA POR FUENTES FIJAS
PARA EL MUNICIPIO DE YUMBO – AÑO BASE 2021**

CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 036 DE 2021 CVC-UNAL

**INVENTARIO DE EMISIONES A LA ATMÓSFERA
POR FUENTES FIJAS PARA EL MUNICIPIO DE
YUMBO – AÑO BASE 2021**

INFORME FINAL

**RESULTADO 1 “RESIDUOS Y EMISIONES
CARACTERIZADOS Y EVALUADOS”**

**PROYECTO 4001 “CARACTERIZACIÓN DE LA
CALIDAD DEL AIRE Y RESIDUOS, Y
FORMULACIÓN DE ALTERNATIVAS DE
PROMOCIÓN PARA SU GESTIÓN AMBIENTAL”**

**CONVENIO INTERADMINISTRATIVO CVC No. 036
DE 2021 CELEBRADO ENTRE LA CORPORACIÓN
AUTÓNOMA REGIONAL DEL VALLE DEL CAUCA -
CVC- Y LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE
COLOMBIA**

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

AGOSTO DE 2022

EQUIPO DE TRABAJO UNAL

Germán Rueda Saa
Director del Proyecto

Rodrigo Jiménez Pizarro
Director Científico

Néstor Yezid Rojas
Asesor Inventario de Emisiones

Sonia C. Mangones M
Asesora de movilidad y tráfico vehicular

Liseth González Delgado
Coordinadora General

PROFESIONALES

Andrés Ardila Ardila
Ingeniero Ambiental

Ángela C Vargas Burbano
Ingeniera ambiental

David Fernando García
Ingeniero Químico

Diego Andrés Arias Arana
Físico

Jennifer Marín Ospina
Ingeniera ambiental

Luis David López Buitrago
Ingeniero civil

Pablo Gutiérrez Espada
Ingeniero ambiental

EQUIPO DE TRABAJO CVC

COMITÉ TÉCNICO:

Nubia Madeleine Bastidas Bonilla
Supervisora

Marleni Marín Ocampo
DAR Suroccidente

Alexander Barona Serrano
Profesional DGA

Sigifredo Salgado Echeverri
Ingeniero Agrónomo
Profesional especializado, DGA

PROFESIONALES DE APOYO:

Carlos Fernando De Jesús Murillo
Profesional Contratista, DTA

Ever Alonso Ríos Sosa
Ingeniero Sanitario
Profesional Contratista, DAR Suroccidente

CONTENIDO

RESUMEN EJECUTIVO	10
INTRODUCCIÓN.....	12
OBJETIVO GENERAL.....	13
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	13
1 ASPECTOS GENERALES	14
1.1 Área de estudio.....	14
2. METODOLOGÍA PARA LA ELABORACIÓN DEL INVENTARIO DE EMISIONES POR FUENTES FIJAS	15
2.1 Recopilación de información secundaria.....	16
2.2 Revisión, análisis y depuración de información.	17
2.3 Construcción de la base de datos.....	17
2.4 Diseño y ejecución del empadronamiento.....	17
2.5 Revisión y selección de factores de emisión	18
2.6 Consolidación del inventario de emisiones por fuentes fijas	19
3. FUENTES FIJAS PRIORIZADAS EN EL INVENTARIO	20
3.1 Fuentes fijas industriales con expedientes CVC.....	20
3.2 Fuentes fijas industriales RUA manufacturero.	21
3.3 Potenciales emisores, Cámara de Comercio.....	22
3.4 Pequeños establecimientos y estaciones de servicio.....	22
4. CONSOLIDACIÓN DE LA INFORMACIÓN DEL INVENTARIO	24
4.1 Revisión y validación de información de muestreos isocinéticos	24
4.1.1. Verificación del tipo y unidades de consumo reportadas.....	25
4.1.2. Determinación de la composición elemental del combustible y estimación de gases de combustión por estequiometría.....	26
4.1.3. Cálculo de flujo volumétrico a condiciones de referencia.	28
4.1.4. Correcciones por temperatura y presión de salida de los gases.	28
4.1.5. Determinación de factores de emisión por combustión, poder comburívoro y poder fumígeno de los combustibles utilizados en Yumbo.	28
4.1.5.1. Poder comburívoro	30
4.1.5.2. Poder fumígeno.....	31
4.1.5.3. Factor de emisión de productos de combustión (CO ₂ , H ₂ O y SO ₂).....	32
4.2 Diseño del plan de empadronamiento.....	32
4.2.1 Sector industrial.....	34
4.2.2 Pequeños establecimientos	36
4.2.3 Estaciones de servicio - EDS.....	37

4.3	Desarrollo del empadronamiento	38
4.3.1	Sector industrial.....	38
4.3.2	Pequeños establecimientos comerciales.....	43
4.3.3	Estaciones de servicio de combustible.....	43
4.4	Diseño y estructuración de la base de datos del inventario	44
5.	ESTIMACIÓN DE EMISIONES POR FUENTES FIJAS	47
5.1	Cálculo de las emisiones	47
5.1.1	Factores de emisión	49
5.2	Estimación de emisiones del sector industrial	61
5.3	Estimación de emisiones de pequeños establecimientos	63
5.4	Estimación de emisiones de estaciones de servicio de combustibles - EDS	64
6.	INVENTARIO DE EMISIONES POR FUENTES FIJAS EN EL MUNICIPIO DE YUMBO 65	
6.1	Emisiones por tipo de industria	65
6.2	Emisiones por zonas geográficas	71
6.2.1	Emisiones Zona Urbana.....	74
6.2.2	Emisiones Zona Rural - Industrial.....	75
6.3	Emisiones por tipo de combustible	76
6.4	Emisiones pequeños establecimientos (asaderos y panaderías)	81
6.5	Emisiones estaciones de servicio (COVs)	84
6.6	Consolidación del inventario de emisiones por fuentes fijas	84
7.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	86
	BIBLIOGRAFÍA.....	88
	ANEXOS.....	90

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Número de empresas y fuentes de emisión en Yumbo.....	20
Tabla 2. Reacciones de combustión elementales.....	26
Tabla 3. Gases de combustión por 1 Kg de combustible.....	29
Tabla 4. Volumen de gases de combustión por 1 Kg de combustible.....	29
Tabla 5. Factores de Emisión de Volumen aire consumido por Unidad de combustible (Poder comburivoro).....	30
Tabla 6. Factores de emisión de gases de combustión generados por unidad de combustible (Poder fumígeno).....	31
Tabla 7. Factores de emisión de productos de combustión.....	32
Tabla 8. Campos de información incorporados al formato de empadronamiento. ...	35
Tabla 9. Campos de información que fueron incluidos en el formato de recolección de información de los pequeños establecimientos.....	36
Tabla 10. Campos de información que fueron incluidos en el formato de recolección de información de las EDS.....	37
Tabla 11. Consolidado de industrias del inventario.....	40
Tabla 12. Campos de información incluidos en la base de datos de fuentes fijas. ...	44
Tabla 13. Factores de emisión del AP-42 utilizados para la estimación de emisiones contaminantes del sector industrial.....	50
Tabla 14. Factores de emisión para la estimación de emisiones contaminantes de los pequeños establecimientos.....	60
Tabla 15. Factores de emisión para estimar emisiones fugitivas de COV en las EDS.....	60
Tabla 16. Ecuaciones establecidas para corrección de emisiones por fuentes estacionarias puntuales a condiciones de referencia y locales.....	61
Tabla 17. Emisiones (ton/año) de contaminantes atmosféricos por sector industrial del municipio de Yumbo.....	66
Tabla 18. Número de empresas y fuentes por zona.....	71
Tabla 19. Emisiones (ton/año) de contaminantes atmosféricos por sector industrial del municipio de Yumbo.....	72
Tabla 20. Consumos máxicos y energéticos de combustibles en Yumbo.....	81
Tabla 21. Consumos máxicos y energéticos de combustibles en Yumbo.....	81
Tabla 22. Emisiones anuales en pequeños establecimientos.....	82
Tabla 23. Emisiones (ton/año) de COV por estaciones de servicio de combustible en el municipio de Yumbo.....	84
Tabla 24. Emisiones atmosféricas totales de fuentes fijas en el municipio de Yumbo (ton/año).....	85

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localización del municipio de Yumbo, Valle del Cauca.....	14
Figura 2. Esquema general para la estimación del IEA por fuentes fijas - año base 2021.....	16
Figura 3. Priorización de fuentes a través de Software GIS.....	21
Figura 4. Procedimiento para el tratamiento de datos de Cámara y Comercio.....	22
Figura 5. Esquema general de proceso de combustión.....	24
Figura 6. Esquema metodológico para la estimación de emisiones atmosféricas con base en el consumo de combustible.	25
Figura 7. Volumen de gases de combustión generados por Kg de Combustible.....	30
Figura 8. Fases para la ejecución del empadronamiento.....	34
Figura 9. Procedimiento realizado para el empadronamiento del sector industrial. .	38
Figura 10. Localización de las industrias del municipio de Yumbo.....	41
Figura 11. Distribución de sectores industriales en Yumbo.....	42
Figura 12. Distribución de los equipos empleados en las industrias evaluadas en Yumbo.....	43
Figura 13. Metodología de cálculo de emisiones totales anuales para fuentes fijas.	48
Figura 14. Metodología de cálculo para estimar emisiones por factores de emisión en el sector industrial.....	63
Figura 15. Emisiones anuales por sector industrial (ton/año).....	69
Figura 16. Aporte porcentual de contaminantes atmosféricos por sector industrial en el municipio de Yumbo.....	70
Figura 17. Aporte porcentual de contaminantes atmosféricos en la zona Urbana del municipio de Yumbo.....	74
Figura 18. Aporte porcentual de contaminantes atmosféricos en la zona Rural-Industrial del municipio de Yumbo.	76
Figura 19. Distribución de las fuentes de emisión según su uso de combustible en el municipio de Yumbo.....	76
Figura 20. Distribución de los tipos de combustibles utilizados por las fuentes evaluadas.....	77
Figura 21. Distribución porcentual de las emisiones totales en función del tipo de combustible empleado - Yumbo.....	79
Figura 22. Distribución del combustible utilizado según el tipo de fuente de emisión – Yumbo.....	80
Figura 23. Distribución de consumo energético de Yumbo [TJ/Año].....	80
Figura 24. Emisiones anuales obtenidas por contaminante en pequeños establecimientos.	83

SIGLAS

COV	Compuestos Orgánicos Volátiles
COVNM	Compuestos Orgánicos Volátiles No Metánicos
DAR	Dirección Ambiental Regional
DTA	Dirección Técnica Ambiental
EDS	Estaciones De Servicio
EEA	Estándar De Emisión Admisible
EPA	Environmental Protection Agency
IEA	Inventario De Emisiones Atmosféricas
MADS	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible
RUA	Registro Único Ambiental
PST	Partículas Suspendidas Totales
UCA	Unidades de Contaminación Atmosférica

RESUMEN EJECUTIVO

El presente informe contiene la descripción y análisis de resultados para el municipio de Yumbo, de acuerdo con los alcances establecidos en la vigencia 2022 de la Actividad 016 “Inventario de emisiones a la atmósfera (fuentes fijas y móviles)”, asociada al Proyecto 4001 “Caracterización de la calidad del aire y residuos, y formulación de alternativas de promoción para su gestión ambiental”, Resultado 1 “Residuos y emisiones caracterizados y evaluados” en el marco del Convenio Interadministrativo 036 de 2021 CVC-UNAL.

En el capítulo 1 se describen algunos aspectos generales del área de estudio. En el capítulo 2, se presenta la metodología necesaria para la elaboración del inventario de emisiones por fuentes fijas, incluye la recolección de información secundaria en industrias generadoras de emisiones en el municipio de Yumbo, el diseño de la base de datos para el inventario de fuentes fijas, la gestión y consolidación de la base de datos de emisiones por fuentes fijas, así como la revisión, análisis y depuración de información de expedientes ambientales, conceptos técnicos y otros documentos necesarios para desarrollar el inventario de emisiones.

Con la información disponible de fuentes fijas en el Municipio de Yumbo, en el capítulo 4 se detalla el proceso de consolidación, revisión y validación de información asociada a los muestreos isocinéticos. En el capítulo 5 se presentan los resultados del cálculo de las emisiones por sector industrial, pequeños establecimientos como asaderos y panaderías y estaciones de servicio (EDS). Así mismo, en el capítulo 6 se describen los resultados obtenidos de acuerdo con los sectores productivos, las zonas geográficas estudiadas y el uso de combustibles.

La metodología para la determinación de los contaminantes que llegan a la atmósfera proveniente de fuentes fijas de emisión se realizó bajo el enfoque Bottom-up (de abajo hacia arriba) en dos etapas. La primera etapa utilizó la información de muestreos isocinéticos en industrias que son objeto de seguimiento y control por parte de la CVC y que cuentan con expedientes ambientales (periodo 2016 – 2021, teniendo en cuenta el sistema de clasificación empresarial por el impacto sobre el componente atmosférico, UCA), se complementó con información disponible en el Registro Único Ambiental Manufacturero (RUA) y Cámara de Comercio. En el análisis se incluyeron las emisiones generadas por pequeños establecimientos (asaderos y panaderías) y EDS. En la segunda etapa, se consolidó el inventario de emisiones a partir de los datos de mediciones directas (validación de isocinéticos) y la estimación de las emisiones utilizando los factores de emisión de la EPA AP-42, la Agencia Ambiental Europea (EEA) y fuentes de información adicionales, esto para aquellas fuentes de emisión de las cuales no se dispone de estudios de emisiones.

Para el estudio se definieron los siguientes grupos de gases de emisiones atmosféricas: contaminantes criterio (CO , NO_x , SO_2 , TSP), compuestos orgánicos volátiles (COV), gases de efecto invernadero - GEI (CO_2 , CH_4 y N_2O) y metales. Estos contaminantes están incluidos en la Resolución 909 de 2008 (MADS), que establece los estándares de emisión admisibles (EEA) por contaminante según el tipo de actividad industrial.

Las actividades desarrolladas en el presente inventario permitieron registrar un total de 330 fuentes fijas puntuales pertenecientes a 95 industrias; 28 pequeños establecimientos (17 panaderías y 11 asaderos), 19 estaciones de servicio – EDS; estos últimos catalogados como fuentes difusas.

Las estimaciones realizadas en el inventario de emisiones por fuentes fijas en el Municipio de Yumbo permitieron establecer las cargas totales de emisiones a la atmosfera, en su orden de magnitud son: Dióxido de carbono (CO_2 : 2,031,378.11 ton/año), Dióxido de Azufre (SO_2 : 5,312.76 ton/año), Monóxido de Carbono (CO : 4,197.67 ton/año), Óxidos de Nitrógeno (NO_x : 3,766.77 ton/año), Material Particulado (PM: 502.82 ton/año), Material Particulado menor a 10 micras (PM_{10} : 296.83 ton/año), Material Particulado menor a 2.5 micras ($\text{PM}_{2.5}$: 214.74 ton/año), Compuestos Orgánicos Volátiles (COV: 334.67 ton/año), Óxido Nitroso (N_2O : 370.03 ton/año), Metano (CH_4 : 22.11 ton/año) y Metales (0,83 ton/año).

INTRODUCCIÓN

A nivel mundial la contaminación del aire representa uno de los mayores riesgos para la salud humana, de acuerdo con el informe “State of Global Air/2019”, fue la quinta causa de mortalidad en el año 2017 con 4,9 millones muertes, siendo el material particulado fino (PM_{2.5}), el contaminante criterio que causó mayores pérdidas de vida con 2.9 millones. Los principales efectos negativos en la salud de las personas están relacionados con la disminución de la función pulmonar y afectación del sistema cardiovascular y los más afectados son los receptores sensibles (niños y adultos mayores) que han estado expuestos por periodos prolongados a concentraciones que exceden los límites máximos permisibles en el aire, con periodos prolongados de exposición (HEI – IHME, 2019).

La Organización Mundial de la Salud – OMS con el fin de reducir a nivel mundial los efectos en la salud humana por la exposición a respirar material particulado, estableció como directriz de calidad del aire el valor de 10 µg/m³ como el nivel máximo de PM_{2.5} con el cual se ha demostrado (95% de confianza) una gran disminución de la mortalidad total, específicamente el cáncer de pulmón y afectación cardiopulmonar (OMS, 2005), sin embargo, en el año 2017 a nivel mundial, el 95% de la población vive en ciudades con concentraciones de PM_{2.5} mayores a este nivel (HEI – IHME, 2019).

En el año 2017, en el marco de la Política de Prevención y Control de la Contaminación del Aire en Colombia, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, presentó la “*Guía para la Elaboración de Inventarios de Emisiones Atmosféricas*”, como un documento de referencia que incluye los criterios técnicos para determinar las emisiones asociadas a diferentes tipos de fuentes en un área geográfica y en un intervalo de tiempo. El resultado del inventario de emisiones atmosféricas (IEA) constituye un conjunto de datos que caracterizan las emisiones y consolidan la sumatoria de los contaminantes (ton/año) de acuerdo con el tipo de fuente.

En el Valle del Cauca, la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca – CVC además de realizar el monitoreo de la calidad del aire en áreas priorizadas industriales y urbanas de algunos municipios a través de su Sistema de Vigilancia de Calidad del Aire (SVCA), en su Plan de Acción de la CVC 2020-2023, priorizó la elaboración de un inventario detallado de las emisiones contaminantes al aire en el municipio de Yumbo. El desarrollo de estos inventarios además de contribuir con la Gestión de la Calidad del Aire en el departamento, se constituyen en una herramienta técnica que permitirá la definición de estrategias de reducción de las emisiones contaminantes.

En este sentido, esa priorización se dio mediante el Convenio Interadministrativo 036 de 2021 entre la CVC y la Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira, cuyo objeto contractual es “aunar esfuerzos técnicos, y recursos económicos para contribuir a la gestión y planificación del recurso aire en el Departamento del Valle del Cauca, orientado a la prevención, reducción y control de la contaminación del aire en centros poblados ubicados en el área de jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca - CVC”.

El presente documento contiene el Inventario de Emisiones a la Atmósfera por Fuentes Fijas para el Municipio de Yumbo – Año Base 2021, en el que se incluyen los resultados de las emisiones calculadas para las fuentes fijas ubicadas en la zona urbana y zona rural del municipio de Yumbo. Las fuentes fijas incluidas en el inventario fueron el resultado de la revisión rigurosa de información disponible en informes de muestreos isocinéticos de

chimeneas (2016-2021), industrias incluidas en el RUA manufacturero e industrias generadoras de emisiones y registradas en Cámara de Comercio. De igual forma, se programaron y realizaron jornadas de empadronamiento en industrias con el fin de consolidar el inventario de fuentes fijas y estimar las emisiones para los contaminantes incluidos en el inventario.

El desarrollo de la Actividad 016 para la vigencia 2022 se enmarca en los siguientes objetivos:

OBJETIVO GENERAL

Elaborar el inventario de emisiones a la atmósfera por fuentes fijas para el Municipio de Yumbo – Año base 2021, incluye contaminantes criterio y gases de efecto invernadero (GEI)

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Elaborar el inventario de emisiones por fuentes fijas en el municipio de Yumbo, incluyendo el área urbana y rural.
- Estimar las emisiones al aire de contaminantes para los diferentes procesos industriales en el municipio de Yumbo, incluye pequeños establecimientos y Estaciones de Servicio (EDS).

A continuación, se describe brevemente el alcance del presente inventario de emisiones por fuentes fijas:

FICHA TÉCNICA DEL INVENTARIO DE EMISIONES POR FUENTES FIJAS

COMPONENTE	DESCRIPCIÓN
PROPÓSITO	Inventario general de emisiones atmosféricas por fuentes fijas en el municipio de Yumbo
ALCANCE	Elaboración del inventario de emisiones por fuentes fijas
DOMINIO	Municipio de Yumbo – incluye el área urbana y rural.
AÑO BASE DEL INVENTARIO	2021
RESOLUCIÓN DEL INVENTARIO	Anual
COMPUESTOS EN EMISIONES ATMOSFERICAS	Contaminantes Criterio: <ul style="list-style-type: none"> • Material Particulado (MP) • Óxidos de azufre (SO₂) • Óxidos de Nitrógeno (NO₂) • Monóxido de Carbono (CO) • Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs) • Metales Gases de efecto Invernadero (GEI) <ul style="list-style-type: none"> • Dióxido de Carbono (CO₂) • Metano (CH₄) • Óxido nitroso (N₂O)

1 ASPECTOS GENERALES

1.1 Área de estudio

El municipio de Yumbo se encuentra localizado a los 3°34'50" de latitud Norte y a 76° 29'41" Longitud Oeste, al Suroccidente del Valle del Cauca a 1021 m.s.n.m., con una extensión de 230 Km² (**Figura 1**). Con una población de 128,616 habitantes, el municipio de Yumbo es considerado la capital industrial del Valle del Cauca, esto debido al gran crecimiento empresarial desde hace más de 50 años, donde se asentaron inicialmente industrias dedicadas a la fabricación de cemento, papel, cartón, metalúrgicas, entre otras. Yumbo tiene una temperatura promedio de 24°C y una precipitación anual de 972 mm, con un régimen bimodal de lluvias en los meses de marzo a mayo y septiembre - noviembre (CVC, 2010).

El territorio cuenta con la presencia de fuentes estacionarias puntuales cuya actividad económica se basa principalmente en actividades como la elaboración de alimentos y bebidas, pulpa y papel, fabricación de productos químicos y cemento, operaciones metalúrgicas, entre otros sectores industriales.

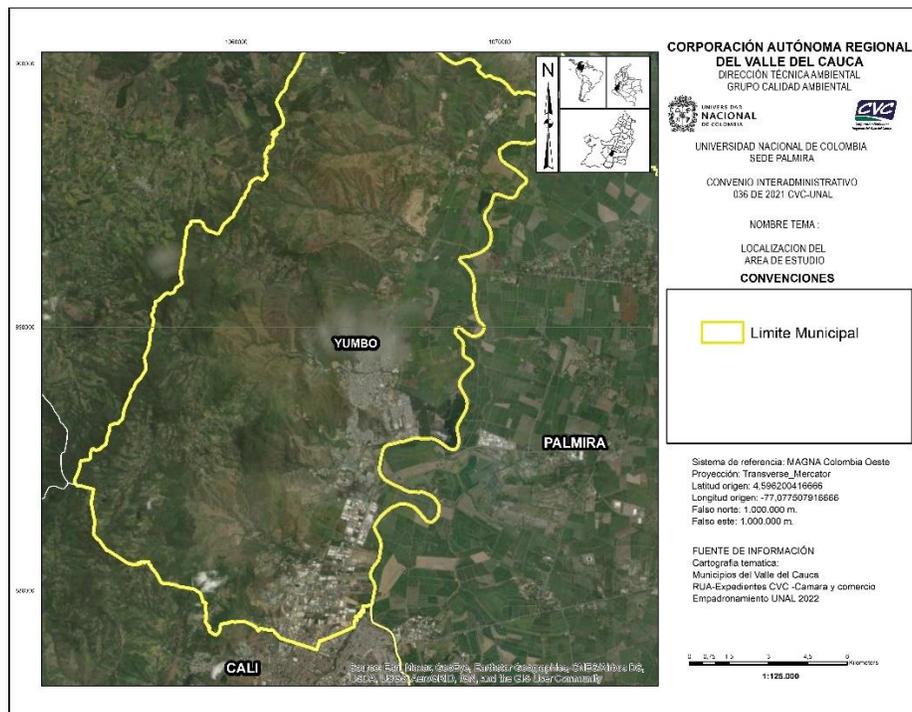


Figura 1. Localización del municipio de Yumbo, Valle del Cauca.

Fuente: Elaboración propia.

2. METODOLOGÍA PARA LA ELABORACIÓN DEL INVENTARIO DE EMISIONES POR FUENTES FIJAS

La determinación de los contaminantes que llegan a la atmósfera proveniente de fuentes fijas de emisión se realizó bajo el enfoque Bottom-up (de abajo hacia arriba) en dos etapas. La primera etapa utilizó la información de muestreos isocinéticos en industrias que son objeto de seguimiento y control por parte de la CVC y que cuentan con expedientes ambientales (periodo 2016 – 2021), y se complementó con información disponible en el Registro Único Ambiental Manufacturero (RUA) y Cámara de Comercio. En el análisis se incluyeron las emisiones generadas por pequeños establecimientos (asaderos y panaderías) y EDS. En la segunda etapa, se consolidó el inventario de emisiones a partir de los datos de mediciones directas (validación de isocinéticos) y la estimación de las emisiones utilizando los factores de emisión de la EPA AP-42, la Agencia Ambiental Europea (EEA) y fuentes de información adicionales, esto para aquellas fuentes de emisión de las cuales no se dispone de estudios de emisiones.

Para el estudio se definieron los siguientes grupos de compuestos de emisiones atmosféricas: contaminantes criterio (CO, NO_x, SO₂, PM), compuestos orgánicos volátiles (COV), gases de efecto invernadero - GEI (CO₂, CH₄ y N₂O) y metales. Estos contaminantes están incluidos en la Resolución 909 de 2008 (MADS), que establece los estándares de emisión admisibles (EEA) por contaminante según el tipo de actividad industrial.

Se asignó como año base el 2021 y el periodo de obtención de información secundaria fue desde el 2016 para las empresas activas en el año base, lo anterior, teniendo en cuenta el sistema de clasificación empresarial por el impacto sobre el componente atmosférico, denominado “Unidades de Contaminación Atmosférica - UCA”, que de acuerdo con el aporte a la contaminación atmosférica la periodicidad de monitoreo puede ser de hasta 5 años.

En la **Figura 2** se presenta el esquema metodológico para el IEA por fuentes fijas.

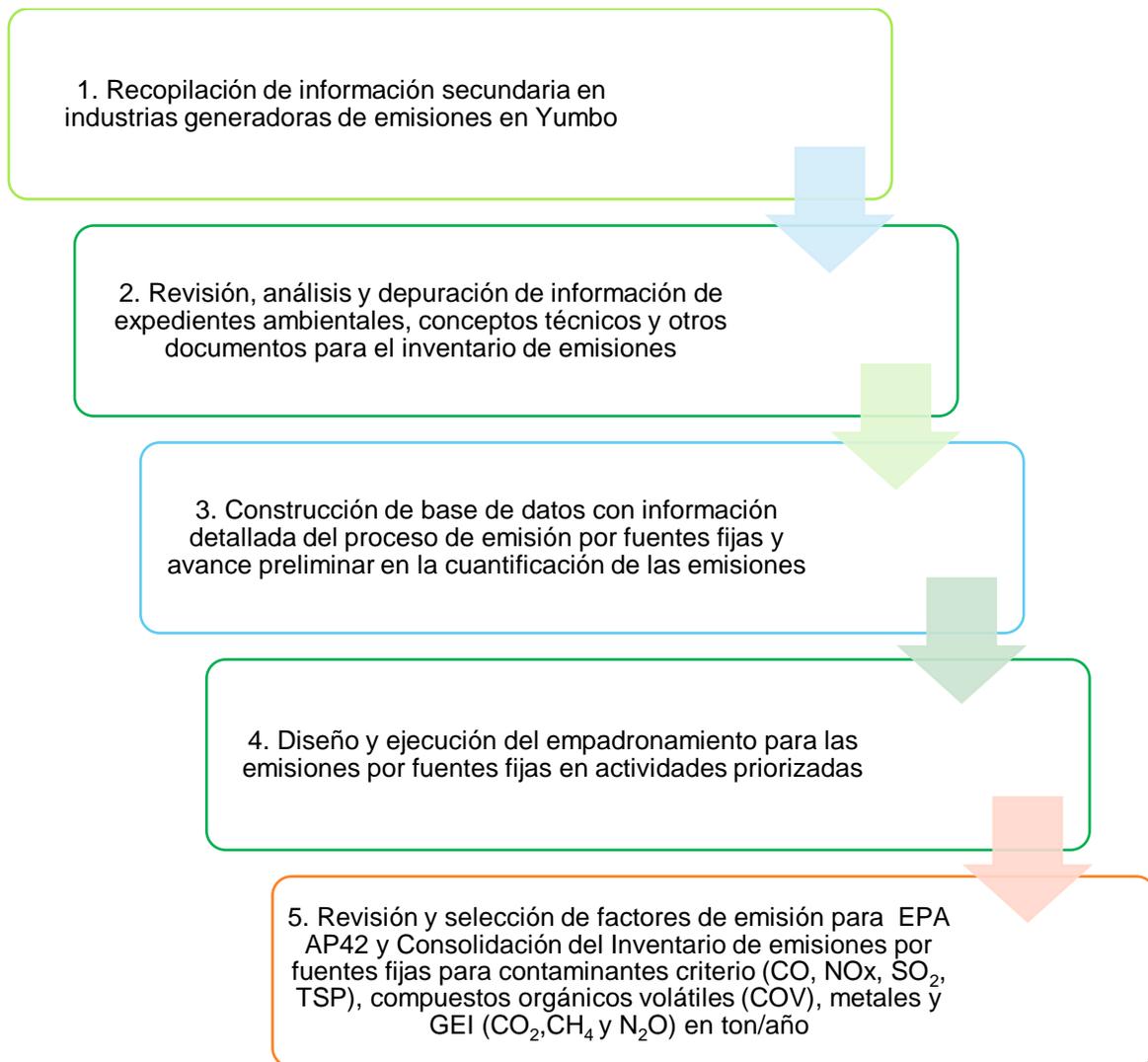


Figura 2. Esquema general para la estimación del IEA por fuentes fijas - año base 2021.

Fuente: Elaboración propia.

2.1 Recopilación de información secundaria

Para el desarrollo del inventario se recopiló información primaria y secundaria. Inicialmente se revisó información relacionada con expedientes ambientales de industrias generadoras de emisiones del municipio de Yumbo, con el fin de analizar los resultados de los estudios de emisiones atmosféricas (muestreos isocinéticos de chimeneas). Posteriormente, se procedió a revisar la información contenida en las bases de datos (sábanas) del RUA, donde se registra la información de aquellas industrias que generan emisiones en sus procesos productivos, pero no están obligadas a tener un permiso de emisiones atmosféricas, esto con el fin de complementar la información de industrias generadoras de emisiones al aire y

generar una base de datos con un inventario detallado a nivel urbano y rural en el municipio de Yumbo (**Anexo A**). La información del RUA también permitió complementar datos puntuales que no fueron reportados en los estudios de emisiones atmosféricas para algunas empresas.

Seguidamente, se realizó una depuración a las bases de datos de Cámara de Comercio del municipio de Yumbo, con el fin de extraer los nombres o razones sociales de aquellos establecimientos, que por sus actividades podían ser potenciales emisores; de los cuales, se consolidó la información en la fase de empadronamiento (información primaria) haciendo uso de formatos con requerimientos puntuales de los procesos realizados por las empresas (**Anexo B**).

2.2 Revisión, análisis y depuración de información.

Para el aseguramiento de la calidad de la información de emisiones en las diferentes industrias, todos los informes de emisiones atmosféricas fueron revisados, analizados y validados (Sección 4.1).

Para las actividades de revisión y análisis de la información, fueron diseñados 12 criterios de evaluación enfocados en determinar la congruencia y reproducibilidad de los datos claves reportados en los documentos, tales como los consumos y características de combustible, los flujos de contaminantes, las condiciones en las cuales se realizaron las tomas de datos, y de manera general en todas aquellas variables que están asociadas a la determinación de las emisiones contaminantes (**Anexo C**).

2.3 Construcción de la base de datos

El diseño y consolidación de la base de datos de emisiones asociadas a fuentes fijas, se realizó con el fin de registrar la información obtenida a partir de la revisión de: i) los expedientes ambientales que contienen estudios isocinéticos y conceptos técnicos, ii) las sábanas del RUA Manufacturero (2018-2020) y iii) el empadronamiento (encuestas vía correo electrónico y visitas realizadas). En la base de datos del inventario de fuentes fijas se registró de manera independiente la información de emisiones para el sector industrial, los pequeños establecimientos y las EDS del municipio de Yumbo.

Para la recopilación de la información, se identificaron datos generales de las empresas como nombre, actividad productiva, código CIU, dirección e información de contacto. Adicionalmente, se priorizaron datos correspondientes al tipo de fuente, proceso productivo, consumo de combustible, frecuencia de operación (jornadas de trabajo), así como las variables de medición reportadas en los muestreos isocinéticos como temperatura, velocidad, caudal, presión y concentraciones de los gases (**Anexo A**).

2.4 Diseño y ejecución del empadronamiento

El empadronamiento permitió complementar información de fuentes fijas industriales, que no estaba disponible en las bases de datos de la CVC ni el RUA, adicionalmente, se incluyó información de pequeños establecimientos y Estaciones de Servicio – EDS. El

empadronamiento permitió recolectar información primaria a partir de la realización de visitas en campo, llamadas telefónicas y encuestas virtuales.

En el caso de las industrias, se desarrollaron actividades que se detallan en la sección 4.3.1, los permisos se solicitaron previamente (**Anexo D**), estas permitieron la recolección de información relacionada con las fuentes de emisión (diámetro y altura del ducto, tipo y consumo de combustible, proceso asociado a la fuente de emisión, tiempos de operación, etc.), posteriormente la información obtenida fue registrada en formatos de elaboración propia (Sección 4.2.1).

Adicionalmente, se elaboraron formatos específicos (sección 4.2.2 y 4.2.3) para recolectar la información correspondiente a los pequeños establecimientos (panaderías y asaderos) y EDS (**Anexo E**). En las panaderías y asaderos se obtuvo información relacionada con el consumo de combustible y el tiempo de operación de los equipos y para las EDS se recolectó información referente a los tanques de almacenamiento y las ventas de combustible. El proceso de empadronamiento se describe a mayor detalle en la sección 4.3.2. y 4.3.3.

2.5 Revisión y selección de factores de emisión

Teniendo en cuenta que los conceptos técnicos y expedientes ambientales no incluyen el análisis de la emisión de otros contaminantes de interés ambiental. Para el cálculo de las emisiones de estos contaminantes se utilizaron factores de emisión, los cuales fueron seleccionados a partir de una revisión detallada del documento del AP-42 de la EPA teniendo en cuenta el tipo de fuentes fijas de emisión caracterizadas en las industrias del municipio de Yumbo. Los factores de emisión fueron consultados en la página oficial de la EPA: <https://www.epa.gov/air-emissions-factors-and-quantification/ap-42-compilation-air-emissions-factors>.

Adicionalmente, se consultó la página de la Agencia Ambiental Europea (EAA) con el fin de complementar los factores de emisión que no fueron encontrados en la EPA, el acceso se realizó vía internet: <https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2016/>.

Otras fuentes de información sobre factores de emisión fueron:

El IPCC (<https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/>),

UNITAR (cwm.unitar.org/publications/publications/cbl/prtr/pdf/cat5/Australia_boilers.pdf)

Y la UPME (http://www.upme.gov.co/calculadora_emisiones/aplicacion/calculadora.html).

Para la selección de los factores de emisión se tuvo en cuenta la clasificación de la fuente, es decir, si realiza combustión o si se asocia a otro tipo de proceso. Para el caso de emisiones por combustión es necesario tener en cuenta: i) capacidad del equipo de combustión, ii) el tipo de combustible utilizado, iii) los sistemas de control y su eficiencia (en caso de que utilice). Mientras que, para las emisiones asociadas a otros procesos, se requiere conocer: i) tipo de actividad productiva, ii) tipo de materia prima, iii) los sistemas de control y su eficiencia (en caso de que utilice).

Luego de seleccionar los factores de emisión, se procedió a realizar la conversión de unidades inglesas a unidades del sistema internacional, ya que el consumo de combustible de la fuente de emisión generalmente es reportado con unidades del sistema internacional para Colombia.

2.6 Consolidación del inventario de emisiones por fuentes fijas

La consolidación del inventario de emisiones por fuentes fijas incluyó la verificación de los flujos máxicos y concentraciones locales, permitiendo incorporar en el análisis de emisiones, valores revisados y validados, mediante la evaluación de la consistencia de la información reportada en CVC. Para el desarrollo del inventario de emisiones por fuentes fijas se revisaron, analizaron y validaron los informes de muestreos isocinéticos en fuentes fijas (mediciones directas) realizados en el periodo 2016-2021 (disponibles en el archivo de la CVC) y se incorporaron las emisiones anuales de estas fuentes al inventario. Para los contaminantes que no tuvieron medición directa y que se incluyeron en el inventario, se estimaron las emisiones a partir de factores de emisión de acuerdo con el tipo de actividad asociada a la emisión de contaminantes utilizando los factores de emisión de la EPA AP42 y la información de la actividad de las fuentes fijas (combustión o producción).

3. FUENTES FIJAS PRIORIZADAS EN EL INVENTARIO

3.1 Fuentes fijas industriales con expedientes CVC

En esta etapa se realizó la consulta de los estudios de emisiones atmosféricas (isocinéticos) que se encuentran en los expedientes ambientales de las empresas de Yumbo disponibles en las instalaciones de la CVC en Cali. De igual forma se analizaron los conceptos técnicos reportados por la autoridad ambiental, en los cuales se resume la información de los muestreos isocinéticos, para ello se solicitó permiso a la DTA CVC para acceder a la información.

Los estudios de emisiones atmosféricas contienen información fundamental para el desarrollo del inventario, estos estudios son presentados por las empresas como requisito obligatorio ante la autoridad ambiental. Los muestreos son realizados por empresas consultoras acreditadas por el IDEAM tanto para la toma de la muestra como para la determinación de los contaminantes, siguiendo metodologías estándar de la EPA adaptadas para Colombia por el IDEAM. Se aclara que este tipo de estudios de muestreo de emisiones se realiza sólo para fuentes fijas en la industria.

A partir de la información suministrada por la CVC, se realizó la revisión y análisis del archivo con el registro de las industrias de Yumbo que reposan en los expedientes ambientales del periodo 2016-2021, de las cuales se tuvo información de 61 empresas; 21 en formato digital, 28 en físico y 12 en ambos formatos. Adicionalmente, de las empresas consultadas, 22 corresponden a empresas que cuentan con permiso de emisiones, 32 corresponden a empresas que no cuentan con permiso, pero están obligadas a reportar sus emisiones y 7 con licencias.

De los 61 expedientes ambientales consultados se tiene como resultado un total de 55 empresas y 167 fuentes de emisión (**Tabla 1 y Anexo A**). Los demás expedientes corresponden a fuentes de área como canteras, por lo que no serán tenidas en cuenta para el presente inventario.

Tabla 1. Número de empresas y fuentes de emisión en Yumbo.

Adquisición de información	No. Empresas consultadas
Expedientes ambientales	61
Total, de empresas	55
Total, puntos de emisión	167

Fuente: Elaboración Propia.

3.2 Fuentes fijas industriales RUA manufacturero.

En la búsqueda de información adicional que permitiera identificar nuevas fuentes fijas con potencial emisor en el municipio de Yumbo, se consultaron las bases de datos del RUA Manufacturero, específicamente los capítulos IV de Energía y V de Emisiones, correspondientes al año 2018 y 2020. En estas sábanas se registra la información de aquellas empresas de importancia que no tienen la obligación de presentar un permiso de emisiones ante la autoridad ambiental, pero que, de igual manera tienen un potencial emisor. En estos listados se reporta información referente al número de fuentes de emisión por cada empresa, características específicas como: marca, modelo (en algunos casos), diámetro y altura de chimenea, tipo y consumo anual de combustible, producción, tiempos de operación anuales, entre otros datos. Como resultado de esta revisión, fueron identificados inicialmente 53 establecimientos (industrias principalmente) con potencial emisor, y que no se encontraban registrados en la documentación ambiental revisada en la CVC (**Anexo A**).

Luego de esta identificación, los establecimientos fueron clasificados en dos categorías de acuerdo con la información que tuviesen disponible, esto debido a que no todos los establecimientos contaban con información completa. Por un lado, fueron agrupados los establecimientos que contaban con los datos necesarios para calcular las emisiones (consumo de combustible, producción y tiempos de operación), quienes fueron clasificados con prioridad baja de empadronamiento, así mismo, aquellos establecimientos que no tenían completa la información mencionada fueron clasificados como prioridad alta, por lo que se priorizó su visita en la etapa de empadronamiento.

Posteriormente, se realizó un análisis, haciendo uso de software GIS, así como también de imágenes satelitales y la función Street view de Google Earth (**Figura 3**), en donde se analizaron las características físicas como tamaño de la empresa y presencia de posibles chimeneas de cada uno de los establecimientos con prioridad alta, definiendo así aquellos que serían incluidos en el empadronamiento.



Figura 3. Priorización de fuentes a través de Software GIS

Fuente: Elaboración Propia

3.3 Potenciales emisores, Cámara de Comercio

A partir de las bases de datos obtenidas de Cámara de Comercio, se realizó una depuración (**Figura 4**) con el fin de identificar establecimientos comerciales que no se encuentran registrados en el RUA Manufacturero, ni en la documentación ambiental revisada en la Corporación, pero que era necesario adicionar al empadronamiento debido a su potencial emisor asociado a sus actividades productivas.

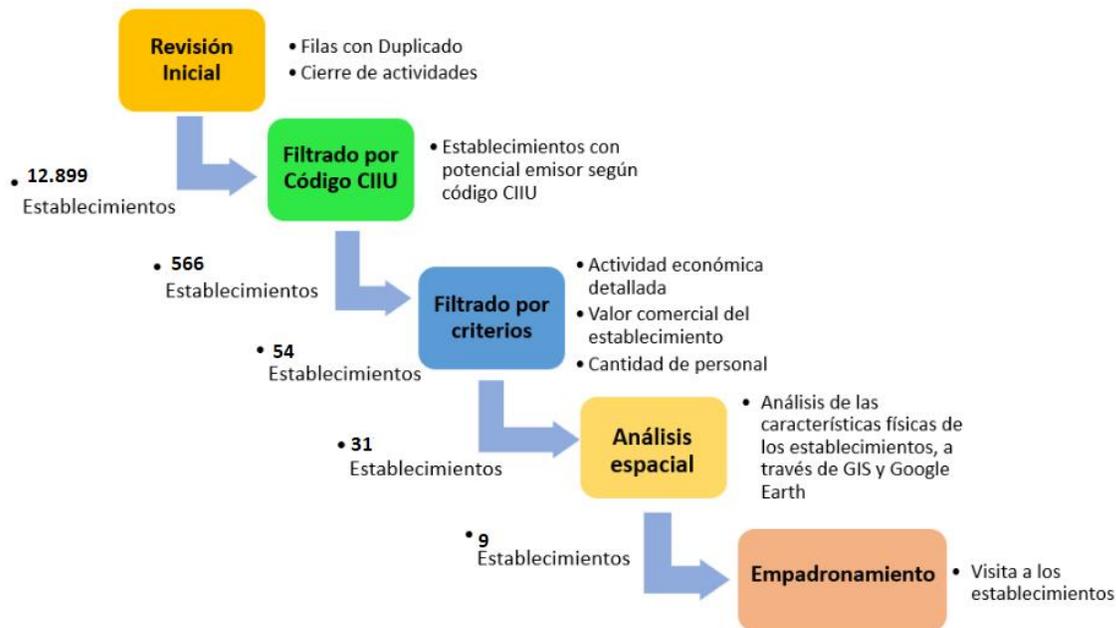


Figura 4. Procedimiento para el tratamiento de datos de Cámara y Comercio.

Fuente: Elaboración propia.

La base de datos suministrada por la Cámara de Comercio de Yumbo cuenta con 12,899 filas de información de los establecimientos comerciales registrados en el municipio, inicialmente se realizó una revisión en donde se identificaron y eliminaron filas con información duplicada, así como también filas con establecimientos que se encontraban en proceso de liquidación o que directamente reportaban una fecha de cierre o cese de actividades comerciales. A continuación, se filtraron los establecimientos que se dedican a actividades relacionadas a 32 códigos CIU asociados a actividades comerciales con potencial emisor (**Anexo H**), posteriormente se desarrolló una selección por criterios, donde se hizo uso de la información disponible que puede relacionarse con el tamaño y producción de la empresa (personal y valor comercial del establecimiento).

3.4 Pequeños establecimientos y estaciones de servicio.

Para la identificación de los pequeños establecimientos y las estaciones de servicio (EDS) en la zona urbana, se realizó una búsqueda en la base de datos de Cámara de Comercio, a través de un filtrado de los establecimientos que se encuentran registrados bajo el código CIU asociado a las actividades que se desarrollan en las panaderías, asaderos y estaciones de servicio. Dando como resultado 42 panaderías, 57 asaderos y 52 EDS

identificados. Sin embargo, posterior a una depuración de establecimientos que no eran panaderías, asaderos o estaciones de servicio como tal y de aquellos que registraron cierre de actividades, se obtuvo un listado de 21 panaderías, 17 asaderos y 19 EDS. Este listado fue complementado con información anecdótica y recorridos realizados dentro del casco urbano del municipio de Yumbo, se obtuvo un listado de 23 panaderías, 21 asaderos y 22 EDS, para un total de 66 establecimientos potenciales a empadronar. De este listado final se logró empadronar 17 panaderías, 11 asaderos y 19 EDS en total, ya que en los establecimientos restantes su ubicación no correspondía al establecimiento en mención, las condiciones de acceso y seguridad no eran adecuadas o habían cesado sus actividades.

4. CONSOLIDACIÓN DE LA INFORMACIÓN DEL INVENTARIO

4.1 Revisión y validación de información de muestreos isocinéticos

Se establece como parte fundamental del proyecto incluir una herramienta de validación de los parámetros y resultados reportados en las mediciones y estudios de emisiones atmosféricas, tomando como punto de partida la verificación de la congruencia de parámetros clave y la estimación del caudal de salida de los gases de combustión generados en cada fuente de emisión y su concentración (Estas variables son directamente proporcionales al flujo del contaminante), lo que permite validar el caudal, los flujos de contaminantes y concentraciones reportadas en los estudios.

La estimación de gases de combustión se realiza por estequiometría, teniendo en cuenta las variables de entrada que corresponden al tipo, composición química, consumo de combustible y condiciones de operación de cada una de las fuentes de emisión. El proceso general de combustión de un compuesto orgánico se detalla en la **Figura 5**.

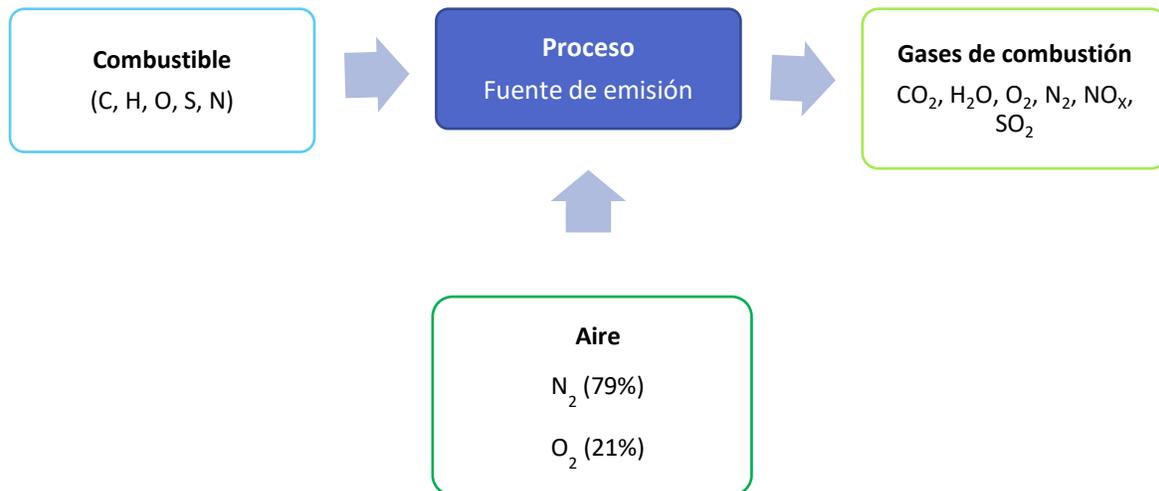


Figura 5. Esquema general de proceso de combustión.

Fuente: Elaboración propia.

4.1.1. Verificación del tipo y unidades de consumo reportadas.

En la validación de la información, se evalúa el tipo de combustible utilizado por la fuente de emisión y las unidades de consumo reportadas en el informe isocinético. Los combustibles utilizados en los procesos de combustión en el municipio de Yumbo son: Gas natural, carbón, GLP, diésel (Fuel Oil No. 2), Madera, Licor Negro y Biogás. Las fuentes puntuales que no utilizan combustible para su funcionamiento o que utilizan energía eléctrica, se omite validación de caudal por este método.

Para uniformidad de los cálculos, se establece una convención de unidades primigenias o de uso común en la industria para el consumo de cada tipo de combustible (ej, G.N. [m³/h], GLP, licor negro y Fuel Oil [GPH], madera, carbón [kg/h]), Cuando las unidades de consumo reportadas en el isocinético no son acordes a esta convención, se realiza la conversión de unidades correspondiente para la estimación del caudal de salida de los gases a través del método estequiométrico propuesto.

Con el fin de estimar los caudales de emisiones de cada fuente y compararlos con los resultados reportados en los muestreos isocinéticos, se estableció la metodología que se resume en la **Figura 6**. Se utiliza el valor reportado en el estudio isocinético del % de oxígeno en chimenea, para ajustar el % de oxígeno en exceso en el método estequiométrico, eliminando sesgos de las condiciones de operación del equipo. A partir del caudal calculado se analiza la discrepancia existente con el valor reportado en el estudio isocinético a través de su relación aritmética, un valor fuera del rango [0,5-1,5] sugiere realizar una revisión más detallada de la información disponible.

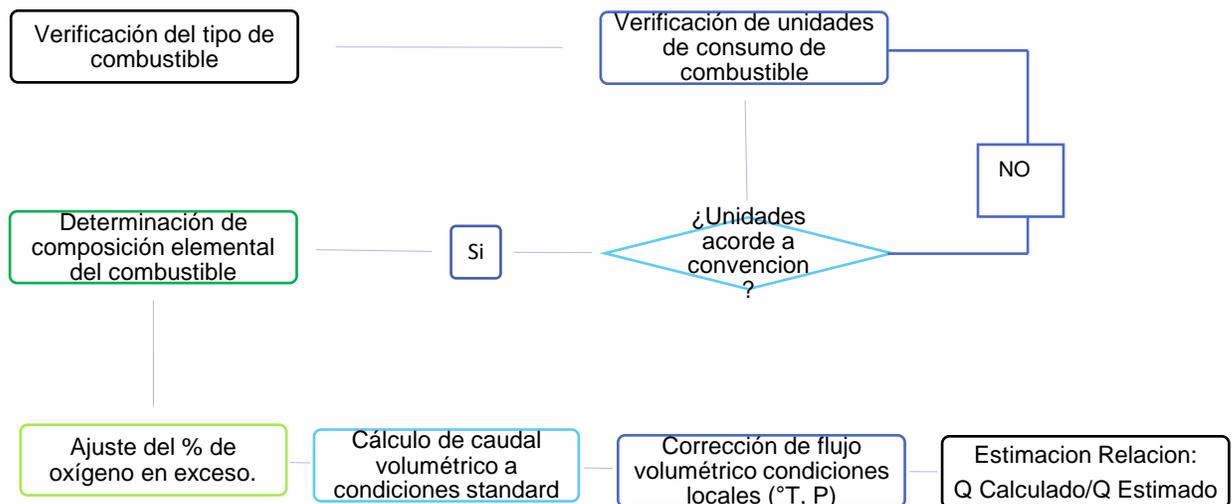


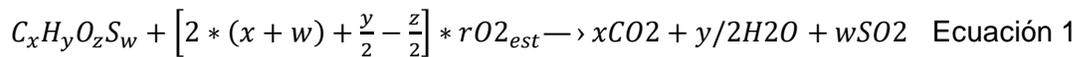
Figura 6. Esquema metodológico para la estimación de emisiones atmosféricas con base en el consumo de combustible.

Fuente: Elaboración propia.

4.1.2. Determinación de la composición elemental del combustible y estimación de gases de combustión por estequiometría.

Con el fin de determinar los productos de combustión, es necesario conocer la composición elemental del combustible, para lo cual se tomaron los valores de composición másica reportados por la UPME.

Se realiza el cálculo másico de productos de combustión por estequiometría, de acuerdo con la siguiente ecuación general:



Donde:

x, y, z, w, r: son coeficientes de la ecuación de combustión para el respectivo elemento.

Para el gas natural, su composición está referenciada como mezcla de gases (metano, etano, propano, butano), por lo cual, se deben realizar los cálculos de los productos de combustión para cada componente con su respectiva estequiometría.

Los cálculos por estequiometría se realizan de la forma en la que se describe en la **Tabla 2** para cada elemento.

Tabla 2. Reacciones de combustión elementales.

$C + C_2 \rightarrow CO_2$	$2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O$	$S + O_2 \rightarrow SO_2$
$12 \left[\frac{g}{mol} \right] + 32 \left[\frac{g}{mol} \right] \rightarrow 44 \left[\frac{g}{mol} \right]$	$4 \left[\frac{g}{mol} \right] + 32 \left[\frac{g}{mol} \right] \rightarrow 36 \left[\frac{g}{mol} \right]$	$32 \left[\frac{g}{mol} \right] + 32 \left[\frac{g}{mol} \right] \rightarrow 64 \left[\frac{g}{mol} \right]$
Dividiendo por 12 [g/mol]: $1 + \frac{32}{12} \rightarrow \frac{44}{12}$	Dividiendo por 4 [g/mol]: $1 + \frac{32}{4} \rightarrow \frac{36}{4}$	Dividiendo por 32 [g/mol]: $1 + \frac{32}{32} \rightarrow \frac{64}{32}$
$1 + 2.67 \rightarrow 3.67$	$1 + 8 \rightarrow 9$	$1 + 1 \rightarrow 2$

Fuente: Elaboración propia.

Para simplificación de los cálculos se asume una combustión completa (sin producción de CO), no se contempla humedad del aire de combustión, sin generación de óxidos de nitrógeno (NO_x) u otros compuestos presentes a niveles de trazas. De acuerdo con las ecuaciones anteriores, se tiene que:

$$\dot{m}_{(CO_2)} \left[\frac{Kg}{h} \right] = \dot{m}_{(C)} \left[\frac{Kg}{h} \right] * \frac{1}{PM_{(C)} \left[\frac{Kg(C)}{Kmol(C)} \right]} * \frac{1Kmol CO_2}{1Kmol(C)} * PM_{(CO_2)} \left[\frac{Kg(CO_2)}{Kmol(CO_2)} \right]$$

Ecuación 2.

$$\dot{m}_{(H_2O)} \left[\frac{Kg}{h} \right] = \dot{m}_{(H_2)} \left[\frac{Kg}{h} \right] * \frac{1}{PM_{(H_2)} \left[\frac{Kg(H_2)}{Kmol(H_2)} \right]} * \frac{1Kmol H_2O}{2Kmol(H_2)} * PM_{(H_2O)} \left[\frac{Kg(H_2O)}{Kmol(H_2O)} \right]$$

Ecuación 3.

$$\dot{m}_{(SO_2)} \left[\frac{Kg}{h} \right] = \dot{m}_{(S)} \left[\frac{Kg}{h} \right] * \frac{1}{PM_{(S)} \left[\frac{Kg(S)}{Kmol(S)} \right]} * \frac{1Kmol SO_2}{1Kmol(S)} * PM_{(SO_2)} \left[\frac{Kg(SO_2)}{Kmol(SO_2)} \right]$$

Ecuación 4.

Se establece el porcentaje de aire en exceso asumiendo un valor (e) que permita estimar un %O₂ de exceso de oxígeno igual o similar al que se reporta en los isocinéticos, aplicando las siguientes ecuaciones.

$$\%O_2 \text{ exceso} = \frac{O_2 \text{ Total} - O_2 \text{ (Estequiométrico C.)}}{O_2 \text{ (Total)}} * 100 \text{ Ecuación 5.}$$

$$\dot{m}_{(O_2) \text{ exceso}} \left[\frac{Kg}{h} \right] = \dot{m}_{(O_2) \text{ total}} \left[\frac{Kg}{h} \right] - \dot{m}_{(O_2) \text{ estequiométrico}} \left[\frac{Kg}{h} \right] \text{ Ecuación 6.}$$

$$\dot{m}_{(O_2) \text{ total}} \left[\frac{Kg}{h} \right] = \dot{m}_{(O_2) \text{ estequiométrico}} \left[\frac{Kg}{h} \right] * (1 + e) \text{ Ecuación 7.}$$

$$\dot{m}_{(N_2) \text{ Total}} \left[\frac{Kg}{h} \right] = \dot{m}_{(O_2) \text{ Total}} \left[\frac{Kg}{h} \right] * \frac{79}{21} \text{ Ecuación 8.}$$

Por lo tanto, se tiene que el caudal másico total de gases de combustión es igual a:

$$m_{GS} \left[\frac{Kg(GS)}{Kg(Comb)} \right] = m_{CO_2} \left[\frac{Kg}{Kg(Comb)} \right] + m_{H_2O} \left[\frac{Kg}{Kg(Comb)} \right] + m_{SO_2} \left[\frac{Kg}{Kg(Comb)} \right] + m_{O_2 \text{ exc}} \left[\frac{Kg}{Kg(Comb)} \right] + m_{N_2} \left[\frac{Kg}{Kg(Comb)} \right]$$

Ecuación 9

Donde:

m_{GS} es el flujo másico de gases.

m_i es el flujo másico del i-ésimo compuesto.

4.1.3. Cálculo de flujo volumétrico a condiciones de referencia.

De acuerdo con la Ley de Amagat de los volúmenes aditivos; se establece que el volumen de una mezcla de gas es igual a la suma de los volúmenes que cada gas ocuparía si existiera solo a la temperatura y presión de la mezcla (Ecuación 7). De esta forma se estima el volumen de cada componente del gas con su densidad a condiciones de referencia [25°C, 760 mmHg] (Ecuación 8 y Ecuación 9)

$$V_t = V_{CO_2} + V_{H_2O} + V_{O_2\ exc} + V_{N_2} + V_{SO_2} = \sum V_i \quad \text{Ecuación 10}$$

$$V_i = \frac{N_i * R_u * T}{P} \quad \text{Ecuación 11}$$

$$V_t = \frac{N_t * R_t * T}{P} \quad \text{Ecuación 12}$$

Donde:

V_t , es el volumen Total (m^3).

V_i , es el volumen del i-esimo componente (m^3).

N_i , Moles de compuesto i.

T, Temperatura ($^{\circ}C$).

P, Presión.

4.1.4. Correcciones por temperatura y presión de salida de los gases.

El caudal total estimado a condiciones de referencia [25°C, 760 mmHg] se corrige a condiciones de chimenea o condiciones locales de operación y así poder comparar con el caudal reportado en el informe isocinético.

$$Q_s = Q_{ref} * \frac{P_{ref} * T_s}{P_s * T_{ref}} \quad \text{Ecuación 13}$$

Donde:

Q_s , es el flujo volumétrico estimado a condiciones de chimenea (m^3/min).

Q_{ref} , es el flujo volumétrico a condiciones de referencia (m^3/min)

P_{ref} , es la presión a condiciones de referencia (mm Hg)

P_s , es la presión de salida de los gases (mm Hg)

T_{ref} , es la temperatura a condiciones de referencia (K)

T_s , es la temperatura de salida de los gases (K)

4.1.5. Determinación de factores de emisión por combustión, poder comburívoro y poder fumígeno de los combustibles utilizados en Yumbo.

La determinación de los diferentes factores de emisión se desarrolló de acuerdo con el procedimiento anterior tomando como base de cálculo 1 Kg de combustible (**Tabla 3**).

Al realizar los cálculos máscicos para la estequiometría de combustión de cada combustible, de acuerdo con la Ecuación 1, se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 3. Gases de combustión por 1 Kg de combustible.

Balance Máscico	Base Cálculo Combustible (1 Kg)	O ₂ estq (Kg)	CO ₂ (Kg)	H ₂ O (Kg)	SO ₂ (Kg)	N ₂ (Kg)	O ₂ Exc (Kg)	AIRE (Kg)
Acetileno	1.00	3.43	3.14	1.29	0.00	12.90	0.00	16.33
Butano	1.00	3.59	3.03	1.55	0.00	13.49	0.00	17.08
Etano	1.00	3.73	2.93	1.80	0.00	14.04	0.00	17.78
Metano	1.00	4.00	2.75	2.25	0.00	15.05	0.00	19.05
Propano	1.00	3.64	3.00	1.64	0.00	13.68	0.00	17.32
Carbono	1.00	2.67	3.67	0.00	0.00	10.03	0.00	12.70
Hidrógeno	1.00	8.00	0.00	9.00	0.00	30.10	0.00	38.10
Azufre	1.00	1.00	0.00	0.00	2.00	3.75	0.00	4.75
Gas Natural	1.00	4.19	2.54	2.73	0.00	15.74	0.00	19.93
(Fuel oil No. 2)	1.00	3.34	3.15	1.18	0.00	12.56	0.00	15.90
GLP	1.00	3.56	3.05	1.51	0.00	13.39	0.00	16.95
Carbón	1.00	2.37	2.51	0.45	0.31	8.90	0.00	11.27
Bagazo	1.00	1.31	1.67	0.55	0.00	4.93	0.00	6.24
Madera	1.00	1.59	1.96	0.62	0.00	5.98	0.00	7.56

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4. Volumen de gases de combustión por 1 Kg de combustible.

Balance Volumétrico	Base Cálculo Combustible (1 Kg)	CO ₂ (m ³)	H ₂ O (m ³)	SO ₂ (m ³)	N ₂ (m ³)	O ₂ (m ³)	Productos de combustión (m ³)	Aire Consumido (m ³)
Acetileno	1.00	1.74	2.26	0.00	11.26	0.00	3.99	13.88
Butano	1.00	1.68	2.72	0.00	11.78	0.00	4.40	14.52
Etano	1.00	1.62	3.16	0.00	12.26	0.00	4.78	15.11
Metano	1.00	1.52	3.95	0.00	13.14	0.00	5.47	16.19
Propano	1.00	1.66	2.87	0.00	11.94	0.00	4.53	14.72
Carbono	1.00	2.02	0.00	0.00	8.76	0.00	2.02	10.80
Hidrógeno	1.00	0.00	15.79	0.00	26.27	0.00	15.79	32.39
Azufre	1.00	0.00	0.00	0.89	3.28	0.00	0.89	4.04
Gas Natural	1.00	1.40	4.80	0.00	13.74	0.00	6.20	16.94
(Fuel oil No. 2)	1.00	1.74	2.07	0.00	10.96	0.00	3.81	13.52
GLP	1.00	1.69	2.64	0.00	11.69	0.00	4.33	14.41
Carbón	1.00	1.39	0.78	0.14	7.77	0.00	2.31	9.58
Bagazo	1.00	0.92	0.96	0.00	4.30	0.00	1.88	5.30
Madera	1.00	1.08	1.09	0.00	5.22	0.00	2.17	6.43

Fuente: Elaboración propia.

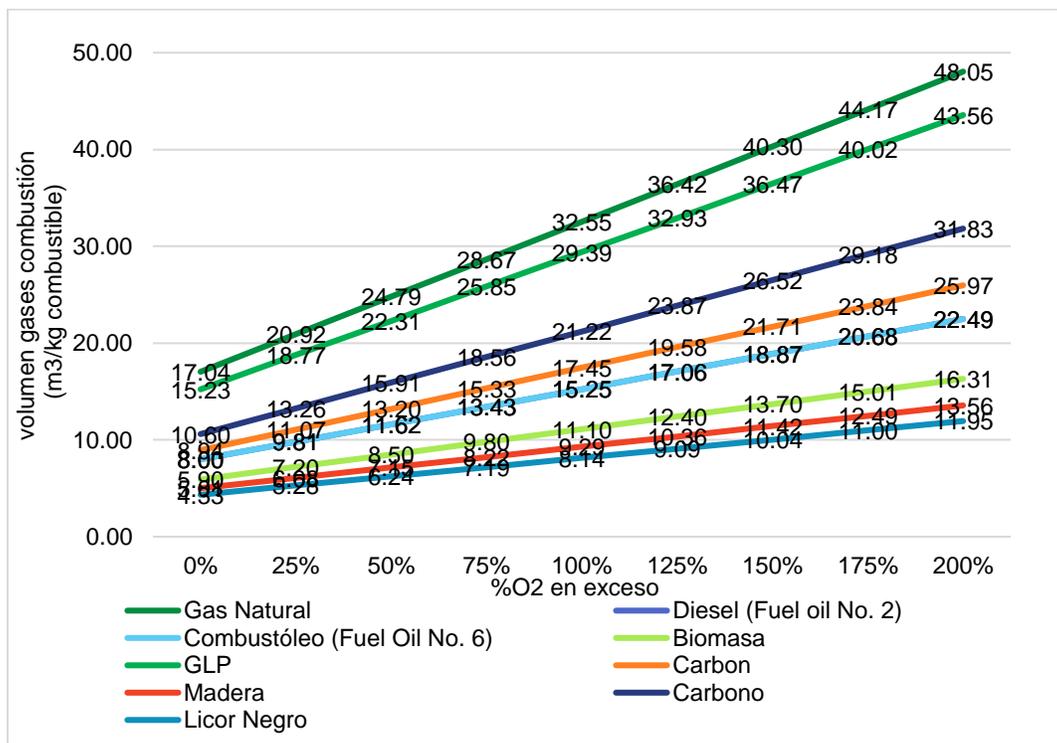


Figura 7. Volumen de gases de combustión generados por Kg de Combustible.

Fuente: Elaboración propia.

4.1.5.1. Poder comburívoro

Es la cantidad de aire seco, medida en condiciones normales ($T^{\circ}=20^{\circ}\text{C}$ y $P=1\text{atm}$), mínima necesaria para la combustión completa y estequiometría de la unidad de combustible. Unidades habituales: Nm^3/kg Combustible, Nm^3/Nm^3 Combustible. Es un parámetro característico de la composición del combustible (**Tabla 5**).

Tabla 5. Factores de Emisión de Volumen aire consumido por Unidad de combustible (Poder comburívoro).

FACTORES DE EMISIÓN	PODER COMBURIVORO	
	Nm^3 (Aire seco) /kg Comb	Nm^3 (Aire seco) / Nm^3 Comb
Acetileno	13.88	15.16
Butano	14.52	36.14
Etano	15.11	19.10
Metano	16.19	10.82
Propano	14.72	27.71
Carbono	10.80	NA
Hidrógeno	32.39	2.91
Azufre	4.04	NA

FACTORES DE EMISIÓN	PODER COMBURIVORO	
	Nm ³ (Aire seco) /kg Comb	Nm ³ (Aire seco) /Nm ³ Comb
Gas Natural	16.94	11.32
(Fuel oil No. 2)	13.52	NA
GLP	14.41	27.12
Carbón	9.58	NA
Bagazo	5.30	NA
Madera	6.43	NA

Fuente: Elaboración propia.

Como referencia de estos factores se encontraron para el Propano: 12.8 Nm³ (A.S)/Kg Propano y 24.61 Nm³ (A.S.)/Nm³ Propano, Para el gas natural 10.34 Nm³/Nm³ y para el Fuel Oil _No 2 10.29 Nm³ A.S./Kg Comb del documento Combustión y combustibles (García, 2001).

4.1.5.2. Poder fumígeno

Es la cantidad de productos de la combustión (Nm³) que se producen en la combustión estequiometría de la unidad de combustible, en función de considerar o no el vapor de agua existente en los productos de la combustión, se tienen poderes fumígenos húmedo y seco, respectivamente.

Tabla 6. Factores de emisión de gases de combustión generados por unidad de combustible (Poder fumígeno).

FACTORES DE EMISIÓN	PODER Fumígeno Nm ³ (gases comb) / Kg comb	
	Nm ³ (G.C) / Kg comb	Nm ³ (G.C.) / Nm ³ Comb
Acetileno	15.25	16.65
Butano	16.18	40.26
Etano	17.04	21.54
Metano	18.60	12.43
Propano	16.47	31.00
Carbono	10.78	NA
Hidrógeno	42.06	3.79
Azufre	4.7	NA
Gas Natural	19.94	13.32
(Fuel oil No. 2)	14.77	NA
GLP	16.02	30.14
Carbón Valle	10.08	NA
Bagazo	6.19	NA
Madera	7.39	NA

Fuente: Elaboración propia.

Como referencia de estos factores se encontraron para el gas natural: 11,42 Nm³ (G.C) / Nm³ Combustible y para el Fuel Oil No 2 10,34 Nm³ (G.C)/Kg Combustible (García, 2001). Este factor permite estimar los volúmenes de gases generados a condiciones estándar para compararlo con el valor reportado en los estudios de emisiones.

4.1.5.3. Factor de emisión de productos de combustión (CO₂, H₂O y SO₂)

Para estimar las emisiones de CO₂, se estima el factor de emisión de CO₂ por tonelada consumida de cada combustible. En la siguiente tabla (**Tabla 7**) se encuentran los factores calculados en condiciones de referencia:

Tabla 7. Factores de emisión de productos de combustión.

FACTORES EMISIÓN	FACTORES DE EMISIÓN			REFERENCIAS
	kg CO ₂ /ton Comb.	kg H ₂ O /ton Comb.	KgSO ₂ /ton Comb.	FACTORES DE EMISIÓN kg CO ₂ /ton Comb. UPME
Acetileno	3,142.9	1,285.7	0.00	
Butano	3,034.5	1,551.7	0.00	
Etano	2,933.3	1,800.0	0.00	
Metano	2,750.0	2,250.0	0.00	
Propano	3,000.0	1,636.4	0.00	
Carbono	3,666.7	0.0	0.00	
Hidrógeno	0.0	9,000.0	0.00	
Azufre	0.0	0.0	1,998.00	
Gas Natural	2,535.5	2,734.7	2.00	2,972.59
(Fuel oil No. 2)	3,149.3	1,178.1	0.13	3,156.55
GLP	3,053.2	1,505.7	0.00	3,051.20
Carbón Valle	2,509.1	445.5	312.29	2,507.63
Bagazo	1,666.1	549.0	0.70	1,664.92
Madera	1,959.5	619.2	0.32	1,958.42

Fuente: Elaboración propia.

4.2 Diseño del plan de empadronamiento.

El empadronamiento se realizó en cuatro fases o etapas: la primera fase (1) consistió en la priorización de las industrias registradas en el RUA, las industrias que fueron incluidas por la Corporación y las industrias sin estudios de emisiones; finalmente se cruzaron con el listado depurado de la base de datos de cámara de comercio. Dentro de esta fase también fueron incluidas aquellas empresas que, por la complejidad de sus procesos, el número de fuentes, vacíos de información y/o la magnitud de operación, era indispensable conocer detalles del proceso, con el fin de lograr estimaciones ajustadas a la realidad de acuerdo con los procedimientos del AP-42. Así mismo, se realizó verificación de operación de todas las fuentes, descartando del inventario las fuentes que han dejado de operar.

Adicionalmente, se realizaron recorridos por la zona rural – industrial, en las zonas conocidas ACOPI, Arroyohondo, Puerto Isaacs y Guabinas, así como también la zona urbana. Lo anterior permitió realizar una identificación inicial de industrias en la zona de estudio, complementar el listado de industrias del inventario y obtener acercamientos iniciales con las empresas.

En la fase 2 se realiza un control y aseguramiento de calidad de la información de las emisiones del inventario, por medio de la aplicación de 12 criterios de evaluación, que permitieron validar la información de los muestreos isocinéticos, las empresas con vacíos o incongruencias en la información reportada pasaba a etapa de empadronamiento. El análisis detallado de los criterios de validación de los muestreos isocinéticos se presenta en el **Anexo C**.

Para la fase 3, se definieron 2 grupos de empresas; Prioridad alta: empresas con fuentes de gran magnitud, múltiples fuentes, con vacíos de información, que debido a lo complejo de sus procesos debieron ser visitadas para resolver todas las dudas de su operación. El segundo grupo de empresas, con prioridad Baja: Empresas con procesos pequeños o vacíos puntuales, que pudieron ser subsanados a través de una consulta vía correo electrónico o llamada telefónica. A cada una de estas empresas se le envió un oficio informando sobre el proyecto y con la solicitud formal de la información.

La fase 4, corresponde a la inclusión en el inventario de los pequeños establecimientos generadores de emisiones (panaderías y asaderos) y el aporte de emisiones fugitivas en las estaciones de servicio (EDS), respectivamente. Para el desarrollo del empadronamiento se realizaron visitas in situ con la finalidad de obtener información necesaria para la estimación del inventario de emisiones por estas fuentes. En la **Figura 8** se presenta de manera breve el procedimiento llevado a cabo por fases para el empadronamiento.

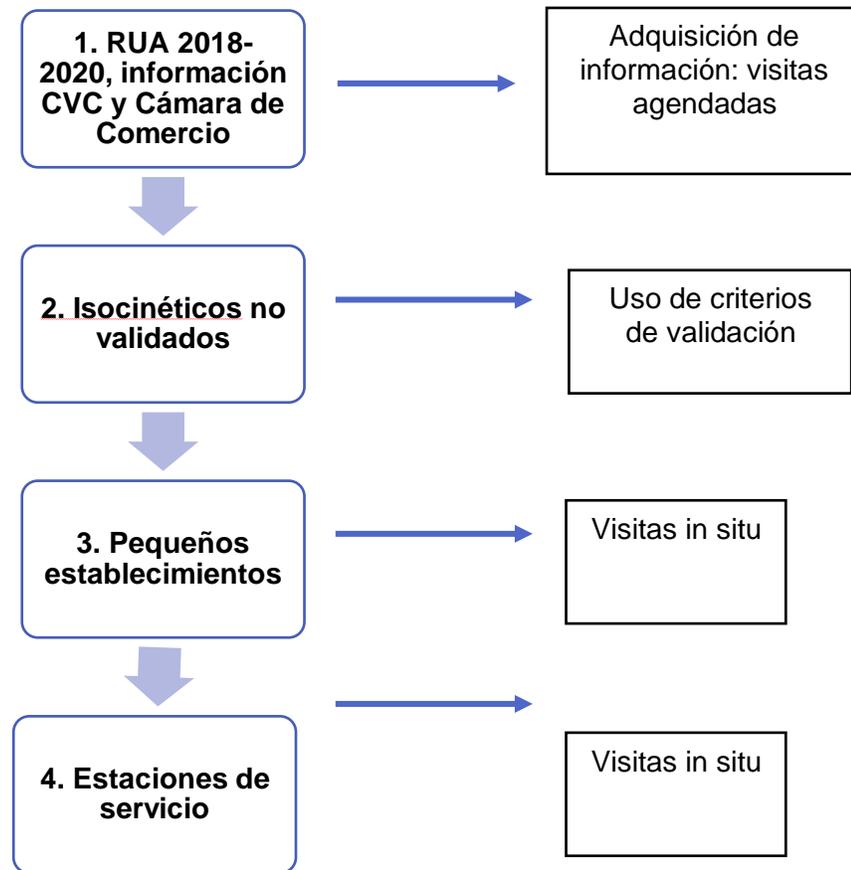


Figura 8. Fases para la ejecución del empadronamiento.

Fuente: Elaboración propia

4.2.1 Sector industrial

Se diseñaron formatos de empadronamiento para la recolección de información en procesos industriales (combustión / proceso), suficiente y de calidad, que permitiera estimar las emisiones de contaminantes en fuentes fijas. Adicionalmente, se generó el listado inicial de las empresas a empadronar con información de contacto obtenida principalmente de la base de datos de Cámara de Comercio, complementada con otras fuentes de información (página web) en la cual se registra datos de contacto actualizados de cada industria; también se complementó información a través de internet.

A continuación, se presentan los campos y la descripción detallada de cada uno de los ítems incluidos en el formato de registro de industrias (**Tabla 8**). En el **Anexo B** se presenta el formato completo.

Tabla 8. Campos de información incorporados al formato de empadronamiento.

Ítems	Subítems	Descripción
Nombre encuestador y fecha	Encuestador	Se debe indicar el nombre de la persona que realiza la encuesta
	Fecha	Fecha en la que se realiza la visita
I. Datos Generales	Nombre de la empresa	Se debe incluir el nombre de la empresa a la que se le está realizando el empadronamiento
	Teléfono	Teléfono de las empresas
	Persona encuestada	Persona de la empresa con el que se realizó el diligenciamiento de la información
	Cargo	Cargo de la persona encuestada
	NIT	NIT de la empresa
	Correo	Correo electrónico de la empresa
	CIIU	Código de clasificación de actividades económicas al que pertenece la empresa
	Sector Industrial	Sector en el que se encuentra ubicada la empresa
	Coordenadas	Coordenadas geográficas en grados, minutos y segundos
	Actividad económica	Actividad económica a la que se dedica la empresa
II. Información Fuente	Número de equipos de combustión	Especificar si tiene más de una fuente de emisión
	No. fuente	Se relaciona con el número de la fuente a la que se le está diligenciando la información
	Identificación del equipo	Se debe especificar si el equipo corresponde a una caldera, horno, cabina, etc. Debe describirse el equipo en detalle
	Diámetro de la chimenea (m)	Diámetro del ducto de salida de los gases, en metros
	Altura de Chimenea (m)	Altura del ducto de salida de los gases, en metros
	Equipo de control de emisiones	Indicar si el equipo cuenta con un equipo adicional para controlar las emisiones atmosféricas
	% eficiencia control emisiones	Especificar el porcentaje de eficiencia del equipo de control de emisiones
III. Información Actividad	Tipo de combustible	Especificar si utiliza carbón, gas natural, GLP, Diésel, entre otros, o si se asocia a algún proceso
	Estado (sólido, líquido, gaseoso)	Estado en el que se encuentra el combustible utilizado por el equipo

Ítems	Subítems	Descripción
	Consumo (kg/h, m ³ /h, GPH)	Consumo de combustible del equipo, preferiblemente reportarse en las unidades en las que se especifica
	Producción / Capacidad	Se debe diligenciar el dato de producción (unidades de producto terminado por unidad de tiempo)
	Frecuencia de operación (h/día) / (día/mes) / (mes/año)	Jornada de trabajo en la que opera el equipo, en lo preferible reportarla en h/día y día/mes o día/año
	Tipo y frecuencia de mantenimiento	Describir el tipo de mantenimiento que se le realiza al equipo y la frecuencia con la que es realizado
V. Información adicional	¿Se han realizado cambios de equipos en los últimos 3 años?	Se debe especificar si se han realizado cambios de equipos en los últimos 3 años, con el fin de identificar si para el año base (2018) se contaba con los mismos equipos que se tienen actualmente
	¿Se han realizado cambios de combustible en las fuentes fijas?	Se debe especificar si los equipos han cambiado en algún momento el tipo de combustible, o si trabajan con un combustible principal y uno secundario. Mencionar cuáles y reportar su consumo en lo posible
	¿Ha variado el consumo de combustible en los últimos 3 años?	Especificar si el consumo de combustible ha variado en los 3 años anteriores.

Fuente: Elaboración propia.

4.2.2 Pequeños establecimientos

En la **Tabla 9** se muestran los campos de información incluidos dentro del formato de empadronamiento de los pequeños establecimientos. En el **Anexo B** se presenta el formato completo.

Tabla 9. Campos de información que fueron incluidos en el formato de recolección de información de los pequeños establecimientos.

ITEM	OBSERVACIONES
Nombre del establecimiento	Nombre en el que aparece registrado en Cámara de Comercio
Persona encuestada	Persona a la que se le realice la encuesta
Cargo	Cargo que posee la persona encuestada
NIT	NIT del establecimiento
CIIU	Código de Identificación industrial universal
Dirección	Dirección del establecimiento

ITEM	OBSERVACIONES
Sector industrial	Sector en el que se encuentra ubicado el establecimiento
Horarios del establecimiento	Horarios definidos por el establecimiento para prestar el servicio
No. fuentes de emisión	Cantidad de equipos generadores de emisiones utilizados en sus actividades
Tipo de combustible	Seleccionar si es gas natural, GLP, carbón, u otro
Consumo de combustible, unidades	Consumo de combustible y unidades
Tiempos de operación	Tiempo en el que se encuentra funcionando el equipo durante el desarrollo de actividades
Mantenimiento de los equipos	Especificar si se realiza algún tipo de mantenimiento a los equipos y la frecuencia.

Fuente: Elaboración Propia.

4.2.3 Estaciones de servicio - EDS

La información fue recolectada a partir de un formato diseñado por el equipo de trabajo, en la que se relacionan datos importantes como número de los tanques y su capacidad, tipo de combustible que comercializan, y la cantidad de galones por combustible comprados y vendidos. En la **Tabla 10** se muestran los campos de información incluidos dentro del formato de las EDS. En el **Anexo E** se presenta el formato completo.

Tabla 10. Campos de información que fueron incluidos en el formato de recolección de información de las EDS.

ITEM	OBSERVACIONES
Nombre de la estación de servicio –EDS	Nombre del establecimiento, este aparece en las oficinas administrativas de la EDS.
Persona encuestada, cargo	Persona a quien se le solicitó la información requerida
NIT	NIT de la EDS
Correo	Correo electrónico de la persona encuestada
CIIU	Código de Identificación industrial universal
Dirección	Dirección de la EDS
Sector industrial	Sector en el que se encuentra ubicada la EDS
Coordenadas	Ubicación de la EDS
Horarios que funciona el establecimiento	Horarios definidos por la EDS para prestar el servicio
Tipo de combustible: corriente, extra, diésel	Debe indicarse el tipo de combustible que se comercializa en la EDS
Número de tanques	Cantidad de tanques que presenta la EDS para almacenar el combustible
Capacidad de almacenamiento: corriente, extra, diésel	Indicar la capacidad de almacenamiento de cada tanque que presenta la EDS
Galones comprados	Galones comprados de cada combustible que tenga la EDS
Galones vendidos	Galones vendidos de cada combustible que tenga la EDS

Fuente: Elaboración Propia.

Luego de obtener la información requerida para el inventario de emisiones, esta se registró en la base de datos del **Anexo A**, en una pestaña adicional llamada “Cálculos E. EDS” donde se relaciona la información de cada EDS, y se realiza la estimación de las emisiones de COV junto con su aporte porcentual.

4.3 Desarrollo del empadronamiento

4.3.1 Sector industrial

Con el fin de realizar la solicitud formal de la información requerida en las empresas, se generaron oficios con apoyo de la CVC, lo cual generó mayor credibilidad en el inventario. Para las grandes industrias, o de mayor complejidad en sus procesos, se elaboraron oficios individuales; mientras que para la mediana y pequeña industria se generó un oficio general. A partir del listado de industrias priorizadas, se establecieron los primeros contactos con las empresas por medio de llamadas telefónicas, donde se realiza una explicación breve de los objetivos del inventario y se confirman correos electrónicos para realizar el envío del oficio. Aquellas que no se logran contactar por llamada, se realiza el envío de la información a los correos electrónicos reportados en la web.

Adicionalmente, se planearon recorridos iniciales con el fin de tener un mayor contacto de acercamiento con las industrias y así mismo, verificar la existencia o actividad de estas; finalmente, se realiza el empadronamiento por sectores, de acuerdo con las visitas que fueron agendadas por cada empresa. Los formatos de empadronamiento permitieron adquirir la información necesaria para la estimación de emisiones atmosféricas en las industrias del municipio de Yumbo. A continuación, se presenta el procedimiento realizado para llevar a cabo el empadronamiento para el sector industrial (**Figura 9**).

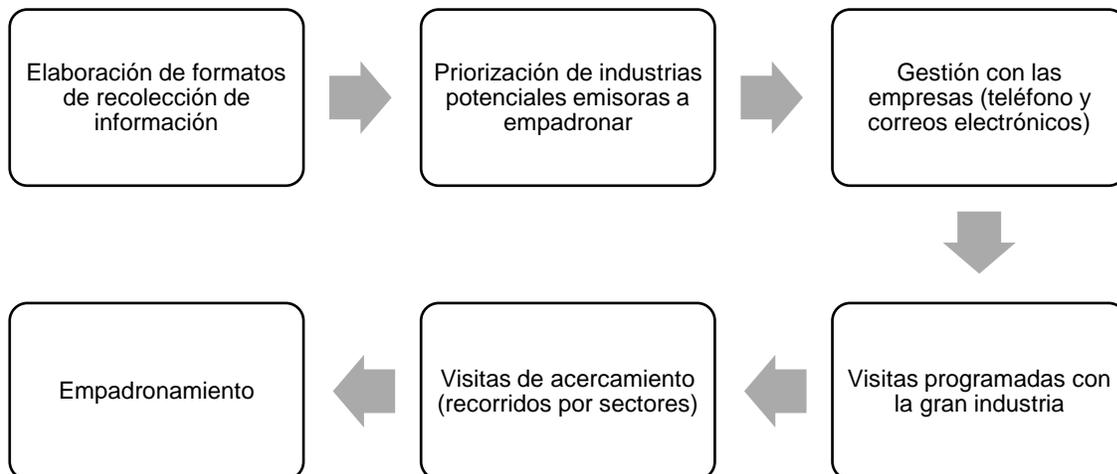


Figura 9. Procedimiento realizado para el empadronamiento del sector industrial.

Fuente: Elaboración propia.

- **Visitas programadas**

Como primera avanzada, se realizaron visitas programadas en compañía de la Corporación, a la gran industria del municipio, visitando en total 8 industrias. Esto permitió recolectar información faltante y que era de suma importancia para el inventario, ya que estas empresas son las más representativas del sector industrial. Se completó información referente a nuevas fuentes, así como fuentes que no se encuentran operando actualmente. Para ver en detalle esta información, diríjase al **Anexo B**.

- **Visitas de acercamiento a los sectores de interés.**

Se plantearon recorridos por la zona rural-industrial, comenzando en las zonas conocidas como ACOPI y Arroyohondo, seguido de la zona de Puerto Isaacs, finalizando con la zona Urbana y otros. Por medio de estos recorridos, se logró determinar el estado en que se encontraban las industrias, es decir, cuáles estaban activas, suspendidas o inexistentes, o cuáles cambiaron de razón social; y así mismo, confirmar su ubicación. A partir de los recorridos, también se logró establecer contacto con aquellas empresas que no se pudieron contactar por correo electrónico o llamada telefónica.

Esta actividad permitió generar un consolidado de industrias, con información más actualizada. De acuerdo con la información recolectada a partir de los recorridos por las zonas geográficas, en las llamadas telefónicas, en información empresarial disponible en la web y en la revisión de algunos expedientes ambientales, se encontraron 32 industrias que ya habían terminado sus operaciones, de las cuales, 27 corresponden al listado entregado por la CVC, 2 corresponden al RUA y 3 corresponden a Cámara de Comercio. Adicionalmente, se encontraron 3 empresas (1 de Cámara de Comercio y 2 del listado entregado por CVC) cuya razón social había sido modificada, de las cuales ya se tiene información actualizada con su nueva razón social.

Por otro lado, fueron descartadas 29 empresas más (3 de RUA, 18 de Cámara de Comercio, 8 del listado de CVC) debido a que sus actividades no generan emisiones atmosféricas, o corresponden a fuentes de área. Estas industrias no se tuvieron en cuenta para el presente inventario; para ver en detalle la información industrias diríjase al **Anexo G**.

Posterior a esto, se definieron unos niveles de priorización de empadronamiento (alta, media y baja). Esto permitió identificar aquellas empresas que no tenían registrada información suficiente, por lo tanto, debían ser objeto de empadronamiento. Aquellas que fueron definidas con el nivel de prioridad alta, no contenían la información suficiente para realizar la estimación de emisiones atmosféricas, por lo tanto, se debía recolectar la información a partir de visita presencial o de forma virtual, de acuerdo con la disponibilidad de la empresa. Se definieron empresas con prioridad media, aquellas que tenían información completa para estimar por factores, al menos de una de sus fuentes fijas, y así mismo, aquellas fuentes cuyas dimensiones de chimenea no fueron reportadas. Las

empresas clasificadas con prioridad baja contaban con la información completa para la estimación de las emisiones por factores de emisión, dimensiones de chimenea, y/o que no presentaban emisiones atmosféricas representativas.

A partir de esta clasificación, se realizó un segundo consolidado presentado a la Corporación con el fin de identificar si se tenía algún registro, principalmente, de aquellas empresas con prioridad alta, lo cual permitiría descartar industrias para ser visitadas de manera presencial.

De las definidas como prioridad alta (8 empresas), se realizaron recorridos adicionales en compañía de funcionarios de la CVC, obteniendo el 100% de la información faltante, estas empresas son de gran importancia para el inventario ya que son responsables del más del 50% de las emisiones atmosféricas (**Anexo A**).

- **Fuentes inventariadas.**

El número de industrias incluidas en el inventario de emisiones por fuentes fijas en el municipio de Yumbo fue de 95 con 330 fuentes de emisión. En total fueron incluidas las 61 industrias cuya información proviene de los expedientes ambientales y los conceptos técnicos de la CVC, 27 industrias con información de RUA, 2 de cámara de comercio y 5 empresas nuevas fueron encontradas durante los recorridos por las zonas geográficas (**Tabla 11**). En el **Anexo A** se presenta la base de datos del inventario.

Tabla 11. Consolidado de industrias del inventario

Tipo de información	No. Industrias	Empresas Empadronadas
Expedientes y conceptos técnicos	61	38
RUA 2018-2020	27	18
Cámara de Comercio	2	2
Nuevas empresas de importancia encontradas	5	5
Total	95	63

Fuente: Elaboración propia.

- **Distribución de Fuentes de emisión:**

En la **Figura 10** se detalla la distribución espacial de las industrias incluidas en el inventario de emisiones por fuentes fijas en el municipio de Yumbo.

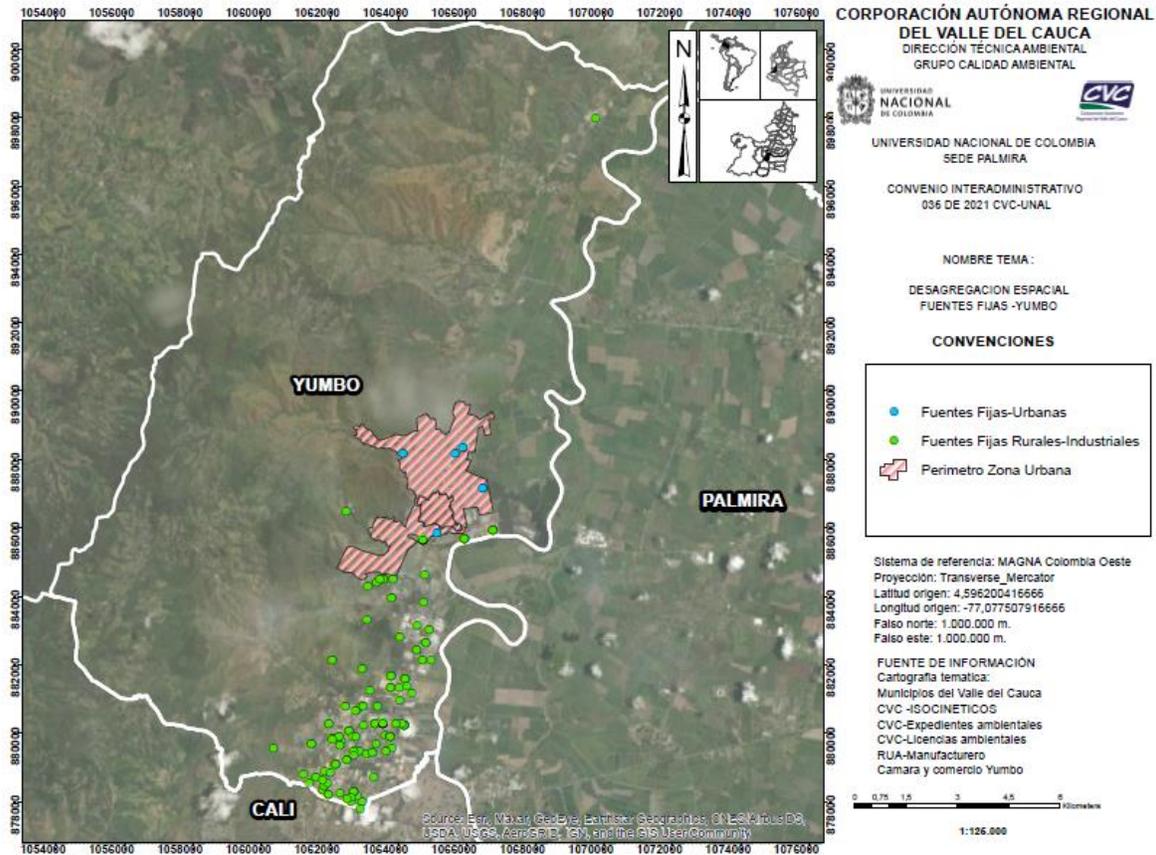
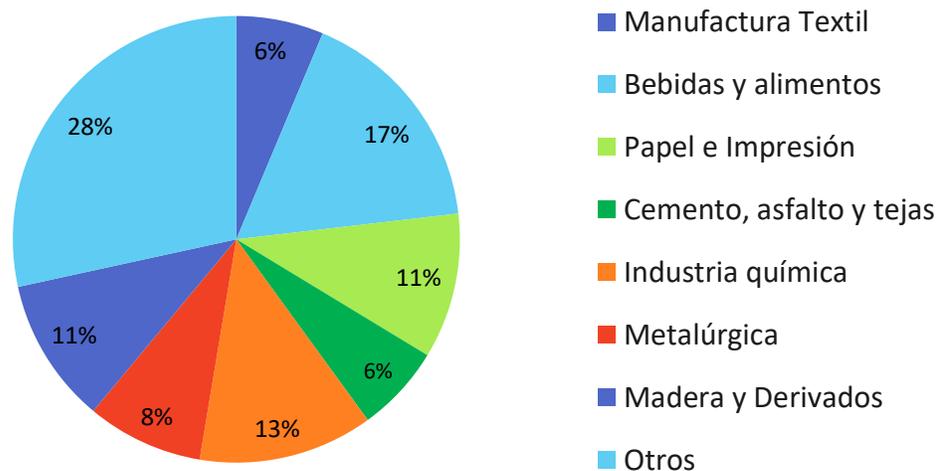


Figura 10. Localización de las industrias del municipio de Yumbo.

Fuente: Elaboración Propia.

De acuerdo con la **Figura 11**, el sector industrial con mayor cantidad de fuentes de emisión es el de Cemento, tejas y asfalto con 67 fuentes (6 empresas), seguido del sector Bebidas y Alimentos con 61 fuentes (16 empresas), la industria metalúrgica con 57 fuentes (8 empresas), el sector de Papel e Impresión con 45 fuentes (10 empresas) y la Industria Química con 42 fuentes (12 Empresas) . En cuanto a número de empresas, el sector más representativo es la categoría de otros (incluye crematorios, incineradores, artículos plásticos, lavanderías) con un 28.4% y 38 fuentes (27 empresas), seguido por el sector de bebidas y alimentos con un 16.8%, el sector de la industria química (12.6%), Maderas y derivados y el sector de Papel e impresión con el 10.5% cada uno.

Distribución emisiones por tipo de Industria

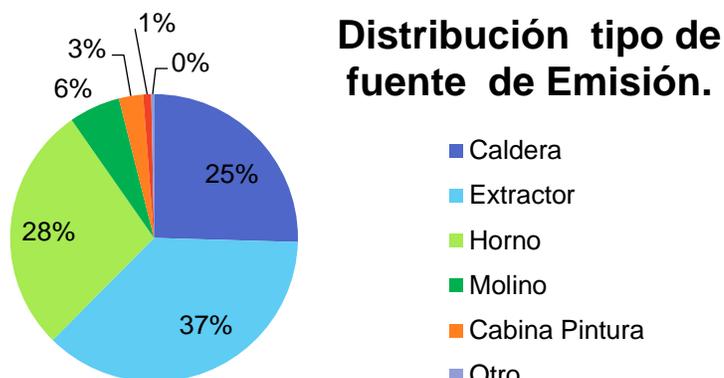


Tipo de industria	No. Fuentes	No. Empresas	% Empresas
Manufactura Textil	7	6	6,3%
Bebidas y alimentos	61	16	16,8%
Papel e Impresión	45	10	10,5%
Cemento, asfalto y tejas	67	6	6,3%
Industria química	42	12	12,6%
Metalúrgica	57	8	8,4%
Madera y Derivados	13	10	10,5%
Otros	38	27	28,4%
Total	330	95	100.0%

Figura 11. Distribución de sectores industriales en Yumbo.

Fuente: Elaboración Propia.

Respecto al tipo de fuentes de emisión, de las 330 fuentes reportadas, el 36.97% corresponden Extractores con 122 equipos (Campanas de extracción, filtros, ciclones entre otros). El segundo tipo de equipos más numerosos son los hornos con 92 equipos que corresponden al 27,88%, dentro de esta categoría se encuentran hornos de secado, fundición, crisoles, hornos de alimentos entre otros. El tercer tipo de equipos más numeroso son las calderas, 84 equipos que corresponden al 25,45%. En menor proporción se encuentran Molinos con 5.76% y cabinas de pintura con 2.73% (**Figura 12**).



Equipos de Procesos	No Fuentes	%
Caldera	84	25,45
Extractor	122	36,97
Horno	92	27,88
Molino	19	5,76
Cabina Pintura	9	2,73
Silo/tolva	3	0,91
Otro	1	0,30
TOTAL	330	100,00

Figura 12. Distribución de los equipos empleados en las industrias evaluadas en Yumbo.

Fuente: Elaboración Propia.

4.3.2 Pequeños establecimientos comerciales.

Como resultado de los 3 recorridos de empadronamiento realizados, se empadronaron en total 11 asaderos y 17 panaderías. Para ver en detalle los establecimientos de panaderías y asaderos incluidos, diríjase al **Anexo A**, específicamente en las pestañas que llevan por nombre “Cálculos E. Panaderías” y “Cálculos E. Asaderos”.

4.3.3 Estaciones de servicio de combustible.

En cuanto a las estaciones de servicio, la información para alimentar la base de datos de estas fuentes emisoras se obtuvo a partir de encuestas realizadas a los administradores de las estaciones de servicio. Como resultado de los 2 recorridos de empadronamiento, se realizaron visitas in situ a 22 estaciones de servicio, donde se empadronaron en total 19 EDS; las 3 restantes no coincidían con la ubicación reportada. A partir de las EDS que fueron empadronadas se realizaron los cálculos de emisiones fugitivas de COV. Para ver

en detalle las estaciones de servicio incluidas, diríjase al **Anexo A**, específicamente a la pestaña “Cálculos E. EDS”.

4.4 Diseño y estructuración de la base de datos del inventario

Con el fin de facilitar la recolección de información, se diseñó una base de datos, donde se consolidó la información (necesaria y suficiente) para realizar la estimación de emisiones por fuentes fijas. Los campos de información que fueron incluidos para la base de datos fueron seleccionados teniendo en cuenta la información específica reportada en los estudios isocinéticos e información general adicional que permita a la CVC la identificación de las cargas de emisiones contaminantes asociada a las actividades (combustión y proceso).

Inicialmente, se consideraron los contaminantes reportados a partir de estudios isocinéticos y que hacen parte de los expedientes ambientales de la CVC. De acuerdo con el tipo de proceso industrial, la Resolución 909 de 2008 define los contaminantes que deben monitorearse; de igual forma la Resolución 619 de 1997 establece las actividades que requieren permiso de emisiones atmosféricas por parte de la autoridad ambiental. Posteriormente se incluyeron campos en la base de datos para realizar la estimación de otros contaminantes de interés ambiental en el inventario, incluyendo algunos GEI. Estas estimaciones usando factores de emisión se consolidaron a partir de información secundaria que incluye: actividad económica, materias primas consumidas, unidades de producción, consumo de combustible y tiempos de operación del equipo fuente (frecuencias de trabajo). La **Tabla 12** resume los campos de información que fueron incluidos en la base de datos de fuentes fijas.

Tabla 12. Campos de información incluidos en la base de datos de fuentes fijas.

Ítem	Campos incluidos	Observaciones
Información general de la empresa	Número de identificación de la industria	Información reportada dentro de los expedientes ambientales y conceptos técnicos
	Número de identificación de la fuente de emisión	
	Número de identificación de expediente ambiental	
	NIT de la empresa	
	Razón social	
	Nombre comercial de la empresa y sedes	
Información de consulta y medición	Correo electrónico y teléfono	Información reportada en el estudio isocinético
	Fecha de consulta del expediente	
	Fecha de reporte de emisiones	
Obtención de la información	Fecha del monitoreo isocinético	Entidad que otorgó la información, encuestas, etc.
	Fuente de información	
	Tipo de informe	Si el documento donde se extrajo la información corresponde a un

Ítem	Campos incluidos	Observaciones
		informe de muestreo isocinético, concepto técnico u otro tipo de documento.
	Tipo de permiso	Describe si la empresa cuenta con permiso de emisiones, licencia ambiental o si únicamente está obligada a reportar sus emisiones.
Descripción de la actividad económica	Sector económico	Información reportada en el expediente ambiental o concepto técnico.
	Código CIIU	
	Tipo de producción	
Información de ubicación de la empresa	Altura y coordenadas de la empresa, dirección, zona industrial, municipio, tipo de suelo	Información reportada en el expediente ambiental o concepto técnico.
Fuente de emisión	Equipo, descripción del equipo, coordenadas del equipo	Equipo fuente, generador de emisiones. Se incluye información reportada en el estudio isocinético.
Descripción específica del punto de emisión	Altura, diámetro, temperatura, velocidad y caudal de salida de los gases, porcentaje de oxígeno	
Dato de producción	Producción/ capacidad instalada	Información importante para realizar la estimación de emisiones atmosféricas por factores de emisión.
Combustible y materia prima	Tipo de combustible, estado de combustible	Reportado en el estudio isocinético. Importante para realizar la estimación de emisiones atmosféricas por el método de factores de emisión.
	Consumo de combustible y unidades de consumo	
Frecuencias	Frecuencias de consumo de combustible (jornadas de trabajo, mes/año, día/mes, hora/día)	El dato de frecuencia es fundamental para la estimación de emisiones por método directo y factores de emisión.
Control de emisiones	Equipo de reducción de emisiones y porcentaje	Información reportada en el estudio isocinético.
Información sobre estimación y fuente de emisión	Método de obtención de emisiones	Corresponde a si esta fue a partir de las mediciones directas, o por factores de emisión.
	Fuente de emisión según combustible	Combustión, combustión por proceso productivo, no combustión.
	Proceso específico de emisión	Proceso al que se involucra el equipo fuente.
	Tipo de fuente (puntual o de área)	Clasificación del punto de emisión. Para este análisis solo se incluyeron fuentes puntuales
Información sobre emisiones estimadas	Emisiones de contaminantes criterio: CO, NO _x (NO, NO ₂) SO _x (SO ₂ , SO ₃), PM (PM, PM _{2.5} , PM ₁₀ ,)	Emisiones reportadas en unidades de ton/año
	Emisiones de COV	
	Emisiones de gases efecto invernadero (CO ₂ , CH ₄ y N ₂ O)	
	Tipo de factor, valor y fuente	

Ítem	Campos incluidos	Observaciones
Información sobre factores de emisión utilizados	Constantes y factores de conversión	EPA AP-42, factores de la EEA, entre otros.
Consolidado de emisiones	Tabla consolidada de emisiones atmosféricas	Emisiones reportadas en unidades de ton/año

Fuente: Elaboración propia.

5. ESTIMACIÓN DE EMISIONES POR FUENTES FIJAS

5.1 Cálculo de las emisiones

En Colombia, la Resolución 909 de 2008 define los estándares de emisión admisibles en diferentes procesos de combustión y producción que impactan la calidad del aire, principalmente por contaminantes criterio como el material particulado (MP), dióxido de azufre (SO₂) y óxidos de nitrógeno (NO_x). Esta regulación incluye las actividades industriales que de acuerdo con el Sistema Nacional Ambiental aportan la mayor carga contaminante al aire y tienen la responsabilidad de cumplir con las normas de emisión. Sin embargo, en esta normatividad no se incluyen pequeños procesos emisores que individualmente emiten cantidades bajas de contaminantes criterio, pero en conjunto pueden significar cargas importantes al aire, tal es el caso de asaderos, panaderías, etc.

En este sentido, para el desarrollo del inventario de emisiones por fuentes fijas se incluyeron las industrias identificadas y priorizadas a partir de la revisión de información reportada por la Cámara de Comercio, el Registro Único Ambiental – RUA y el listado de industrias generadores de emisiones que registra la CVC en los municipios priorizados. La metodología para el cálculo de las emisiones por fuentes fijas se presenta en la **Figura 13**.

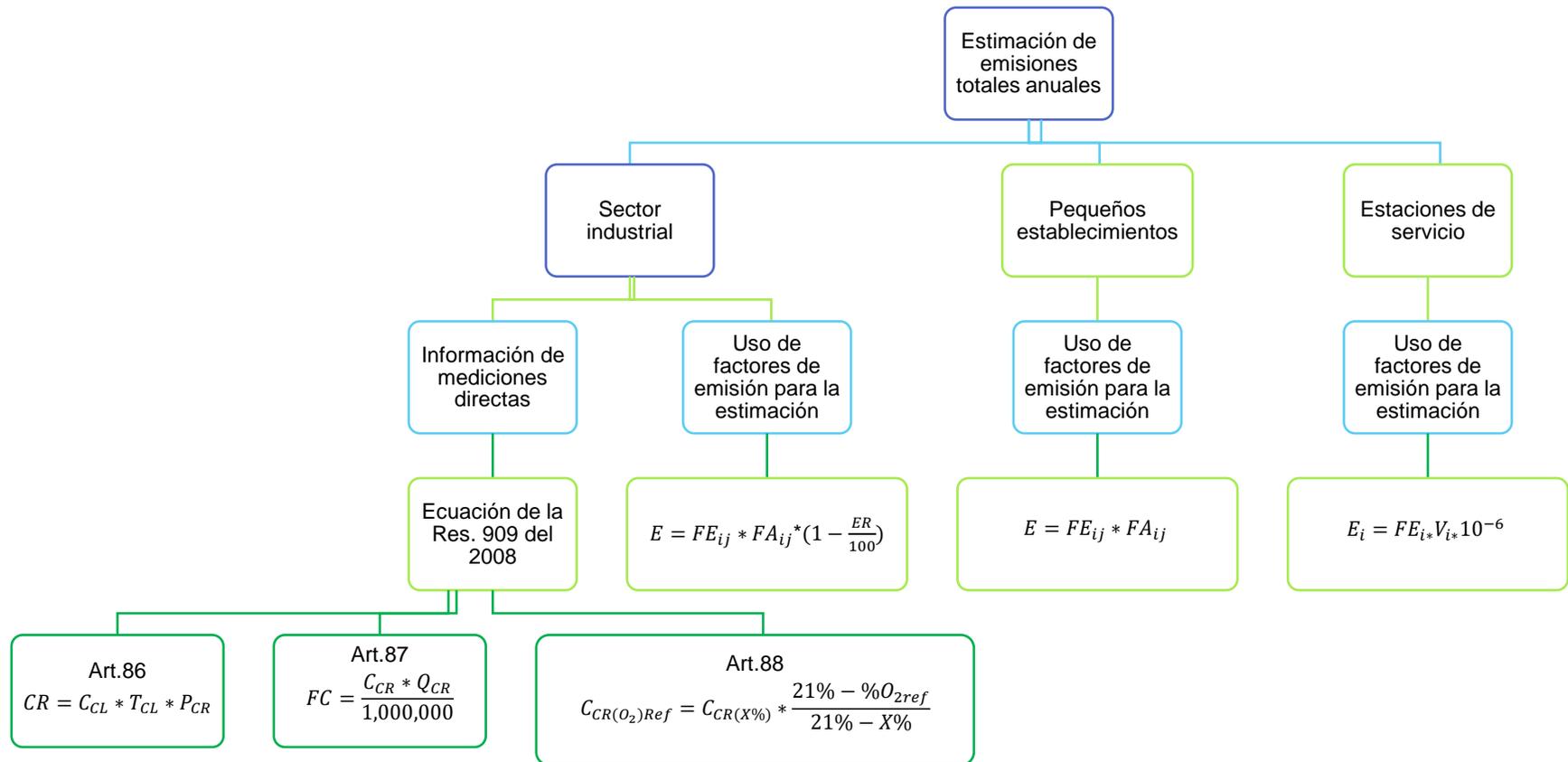


Figura 13. Metodología de cálculo de emisiones totales anuales para fuentes fijas.

Fuente: Elaboración propia.

5.1.1 Factores de emisión

- **Factores de emisión seleccionados para el sector industrial**

Para la selección de los factores de emisión se tuvo en cuenta la información que fue recopilada de los expedientes ambientales, el RUA manufacturero y el empadronamiento, por medio de la cual se realizó una clasificación de las fuentes en dos categorías: aquellas que realizan combustión (utilizan combustible como fuente de energía para su funcionamiento) y aquellas que se relacionan con un proceso productivo.

En el caso de las fuentes de combustión, se debe tener información relacionada con el tipo de fuente, el tipo de combustible que utiliza y su consumo, las jornadas de operación del equipo (frecuencias de trabajo), los equipos de control (si aplica) y su eficiencia de remoción. Por otro lado, para las fuentes asociadas a un proceso productivo se debe tener información relacionada con la actividad productiva, la materia prima consumida, y los sistemas de control y su eficiencia.

Luego de seleccionar los factores de emisión de acuerdo con el tipo de industria presente en la región del valle del cauca, se realizó la conversión de unidades inglesas a unidades del Sistema Internacional, ya que el consumo de combustible de la fuente de emisión generalmente es reportado con unidades del Sistema Internacional.

Los factores de emisión listados en la **Tabla 13**, fueron obtenidos principalmente de la quinta edición del AP-42 Compilation of Air Pollutant Emissions Factors, Volume 1 de la EPA, contenidos dentro de los capítulos 1, 2, 3, 4, 6, 9, 10, 11 y 12.

De igual manera se emplean, para algunas actividades industriales, los FE de la Agencia Ambiental Europea (EEA) que se encuentran en la Guía de inventario de emisiones de contaminantes atmosféricos de EMEP/EEA – 2016, especialmente las secciones 2.D.3.d, 1A 2b 3.-11, 5.C.1.b.v. También se utilizaron los factores de emisión del IPCC y la UPME para complementar los contaminantes de CO₂, CH₄, y N₂O. Para ver en mayor detalle cada factor de emisión, diríjase al **Anexo A**, específicamente a la pestaña “Base de datos EFs”.

Para el caso de recubrimiento de piezas metálicas con pintura, se utilizaron los factores de la Sección 4.2.2.12 Metal Furniture Surface Coating, Table 4.2.2.12-3 de AP-42, donde el factor de emisión de COV está expresado en función del tamaño de la empresa y las horas de operación, no siendo necesario conocer específicamente el consumo de pintura.

Tabla 13. Factores de emisión del AP-42 utilizados para la estimación de emisiones contaminantes del sector industrial.

Combustible/ Proceso asociado	Tipo de fuente factor de emisión - Equipo específico	CO	NO _x	SO ₂	TSP	PM ₁₀	PM _{2.5}	COV	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Gas Natural kg/m ³ std	NG Combustion	0.00134	0.00160	0.00005	0.00012	0.00012	0.00012	0.00009	1.92000	0.00004	0.00004
Carbón kg/ton	Spreader Stoker, bituminous	2.50000	5.50000	54.15000	33.00000	6.60000	2.30000	0.02500	1467.24600	0.03000	0.02000
	Spreader Stoker, sub- bituminous	2.50000	4.40000	24.85000	33.00000			0.02500	1467.24600	0.03000	0.02000
	Underfeed stoker	5.50000	4.75000	7.75000				0.02500	1467.24600	0.03000	0.02000
	Cyclone furnace				2.80000	0.36400	0.15400				
	Spreader stoker, with multiple cyclones, no reinjection				6.00000	3.90000	1.60000				
	Spreader stoker. Baghouse control syst.				0.06000	0.03600	0.01600				
Diesel (Fuel oil No. 2) kg/gal	Boiler < 100 MBTU/h - Distillate oil fired	0.00227	0.00907	0.00032	0.00091	0.00045	0.00011	0.00009	10.11506	0.00002	0.00012
Combustóleo (Fuel Oil No. 6) kg/gal	Boiler < 100 MBTU/h - Fuel oil No. 6	0.00227	0.02495	0.10967	0.00788	0.00681	0.00444	0.00013	11.33975	0.00045	0.00024
GLP kg/gal	LPG Combustion. Butane emission. Industrial boiler	0.00381	0.00908 ¹	7.6E-07 ¹	0.00036	0.00036	0.00036	0.00025 ¹	6.48634	0.00009	0.00041

Combustible/ Proceso asociado	Tipo de fuente factor de emisión - Equipo específico	CO	NO _x	SO ₂	TSP	PM ₁₀	PM _{2.5}	COV	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Bagazo kg/ton	Uncontrolled	2.64000 ¹	0.60000	1.38000 ⁵	7.80000	4.10000 ⁵	2.60000 ⁵		780.00000	0.44229 ²	0.05897 ²
	Controlled Mechanical Collector	2.64000 ¹	0.60000	0.29000 ¹	4.20000	2.20000 ⁵	1.40000 ⁵		780.00000	0.44229 ²	0.05897 ²
	Controlled Wet Scrubber	2.64000 ¹	0.60000	0.29000 ¹	0.70000	0.68000	0.23000 ⁵		780.00000	0.44229 ²	0.05897 ²
Madera kg/ton	Dry wood-fired boilers	5.08939	4.15633	0.21206	3.39293	3.05363	2.62952	0.14420	1,654.05240	0.50937 ²	0.11027
Operaciones Secundarias Aluminio kg/ton	Smelting reverberatory Uncontrolled		0.413 ³	0.285 ³	2.15000	1.17933	0.97975				0.00061 ⁴
	Smelting reverberatory BagHouse		0.413 ³	0.285 ³	0.65000						0.00061 ⁴
	Smelting reverberatory Electrostatic Precipitator		0.413 ³	0.285 ³	0.65000						0.00061 ⁴
Fundición secundaria Cobre kg/ton	Reverbetory Frunace whitout Control equipment	4.69000 ³	0.40000 ³	1.23000 ³	2.60000	2.50000					
	Reverbetory Frunace whit Baghouse	4.69000 ³	0.40000 ³	1.23000 ³	0.20000	ND					
	Electric Arc Furnace whitout Control equipment	4.69000 ³	0.40000 ³	1.23000 ³	2.50000	2.50000					
	Electric Arc Furnace whit Baghouse	4.69000 ³	0.40000 ³	1.23000 ³	0.50000	ND					
	Electric Induction whitout Control equipment	4.69000 ³	0.40000 ³	1.23000 ³	3.50000	3.50000					

Combustible/ Proceso asociado	Tipo de fuente factor de emisión - Equipo específico	CO	NO _x	SO ₂	TSP	PM ₁₀	PM _{2.5}	COV	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
	Electric Induction whit Baghouse	4.69000 ³	0.40000 ³	1.23000 ³	0.25000	ND					
Fundición secundaria Plomo kg/ton	Reverberatory smelting Uncontrolled		0.18600 ³	40.00000	162.00000				0.20000 ⁴	0.00020 ⁴	0.00034 ⁴
	Reverberatory smelting Controlled		0.18600 ³		0.50000				0.20000 ⁴	0.00020 ⁴	0.00034 ⁴
Proceso - Planta de asfalto kg/ton	Drum Mix Hot Asphalt Plant. Waste oil -fired dryer - fabric filter	0.058967	0.024944	0.026308	0.0063503	0.00191	0.00131	0.0145149	14.96847	0.005443	
	Drum Mix Hot Asphalt Plant. Waste oil -fired dryer - Wet scrubber	0.058967	0.024944	0.026308	0.0117933			0.0145149	14.96847	0.005443	
	Drum Mix Hot Asphalt Plant. No.2 Fuel Oil- fired dryer - fabric filter	0.058967	0.024944	0.004989	0.0063503	0.00191	0.00131	0.0145149	14.96847	0.005443	
	Drum Mix Hot Asphalt Plant. No.2 Fuel Oil- fired dryer - Wet scrubber	0.058967	0.024944	0.004989	0.0117933			0.0145149	14.96847	0.005443	
Proceso - Incineración cadáveres kg/ton	Controlled-Air Medical Waste Incineration - Uncontrolled	1.33809	1.61478	0.98429	2.11827	1.37687	0.91721	0.16250 ³			
Proceso - Incineración hospitalarios	Rotary Kiln Medical Waste Incineration -	0.02263	2.22713	0.13608	0.03429	0.02466	0.00093	7.40000 ³			

Combustible/ Proceso asociado	Tipo de fuente factor de emisión - Equipo específico	CO	NO _x	SO ₂	TSP	PM ₁₀	PM _{2.5}	COV	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
kg/ton	SD/Carbon Injection/FF										
Proceso - Fundición de metales kg/ton	Steel Foundries - Electric induction				0.04536	0.04082					
	Mini mills - Electric arc furnace, ladle metallurgy, melt shop	0.81646	0.09979	0.09072	0.02676	0.00907		0.01043	0.08000 ⁴		
Chemical Wood Pulping kg/ton	Recovery Boiler and direct evaporator. (Caldera de Recuperación). ESP*	5.50000		3.0000	1.00000		0.50000				
	Noncontact Recovery Boiler without direct contact evaporator. (Caldera de Recuperación). ESP*	5.50000			1.00000	0.70000	0.60000				
	Smelt dissolving tank				0.10000						
	Lime Kiln (Horno de Cal)	0.10000			0.25000						
Portland Cement manufacturing (Factor expresado en	Wet process kiln	0.0600	3.7000	4.1000	65.0000	16.0000			1100.0000		
	Wet process kiln with ESP	0.0600	3.7000	4.1000	0.3800	0.3300			1100.0000		

Combustible/ Proceso asociado	Tipo de fuente factor de emisión - Equipo específico	CO	NO _x	SO ₂	TSP	PM ₁₀	PM _{2.5}	COV	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
peso unitario de clinker producido kg/ton)	Wet process kiln with Fabric Filter	0.0600	3.7000	4.1000	0.2300						
	Dry process kiln with ESP	0.1100	3.0000	4.9000	0.5000				900.0000		
	Dry process kiln with Fabric Filter	0.1100	3.0000	4.9000	0.1000	0.0800			900.0000		
	Clinker cooler with ESP				0.0480						
	Clinker cooler with fabric filter				0.0680						
	Raw mill feed belt with fabric filter				0.0062						
	Finish grinding mill feed belt with fabric filter				0.0024						
	Primary limestone crushing with fabric filter				0.0010						
	Raw mill weigh hopper with fabric filter				0.0100						
	Torre precalentadora (Preheater kiln with fabric filter)				0.1300						
	Torre precalentadora				0.2700						
	Finish Grinding mill feed belt with fabric filter				0.0042						

Combustible/ Proceso asociado	Tipo de fuente factor de emisión - Equipo específico	CO	NO _x	SO ₂	TSP	PM ₁₀	PM _{2.5}	COV	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
	Finish grinding mill air separator with fabric filter				0.0140						
Steel minimills. (10 to 100 Tn per heat) kg/ton	Electric arc furnace, ladle metallurgy, and melt shop.	0.81600	0.10000	0.09100	0.00907			0.01040			
	Reheat Furnace Natural gas fired. Uncontrolled	0.00539	0.08620		0.01500						
	Ladle metallurgy station. Uncontrolled	0.01130	0.01090	0.01590				0.00150			
	Ladle metallurgy station. Baghouse				0.00160						
Steel Foundries kg/ton	Electric Arc		0.10000		6.50000						
	Open Hearth		0.00500		5.50000						
	Open Hearth Oxygen Lanced		0.00500		5.00000						
	Electric Induction				0.05000	0.04500					
Grain Processes Mills kg/ton	Grain Milling. Hammermill, Cyclone				0.03039						
	Grain Milling. Hammermill, BagHouse				0.00544						
	Grain Cleaning. Internal Vibration Cyclone				0.03402	0.00862	0.00145				

Combustible/ Proceso asociado	Tipo de fuente factor de emisión - Equipo específico	CO	NO _x	SO ₂	TSP	PM ₁₀	PM _{2.5}	COV	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
	Animal feed mills - Hammermill – Baghouse				0.00544	0.00544					
	Animal feed mills- Pelletizing Pellet cooler - Cyclone				0.16329	0.08165					
	Animal feed mills- Flaker - Cyclone				0.06804	0.03402					
Food Procesing kg/ton	Rice dryer Uncontrolled					19.5000	2.00000				
	Rice dryer Controlled				0.15000	0.029	0.00300				
	Cereal dryer Uncontrolled					44.0000	27.0000				
	Cereal dryer Controlled				0.75000	0.33000	0.2000				
Fabricación de Fertilizantes	Rotatory Dryer Uncontrolled				23.00000	22.7000	2.5000				
Coating Application (g/kg)	Decorative coating applications							150.00000 ³			
	Decorative coating applications (Dispersion Emulsion, 2-3% Solvente, 39%abatement)							92.00000 ³			

Combustible/ Proceso asociado	Tipo de fuente factor de emisión - Equipo específico	CO	NO _x	SO ₂	TSP	PM ₁₀	PM _{2.5}	COV	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
	Industrial coating applications							400.00000 ³			
	Industrial coating applications (Dispersion Emulsion, 2-3% Solvente, 39%abatement)							244.00000 ³			
	Other Coating applications							200.00000 ³			
	Other coating applications (Dispersion Emulsion, 2-3% Solvente, 39%abatement)							122.00000 ³			
Coating Application kg/h	Small Waterborne							0.26000			
	Large Waterborne							23.00000			
Printing g/kg ink	Small Flexography							900.00			
	Small Flexography (Water Based 5% solvent)							45.00			
	Large Flexography							800.00			
	Large Flexography (Water Based 5% solvent)							96.00			

Combustible/ Proceso asociado	Tipo de fuente factor de emisión - Equipo específico	CO	NO _x	SO ₂	TSP	PM ₁₀	PM _{2.5}	COV	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Coating Application (g/kg)	Decorative coating applications							150.00000 ³			
	Decorative coating applications (Dispersion Emulsion, 2-3% Solvente, 39%abatment)							92.00000 ³			
	Industrial coating applications							400.00000 ³			
	Industrial coating applications (Dispersion Emulsion, 2-3% Solvente, 39%abatment)							244.00000 ³			
	Other Coating applications							200.00000 ³			
	Other coating applications (Dispersion Emulsion, 2-3% Solvente, 39%abatment)							122.00000 ³			
Coating Application kg/h	Small Waterborne							0.26000			
	Large Waterborne							23.00000			
Printing g/kg ink	Small Flexography							900.00			

Combustible/ Proceso asociado	Tipo de fuente factor de emisión - Equipo específico	CO	NO _x	SO ₂	TSP	PM ₁₀	PM _{2.5}	COV	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
	Small Flexography (Water Based 5% solvent)							45.00			
	Large Flexography							800.00			
	Large Flexography (Water Based 5% solvent)							96.00			
Manufacture Ruber Products kg/kg	Milling							0.00008			
	Mixing				0.00032						
	Grinding							0.00106			
Zinc Smelting kg/ton metal	Sinter Plant, Uncontrolled				62.50000						
	Sinter Plant, with Ciclon				24.10000						
	Sinter Plant, whit Ciclon + ESP				8.25000						
Paints and Varnish Manufacturing kg/ton product	Paint				10.00000			15.00000			
	Varnish oil							20.00000			
	Varnish oleoresin							75.00000			
Ink Printing kg/ton	General							60.00000			

¹ Factores de emisión National Pollutant Inventory (Australia), 2003, ² Factores de emisión UPME, 2016, ³ Factores de emisión EEA, 2016.,

⁴ Factores de emisión IPCC, 2006, ⁵ Factores de emisión estimados (**Anexo H**).

- **Factores de emisión seleccionados para los pequeños establecimientos**

Para las panaderías se utilizó el factor de emisión reportado en la tabla 1.4-1 “Final section. Section 1.4 NG Comb.” de la sección del AP-42 del gas natural de combustión. Por otro lado, para los asaderos, se utilizó el factor Smoke Meat - Batch smoke House (carne ahumada) (**Tabla 14**) reportados en la tabla 9.5.2-2 del AP-42, para aquellos hornos que utilizan carbón y leña como combustible, y para los cálculos de CO₂, CH₄, y N₂O se utilizó el factor de emisión reportado en la UPME. Por otro lado, para aquellos asaderos que utilizan gas natural como combustible, se utilizaron los factores de emisión mencionados para las panaderías.

Tabla 14. Factores de emisión para la estimación de emisiones contaminantes de los pequeños establecimientos.

Combustible/ Proceso asociado	Tipo de fuente	CO	NO _x	SO ₂	TSP	COV	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Gas Natural kg/m ³ std	NG Combustion	0.0013	0.0016	0.00005	0.0001	0.00009	1.92000	0.00004	0.00004
Smoke meat (kg/ton)	Batch Smoke House - Carbón				10.43257	19.95796	2,534.8*	0.0288*	0.0431*
	Batch Smoke House- Madera				10.43257	19.95796	1,521.3*	0.5098*	0.0680*

*Factores de emisión UPME (2016)

- **Factores de emisión seleccionados para las EDS**

La estimación de emisiones fugitivas de COV en las estaciones de servicio EDS, cuya actividad se relaciona con la venta de combustibles, se realizó a partir de factores de emisión, los cuales fueron tomados del Capítulo 5 del documento AP-42 Compilation of Air Pollutant Emission Factors (US-EPA, 1995a). Según lo reportado en el AP-42, las emisiones de COV por la evaporación de combustibles líquidos en las EDS, pueden considerarse, por tipo de almacenamiento y modo de transporte utilizado. Actividades como el llenado de los tanques, contracción y expansión de los gases en el tanque subterráneo, y llenado de los vehículos automotores son generadoras importantes de COV. Los factores de emisión reportados en la **Tabla 15**, fueron utilizados de acuerdo con el tipo de llenado de los tanques y el llenado de los vehículos.

Tabla 15. Factores de emisión para estimar emisiones fugitivas de COV en las EDS.

Fuente de emisión	Factor de emisión (mg/L)	Factor de emisión (ton/gal)
Gasolina		
Llenado del tanque subterráneo		
Tubería sumergida	880	3.33116E-06
Tubería no sumergida	1,380	5.22387E-06
Tubería sumergida y con control de emisiones	40	1.51417E-07

Fuente de emisión	Factor de emisión (mg/L)	Factor de emisión (ton/gal)
Contracción y expansión de los gases en el tanque subterráneo	120	4.5425E-07
Llenado de vehículos		
Emisión sin control	1,320	4.99674E-06
Emisión controlada	132	4.99674E-07
Derrames	80	3.02833E-07
Diésel		
Incluye el llenado de tanques subterráneos, el llenado de los vehículos y la contracción y expansión de vapores en el tanque subterráneo.	176	6.66233E-07

Fuente: EPA, 2008.

5.2 Estimación de emisiones del sector industrial

Para la determinación de emisiones por fuentes fijas del sector industrial se obtuvieron a partir de mediciones directas o estimadas utilizando los factores de emisión de la EPA, según fuera el caso. En ese sentido, las industrias que contaban con información proveniente de mediciones directas se les aplicó las ecuaciones de corrección de emisiones (**Tabla 16**) de los artículos 86, 87 y 88 de la resolución 909 de 2008, con el fin de evaluar la consistencia y calidad de la información reportada en los informes de muestreos isocinéticos. Adicionalmente, para el cálculo de las emisiones anuales se incluyó el tiempo de operación de cada fuente como factor de actividad. Para ver en mayor detalle el procedimiento llevado a cabo diríjase al **Anexo F** y a la pestaña README del **Anexo A**.

Tabla 16. Ecuaciones establecidas para corrección de emisiones por fuentes estacionarias puntuales a condiciones de referencia y locales

Artículo	Ecuación	Descripción de variables
86	$C_{CR} = C_{CL} \times \frac{T_{CL} \times P_{CR}}{T_{CR} \times P_{CL}}$	<p>C_{CR}: Concentración del contaminante a condiciones de referencia (T: 298.15°K, P: 760 mm Hg) en mg/m³</p> <p>C_{CL}: Concentración del contaminante a condiciones locales en mg/m³</p> <p>T_{CL}: Temperatura de los gases a la salida del ducto en °K</p> <p>P_{CR}: Presión a condiciones de referencia en mm Hg</p> <p>P_{CL}: Presión de los gases a la salida del ducto en mm Hg</p> <p>T_{CR}: Temperatura a condiciones de referencia en °K</p>
87	$FC = \frac{C_{CR} \times Q_{CR}}{1000000}$	<p>FC: Flujo del contaminante en kg/h</p> <p>C_{CR}: Concentración del contaminante a condiciones de referencia (T: 298.15°K, P: 760 mm Hg) en mg/m³</p> <p>Q_{CR}: Caudal del contaminante a condiciones de referencia (298.15°K, 760 mm Hg) en m³/h</p>
88	$C_{CR(O_2)ref} = C_{CR(X\%)} \times \frac{21\% - \%O_{2ref}}{21\% - X\%}$	<p>C_{CR (O₂ref)}: Concentración del contaminante a condiciones de referencia con la corrección de oxígeno, basado en el oxígeno de referencia de conformidad con lo establecido en la Res. 909 de 2008</p>

Artículo	Ecuación	Descripción de variables
		<p>C_{CR} (%): Concentración del contaminante a condiciones de referencia en mg/m^3</p> <p>$\%O_{2ref}$: Oxígeno de referencia de la medición, de conformidad con lo establecido en la Res. 909 de 2008 (%)</p> <p>$X\%$: Oxígeno medido a la salida de los gases (%).</p>

Fuente: Resolución 909 de 2008.

Por otro lado, las industrias que fueron empadronadas y que en los expedientes ambientales y conceptos técnicos no se hubiese estimado alguno de los contaminantes de interés en este estudio, sus emisiones fueron calculadas a partir de los factores de emisión (Ecuación 14, **Tabla 16**)

$$E = FE_{i,j} \times FA_{jt} \left(1 - \frac{ER}{100} \right) \quad \text{Ecuación 14}$$

Donde;

E : hace referencia a la emisión del contaminante en ton/año

$FE_{i,j}$: es el factor de emisión del contaminante (j) para la actividad (i) el cual es seleccionado de acuerdo con el tipo de combustible y la categoría en la que se clasifica la fuente de emisión, en unidades de kg/ton, kg/m^3 , o kg/gal dependiendo del estado del combustible (sólido, líquido o gaseoso, respectivamente).

FA_{jt} : corresponde al factor de actividad de la actividad (i) durante el tiempo (t), en kg/h, m^3/h o GPH, dependiendo del combustible utilizado o proceso asociado.

Se debe tener especial cuidado a la hora de realizar la estimación de las emisiones cuando la fuente de emisión cuenta con equipos de control, ya que, en algunos combustibles y procesos, se incluyen las eficiencias dentro del factor, por lo que a la hora de realizar la estimación no debe incluirse el porcentaje de remoción (**Tabla 16**). Adicionalmente, aquellas fuentes que no cuenten con un equipo de control, la eficiencia debe ser asumida como cero. Con el fin de dar mayor claridad respecto al proceso de cálculo de emisiones por factores de emisión se presenta el siguiente esquema (**Figura 14**).

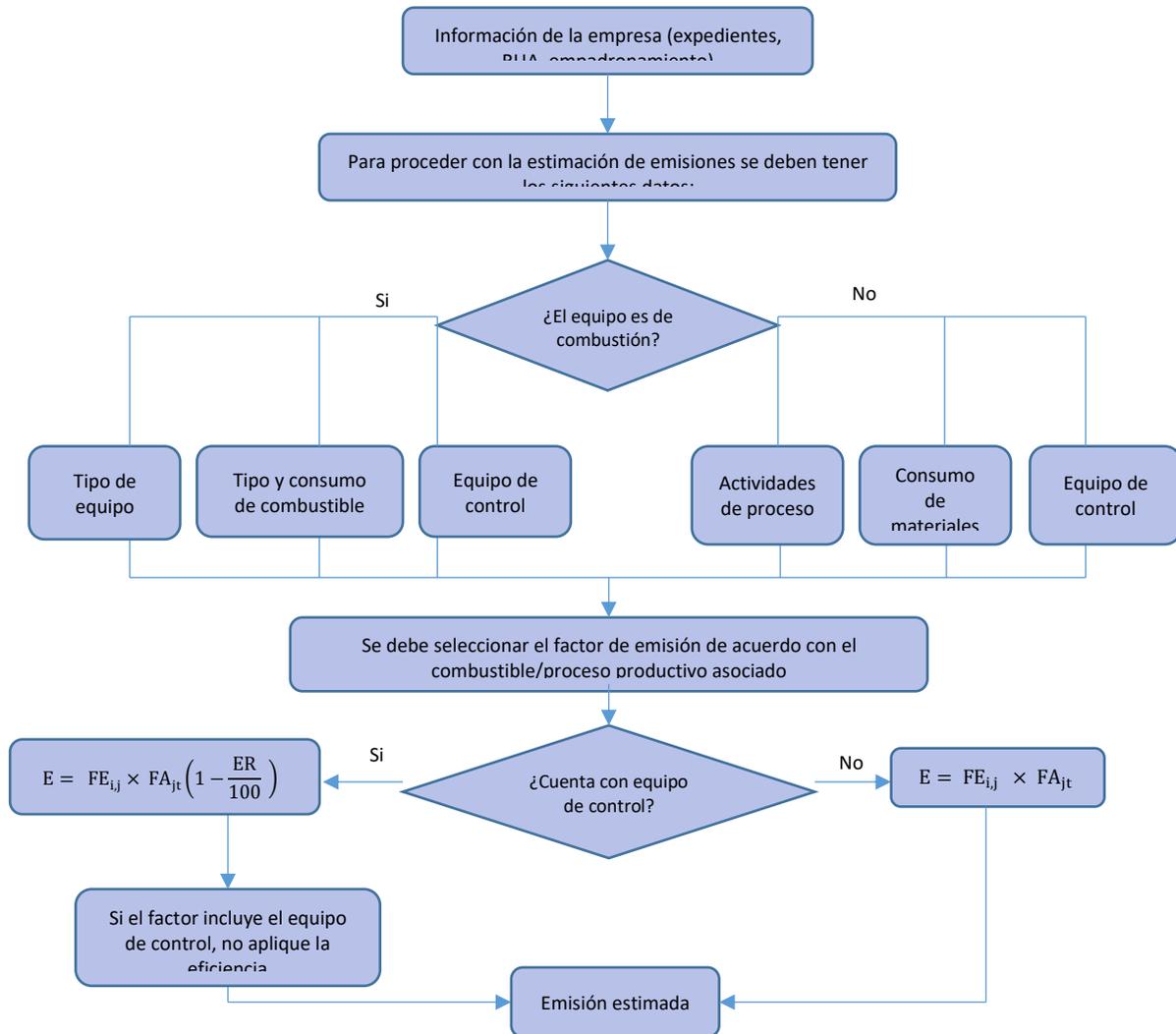


Figura 14. Metodología de cálculo para estimar emisiones por factores de emisión en el sector industrial.

Fuente: Adaptado de Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2018

5.3 Estimación de emisiones de pequeños establecimientos

En el caso de los pequeños establecimientos, se determinaron las emisiones por medio de factores de emisión establecidos en los documentos AP-42 de la EPA, adaptando la ecuación (Ecuación 14) ya que en estos establecimientos no se cuenta con equipos de control de emisiones, obteniendo así la Ecuación 15.

$$E = FE_{i,j} \times FA_{jt} \quad \text{Ecuación 15}$$

Donde;

E : hace referencia a la emisión del contaminante en kg/año

$FE_{i,j}$: es el factor de emisión del contaminante (j) para la actividad (i).

$F_{A_{jt}}$: corresponde al factor de actividad de la actividad (i) durante el tiempo (t).

5.4 Estimación de emisiones de estaciones de servicio de combustibles - EDS

La estimación de emisiones fugitivas de COV para EDS se realizó a partir de la Ecuación 16 en la cual se tienen en cuenta las cantidades de los diferentes tipos de combustible vendidos en las EDS, su composición, las prácticas de manejo y los tipos de control de emisiones empleados (US EPA, 2008).

$$E_i = EFi * Vi * 10^{-6} \text{ Ecuación 16}$$

Donde;

E_i : Es la emisión anual de COV (kg/año) asociada al manejo de combustible i en las EDS

EF_i : Es el factor de emisión asociado al combustible i (mg/L)

V_i : Son las ventas anuales de combustible (L/año)

6. INVENTARIO DE EMISIONES POR FUENTES FIJAS EN EL MUNICIPIO DE YUMBO

6.1 Emisiones por tipo de industria

A continuación, se presentan los resultados obtenidos para los sectores industriales que hacen parte del municipio de Yumbo. La **Tabla 17** resume los resultados obtenidos de las emisiones del sector industrial (ton/año) asociadas a las fuentes fijas industriales. En términos de emisiones totales anuales, las fuentes fijas emiten predominantemente Dióxido de carbono (CO_2 : 2,031,378.11 ton/año), Dióxido de Azufre (SO_2 : 5,312.76 ton/año), Monóxido de Carbono (CO : 4,197.67 ton/año), Óxidos de Nitrógeno (NO_x : 3,766.77 ton/año), Material Particulado (PM : 502.82 ton/año), Material Particulado menor a 10 micras (PM_{10} : 296.83 ton/año), Material Particulado menor a 2.5 micras ($\text{PM}_{2.5}$: 214.74 ton/año), Compuestos Orgánicos Volátiles (COV : 334.67 ton/año), Óxido Nitroso (N_2O : 370.03 ton/año), Metano (CH_4 : 22.11 ton/año) y Metales (0,83 ton/año).

Tabla 17. Emisiones (ton/año) de contaminantes atmosféricos por sector industrial del municipio de Yumbo.

Tipo de Industria	CO	NO _x	SO ₂	TSP	PM ₁₀	PM _{2.5}	COV	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	METALES
Manufactura Textil	1,65	0,70	3,84	1,12	0,73	0,31	0,03	1835,93	0,02	0,71	0,00
Combustión	1,57	0,54	3,84	1,11	0,73	0,30	0,03	1711,94	0,02	0,66	0,00
Combustión - Proceso productivo	0,07	0,16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	123,99	0,00	0,05	0,00
No combustión	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Bebidas y alimentos	44,51	47,94	121,10	26,29	9,37	4,05	2,24	63254,64	1,03	83,61	0,00
Combustión	43,74	47,06	121,10	21,79	6,29	3,30	2,19	62122,15	1,01	81,58	0,00
Combustión - Proceso productivo	0,76	0,88	0,01	0,58	0,14	0,04	0,05	1132,49	0,02	2,04	0,00
No combustión	0,00	0,00	0,00	3,92	2,94	0,71	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Papel e Impresión	3222,53	1474,21	3097,52	135,88	78,80	61,28	292,87	1301399,12	10,99	173,29	0,00
Combustión	3197,88	1455,62	3080,95	102,53	47,58	31,40	10,62	1274044,04	10,49	124,05	0,00
Combustión - Proceso productivo	24,64	13,89	14,00	19,08	18,34	18,34	38,02	27355,09	0,50	49,23	0,00
No combustión	0,00	4,70	2,57	14,27	12,88	11,54	244,24	0,00	0,00	0,00	0,00
Cemento, asfalto y tejas	718,01	2115,91	2033,24	178,24	103,88	54,39	25,40	586208,23	8,94	14,75	0,00
Combustión	197,51	191,99	959,54	4,61	1,90	0,47	10,63	164996,44	1,97	7,58	0,00
Combustión - Proceso productivo	520,50	1923,92	1073,59	114,81	74,39	36,29	13,58	421211,78	6,97	7,17	0,00
No combustión	0,00	0,00	0,11	58,82	27,60	17,63	1,18	0,00	0,00	0,00	0,00
Industria química	18,92	35,72	0,35	17,66	5,50	4,75	5,09	26824,26	0,51	45,65	0,00
Combustión	9,34	27,72	0,28	0,23	0,22	0,21	0,61	12562,42	0,25	19,99	0,00
Combustión - Proceso productivo	9,58	8,00	0,07	9,12	5,28	4,54	0,63	14261,84	0,26	25,66	0,00
No combustión	0,00	0,00	0,00	8,31	0,00	0,00	3,86	0,00	0,00	0,00	0,00
Metalúrgica	163,61	77,10	53,57	131,58	91,27	84,09	6,18	42955,37	0,54	49,05	0,77

Tipo de Industria	CO	NO _x	SO ₂	TSP	PM ₁₀	PM _{2.5}	COV	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	METALES
Combustión	8,24	11,16	0,06	0,19	0,19	0,19	0,54	12258,27	0,23	22,06	0,00
Combustión - Proceso productivo	12,03	13,22	12,57	5,94	3,83	3,25	0,88	16693,80	0,31	26,99	0,25
No combustión	143,34	52,71	40,94	125,46	87,25	80,65	4,76	14003,30	0,00	0,00	0,52
Madera y derivados	9,85	8,23	0,49	6,47	5,83	5,02	0,28	4826,04	0,00	0,25	0,00
Combustión	2,0	1,6	0,1	0,8	0,7	0,6	0,06	953,97	0,00	0,04	0,00
Combustión - Proceso productivo	7,9	6,6	0,4	5,7	5,1	4,4	0,22	3872,07	0,00	0,21	0,00
No combustión	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Otros	18,60	6,96	2,66	5,58	1,44	0,85	2,58	4074,52	0,08	2,71	0,06
Combustión	1,71	1,07	1,89	2,40	0,49	0,18	0,06	1840,39	0,03	1,26	0,00
Combustión - Proceso productivo	16,90	5,53	0,76	1,35	0,95	0,67	0,61	2234,13	0,05	1,45	0,06
No combustión	0,00	0,36	0,00	1,83	0,00	0,00	1,91	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	4197,67	3766,77	5312,76	502,82	296,83	214,74	334,67	2031378,11	22,11	370,03	0,83

Fuente: Elaboración Propia.

En la **Figura 15** y **Figura 16** se presenta el aporte de los contaminantes por sector industrial en ton/año y en porcentaje respectivamente. Se observa que las emisiones más representativas en cuanto a contaminantes criterio corresponden al sector de papel e impresiones con valores de SO₂ 3097.52 ton/año (58.30%), CO 3,222,53 ton/año (76,77%), NO_x 1,474.21 ton/año (39,14%) En cuanto al material particulado este sector es responsable de la emisión de 135.88 ton/año de PM (27,02%), PM₁₀ con 78,8 ton/año (26,55%) y PM_{2.5} con 61.28 ton/año (28,54%). Este sector también genera grandes aportes de GEI, presentando un aporte para CO₂ de 64.06% (1,301,399.12 ton/año), y N₂O del 46.83% (173.29 ton/año).

El segundo sector en magnitud de emisiones es el sector cemento, tejas y asfalto, que aporta el mayor porcentaje de NO_x 2,115.91 ton/año (56.17%), SO₂ 2033.24 ton/año (38.27%). En cuanto al material particulado este sector genera PM 178.24 ton/año (35.45%), PM₁₀ 103.88 ton/año (35.00%) y PM_{2.5} 54.39 ton/año (25.33%); representa también un alto porcentaje de las emisiones de GEI con 28.86% de CO₂ (586,208.23 ton/año). El sector consume altas cantidades de carbón en el piro proceso del cemento lo que justifica las emisiones anteriormente descritas. Adicionalmente, el sector metalúrgico aporta principalmente a las emisiones de PM 131.58 ton/año (26.17%), PM₁₀ 91.27 ton/año (30.75%), PM_{2.5} 84.09 ton/año (39.16%) y SO₂ con 53.57 ton/año (1,01%).

Lo anterior está muy relacionado con la escala de los procesos y los combustibles utilizados, aunque representen pocas empresas y fuentes por sector y se cumpla con los estándares de la normatividad ambiental, la magnitud de sus procesos genera grandes aportes en emisiones atmosféricas. Dentro de este sector se encuentran las papeleras que utilizan Licor negro y carbón como combustible.

Por otro lado, 292,87 ton/año de COVs son generados en el sector de Papel e Impresión (87,5%), la gran mayoría en actividades de impresión y flexografía, los restantes COVs son emitidos en la combustión incompleta del gas natural y del carbón principalmente.

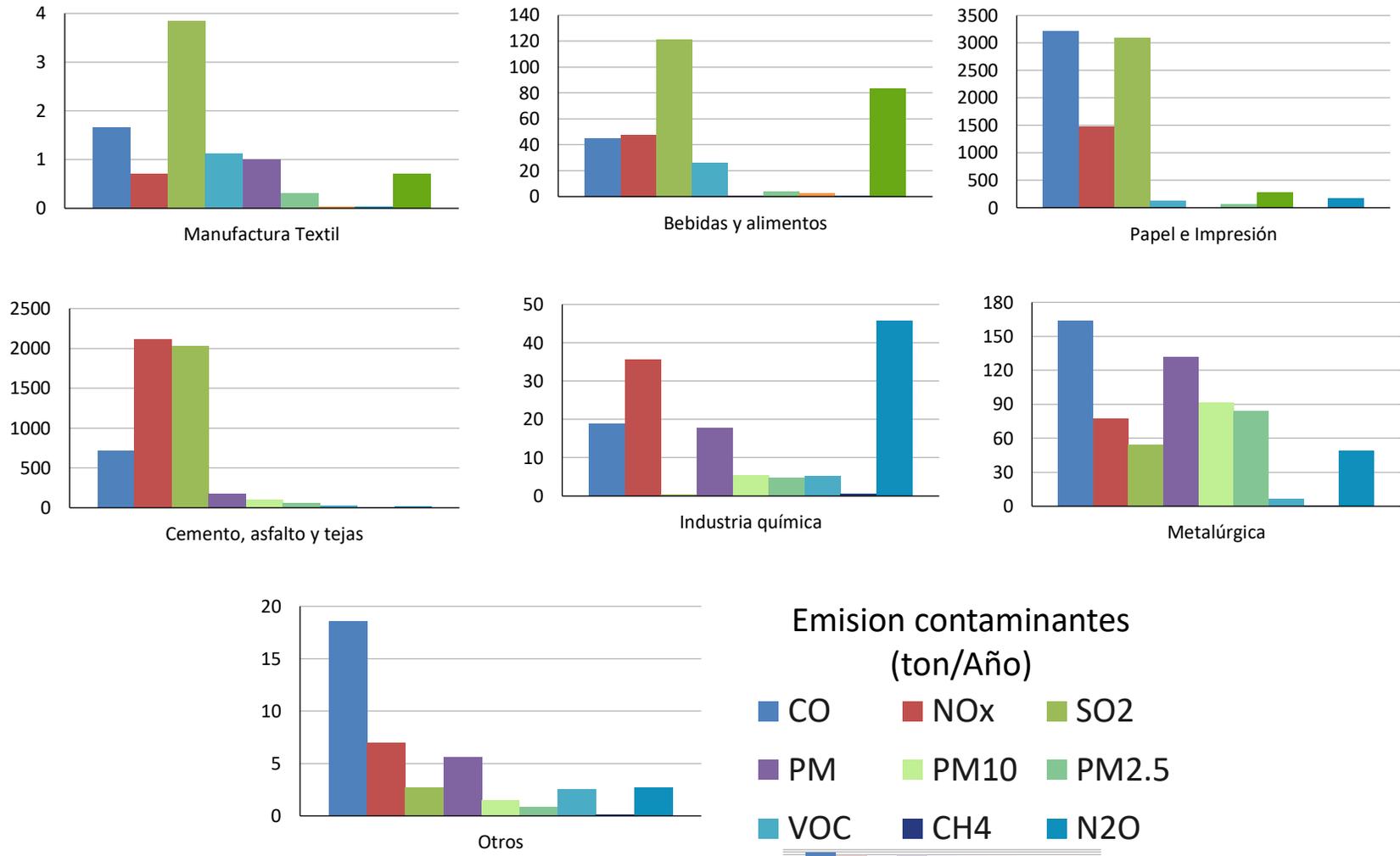
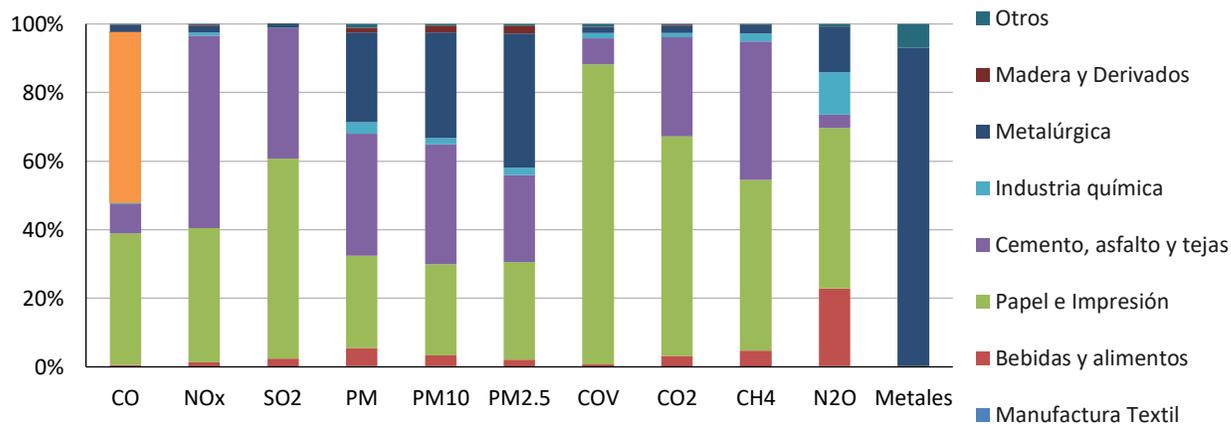


Figura 15. Emisiones anuales por sector industrial (ton/año).

Fuente: Elaboración propia.



Sector	CO	NO _x	SO ₂	PM	PM ₁₀	PM _{2.5}	COV	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	Metales
Manufactura Textil	0,04%	0,02%	0,07%	0,22%	0,25%	0,14%	0,01%	0,09%	0,11%	0,19%	0,00%
Bebidas y alimentos	1,06%	1,27%	2,28%	5,23%	3,16%	1,89%	0,67%	3,11%	4,65%	22,60%	0,00%
Papel e Impresión	76,77%	39,14%	58,30%	27,02%	26,55%	28,54%	87,51%	64,06%	49,71%	46,83%	0,30%
Cemento, asfalto y tejas	17,11%	56,17%	38,27%	35,45%	35,00%	25,33%	7,59%	28,86%	40,43%	3,99%	0,00%
Industria química	0,45%	0,95%	0,01%	3,51%	1,85%	2,21%	1,52%	1,32%	2,31%	12,34%	0,00%
Metalúrgica	3,90%	2,05%	1,01%	26,17%	30,75%	39,16%	1,85%	2,11%	2,43%	13,26%	92,73%
Madera y Derivados	0,23%	0,22%	0,01%	1,29%	1,96%	2,34%	0,08%	0,24%	0,00%	0,07%	0,00%
Otros	0,44%	0,18%	0,05%	1,11%	0,49%	0,40%	0,77%	0,20%	0,36%	0,73%	6,97%
Total	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Figura 16. Aporte porcentual de contaminantes atmosféricos por sector industrial en el municipio de Yumbo.

Fuente: Elaboración propia.

6.2 Emisiones por zonas geográficas.

En esta sección se presentan los resultados obtenidos de las emisiones atmosféricas totales anuales para el municipio de Yumbo año base 2021 (zona urbana y zona rural-industrial).

En la siguiente tabla se puede observar que el mayor porcentaje tanto de empresas como de fuentes se encuentra en la zona Rural-Industrial (93 empresas, 328 Fuentes) seguida de la zona Urbana (2 empresas, 2 fuentes).

Tabla 18. Número de empresas y fuentes por zona.

Zona	# Fuentes	# Empresas	% Empresas
URBANA	2	2	2,1%
RURAL-INDUSTRIAL	328	93	97,9%
Total	330	95	100,0%

Fuente: Elaboración propia.

En la **Tabla 19** se presentan los resultados obtenidos del inventario de emisiones (ton/año) para las diferentes fuentes industriales ubicadas en el municipio de Yumbo. asociadas a las fuentes fijas industriales. Las fuentes fijas emiten predominantemente Dióxido de carbono (CO₂: 2,031,378.11 ton/año), Dióxido de Azufre (SO₂: 5,312.76 ton/año), Monóxido de Carbono (CO: 4,197.67 ton/año), Óxidos de Nitrógeno (NO_x: 3,766.77 ton/año), Material Particulado (PM: 502.82 ton/año), Material Particulado menor a 10 micras (PM₁₀: 296.83 ton/año), Material Particulado menor a 2.5 micras (PM_{2.5}: 214.74 ton/año), Compuestos Orgánicos Volátiles (COV: 334.67 ton/año), Óxido Nitroso (N₂O: 370.03 ton/año), Metano (CH₄: 22.11 ton/año) y Metales (0,83 ton/año).

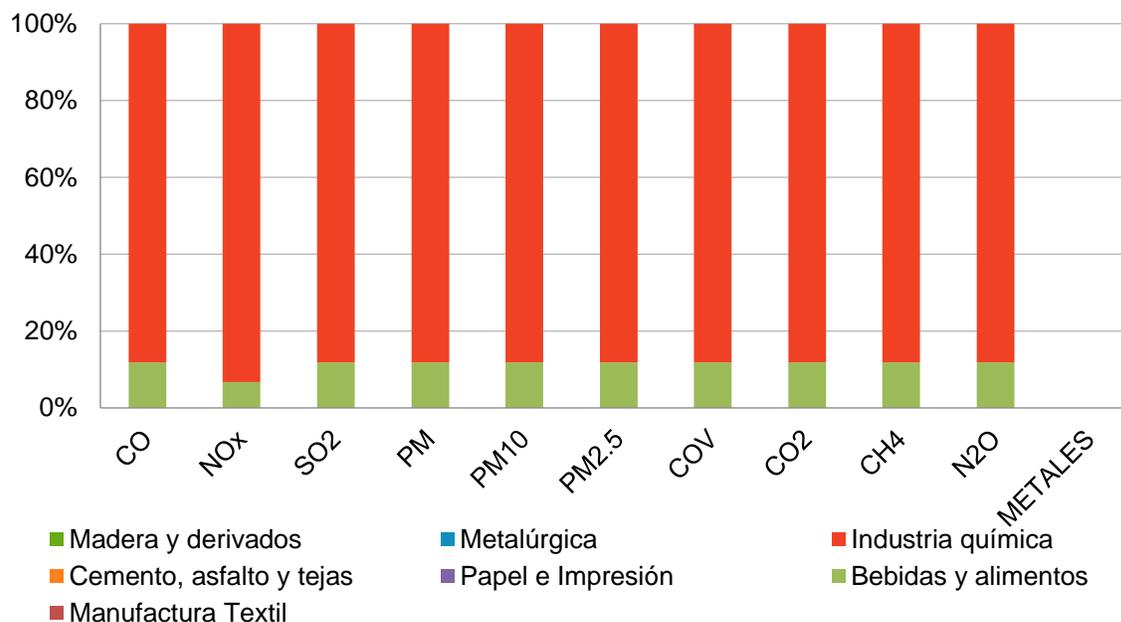
Tabla 199. Emisiones (ton/año) de contaminantes atmosféricos por sector industrial del municipio de Yumbo.

Tipo de Industria	CO	NO _x	SO ₂	TSP	PM ₁₀	PM _{2.5}	COV	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	METALES
Manufactura Textil	1,65	0,70	3,84	1,12	0,73	0,31	0,03	1835,93	0,02	0,71	0,00
Combustión	1,57	0,54	3,84	1,11	0,73	0,30	0,03	1711,94	0,02	0,66	0,00
Combustión - Proceso productivo	0,07	0,16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	123,99	0,00	0,05	0,00
No combustión	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Bebidas y alimentos	44,51	47,94	121,10	26,29	9,37	4,05	2,24	63254,64	1,03	83,61	0,00
Combustión	43,74	47,06	121,10	21,79	6,29	3,30	2,19	62122,15	1,01	81,58	0,00
Combustión - Proceso productivo	0,76	0,88	0,01	0,58	0,14	0,04	0,05	1132,49	0,02	2,04	0,00
No combustión	0,00	0,00	0,00	3,92	2,94	0,71	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Papel e Impresión	3222,53	1474,21	3097,52	135,88	78,80	61,28	292,87	1301399,12	10,99	173,29	0,00
Combustión	3197,88	1455,62	3080,95	102,53	47,58	31,40	10,62	1274044,04	10,49	124,05	0,00
Combustión - Proceso productivo	24,64	13,89	14,00	19,08	18,34	18,34	38,02	27355,09	0,50	49,23	0,00
No combustión	0,00	4,70	2,57	14,27	12,88	11,54	244,24	0,00	0,00	0,00	0,00
Cemento, asfalto y tejas	718,01	2115,91	2033,24	178,24	103,88	54,39	25,40	586208,23	8,94	14,75	0,00
Combustión	197,51	191,99	959,54	4,61	1,90	0,47	10,63	164996,44	1,97	7,58	0,00
Combustión - Proceso productivo	520,50	1923,92	1073,59	114,81	74,39	36,29	13,58	421211,78	6,97	7,17	0,00
No combustión	0,00	0,00	0,11	58,82	27,60	17,63	1,18	0,00	0,00	0,00	0,00
Industria química	18,92	35,72	0,35	17,66	5,50	4,75	5,09	26824,26	0,51	45,65	0,00
Combustión	9,34	27,72	0,28	0,23	0,22	0,21	0,61	12562,42	0,25	19,99	0,00
Combustión - Proceso productivo	9,58	8,00	0,07	9,12	5,28	4,54	0,63	14261,84	0,26	25,66	0,00
No combustión	0,00	0,00	0,00	8,31	0,00	0,00	3,86	0,00	0,00	0,00	0,00
Metalúrgica	163,61	77,10	53,57	131,58	91,27	84,09	6,18	42955,37	0,54	49,05	0,77

Tipo de Industria	CO	NO _x	SO ₂	TSP	PM ₁₀	PM _{2.5}	COV	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	METALES
Combustión	8,24	11,16	0,06	0,19	0,19	0,19	0,54	12258,27	0,23	22,06	0,00
Combustión - Proceso productivo	12,03	13,22	12,57	5,94	3,83	3,25	0,88	16693,80	0,31	26,99	0,25
No combustión	143,34	52,71	40,94	125,46	87,25	80,65	4,76	14003,30	0,00	0,00	0,52
Madera y derivados	9,85	8,23	0,49	6,47	5,83	5,02	0,28	4826,04	0,00	0,25	0,00
Combustión	2,0	1,6	0,1	0,8	0,7	0,6	0,06	953,97	0,00	0,04	0,00
Combustión - Proceso productivo	7,9	6,6	0,4	5,7	5,1	4,4	0,22	3872,07	0,00	0,21	0,00
No combustión	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Otros	18,60	6,96	2,66	5,58	1,44	0,85	2,58	4074,52	0,08	2,71	0,06
Combustión	1,71	1,07	1,89	2,40	0,49	0,18	0,06	1840,39	0,03	1,26	0,00
Combustión - Proceso productivo	16,90	5,53	0,76	1,35	0,95	0,67	0,61	2234,13	0,05	1,45	0,06
No combustión	0,00	0,36	0,00	1,83	0,00	0,00	1,91	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	4197,67	3766,77	5312,76	502,82	296,83	214,74	334,67	2031378,11	22,11	370,03	0,83

6.2.1 Emisiones Zona Urbana

La zona urbana cuenta con 2 fuentes de emisión, estas fuentes corresponden a 2 establecimientos (**Tabla 18**). En la **Figura 17** se presenta el aporte en ton/año de los contaminantes en la zona Urbana. El sector industrial con mayores emisiones es la Industria química con cerca del 90% de las emisiones de todos los contaminantes. En la zona se generan emisiones de GEI CO₂ (1,0670 ton/año) y N₂O (1.9 ton/año).



Sector	CO	NOx	SO2	PM	PM10	PM2.5	COV	CO2	CH4	N2O	METALES
Zona Urbana	0,72	0,40	0,01	0,02	0,02	0,02	0,05	1067,03	0,02	1,92	0,00
Bebidas y alimentos	0,09	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	126,91	0,00	0,23	0,00
Industria química	0,63	0,37	0,00	0,01	0,01	0,01	0,04	940,12	0,02	1,69	0,00

Figura 17. Aporte porcentual de contaminantes atmosféricos en la zona Urbana del municipio de Yumbo.

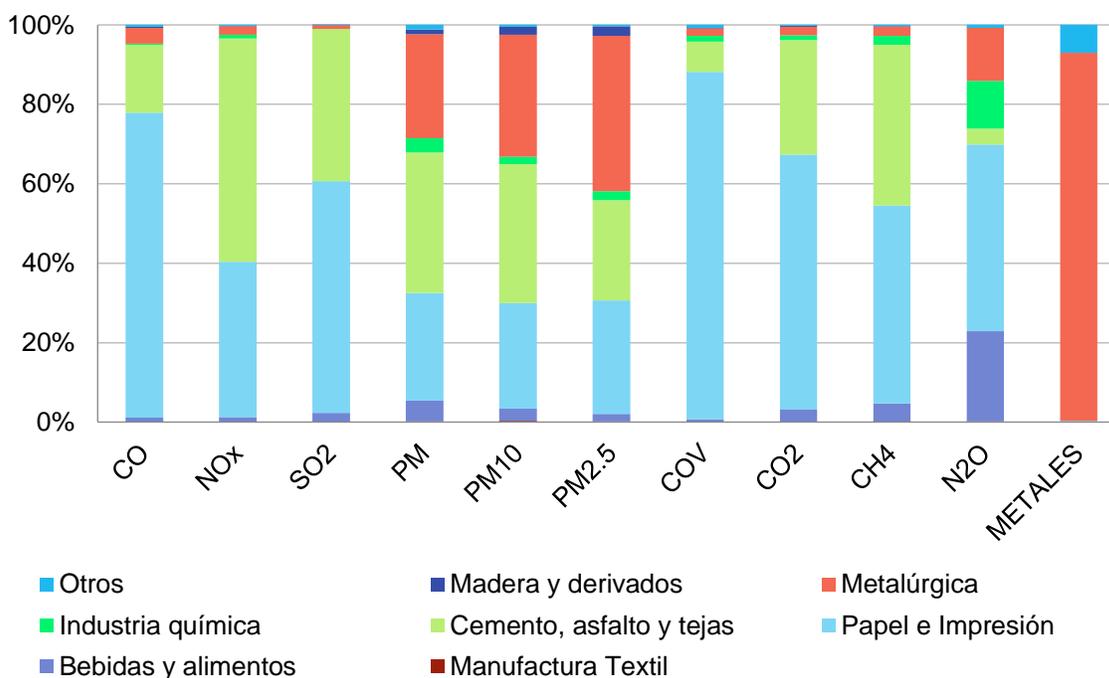
Fuente: Elaboración Propia

6.2.2 Emisiones Zona Rural - Industrial

La zona rural - industrial cuenta con 328 fuentes de emisión, estas fuentes corresponden a 93 establecimientos (**Tabla 18**), responsables de la mayoría de las emisiones totales en Yumbo.

En la **Figura 18** se presenta el aporte en ton/año de los contaminantes en la zona Rural-Industrial. Según la estimación de emisiones, las empresas de los sectores productivos de papel e impresión, Cemento, tejas y Asfalto y la industria metalúrgica son los que más emisiones generan en todos los contaminantes. Se observa que el sector Papel e impresión es el mayor aportante de emisiones de SO₂ (3097,52 ton/año), CO (3222,53 ton/año), y N₂O (173,29 ton/año). En este sector también se generan aportes importantes de PM (135,88 ton/año), PM₁₀ (78,8 ton/año), PM_{2,5} (61,28 ton/año), NO_x (1474,21 ton/año) y COV (292,87 ton/Año).

El sector Cemento, tejas y asfalto es el mayor aportante de emisiones de NO_x (2115,91 ton/año), PM (178,24 ton/año), PM₁₀ (103,88 ton/año), PM_{2,5} (54,39 ton/año). En este sector también se generan aportes importantes de CO (718,01 ton/año) y SO₂ (2033,24 ton/año).



Sector	CO	NOx	SO2	PM	PM 10	PM 2.5	CO V	CO2	CH 4	N2 O	META LES
Zona Rural-Industrial	4196,95	3766,38	5312,76	502,81	296,81	214,72	334,63	203031,08	22,09	368,11	0,83
Manufactura Textil	1,65	0,70	3,84	1,12	0,73	0,31	0,03	1835,93	0,02	0,71	0,00
Bebidas y alimentos	44,42	47,91	121,10	26,29	9,37	4,05	2,23	63127,73	1,03	83,39	0,00
Papel e Impresión	3222,53	1474,21	3097,52	135,88	78,80	61,28	292,87	1301399,12	10,99	173,29	0,00

Cemento, asfalto y tejas	718,01	2115,91	2033,24	178,24	103,88	54,39	25,40	586208,23	8,94	14,75	0,00
Industria química	18,29	35,35	0,34	17,64	5,48	4,74	5,05	25884,14	0,49	43,96	0,00
Metalúrgica	163,61	77,10	53,57	131,58	91,27	84,09	6,18	42955,37	0,54	49,05	0,77
Madera y derivados	9,85	8,23	0,49	6,47	5,83	5,02	0,28	4826,04	0,00	0,25	0,00
Otros	18,60	6,96	2,66	5,58	1,44	0,85	2,58	4074,52	0,08	2,71	0,06

Figura 18. Aporte porcentual de contaminantes atmosféricos en la zona Rural-Industrial del municipio de Yumbo.

Fuente: Elaboración Propia

6.3 Emisiones por tipo de combustible

Debido a que la cantidad de emisiones depende del tipo de combustible utilizado, se analizó la contribución del consumo de combustibles. En la **Figura 19** se presenta la distribución de las fuentes fijas evaluadas a partir del uso de combustible. Se observa que la mayoría de las fuentes evaluadas se encuentran dentro de procesos de No combustión o equipos Eléctricos con el 48%, se refiere a aquellas emisiones producidas por el proceso productivo sin combustión, en procesos como molienda, extractores, fileteadoras, entre otros. Seguido de proceso de combustión 29% El cual hace referencia a las emisiones asociadas a la quema directa de combustible, ya sea de carbón, gas natural, GLP, diésel (Fuel Oil No. 2), entre otros combustibles. El porcentaje de equipos de combustión asociado a proceso productivo comprende el 23% de las fuentes de emisión. Esta categoría se refiere a aquellas emisiones producidas por combustión, pero van ligadas a un proceso, por ejemplo, los hornos de fundición, incineración de residuos, secado entre otros procesos. En conjunto, los procesos que implican el uso de combustible suman el 52% de las fuentes.

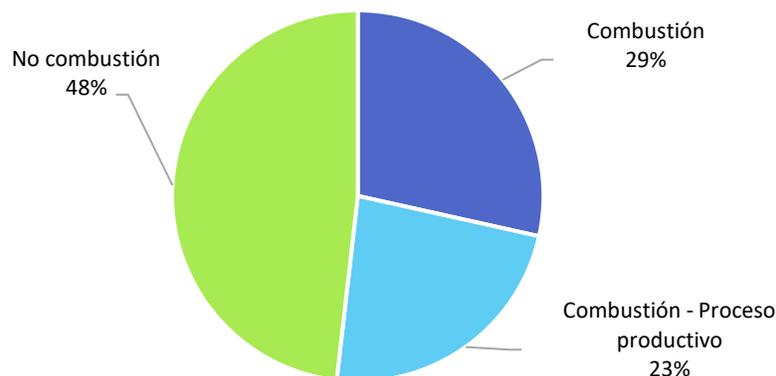
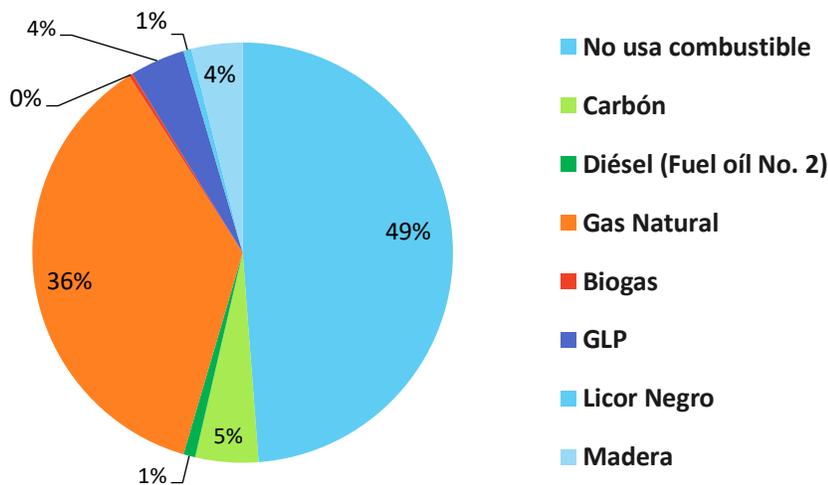


Figura 19. Distribución de las fuentes de emisión según su uso de combustible en el municipio de Yumbo.

Fuente: Elaboración Propia.

En cuanto al tipo de combustible utilizado por las fuentes, predomina en mayor medida el uso el gas natural 120 (36.4%), La **Figura 20** incluye aquellas fuentes que no están asociadas al consumo de combustible, observando que 161 fuentes (48.8%) se asocia a este tipo de equipos eléctricos. En contraste, el carbón es un combustible consumido por solo 16 equipos (en su mayoría de gran capacidad y alto consumo de combustible) equivalentes al 4,8% del total de las fuentes, esto debido al bajo costo del carbón comparado con otros combustibles, generando gran parte de las emisiones de SO₂ y PM. Además, Se observa un bajo número de fuentes con uso de combustibles como el Diésel (0.9%) y la madera (3,9%), asociados a diferentes impactos ambientales como emisiones de óxidos de azufre o la tala de árboles. No se encontró registro de equipos que operen con Combustóleo (Fuel Oil No. 6). Cabe destacar que la distribución porcentual se realizó sobre el número total de fuentes y no sobre el número de empresas, ya que algunas industrias poseen más de una fuente de emisión asociadas a diferentes tipos de combustibles.



Fuente	# Fuentes	%
No usa Combustible	161	48,8%
Carbón	16	4,8%
Diésel (Fuel oil No. 2)	3	0,9%
Gas Natural	120	36,4%
GLP	14	4,2%
Licor Negro	2	0,6%
Biogás	1	0,3%
Madera	13	3,9%
Total general	330	100,0%

Figura 20. Distribución de los tipos de combustibles utilizados por las fuentes evaluadas.

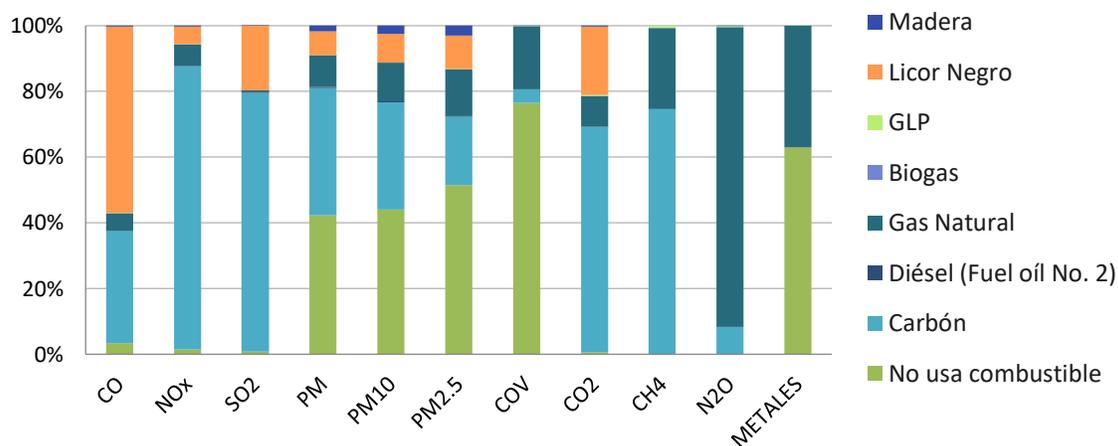
Fuente: Elaboración Propia.

En la **Figura 21** se muestra la distribución porcentual de las emisiones totales de acuerdo con el tipo de combustible empleado. Las emisiones de CO₂ están influenciadas por el alto consumo de carbón (responsable del 68,6% del CO₂ generado), el consumo de Licor Negro genera el 20,9% del CO₂ y un 9,3% es generado por combustión de Gas natural, dado que es utilizado como combustible por un alto número de las fuentes registradas en el inventario (36,4%). A pesar de que el gas natural es el combustible más utilizado en cuanto a número de fuentes (36,4%), es el responsable solamente de generar un aporte de emisiones de NO_x del 6,6% (247,5 ton/año), 9,6% del PM (48,34 ton/año) y 91,2% de las emisiones de N₂O (337,4 ton/año).

Las emisiones asociadas a los SO₂ son generadas principalmente por el uso de carbón 78,6% (4,186,6 ton/año) y al uso de biomasa (licor negro) 19,6% (1039,9 ton/año). Así mismo, los NO_x son generados en su mayoría por el uso de carbón como combustible 86,2% (3,245,9 ton/año) gas natural (6,6%) y Licor Negro (5,3%). Mientras que, las emisiones de COVs son generadas principalmente en procesos de pintura e impresión 255,9 ton/año (76,5%) y la combustión de gas natural 63,9 ton/año (19,1%).

Por otro lado, las emisiones asociadas a combustibles menos utilizados por número de fuentes, como la biomasa (Licor negro), contribuye a la mayor parte de las emisiones de CO (56,7%, 2,380,2 ton/año). El material particulado PM, es generado principalmente por la combustión del carbón (38,8%, 195,04 ton/año) y en equipos de no combustión como colectores y silos (42,3%, 212,66 ton/año).

Distribución emisiones por tipo de Combustible.



Tipo de Combustible (ton/año)	CO	NOx	SO ₂	PM	PM ₁₀	PM _{2.5}	COV	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	METALES
No usa combustible	143,3	57,8	43,6	212,6	130,7	110,5	255,9	14003,3	0,0	0,0	0,52
Carbón	1435,7	3245,9	4186,6	195,0	96,98	44,80	14,1	1393975,7	16,5	31,3	0,00
Diésel (Fuel oil No. 2)	0,1	1,9	1,3	1,60	0,80	0,20	0,0	293,0	0,0	0,0	0,00

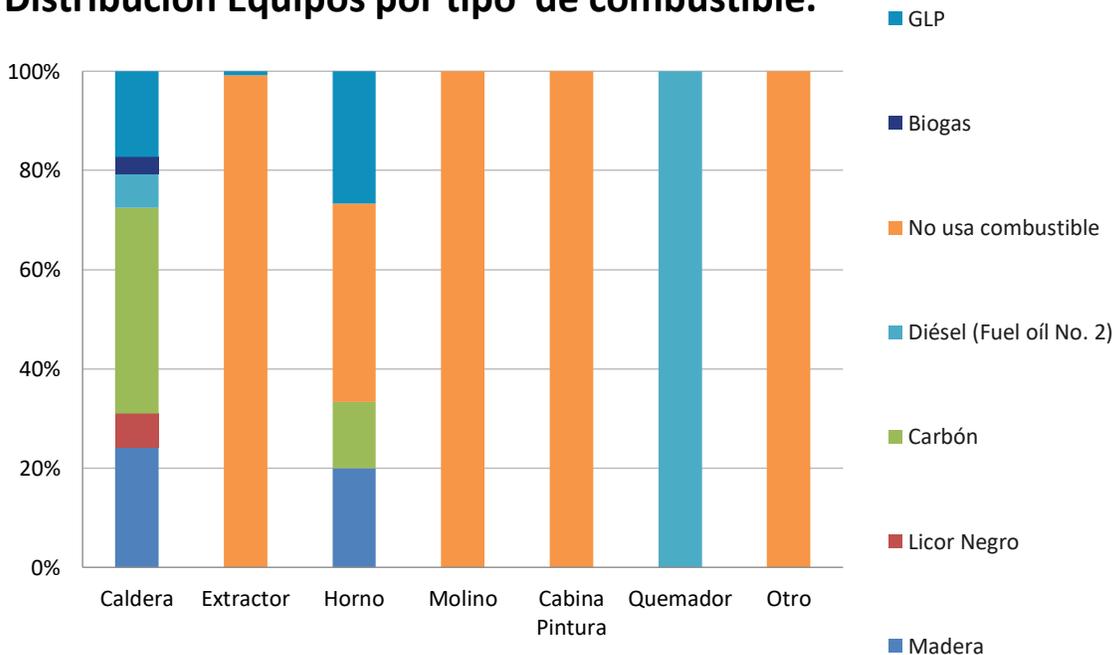
Tipo de Combustible (ton/año)	CO	NOx	SO ₂	PM	PM ₁₀	PM _{2.5}	COV	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	METALES
Gas Natural	221,0	247,5	40,8	48,34	35,07	30,61	63,9	188023,0	5,4	337,4	0,31
Biogás	1,0	0,9	0,0	0,02	0,02	0,02	0,1	1181,1	0,0	0,0	0,00
GLP	5,2	3,8	0,0	0,21	0,12	0,12	0,4	4943,0	0,1	1,0	0,00
Licor Negro	2380,2	199,9	1039,9	36,56	25,59	21,94	0,0	423599,8	0,0	0,0	0,00
Madera	11,0	9,1	0,5	8,39	7,55	6,50	0,3	5359,2	0,0	0,2	0,00
Total general	4197,7	3766,8	5312,8	502,8	296,8	214,7	334,7	2031378,1	22,1	370,0	0,83

Figura 21. Distribución porcentual de las emisiones totales en función del tipo de combustible empleado - Yumbo.

Fuente: Elaboración Propia.

La relación entre el combustible utilizado según la fuente de emisión se presenta en la **Figura 22**, se observa que las calderas utilizan diferentes combustibles (7 tipos), sin embargo, usan principalmente gas natural (55), carbón (12), madera (7), Licor Negro (2) y GLP (5). Así mismo, los hornos se alimentan de distintos tipos de combustible, en mayor medida de gas natural (47), y en menor medida de energía eléctrica (12), correspondientes a hornos de arco o inducción eléctrica. Los equipos incluidos en la clasificación de otros, que hacen referencia a las turbinas e impresoras, en su mayoría son equipos eléctricos.

Distribución Equipos por tipo de combustible.



Equipos de Procesos	Caldera	Extractor	Horno	Molino	Cabina Pintura	Quemador	Otro	TOTAL
Madera	7	0	6	0	0	0	0	13
Licor Negro	2	0	0	0	0	0	0	2
Carbón	12	0	4	0	0	0	0	16
Diésel (Fuel oil No. 2)	2	0	0	0	0	1	0	3
No usa combustible	0	118	12	18	9	0	4	161
Gas Natural	55	3	47	1	0	14	0	120
Biogás	1	0	0	0	0	0	0	1
GLP	5	1	8	0	0	0	0	14
TOTAL	84	122	77	19	9	15	4	330

Figura 22. Distribución del combustible utilizado según el tipo de fuente de emisión – Yumbo.

Fuente: Elaboración Propia.

En la **Figura 23** se observa la distribución del consumo energético de las fuentes fijas en Yumbo. La mayor fuente de energía es el carbón que suple el 64,75% de la demanda energética, seguida de la biomasa (Licor Negro) con (20.73%) y el gas natural (13,83%). Se observa una baja demanda de combustible líquidos como fuel oil o diésel en las industrias de Yumbo con un porcentaje de participación de 0.02%.

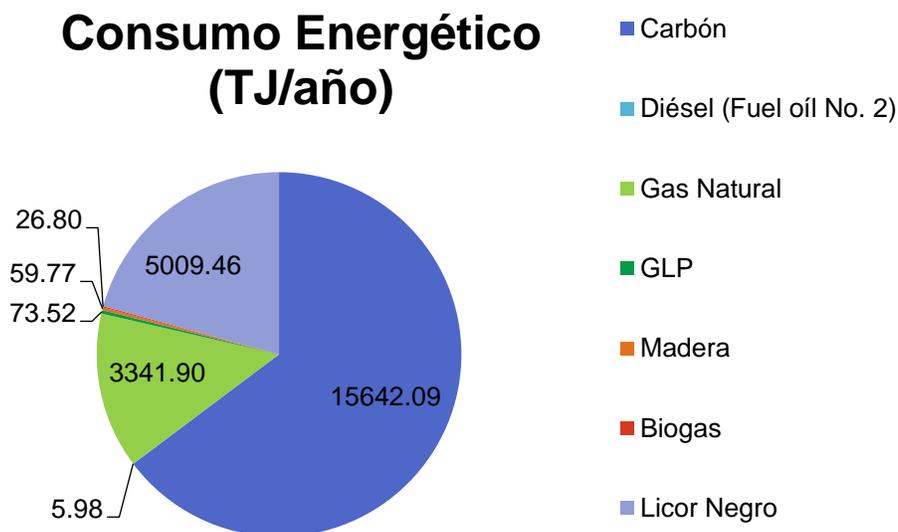


Figura 23. Distribución de consumo energético de Yumbo [TJ/Año].

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 20. Consumos másicos y energéticos de combustibles en Yumbo.

CONSUMOS AGREGADOS	Carbón	Diésel (Fuel oil No. 2)	Gas Natural	GLP	Madera	biogás	Licor Negro
Consumo en Volumen (Anual)	kg/año	gal/año	m ³ /año	gal/año	kg/año	m ³ /año	gal/año
	543883411,70	43707,00	93736052,3	1552796,0	3520264,0	751680,0	82350658,9
%Consumo Másico	56,73%	0,01%	7,23%	0,17%	0,37%	0,06%	35,44%
Poder Calorífico	P.C. Carbón (MJ/kg)	P.C. Diésel (Fuel oil No. 2) (MJ/kg)	P.C. Gas Natural (MJ/m ³)	P.C. GLP (MJ/kg)	P.C. Madera (MJ/kg)	P.C. biogás (MJ/m ³)	P.C. Biomasa (MJ/kg)
	28,76	42,42	35,65	45,41	16,98	35,65	14,74
Consumo Energético (TJ/año)	15642,09	5,98	3341,90	73,52	59,77	26,80	5009,46
%Consumo Energético	64,75%	0,02%	13,83%	0,30%	0,25%	0,11%	20,73%

Fuente: Elaboración Propia

En términos energéticos, la biomasa, carbón y el gas natural siguen siendo los mayores aportantes, pero en proporciones diferentes a las másicas debido a las diferencias en poderes caloríficos de estos combustibles.

Tabla 21. Consumos másicos y energéticos de combustibles en Yumbo.

CONSUMOS AGREGADOS	Carbón	Diésel (Fuel oil No. 2)	Gas Natural	GLP	Madera	biogás	Licor Negro
Consumo en Volumen (Hora)	kg/h	gal/h	m ³ /h	gal/h	kg/h	m ³ /h	gal/h
	70141,77	16,17	14413,22	811,90	1931,77	87,00	9621,15
%Consumo Másico	56,73%	0,01%	7,23%	0,17%	0,37%	0,06%	35,44%
%Consumo Energético	64,75%	0,02%	13,83%	0,30%	0,25%	0,11%	20,73%

Fuente: Elaboración Propia

6.4 Emisiones pequeños establecimientos (asaderos y panaderías)

Para los pequeños establecimientos, las emisiones fueron estimadas a partir de factores de emisión, tal y como se describe en el numeral 5.3. En la **Tabla 22** se resumen las emisiones

estimadas en kg/año para panaderías y asaderos. También, en el **Anexo I** se puede observar la especialización de las emisiones estimadas para estos establecimientos.

En las actividades de elaboración de productos de panadería, se observa que el contaminante con más emisiones es el CO₂ (142.42 ton/año). Esto debido a que el CO₂ es el producto principal de la combustión y por tanto su factor de emisión es mucho más grande que los demás contaminantes. Mientras que las emisiones de los demás contaminantes fueron NO_x (118.69 kg/año) > CO (99.70 kg/año) > TSP (9.05 kg/año) > COV (6.53 kg/año) > SO₂ (3.56 kg/año) > CH₄ (2.74 kg/año) > N₂O (2.60 kg/año).

Por otro lado, en los asaderos, el mayor contaminante es el CO₂ con 305.70 ton/año, seguido del COV con 3.20 ton/año, TSP con 1.67 ton/año, CH₄ con 68.74 kg/año y N₂O con 10.80 kg/año. La diferencia de emisiones entre las panaderías y asaderos es probablemente debido al combustible usado, ya que en los hornos de panaderías es más común el uso del gas natural mientras que en los asaderos se consume regularmente carbón y leña, no obstante, la emisión de CO₂ para ambos es la más alta.

De acuerdo con la **Figura 24**, se observa que los asaderos generan mayores contribuciones de TSP en comparación con las panaderías, debido al uso de carbón para sus actividades. Así mismo sucede para los COV, con emisiones mayores a 3,000 ton/año. En cuanto a los GEI, se observa que los asaderos son los que generan mayores contribuciones, comparadas con los establecimientos de panaderías.

Tabla 22. Emisiones anuales en pequeños establecimientos

Establecimiento	CO (kg/año)	NO _x (kg/año)	SO ₂ (kg/año)	TSP (kg/año)	COV (kg/año)	CO ₂ (ton/año)	CH ₄ (kg/año)	N ₂ O (kg/año)
Panaderías	99.70	118.69	3.56	9.05	6.53	142.42	2.74	2.60
Asaderos				1,674.78	3,201.42	305.70	68.74	10.80

Fuente: Elaboración Propia.

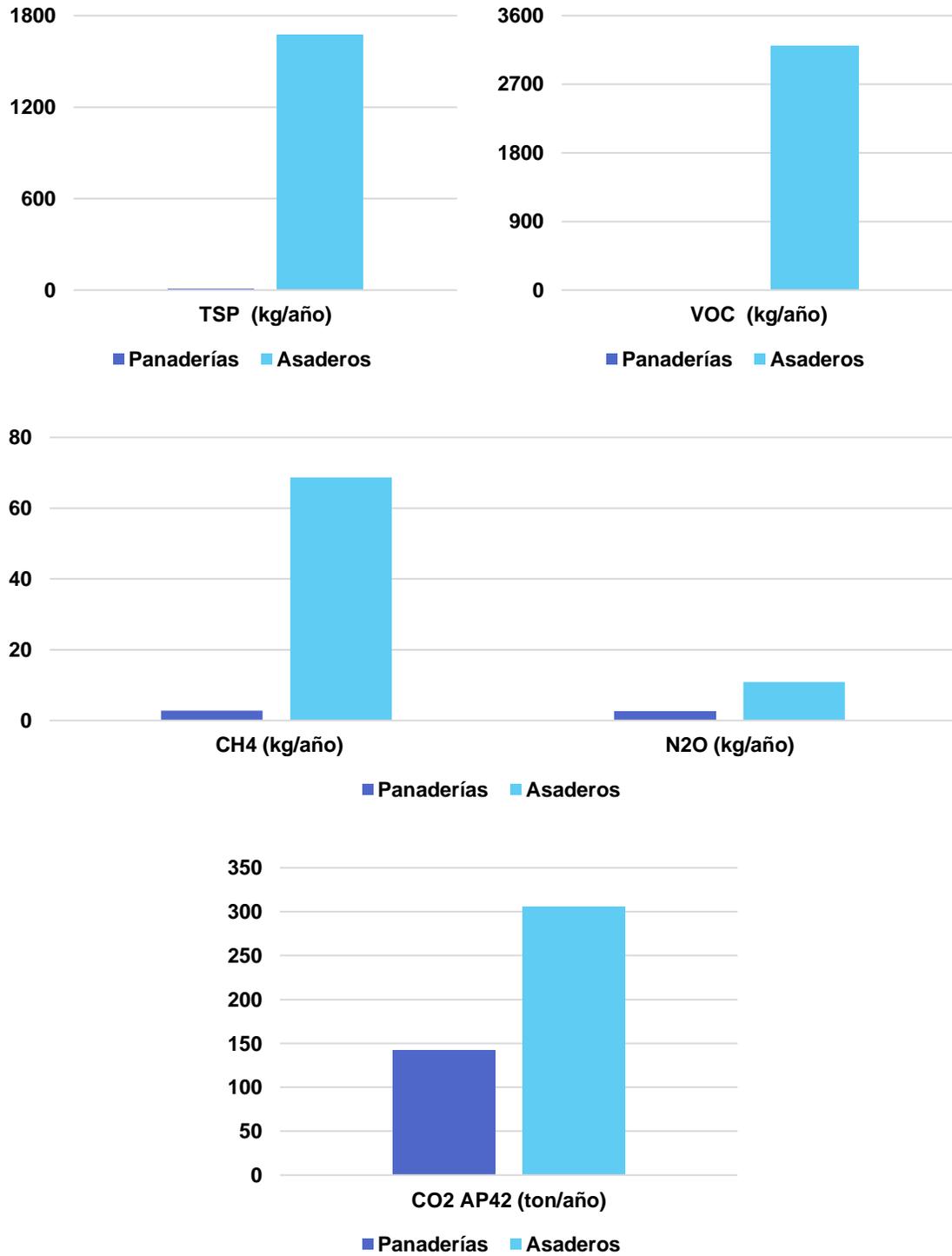


Figura 24. Emisiones anuales obtenidas por contaminante en pequeños establecimientos.

Fuente: Elaboración Propia.

6.5 Emisiones estaciones de servicio (COVs)

De acuerdo con las visitas in situ realizadas a las estaciones de servicio de combustible (EDS) del municipio de Yumbo, se obtuvo la información de ventas de combustibles de las 19 EDS, destacando que, se comercializaron alrededor de 8,262,033 galones anuales de gasolina y 11,056,020 de ACPM o diésel.

De acuerdo con los resultados obtenidos, las emisiones anuales de COV para el combustible de gasolina fueron 90.70 toneladas y 10.71 toneladas para el combustible ACPM. Según la **Tabla 23** indica que la zona que presentó el mayor aporte de COV por actividades de comercialización en menor escala de combustible corriente (gasolina) para automotores fue la zona rural-industrial con 70.81 ton/año.

Por otro lado, las emisiones de COV por combustible ACPM, fueron mucho menores comparadas con las de gasolina corriente, siendo nuevamente la zona rural-industrial la zona con mayores aportes, 7.34 ton/año. Mientras que la zona urbana emitió 3.37 ton/año (**Tabla 23**).

Tabla 23. Emisiones (ton/año) de COV por estaciones de servicio de combustible en el municipio de Yumbo.

Zona	COV (ton/año) Gasolina - corriente	COV (ton/año) ACPM- Diesel
Rural – industrial	70.87	7.34
Urbana	19.83	3.37
Total	90.70	10.71

Fuente: Elaboración propia

6.6 Consolidación del inventario de emisiones por fuentes fijas

En la

Tabla 24 se presentan las emisiones totales generadas por sector productivo para el municipio de Yumbo. Se observa que el sector industrial es el mayor aportante de las emisiones atmosféricas de los contaminantes evaluados en el presente inventario. Las emisiones totales anuales emitidas en el municipio de Yumbo de acuerdo con las fuentes inventariadas son: 4,190.19 ton/año de CO, 3,759.30 ton/año para NO_x, 5,252.5 ton/año para SO₂, 468.27 ton/año para TSP, 284.77 ton/año para PM₁₀, 208.27 ton/año para PM_{2.5}, 438.79 ton/año de COV, 2,017,762.63 ton/año de CO₂, 21.97 ton/año de CH₄ y 349.37 ton/año de N₂O.

Tabla 24. Emisiones atmosféricas totales de fuentes fijas en el municipio de Yumbo (ton/año).

Emisiones (ton/año)	CO	NOx	SO ₂	TSP	PM ₁₀	PM _{2.5}	COV	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	Metales
Sector industrial	4197,67	3766,77	5312,76	502,82	296,83	214,74	334,67	2031378,11	22,11	370,03	0,83
Pequeños establecimientos	0.10	0.12	0.004	1.68	--	--	3.21	448.12	0.07	0.01	
Estaciones de servicio - EDS	--	--	--	--	--	--	101.41	--	--	--	
Totales	4197,67	3766,77	5312,76	502,82	296,83	214,74	334,67	2031378,11	22,11	370,03	0,83

Fuente: Elaboración Propia.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las actividades desarrolladas en el presente inventario permitieron registrar un total de 330 fuentes fijas puntuales pertenecientes a 95 industrias; 28 pequeños establecimientos (17 panaderías y 11 asaderos), 19 estaciones de servicio – EDS; estos últimos catalogados como fuentes difusas.

Las estimaciones realizadas en el inventario de emisiones por fuentes fijas en el Municipio de Yumbo permitieron establecer las cargas totales de contaminantes, en su orden de magnitud son: Dióxido de Carbono (CO_2 : 2,031,378.11 ton/año), Dióxido de Azufre (SO_2 : 5,312.76 ton/año), Monóxido de Carbono (CO : 4,197.67 ton/año), Óxidos de Nitrógeno (NO_x : 3,766.77 ton/año), Material Particulado (PM : 502.82 ton/año), Material Particulado menor a 10 micras (PM_{10} : 296.83 ton/año), Material Particulado menor a 2.5 micras ($\text{PM}_{2.5}$: 214.74 ton/año), Compuestos Orgánicos Volátiles (COV : 334.67 ton/año), Óxido Nitroso (N_2O : 370.03 ton/año), Metano (CH_4 : 22.11 ton/año) y Metales (0,83 ton/año).

De acuerdo con los resultados obtenidos, el sector papel e impresión aporta las emisiones más representativas en el municipio de Yumbo para los contaminantes atmosféricos: SO_2 con 3,097.5 ton/año (58.30%), CO (3,222.5 ton/año (76.77%)), es el sector es el principal aportante de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), contribuyendo con 1,301.399.12 ton/año de CO_2 (64.06%), 10.99 ton/año de CH_4 (49,71%) y 173.29 ton/año de N_2O (46,83%) y es segundo en emisión respecto a NO_x 1,474.2 (39.14%) y PM con 135.88 ton/año (27.02%).

El uso del Carbón como combustible está asociado a las emisiones de SO_2 78.8% (4,186.6 ton/año) y al uso de biomasa (licor negro) 19.6% (1039,9 ton/año). Así mismo, los NO_x son generados en su mayoría por el uso de carbón como combustible 86.2% (3,245.9 ton/año).

El sector de Cementos y asfaltos es el principal generador de NO_x 2115.91 ton/año (56.17%) y PM 178.24 ton/año (35.45%), este sector tiene las segundas emisiones SO_2 2,033.24 ton/año (38.27%). El sector metalúrgico aporta el 26.17% del PM (131.58 ton/año) y 91.27 ton/año de PM_{10} (30,75%).

En cuanto a los pequeños establecimientos, se determinó que los asaderos generan mayores aportes de TSP en comparación con las panaderías, debido al uso de leña y carbón para sus actividades. En cuanto a los GEI, se determinó que las panaderías son las que generan mayores contribuciones, comparadas con los asaderos.

En cuanto a las emisiones anuales de COV obtenidas para las EDS, para el combustible de gasolina fueron 9.70 toneladas y 10.71 toneladas para el combustible ACPM, las cuales

se concentran en su mayoría, en la zona rural del municipio. Estas contribuciones de COV se generaron principalmente por la evaporación de los combustibles en las actividades de llenado y almacenamiento de combustible, al igual que por la venta y distribución de este a los vehículos automotores.

BIBLIOGRAFÍA

Agapol Junpen, (2020) Estimation of Reduced Air Emissions as a Result of the Implementation of the Measure to Reduce Burned Sugarcane in Thailand. Atmosphere.

Díaz, R. (2008). Caracterización Energética del Bagazo de Caña de Azúcar del Ingenio Valdez. Facultad de Mecánica, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador

Emissions Factors & AP 42, Compilation of Air Pollutant Emission Factors. U.S. Environmental Protection Agency (EPA).

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY [EPA] (1998). Emissions Factors & AP-42, Compilation of Air Pollutant Emission Factors, <https://www.epa.gov/air-emissions-factors-and-quantification/ap-42-compilation-air-emissions-factors#5thed>

European Environment Agency - EEA. (2016). Distribution of oil products. EMEP/EEA Air Pollutant Emission Inventory Guidebook 2016.

EPA, U. S. (2008). Transportation and Marketing of Petroleum Liquids. Washington D.C.: United States Environmental Protection Agency.

García, R.: Combustión y combustibles, Mater. Construcción, 11(102), 9–50, <https://doi.org/10.3989/mc.1961.v11.i102.1890>, 2001.

IPCC (2006) Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).

Jiménez, N. (2019). Inventario de emisiones atmosféricas por fuentes estacionarias puntuales y estaciones de servicio de combustible en el área urbana del municipio de Santiago de Cali – Año 2017. Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Colombia. Manizales, Colombia.

Karuppiah I. (2020) Emission profile of PM, PM₁₀ and PM_{2.5} of stationery sources from boilers using various Fuels –Department of Chemistry, Hindustan Institute of Technology and Science, Chennai 603103, T.N., India.

Kawashima, A.B., de Morais, M.V.B., Martins, L.D., Urbina, V., Rafee, S.A.A., Capucim, M.N. and Martins, J.A. (2015) Estimates and Spatial Distribution of Emissions from Sugar Cane Bagasse Fired Thermal Power Plants in Brazil. Journal of Geoscience and Environment Protection, 3, 72-76. <http://dx.doi.org/10.4236/gep.2015.36012>

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial - MAVDT. (2008). Resolución 909 de 2008. Bogotá D.C., Colombia.

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial - MAVDT. (2009). Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire. Manual para la elaboración de Planes de Gestión de la Calidad del Aire. Bogotá D.C., Colombia.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2018). Guía para la Elaboración de Inventarios de Emisiones Atmosféricas. Recuperado el 30 de agosto de 2021 de: http://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/emisiones_atmosfericas_contaminantes/documentos_relacionados/GUIA_PARA_LA_ELABORACION_DE_INVENTARIOS_DE_EMISIONES_ATMOSFERICAS.pdf

Minnu S.N., A. Bahurudeen, G. Athira. (2021). Comparison of sugarcane bagasse ash with fly ash and slag: An approach towards industrial acceptance of sugar industry waste incleaner production of cement. Department of Civil Engineering, Birla Institute of Technology and Science Pilani, Hyderabad Campus, Hyderabad, India Journal of Cleaner Production 285 124836

National Pollutant Inventory (2003). Emission Estimation Technique Manual for Combustion in Boilers Version 1.2. 2. Commonwealth of Australia

Suárez Collazos, L. J. (2015). Pirólisis del bagazo de caña panelera para la producción de combustibles líquidos. UNIANDES, Tesis de maestría. Bogotá.

Thomas B.S., J. Yang (2021). Sugarcane bagasse ash as supplementary cementitious material in concrete e a review. Materials Today Sustainability

UPME, Calculadora FECOC 2016 (Factores de Emisión de los combustibles colombianos): http://www.upme.gov.co/calculadora_emisiones/aplicacion/calculadora.html

Vidal Diana V. (2014), Ceniza de bagazo de caña para elaboración de materiales de construcción: estudio preliminar. Universidad Nacional de Colombia, Palmira, Colombia.

ANEXOS

ANEXO A. BASE DE DATOS DEL INVENTARIO – DIGITAL

ANEXO B. OFICIO SOLICITUD DE INFORMACIÓN PARA EMPADRONAMIENTO DE LAS INDUSTRIAS – DIGITAL

ANEXO C. EVALUACIÓN DE CRITERIOS DE CALIDAD DE INFORMACIÓN DE ISOCINETICOS

ANEXO D. FORMATOS EMPADRONAMIENTO (COMBUSTION / PROCESO / PEQUEÑOS ESTABLECIMIENTOS / ASADEROS)

ANEXO E. OFICIO SOLICITUD DE INFORMACIÓN PARA EMPADRONAMIENTO DE LAS EDS – DIGITAL

ANEXO F. METODOLOGÍA DE ESTIMACIÓN DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS

ANEXO G. INDUSTRIAS EVALUADAS EN LA EJECUCIÓN DEL INVENTARIO DE FUENTES FIJAS DE YUMBO

ANEXO H. ACTIVIDADES ECONOMICAS ASOCIADAS A LA EMISIÓN DE CONTAMINANTES ATMOSFERICOS SEGÚN CODIGO CIU

ANEXO I. ESPACIALIZACIÓN DE EMISIONES DE PEQUEÑOS ESTALECIMIENTOS Y ESTACIONES DE SERVICIO