



UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS

**VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN
CON LA COLECTIVIDAD**

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA
CONSTRUCCIÓN**

MAESTRÍA EN SISTEMAS DE GESTIÓN AMBIENTAL

**TEMA: DISEÑO DE LA PRIMERA RED PERMANENTE DE
MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AIRE EN LA CIUDAD DE
AMBATO.**

DIRECTORA: ING. ESTHELA SALAZAR PROAÑO MSC.

AUTOR: ING. CARLOS LEONEL BURGOS ARCOS

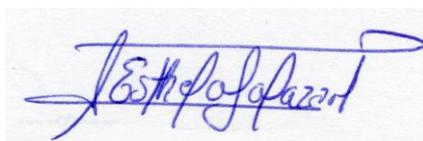
SANGOLQUÍ

2015

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE
MAESTRÍA EN SISTEMAS DE GESTIÓN AMBIENTAL
CERTIFICACIÓN:

Certifico que el presente Proyecto de Grado titulado: **“DISEÑO DE LA PRIMERA RED PERMANENTE DE MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AIRE EN LA CIUDAD DE AMBATO”**, realizado por el ingeniero Carlos Leonel Burgos Arcos, como requisito para la obtención del título de Magister en Sistemas de Gestión Ambiental, IX Promoción de la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE, fue desarrollado bajo mi dirección y asesoría. El mismo que cumple con los requisitos científicos, tecnológicos y académicos, razón por la cual autorizo su presentación y defensa.

Sangolquí Agosto del 2015



Ing. Esthela Salazar Proaño M.Sc.

DIRECTORA

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE
MAESTRÍA EN SISTEMAS DE GESTIÓN AMBIENTAL
DECLARACION DE RESPONSABILIDAD

Carlos Leonel Burgos Arcos

Declaro que:

El Proyecto de grado denominado **“DISEÑO DE LA PRIMERA RED PERMANENTE DE MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AIRE EN LA CIUDAD DE AMBATO”**, ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando los derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan al pie de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía. Consecuentemente este trabajo es de mi autoría.

En virtud de esta declaración me responsabilizo, del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado en mención.

Sangolquí, 12 de Agosto del 2015



Carlos Leonel Burgos Arcos

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE
MAESTRÍA EN SISTEMAS DE GESTIÓN AMBIENTAL

AUTORIZACIÓN

Autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, la publicación en la biblioteca virtual del trabajo **“DISEÑO DE LA PRIMERA RED PERMANENTE DE MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AIRE EN LA CIUDAD DE AMBATO”** cuyo contenido, ideas, criterios son de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

Sangolquí, 12 de Agosto del 2015

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'C. Burgos', written over a light blue rectangular background.

Carlos Leonel Burgos Arcos

DEDICATORIA

A Dios por ser mi guía y mi fortaleza,
A mi madre por ser la razón de mi vida,
A mis hermanos y hermanas,
A mis sobrinas y sobrinos.

Carlos Leonel Burgos Arcos

Agosto, 2015

AGRADECIMIENTO

A la Ingeniera Esthela Salazar por su apoyo y guía para la culminación definitiva del presente proyecto de Grado.

Al Dr. René Parra Narváez, por haber compartido sus conocimientos.

Al Ingeniero Ricardo Pachacama por su importante aporte.

A la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE, al Departamento de Ciencias de la Tierra y la Construcción, a los docentes y al personal administrativo.

Contenido

CAPÍTULO I	1
GENERALIDADES	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Justificación.....	2
1.3 Importancia.....	2
1.4. Objetivo General.....	3
1.5 Objetivos específicos	3
CAPÍTULO II	4
MARCO TEÓRICO	4
2.1 El Aire.....	4
2.2 La Atmósfera	5
2.3 Contaminantes del aire.....	8
2.3.1 Principales contaminantes del aire.....	8
2.4 Efectos de la contaminación del aire.....	9
2.4.1 Teoría y cuantificación de la contaminación del aire.....	10
2.4 Las Emisiones.....	15
2.5 Fuentes de contaminantes atmosféricos.....	16
2.5.1 Fuentes Puntuales.....	16
2.5.2 Fuentes de Área.....	19
2.5.3 Fuentes Móviles.....	20
2.5.4 Fuentes naturales.....	21
2.6 Gestión de la Calidad del Aire.....	22
2.7 El Control de la Calidad del Aire	24
2.7.1 Los inventarios de emisiones.....	24
2.8 Aseguramiento de la Calidad del Aire.....	26
2.8.1 Control de Fuentes móviles.....	28
2.9 Instrumentos de Gestión Ambiental.....	30
2.10 Monitoreo de la Calidad del Aire.....	31

2.10.1 Redes de Monitoreo de la Calidad del Aire.	32
CAPÍTULO III.....	34
METODOLOGÍA.....	34
3.1 ENFOQUE DE LA MODALIDAD DE INVESTIGACIÓN.....	34
3.2 Normativa y Marco Legal.....	35
1.2.1 Guías de La Organización Mundial de la Salud. (OMS).....	37
1.2.2 Norma de Calidad del Aire ambiente o Nivel de inmisión (Libro VI, Anexo 4)	41
3.3 Fundamentación Legal.....	46
3.3.1 Constitución de la República Del Ecuador.....	46
3.3.2 Ley de Gestión Ambiental (2004).....	47
3.4 Metodología para el estudio de campo.....	49
3.4.1 Levantamiento de línea base.....	49
3.4.2 Área de Influencia.....	51
3.5 Delimitación del objeto de investigación.	52
3.5.1 Campo, área, aspecto, delimitación temporal y espacial.....	52
3.5.2 Alcance 1: Alcance Geográfico del estudio.	52
3.5.3 Alcance 2: Alcance por Fuentes de Emisión.	55
3.5.4 Alcance 3: Alcance por contaminantes incluidos.	56
3.5 Descripción metodológica del Alcance 1: Fuentes móviles.....	60
3.7 Descripción metodológica para el estudio de campo.	62
3.7.1 Descripción Metodológica del Inventario Vehicular	65
3.8 Distribución espacial de las emisiones	80
4.1 Codificación de puntos de medición.	81
4.3) Obtener la Intensidad Media Diaria (IMD) para cada punto de estudio	90
3.9 Diseño preliminar de la Red de Monitoreo de la Calidad del Aire.	94
CAPÍTULO IV.....	97
ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN	97
4.1 Alcance 1: Alcance Geográfico del estudio.....	97
4.2 Alcance 2: Alcance por Fuentes de Emisión.	97
4.3 Alcance 3: Alcance por contaminantes incluidos.....	100

4.4	Resultados del estudio de Campo	100
4.4.1	Resultados del Inventario Vehicular.....	100
4.4.2	Actividad Vehicular, rendimiento, kilómetros recorridos al año.....	104
4.5	Análisis de las Emisiones Totales	117
4.6	Análisis de la distribución espacial de las emisiones.....	119
4.6.1	Tráfico vehicular.....	119
4.6.2	Análisis General de la distribución de las emisiones.....	120
4.6.3	Análisis comparativo del aporte a las emisiones por categoría vehicular. 120	
4.7	Diseño Preliminar de la red de Monitoreo.	123
CAPÍTULO V.....		125
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		125
5.1	Conclusiones.....	125
5.2	Recomendaciones.....	128
6.	BIBLIOGRAFÍA.....	130

INDICE DE FIGURAS.

Nro.	Descripción	Pág.
1	Estructura Térmica de la atmósfera.....	6
2	Capas de la atmósfera según la temperatura.....	7
3	Efectos de la relación aire – combustible sobre las emisiones.....	30
4	Papel del monitoreo de la calidad del aire.....	32
5	Ubicación provincial del estudio.....	50
6	Ubicación cantonal del estudio	50
7	Rosa de los vientos en el Aeropuerto Chachoan.....	51
8	Sector Parque Industrial.....	53
9	Sector Mercado Mayorista	54
10	Sector Huachi Grande.....	54
11	Distribución del Parque Automotor.....	58
12	Inventario Vehicular de acuerdo al año o modelo.....	59
13	Metodología para el estudio de Campo	63
14	Metodología para el estudio de Campo-1	64
15	Sistema de Posicionamiento Global (GPS).	89
16	Distribución del Parque Automotor.....	99
17	Composición del Parque automotor porcentajes.....	102
18	Composición del Parque automotor valores.....	103
19	Actividad Vehicular Individual (AVI).....	106
20	Actividad Vehicular Individual Total (AVT).....	110
21	Rendimiento Vehicular, kilómetros por galón.....	112
22	Consumo de combustible.....	115
23	Emisiones totales por contaminante.....	117
24	Aportes a la contaminación por categoría vehicular.....	122

24	Configuración preliminar para la red de monitoreo.....	124
----	--	-----

INDICE DE TABLAS.

Nro.	Denominación	Pág.
1	Composición del aire seco	5
2	Distribución de Capas atmosféricas según la temperatura.....	6
3	Teoría y cuantificación para PM	10
4	Teoría y cuantificación para SO _x	11
5	Teoría y cuantificación para CO	12
6	Teoría y cuantificación para óxidos de Nitrógeno NO _x	13
7	Teoría y cuantificación para Hidrocarburos.....	14
8	Teoría y cuantificación para Hidrocarburos No VOC.....	14
9	Teoría y cuantificación para Plomo.....	15
10	Plan para aseguramiento y control de la calidad del aire.....	27
11	Marco general normativo.....	36
12	Valores Guía para material particulado.....	38
13	Valores Guía para Dióxido de Nitrógeno	39
14	Valores actualizados de las Guías de la Calidad del Aire de la OMS	40
15	Concentraciones de contaminantes criterio que definen los niveles	45
16	Fuentes de Información para Inventario Vehicular.....	55
17	Clasificación del parque automotor a efectos del Inventario.....	56
18	Distribución del Parque Automotor por tipo, año y modelo.....	66
19	Distribución general del Parque Automotor.....	67
20	Distribución de encuestas.....	68
21	Kilómetros recorridos al día	68
22	Días laborados al año.....	69

23	Actividad Vehicular.....	69
24	Actividad Vehicular general.....	70
25	Rendimiento Vehicular	71
26	Consumo de combustible al año.....	72
27	Emisiones totales PM ₁₀	74
28	Emisiones totales PM _{2,5}	75
29	Emisiones totales CO.....	76
30	Emisiones totales NO.....	77
31	Emisiones totales HC.....	78
32	Emisiones totales COVs.....	79
33	Resumen de Emisiones Totales	80
34	Matriz de selección de puntos o sitios de estudio.....	84
35	Puntos o sitios de estudio.....	85
36	Características técnicas del equipo GPS.....	90
37	Categoría Vehicular.....	91
38	Recolección de flujo vehicular (IMD).....	92
39	Resultados de la Intensidad Media Diaria (IMD).....	93
40	Ubicación de estaciones de monitoreo pasivo.....	95
41	Clasificación del parque automotor a efectos de inventario.....	98
42	Distribución del Parque Automotor.....	100
43	Composición del Parque automotor de Ambato, año 2013.....	101
44	Encuestas aplicadas.....	104
45	Resultados de Actividad vehicular.....	105
46	Actividad vehicular total.....	107
47	Rendimiento Vehicular.....	112

48	Consumo de combustible por clase vehicular.....	114
49	Consumo de combustible por clase de combustible.....	114
50	Emisiones totales por contaminante.....	117
51	Lugares con mayor tráfico vehicular.....	118
52	Aporte a la contaminación por categoría vehicular.....	121

INDICE DE ANEXOS

NÚMERO	CONTENIDO
1	Factores de emisión
2	Modelo de Encuestas
3	Mapas temáticos

INDICE DE ECUACIONES

Nro.	Descripción	Pág.
1	Emisión de contaminantes (E).....	26
2	Emisión para equipos de control (E _c).....	26
3	Combustión en motores a gasolina.....	29
4	Ponderación Total (PT).....	84
5	Actividad Vehicular Total (AVT).....	111
6	Consumo total de combustible (CTC).....	113

ABREVIATURAS

Abreviatura	Significado
COSUDE	Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación
DMA	Dirección Metropolitana de Ambiente
EPA	Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos
IEC	Comisión Electrotécnica Internacional.
IPCC	Comité Intergubernamental de expertos para el Cambio Climático
GEMS	United Nations Global Environment Monitoring System, Sistema Mundial de Vigilancia del Medio Ambiente.
GPS	Sistema de Posicionamiento Global
INEC	Instituto Nacional de Estadísticas y Censos
MAE	Ministerio del Ambiente Ecuador
NAAQS	Normas Estadounidenses de Calidad del Aire (NAAQS).
ONG	Organización no gubernamental
PM	Material particulado
PMA	Planes de Manejo Ambiental
PNUMA	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
POT	Plan de Ordenamiento Territorial
SIG	Sistemas de información Geográfica
TULSMA	Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente

RESUMEN

El presente proyecto determina la magnitud y la distribución espacial de las emisiones a la atmósfera de contaminantes en la ciudad de Ambato, las mismas que provienen de fuentes móviles; en este contexto los contaminantes considerados en el estudio son: compuestos orgánicos volátiles, (COVs), óxidos de nitrógeno NO_x, material particulado menor a diez micrones (PM₁₀), material particulado menor a 2.5 micrones (PM_{2.5}). Se incluye como contaminantes primarios básicos al monóxido de carbono (CO) y al dióxido de azufre (SO₂). En la realización del presente estudio se estableció: alcance geográfico, fuentes de emisión y contaminantes a incluirse; luego de lo cual se recopilaron a forma de inventario los valores de emisión obtenidos a partir de la actividad o fuente generadora y los respectivos factores de emisión (enfoque top – down). Los datos de emisión obtenidos, son expresados en Toneladas – Año, con lo que se elaboran mapas temáticos empleando Sistemas de Información Geográfica (GIS). Los mapas temáticos se analizan para evaluar la distribución de los contaminantes, estos mapas contrastados con los valores permiten tener una idea clara de la magnitud de la contaminación y la forma como la distribución espacial refleja la problemática encontrada. Los valores de emisión fueron separados por sitio de emisión lo que permitió evaluar la forma como en cada sector de la urbe se presenta la contaminación, esta separación permitió establecer los posibles lugares en donde deban ubicarse las estaciones de monitoreo. Finalmente se plantea el diseño preliminar de la red de monitoreo, misma que está conformada por estaciones de monitoreo estratégicamente localizadas.

PALABRAS CLAVES:

- **INVENTARIO DE EMISIONES**
- **CONTAMINACIÓN**
- **CALIDAD DEL AIRE**
- **RED DE MONITOREO**
- **DISTRIBUCIÓN ESPACIAL**

SUMMARY

This project determines the magnitude and spatial distribution of the emissions of pollutants in the Ambato city, the same that come from mobile sources; in this context the pollutants considered in the study are less than 2.5 microns ($PM_{2.5}$) particulate volatile organic compounds (COVs), nitrogen oxides NO_x , particulate matter less than ten microns (PM_{10}), material. It is included as basic primary pollutants carbon monoxide (CO) and sulfur dioxide (SO_2). In the embodiment of the present study was set: pollutants included geographic scope, and emission sources; after which they were collected to form the emission inventory obtained from the activity or generating source and the respective emission factors (approach top - down). The emission data obtained are expressed in Tons - Year, which produce thematic maps using Geographic Information Systems (GIS). Thematic maps were analyzed to assess the distribution of pollutants, these maps allow contrasted with the values have a clear idea of the extent of contamination and how the spatial distribution reflects the problems encountered. The emission values were separated by broadcasting site which allowed evaluating how each sector of the city pollution occurs, this separation allowed to establish possible places to be placed monitoring stations. Finally it raises the preliminary design of the monitoring network, which is itself made up monitoring stations strategically located.

KEYWORDS:

- **INVENTORY OF EMISSIONS**
- **POLLUTION**
- **AIR QUALITY**
- **MONITORING NETWORK**
- **SPATIAL DISTRIBUTION**

CAPÍTULO I

GENERALIDADES.

1.1 Antecedentes

En 1974, la Organización Mundial de la Salud (OMS) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) establecieron conjuntamente un programa conocido como GEMS/Aire para monitorear y evaluar la calidad del aire urbano a escala mundial. El Sistema Mundial de Vigilancia del Medio Ambiente (United Nations Global Environment Monitoring System), con sus siglas GEMS/Aire integra el Sistema Mundial de Vigilancia del Medio Ambiente de las Naciones Unidas. Programas como estos buscan fomentar el intercambio internacional de información sobre los niveles y tendencias de la contaminación del aire y proporcionar evaluaciones integrales pertinentes para la calidad del aire urbano y otros temas relacionados.

Las ciudades deberán desarrollar planes integrales de gestión de la calidad del aire e introducir medidas efectivas de control. De este modo, el monitoreo de la calidad del aire resulta fundamental para dos fines: la determinación de la magnitud y las fuentes de los problemas de contaminación y el establecimiento de una base para desarrollar estrategias de control apropiadas y para evaluar su éxito.

“El vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado que garantice la sostenibilidad y el buen vivir” es un derecho consagrado en el artículo 14 de la Constitución de la República del Ecuador (2008), el mismo que tiene concordancia con el Plan Nacional del Buen Vivir (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo[SENPLADES], 2013)

Es imperativo entonces emprender proyectos de investigación que contribuyan a reducir la contaminación ambiental, generar conocimiento científico técnico, al tiempo que se contribuye a mejorar la calidad de vida de la población.

1.2 Justificación

La necesidad de contar con datos específicos respecto de la calidad de aire en nuestras ciudades es imperante, ya que no se pueden tomar acciones concretas de gestión de la calidad del aire sin contar con datos confiables respecto de los niveles de contaminación.

En nuestro país ciudades como Quito y Cuenca ya cuentan con redes de monitoreo de calidad de aire. Estas redes permiten conocer los niveles de contaminación, base para el planteamiento y desarrollo de acciones para reducir la contaminación del recurso aire.

Ambato no puede quedar de lado en cuanto a control y gestión ambiental del recurso aire. El incremento de las actividades industriales, el incremento sostenido y acelerado del parque automotor hacen que se deba implantar una red de monitoreo de calidad de aire la misma que permita aplicar gestión ambiental efectiva.

El presente proyecto busca contribuir a la reducción de la contaminación del aire en la ciudad de Ambato y sus alrededores.

1.3 Importancia

Considerando que el monitoreo del aire es una herramienta básica de la gestión ambiental y la información que produce debe ser utilizada para el diseño, implementación y evaluación de las políticas de control de las fuentes generadoras de emisiones y de acciones orientadas al mejoramiento de la calidad del recurso aire, el presente estudio permitirá diseñar una red de monitoreo de calidad de aire para la ciudad de Ambato.

El diseño preliminar de una red de monitoreo será el primer paso para caracterizar de manera permanente las condiciones de la calidad del aire en la ciudad de Ambato; dentro de las primeras etapas se plantea una configuración preliminar que conste de estaciones que conformen subredes de monitoreo pasivo de contaminantes como material particulado $PM_{2,5}$ y PM_{10} .

Esta red en sus etapas iniciales permitirá realizar el muestreo simultáneo en un número representativo de lugares (puntos de muestreo), estos sitios serán definidos en función de la densidad poblacional, las emisiones del tráfico vehicular, y en lo posterior deberán incluirse a las actividades industriales. Los monitores pasivos registrarán además las concentraciones de NO₂ (exposición de 30 días por mes), O₃ (exposición de 10 días, 2 veces por mes); SO₂ (exposición de 30 días por mes), para en lo posterior incluir otros contaminantes.

1.4. Objetivo General.

- Diseñar de forma preliminar la primera red permanente de monitoreo de la calidad del aire adaptada a las necesidades específicas de la ciudad de Ambato.

1.5 Objetivos específicos.

- Determinar el alcance geográfico, de fuentes de emisión y contaminantes incluidos en el estudio.
- Obtener un inventario de emisiones para fuentes móviles en la zona de estudio para identificar los sitios de mayor emisión.
- Representar la distribución geográfica de las emisiones empleando sistemas de Información Geográfica (GIS).

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO.

2.1 El Aire.

También denominado “Aire ambiente”, cualquier porción no confinada de la atmosfera, y se define como la mezcla gaseosa cuya composición normal es, de por lo menos, veinte por ciento (20%) de oxígeno, setenta y nueve por ciento (79%) nitrógeno y uno por ciento (1%) dióxido de carbono, además de proporciones variables de gases inertes y vapor de agua en relación volumétrica. (Ministerio del Ambiente [MAE], 2010, p. 3)

La composición normal del aire seco es la óptima para el desarrollo de la vida. Esta composición es fruto de la interacción en el tiempo y la interacción con otros factores como el agua o el sol que hacen nuestra atmósfera muy susceptible a cualquier cambio en el entorno. (BERAU VERITAS, 2008, p. 152)

El aire es químicamente inestable y su composición se mantiene gracias a la constante renovación de alguno de sus componentes como el Oxígeno, el dióxido de carbono, el metano o el helio. (BERAU VERITAS, 2008, p. 153)

En el presente, la atmósfera está compuesta principalmente por tres tipos de constituyentes gaseosos:

Gases permanentes: nitrógeno (78.1 %), oxígeno (20.9 %) y gases nobles (0.9 %), que en conjunto forman el 99.9 % del volumen de la atmósfera.

Gases variables: son todos los demás gases presentes en la atmósfera, incluyendo los gases traza (CO, N₂O, NO_x CH₄, etc.) y los que tienen gran importancia en los distintos procesos meteorológicos como: el vapor de agua (H₂O), el dióxido de carbono (CO₂) y el ozono (O₃). (Ortega, 2009, p. 3)

Constituyentes no gaseosos: formados por aerosoles, tales como partículas volcánicas, polvos, humos, sales, etc. (Ortega, 2009, p. 4)

La composición general del aire seco se muestra en la tabla 1:

Tabla 1:
Composición del aire seco

Componente	Fórmula	Proporción en Volumen
Nitrógeno	N ₂	78,1
Oxígeno	O ₂	20,91
Argón	Ar	0,93
Dióxido de Carbono	CO ₂	0,03
Neón	Ne	1,5x10 ⁻³
Helio	He	5x10 ⁻⁴
Metano	CH ₄	2x10 ⁻⁴
Hidrogeno	H ₂	5x10 ⁻⁴
Xenón	Xe	1x10 ⁻⁵
Ozono	O ₃	Trazas

Fuente: (BERAU VERITAS, 2008).

2.2 La Atmósfera

La atmósfera está constituida por un gran número de gases que envuelven al planeta tierra, esta capa gaseosa cuenta con un espesor aproximado de 2000 km, en el cual se encuentran las reservas de oxígeno y sustancias necesarias para la vida terrestre. (Spedding, 2008)

2.2.1 Estructura de la Atmósfera.

El límite de la atmósfera es difuso aunque por convenio se suele situar en torno a los 200 km.

La composición de la atmosfera va variando en función de la altura de forma que la mitad de su peso total está concentrada en la banda de los 5 km más próximos a la superficie. Esta concentración de masa en las capas bajas configura la presión atmosférica.

En las capas bajas de la atmosfera se dan fenómenos meteorológicos y reacciones químicas que intervienen en procesos como la erosión, ciclos hidrológicos y cualquier otro que da lugar a las transformaciones de la superficie terrestre.

2.2.2. Estructura Térmica de la atmósfera.

De acuerdo con la forma en la que varía la temperatura en función de la altura, la Unión Internacional de Geodesia y Geofísica adoptó la siguiente estructura de capas atmosféricas: La estructura mencionada puede observarse a continuación en la Figura 1.

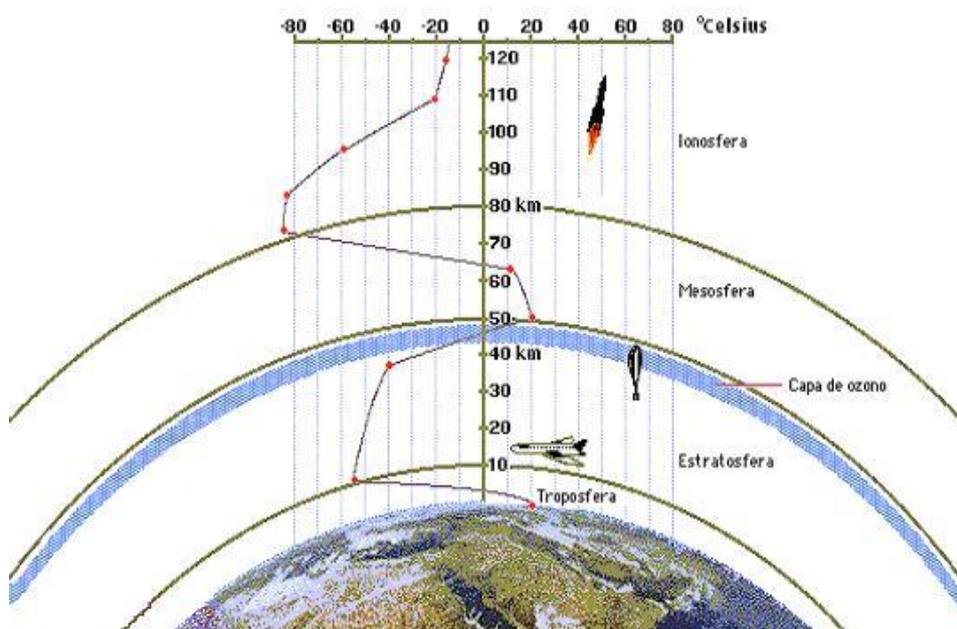


Figura 1: Estructura Térmica de la atmósfera.
Fuente: Alley, 2010.

A continuación en la Tabla 2 se muestra la distribución de las capas atmosféricas en función de la temperatura.

Tabla 2:

Distribución de Capas atmosféricas según la temperatura

Distribución de Capas atmosféricas según la temperatura	
Tropósfera	<p>En esta región, la temperatura disminuye de forma constante con la altura según un gradiente térmico vertical de $0,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ cada 110 m hasta estabilizarse en un límite conocido como tropopausa. Esta discontinuidad actúa como “tapadera”, debido al gradiente térmico, ya que impide que los gases ligeros y los aerosoles de capas bajas pasen a las zonas más altas.</p> <p>A partir de la tropopausa, el gradiente térmico se invierte dando paso a esta nueva zona. Esta transición se produce aproximadamente a unos 11 a 18 km y a una temperatura de -40 a $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$. Esta es una zona de vital importancia, ya que actúa como filtro de las radiaciones solares, siendo su espesor, desde los 10 hasta los 45 km de altitud.</p>

Estratósfera	<p>Es aquí donde se produce la absorción de buena parte de la radiación ultravioleta dañina para la salud humana a través de las reacciones de formación y de destrucción del ozono.</p> <p>En la estratosfera el aumento de temperatura con la altitud es muy elevado, ya que es esta capa la que absorbe las dañinas radiaciones solares, siendo necesaria por tanto para la protección de la vida en la tierra.</p> <p>Aproximadamente a una altura de 28 km se produce una nueva inversión térmica, alcanzando los 0 °C en la estratopausa, para continuar descendiendo.</p>
Mesosfera	<p>Esta capa que se extiende hasta los 85, 90 km, llegando a alcanzar unas temperaturas de – 100 °C aproximadamente, la temperatura más baja en toda la atmósfera, que se alcanza en la mesopausa.</p>
Ionosfera	<p>Es una capa particular contenida en el interior de la atmósfera, zona en la que predominan H₂ y He, los gases más ligeros, en la que las radiaciones UV, rayos X y cósmicos reaccionan fotoquímicamente generando diversos iones.</p> <p>Es la capa que posee las propiedades de reflexión de las ondas de radio y permite las comunicaciones.</p>

Fuente: BERAU VERITAS, 2008.

Las capas descritas en la tabla anterior pueden representarse gráficamente de acuerdo a la Figura 2.

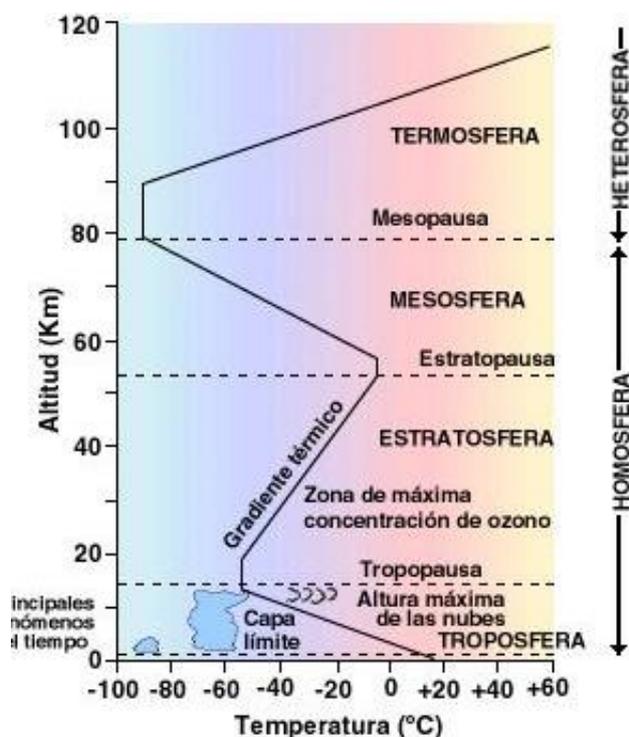


Figura 2: Capas de la atmósfera según la temperatura.

Fuente: Alley, 2010.

2.3 Contaminantes del aire.

Cualquier sustancia o material emitido a la atmósfera, sea por actividad humana o por procesos naturales y que afecte adversamente al hombre o al ambiente. (Ministerio del Ambiente [MAE], 2010, p. 4)

2.3.1 Principales contaminantes del aire.

A continuación se citan algunas definiciones que permiten introducirnos al estudio de la contaminación del aire. En primera instancia se define a la Contaminación del aire.

La presencia de sustancias en la atmósfera que resultan de actividades humanas o de procesos naturales, presentes en concentración suficiente, por un tiempo suficiente y bajo circunstancias tales que intervienen con el confort, la salud o el bienestar de los seres humanos o del ambiente. (Ministerio del Ambiente [MAE], 2010, p. 7)

La Environmental Protection Agency (EPA), en la Clean Air Act de 1972, ha listado cinco clases principales de contaminantes del aire según el *criterio de los contaminantes*.

Son materia en partículas, dióxido de azufre, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno e hidrocarburos. En 1976 se adicionó el plomo a esta lista.

La materia en partículas: consiste en sustancias sólidas o líquidas que pueden ser visibles o invisibles. Las partículas afectan la visibilidad y pueden ser transportadas por el viento a grandes distancias. Las partículas pequeñas, PM₁₀ [materia en partículas menor a 10 micrómetros (μm)], son particularmente peligrosas para la salud humana porque su pequeño tamaño hace posible que pasen a través de los vellos de las fosas nasales y lleguen al interior de los pulmones. (Alley, 2010, pp. 2-4)

Los óxidos de azufre (SO_x) son gases ácidos, corrosivos y tóxicos que son producidos cuando se quema algún combustible que contiene azufre. Las plantas de energía que queman carbón producen alrededor de 60% de SO_x total que hay en la atmósfera, las que queman petróleo, alrededor del 14% y los procesos industriales aproximadamente el 22 %. (Alley, 2010, pp. 2-5)

El monóxido de carbono (CO) es un gas incoloro, inodoro y venenoso, que se produce por la combustión incompleta del carbono de los combustibles. Aproximadamente dos terceras partes del CO de la atmósfera es producido por los motores por los motores de combustión interna, en cantidad abrumadora por los vehículos de motor de gasolina. (Alley, 2010, p. 5)

Los óxidos de nitrógeno (NOx) se producen cuando el combustible se quema

A temperaturas muy altas. Las fuentes estacionarias producen aproximadamente el 49 % del NO_x de la atmósfera, los vehículos de motor el 39% y otras fuentes el 12 %. Bajo la influencia de la luz solar los NO_x se combinan con los hidrocarburos gaseosos para formar oxidantes fotoquímicos, principalmente Ozono (O₃) [...].

Los hidrocarburos se pueden producir a partir de combustible no quemado y desperdiciado. Los hidrocarburos son importantes a causa de su papel en la formación de smog fotoquímico. (Alley, 2010, p. 5)

Los compuestos más reactivos, llamados *compuestos orgánicos volátiles* (*volatile organic compounds, VOC*), se producen por evaporación de los procesos industriales, especialmente la evaporación de disolventes de los procesos de pintura.

El plomo (Pb), tiene un efecto adverso sobre la salud y el bienestar. El envenenamiento con plomo tiene un efecto destructivo sobre el sistema nervioso central. Proviene principalmente de la combustión del plomo del combustible y de las operaciones de pintura con base de plomo. (Alley, 2010, p. 5)

2.4 Efectos de la contaminación del aire.

El principal impacto de la contaminación del aire es el que tiene sobre la salud humana, además el clima puede desempeñar un papel significativo en la forma de afectación, Así la velocidad del viento y la profundidad de la atmósfera determinan la forma de dispersión de los contaminantes en los sitios naturales de baja altura, tales como las depresiones, ríos, bahías y áreas de influencia.

2.4.1 Teoría y cuantificación de la contaminación del aire.

A continuación se muestra los fundamentos y cuantificación de contaminantes del aire de acuerdo a lo que establece el Manual de Calidad del Aire de Roberts Alley (2010). La teoría y cuantificación para PM, se observa en la tabla 3.

Tabla 3:

Teoría y cuantificación para PM

Nombre	Materia en partículas		
Definición	Cualquier material sólido o líquido dividido finamente diferente al agua no combinada según medición por los métodos federales de referencia (40 CFR 53).		
Ejemplos	Polvo humo gotitas de petróleo, berilio, asbesto.		
Fuentes	Hornos, trituradoras, molinos afiladores, estufas, calcinadores, calderas, incineradores, cintas transportadoras, acabados textiles, mezcladores y tolvas, cubilotes, equipo procesador cabinas de aspersión digestores, incendios forestales		
Efectos	Visibilidad disminuida, efecto del humo y el polvo sobre la salud humana; enfermedades crónicas del sistema respiratorio, asbestosis, envenenamiento con plomo; suciedad de la casa y la ropa; destrucción de la vida vegetal y la agricultura; efectos sobre el clima.		
NAAQS. ¹		TSP	PM₁₀
	Primario – anual	75ug/m ³	50ug/m ³
	24 h	266ug/m ³	150ug/m ³
	Secundario anual	60ug/m ³	50ug/m ³
	24 h	150ug/m ³	120ug/m ³

Fuente: Alley, 2010.

En el caso de Ecuador la Norma de Calidad del Aire Ambiente o Nivel de Inmisión, Libro VI Anexo V, en el apartado 4.1.2: “Normas Generales para concentraciones de contaminantes criterio en el aire ambiente” apartado: **Material particulado menor a 10 micrones (PM10)** se menciona que: “El promedio aritmético de la concentración de PM10 de todas las muestras en una año no deberá exceder de cincuenta microgramos por metro cúbico (50 µg/m³).

¹ Normas Estadounidenses de Calidad del Aire I (NAAQS).

El promedio aritmético de monitoreo continuo durante 24 horas, no deberá exceder de 100 microgramos por metro cúbico ($100\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Se considera sobrepasada la norma de calidad del aire para material particulado PM10 cuando el percentil 98 de las concentraciones de 24 horas registradas durante un periodo anual en cualquier estación monitorea sea mayor o igual a ($100\mu\text{g}/\text{m}^3$).

La misma norma, en la sección ya mencionada determina que: para el caso de **“Material particulado menor a 2,5 micrones (PM_{2,5})**. El promedio aritmético de la concentración de PM_{2,5} de todas las muestras en un año no deberá exceder de quince microgramos por metro cúbico ($15\mu\text{g}/\text{m}^3$).

El promedio Aritmético de monitoreo continuo durante 24 horas, no deberá exceder de cincuenta microgramos por metro cúbico ($50\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Se considera sobrepasada la norma de calidad del aire para material particulado PM_{2,5} cuando el percentil 98 de las concentraciones de 24 horas registradas durante un periodo anual en cualquier estación monitorea sea mayor o igual a ($50\mu\text{g}/\text{m}^3$).” La tabla 4 muestra la Teoría y cuantificación para el caso del Dióxido de azufre SO_x

Tabla 4:

Teoría y cuantificación para SO_x

Nombre	Dióxido de azufre SO_x (especialmente SO₂)		
Definición	Acre corrosivo, gases tóxicos producidos cuando se quema combustible que contiene azufre.		
Ejemplos	SO ₂ en forma gaseosa o ácido sulfuroso (H ₂ SO ₃) y ácido sulfúrico (H ₂ SO ₄), en forma líquida un componente de la lluvia ácida		
Fuentes	Artículos eléctricos, calderas industriales, fundiciones de cobre, refinerías de petróleo, fuentes de automóviles, calentadores residenciales y comerciales.		
Efectos	Dificultad para respirar cuando se disuelve en la nariz y en las vías superiores; tos crónica y secreción de las mucosas; la lluvia ácida destruye la vida de las plantas, los peces especialmente en las áreas primitivas, como las de los parques y de los bosques nacionales; contribuye a una visibilidad disminuida en la medida de las proporciones de sulfato de las partículas suspendidas.		
NAAQS. ¹		TSP	PM₁₀
	Primario – anual	80ug/m ³	0,03 ppm
	24 h	365ug/m ³	0,14 ppm
	Secundarios -3h	1300ug/m ³	0,5 ppm

Fuente: Alley, 2010.

La Norma de Calidad del Aire Ambiente o Nivel de Inmisión, Libro VI Anexo V, en el apartado 4.1.2: “Normas Generales para concentraciones de contaminantes criterio en el aire ambiente” apartado: **Dióxido de azufre (SO₂)** **determina que:** “La concentración de SO₂ en 24 horas no deberá exceder ciento veinticinco microgramos por metro cúbico (125 µg/m³), la concentración de este contaminante para un periodo de diez minutos, no debe ser mayor a quinientos microgramos por metro cúbico. (500 µg/m³).

El promedio aritmético de la concentración de SO₂ de todas las muestras en un año no deberá exceder de sesenta microgramos por metro cúbico (60 µg/m³)”.

La teoría y cuantificación para el caso del Monóxido de Carbono se muestra en la Tabla 5

Tabla 5:

Teoría y cuantificación para Monóxido de Carbono

Nombre	Monóxido de Carbono		
Definición	Gas incoloro, inodoro, venenoso, más ligero que el aire, producido por la combustión incompleta del carbón y los combustibles		
Fuentes	Fuentes estacionarias que queman combustibles; fuentes móviles que queman combustibles(motores de combustión interna, principalmente motores de gasolina)		
Efectos	Pueden ser mortales en un tiempo corto en áreas cerradas; reacciona con la hemoglobina de la sangre, evitando la transferencia de oxígeno (el coeficiente de equilibrio para el CO en la hemoglobina es 210 veces el del oxígeno)		
NAAQS.		TSP	PM₁₀
	Primario – 8h	10000ug/m ³	9 ppm
	Secundario 1 h	40 000ug/m ³	35 ppm

Fuente: Alley, 2010.

Para el Monóxido de Carbono (CO) La Norma de Calidad del Aire Ambiente o Nivel de Inmisión, Libro VI Anexo V, en el apartado 4.1.2: “Normas Generales para concentraciones de contaminantes criterio en el aire ambiente” apartado: **Monóxido de Carbono (CO)** menciona que: “La concentración de monóxido de carbono de las muestras determinadas de

forma continua, en un periodo de 8 (ocho) horas, no deberá exceder de diez mil microgramos por metro cúbico ($10000 \mu\text{g}/\text{m}^3$) no más de una vez al año. La concentración máxima en (1) una hora de monóxido de carbono no deberá exceder $30000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ no más de una vez al año.

Para los Óxidos de Nitrógeno; la teoría y cuantificación se muestra en la Tabla 6.

Tabla 6:

Teoría y cuantificación para Óxidos de Nitrógeno

Nombre	Óxidos de Nitrógeno
Definición	Siete óxidos de Nitrógeno: NO, NO ₂ , NO ₃ , N ₂ O, N ₂ O ₃ , N ₂ O ₄ , N ₂ O ₅ . El trabajo sobre la contaminación del aire se refiere al NO y al NO ₂ , óxido nítrico y dióxido de nitrógeno. Ambos son gases incoloros. Concentraciones excesivas en el aire ocasionan un color pardusco debido a la absorción de la luz en el área azul – verde del espectro.
Fuentes	Producidos al quemar combustibles a temperaturas muy altas a partir del nitrógeno del aire. También son producidos a partir del nitrógeno del carbón y de los aceites pesados: grandes generadores de energía eléctrica, grandes calderas industriales, motores de combustión interna, plantas de ácido nítrico.
Efectos	Visibilidad reducida, irritación en la nariz y los ojos, edema pulmonar, bronquitis y neumonía; reaccionan con VOC bajo la influencia de la luz solar para formar ozono, PAN ² y smog. El ozono y PAN son oxidantes poderosos que actúan como irritantes severos para los ojos, la nariz y la garganta y ocasionan ruptura en el caucho y las pinturas, los textiles, etcétera, y dañan la vida de las plantas.
NAAQS.	Primarios y secundarios- anual, $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 0,05 ppm.

Fuente: Alley, 2010.

Del mismo modo La Norma de Calidad del Aire Ambiente o Nivel de Inmisión, Libro VI Anexo V, en el apartado 4.1.2: “Normas Generales para concentraciones de contaminantes criterio en el aire ambiente” apartado: **Dióxido de Nitrógeno (NO₂)** determina que: “ El promedio aritmético de la concentración de Dióxido de Nitrógeno, determinado en todas las muestras en un año, no deberá exceder de cuarenta microgramos por minuto $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

La concentración máxima en (1) una hora no deberá exceder doscientos microgramos por metro cúbico ($200 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

² Nitrato de peroxiacetilo. (PAN) Oxidante tóxico del smog fotoquímico que se forma en la atmósfera, en presencia de luz solar, a partir de las reacciones químicas de los hidrocarburos y los óxidos de nitrógeno, resultado principalmente de las emisiones de vehículos automotores. (OSMAN.ES, 2015)

La misma norma en el apartado 4.1.2.2 menciona que “Los valores de concentración de contaminantes criterio, establecidas en esta norma, así como los que sean determinados en los programas públicos de medición están sujetos a las condiciones de referencia de 25 °C y 760 mm Hg”. La teoría y cuantificación para Hidrocarburos VOC se muestra en la Tabla 7.

Tabla 7:

Teoría y cuantificación para Hidrocarburos VOC

Nombre	Hidrocarburos VOC
Definición	Cualquier compuesto de carbón, excluyendo el monóxido de carbono, el ácido carbónico, los carburos y carbonatos metálicos, el carbonato de amonio y la acetona, el cual precipita en reacciones atmosféricas fotoquímicas. EPA tiene una lista de compuestos de cloro – y flúor, y de compuestos pesados exentos específicamente por la definición del nombre VOC
Ejemplos	Propano, tolueno, metilo, etil cetona, di-isocionatos, xileno, gasolina.
Fuentes	Los VOC algunas veces se producen en fuentes que sufren evaporación como recubrimientos superficiales, operaciones de impresión y de limpieza con disolventes: recubrimiento de superficies, artes gráficas, refinerías y tanques de petróleo, almacenaje y transferencia de gasolina, fabricantes de aceites vegetales, producción de neumáticos, limpieza en seco fabricantes de sustancias químicas orgánicas sintéticas, fabricantes de plásticos y fabricantes de componentes de navíos y de productos de aseo.
Efectos	Contaminantes primarios en la formación de ozono y esmog fotoquímico
NAAQS.	Primarios y secundarios 1h 235 ug/m ³ , 0,12 ppm.

Fuente: Alley, 2010.

Para los Hidrocarburos No VOC, la teoría y cuantificación se muestra en la Tabla 8

Tabla 8:

Teoría y cuantificación para Hidrocarburos No VOC

Nombre	Hidrocarburos - No VOC
Definición	Todos los compuestos de carbono e hidrógeno, en forma líquida o gaseosa, exentos específicamente como VOC. La mayor parte están en la lista de EPA HAP. Están incluidos los CFC y HCFC.
Ejemplos	Freones (CFC, HCFC), tetracloruro de carbono, cloruro de metileno, metilo cloroformo.

Fuentes	Los sistemas de acondicionamiento de aire, la limpieza y desengrasado con disolventes, el limpiado en seco, los fabricantes de productos en espuma.
Efectos	La mayor parte son agotadores del ozono estratosférico. La capa de ozono de la estratosfera protege la Tierra de la radiación ultravioleta excesiva.

Fuente: Alley, 2010.

En la Tabla 9 se muestra la Teoría y cuantificación para el Plomo

Tabla 9:

Teoría y cuantificación para Plomo

Nombre	Plomo
Definición	Un metal pesado con peso molecular de 207
Fuentes	La combustión de plomo de combustibles, pinturas basadas en plomo, tubería que contiene plomo, acumuladores almacenados.
Efectos	Ataca al sistema nervioso central con daño neurológico consecuente. No se puede eliminar fácilmente del organismo.
NAAQS:	Primario y secundario 1,5 mg/m ³ (Trimestre de Calendario)

Fuente: Alley, 2010

2.4 Las Emisiones

La descarga de sustancias gaseosas, puras o con sustancias en suspensión en la atmosfera. [...] la emisión se refiere a la descarga de sustancias provenientes de actividades humanas. (Ministerio del Ambiente [MAE], 2010, p. 2)

La Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo (CCAD) en el año 2007 elaboró la “*Guía para mejorar la Calidad del Aire*” en el cual menciona a las principales fuentes de emisión de contaminantes de acuerdo a lo siguiente:

- a) Fuentes Naturales.
- b) Fuentes antropogénicas
 - Fuentes Fijas
 - Fuentes de Área

- Fuentes Móviles

2.5 Fuentes de contaminantes atmosféricos.

Los contaminantes del aire pueden provenir de fuentes naturales o fuentes antropogénicas³. (Instituto Nacional de Ecología[INE], 2005, p. 93)

La contaminación del aire proviene de una mezcla de miles de fuentes de emisión que van desde chimeneas industriales y vehículos automotores hasta el uso de productos de limpieza y pinturas domésticos. Incluso la vida animal y vegetal puede desempeñar un papel importante en la contaminación del aire. En general **para propósitos de un inventario de emisiones**, las fuentes de emisión se agrupan en cuatro categorías principales: (Instituto Nacional de Ecología[INE], 2005, p. 93)

- Fuentes puntuales o fijas
- Fuentes de área
- Fuentes de vehículos o automotores
- Fuentes naturales.

Las fuentes antropogénicas de contaminantes atmosféricos se dividen en fuentes móviles y fuentes fijas.

2.5.1 Fuentes Puntuales

El Volumen IV de la Serie de Manuales del Programa de Inventarios de Emisiones preparados por la EPA (1997), denominado: *Desarrollo de Inventarios de Fuentes Puntuales*, presenta información detallada sobre esta categoría de fuentes, además menciona que:

“Primero se debe definir claramente lo que es una “fuente puntual” (i.e debe establecerse una delimitación entre fuentes puntuales y de área). Segundo se debe determinar el nivel de detalle deseado”.

Delimitación de Fuentes Puntuales y Fuentes de Área.

³ Las fuentes antropogénicas son las relacionadas con las actividades de los seres humanos, están los vehículos de motor, la quema de combustibles fósiles para la generación de electricidad y calor, los procesos industriales, la disposición de desechos sólidos y la combustión de diversos objetos como hojas y maleza. (Davis M, Masten S; 2005)

La división de fuentes emisoras en: puntuales y de área es arbitraria pero necesaria para permitir la recopilación eficiente de la información que se requiere para apoyar los programas de calidad del aire. Esta división tiene implicaciones importantes, tanto para el desarrollo de los programas regulatorios, como para el tipo de información necesaria para apoyarlos. (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos [EPA], 1997)

Es deseable contar con información detallada sobre cada punto en el que se descargan emisiones a la atmósfera. Aunque esto permitirá entender de forma detallada las características de cada fuente emisora, no existe manera práctica de recopilar dicha información. Si se tratan todas las plantas como fuentes puntuales se puede aumentar la exactitud del inventario pero se requerirán muchos más recursos para recopilar el inventario de fuentes puntuales. Un enfoque alternativo consiste en recopilar información en una base más simple agregando todas las fuentes que estén relacionadas (e. g, todos los automóviles, todas las panaderías) dentro de una sola "fuente de área". (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos [EPA], 1997, pp. 5-2)

Fuentes Puntuales

Son fuentes estacionarias, grandes, que se caracterizan por emitir cantidades de contaminantes por arriba de un cierto umbral (por ejemplo 10 toneladas por año de NO_x). (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos [EPA], 1997)

Las fuentes puntuales son instalaciones, plantas o actividades para las cuales se mantienen registros individuales, la idea sería tener registros individuales para todas las instalaciones industriales; en realidad, numerosas instalaciones pequeñas dentro de una región se tratan frecuentemente como fuentes de área. (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos [EPA], 1997)

En países como México las fuentes no están clasificadas de manera estricta. A partir de las enmiendas al Acta del Aire Limpio de 1990 (Clean Air Act; EPA de los EEUU):

- Emisiones de COV's > 10 toneladas por año
- Distingue niveles de corte para SOx, Pb, PS/PM10 y contaminantes atmosféricos tóxicos.

Tipos de Fuentes Puntuales.

Categorías Mayores.

- Plantas Termoeléctricas.
- Industria Química.
- Refinerías de Petróleo
- Producción de Metales (Primaria/Secundaria)
- Producción de Cemento
- Productos Minerales Diversos.
- Industria de los Vehículos Automotores.
- Operaciones de preparación de Pulpa de Madera.
- Producción de Gas y Petróleo.
- Impresión y Publicaciones
- Recubrimiento de Superficies.
- Terminales de Combustible.
- Minería y Explotación de Canteras.
- Manufactura de Productos de Madera.
- Producción de Azúcar.
- Curtiduría y acabado de pieles
- Producción de Vidrio
- Partes de Hule y de plástico.
- Fabricación de Partes Metálicas
- Productos Textiles.
- Disposición de Residuos Sólidos.
- Agricultura y Alimentos
- Plantas de Asfalto.

Las fuentes puntuales se pueden clasificar en subcategorías, de esta forma se distinguen las siguientes:

- Emisiones de Combustión.
- Emisiones de Procesos.
- Emisiones Fugitivas.
- Emisiones de Tanques de Almacenamiento.
- Uso de Solventes Variados.

2.5.2 Fuentes de Área.

Son fuentes demasiado pequeñas o numerosas y dispersas como para ser consideradas fuentes puntuales por lo general sus emisiones se calculan a partir de factores de emisión y de niveles de actividad incluyen a las fuentes móviles que no circulan por calles y por carreteras, Aeronaves, trenes, bores, maquinaria para construcción, otros tipos de fuentes. (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos [EPA], 1997, p. 1)

Por ejemplo con frecuencia las estaciones de servicio y las tintorerías se tratan como fuentes de área [...].

En el Inventario de Emisiones 2005 de la Corpaire se mencionan a las siguientes como fuentes de área:

- Biogénicas
- Uso doméstico y comercial de GLP
- Uso doméstico y comercial de solventes
- Estaciones de servicio y depósitos de combustible
- Canteras de materiales de construcción.
- Incendios forestales y quemas

En lugar de hacer distinción entre plantas individuales y dispositivos emisores como se hace en los inventarios de fuentes puntuales, los inventarios de fuentes de área agrupan a las emisiones de fuentes similares en categorías. Un inventario de fuentes de área generalmente consiste de las siguientes grandes categorías:

- Combustión en fuentes estacionarias;
- Fuentes móviles que no circulan por carreteras;
- Uso de solventes;

- Almacenamiento y transporte de productos de petróleo;
- Fuentes industriales y comerciales ligeras;
- Fuentes agrícolas;
- Fuentes de manejo de residuos
- Fuentes de área diversas.

De acuerdo a la SEMARNAT (1998), las fuentes de área también se pueden agrupar en las siguientes cinco categorías:

- **Pérdidas evaporativas por transporte y almacenamiento de combustibles:** almacenamiento masivo de gasolina, distribución y ventas de gasolina, almacenamiento de gas LP, distribución de gas LP fugas de gas LP en usos domésticos, recarga de aeronaves.

- **Evaporación de solventes:** Artes gráficas, consumo de solventes, lavado en seco, limpieza de superficies (desengrase), recubrimiento de superficies industriales, recubrimiento de superficies arquitectónicas, pintura automotriz, pintura de tránsito y esterilización en hospitales.

- **Fuentes evaporativas de hidrocarburos:** Aplicación de asfalto, panaderías, tratamiento de aguas residuales y rellenos sanitarios.

- **Fuentes móviles no carreteras:** Locomotoras foráneas, locomotoras de patio y aeropuerto (operaciones de aeronaves).

- **Fuentes de combustión:** Combustión residencial, combustión comercial e institucional, combustión en hospitales, incendios en estructuras e incendios forestales.

2.5.3 Fuentes Móviles

Las fuentes móviles son básicamente los vehículos automotores que circulan por las carreteras públicas y que en función del tipo de motor que poseen clasificadas en dos categorías:

- Vehículos con motor de ignición con chispa o comúnmente llamados con motor a gasolina.

- Vehículos con motor de autoignición o comúnmente llamados motores a diésel. Ambos tipos de vehículos operan bajo principios de funcionamiento

diferentes descargando por lo tanto emisiones con características distintas [...] (Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo [CCAD], 2007, p. 11)

Las fuentes móviles que circulan por carreteras incluyen: automóviles, camiones, motocicletas.

La Corpaire en su Inventario de Emisiones 2005, incluye como fuentes móviles a las siguientes:

- Tráfico Vehicular
- Tráfico Aéreo.

2.5.4 Fuentes naturales.

Emisiones resultantes de procesos naturales, emisiones biogénicas⁴. Las emisiones por fuentes naturales siempre han existido. Sobre una base global las fuentes naturales son, con algunas excepciones tales como CO y SO₂, significativamente mayores que las originadas por fuentes antropogénicas. Sin embargo las fuentes antropogénicas están concentradas en zonas urbanas y están por lo tanto en estas áreas en donde su contribución es dominante. (Bravo & Sosa, 2010)

La contaminación atmosférica se ha asociado exclusivamente a las actividades humanas, quedando las fuentes de la naturaleza completamente relegadas como agentes contaminantes; sin embargo, la realidad es que en términos globales la naturaleza es un agente emisor más importante que el ser humano [...] (Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo [CCAD], 2007, p. 11)

Como fuentes naturales se pueden mencionar:

- a) Los Fenómenos Geo – Químicos (erupciones volcánicas)
- b) El polvo y la erosión
- c) Los Fenómenos Biológicos (la descomposición de la materia orgánica)

Una erupción volcánica emite partículas y contaminantes gaseosos tales como bióxido de azufre, ácido sulfhídrico y metano. Estas emisiones así como el daño al ambiente, pueden ser de gran magnitud y alcanzar distancias considerables [...].

Las tolvaneras contienen grandes cantidades de partículas y constituyen una fuente natural común de contaminación atmosférica en muchas partes del mundo [...].

Los océanos emiten continuamente aerosoles a la atmosfera en forma de partículas de sal, las cuales son corrosivas para los metales y pinturas. (Bravo & Sosa, 2010)

Las plantas verdes aunque juegan un papel determinante para la vida en el mundo, constituyen la mayor fuente de hidrocarburos. Otro problema de contaminación lo constituyen las partículas de polen, las cuales causan afecciones respiratorias y alergias en los seres humanos.

Otras fuentes naturales son los lagos alcalinos y de agua salada, tienen efectos locales sobre el ambiente. (Bravo & Sosa, 2010)

2.6 Gestión de la Calidad del Aire

El proceso de planificación y gestión de la calidad del aire en términos generales abarca tres pasos fundamentales:

- 1) Documentación de niveles actuales de calidad del aire y comparación con las normas y criterios de calidad del aire;
- 2) Planificación de como las normas se cumplirán en el futuro; y
- 3) Gestión de las estrategias para promover mejores niveles de calidad del aire y cumplimiento de las normas. (Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo [CCAD], 2007, p. 15)

Planeación y Gestión de la Calidad del Aire

El primer paso es identificar las metas de la región para concentraciones atmosféricas en el aire ambiente. Por lo general, estas metas toman la forma de normas que especifican niveles aceptables de calidad del aire [...].

Estas normas se basan en investigaciones científicas respecto a efectos en la salud de la contaminación atmosférica. Así mismo se deben establecer normas para los principales contaminantes y los límites máximos permisibles (Instituto Nacional de Ecología[INE], 2005)

Los programas de Calidad del Aire abordan los siguientes temas:

- Metas y objetivos de la calidad del aire que se pretende alcanzar ;
- Descripción y cuantificación de las condiciones actuales de la calidad del aire;
- Niveles de emisiones actuales y futuros;
- Predicciones de condiciones futuras de la calidad del aire basadas en proyecciones del inventario de emisiones y modelación;
- Estrategias para reducir niveles de emisiones

Descripción del Programa de instrumentación de las estrategias.

Los primeros elementos de un Programa de Gestión de la Calidad del Aire son las **metas y objetivos**, incluyendo los **mecanismos y estrategias que faciliten su cumplimiento**, el proceso de planificación y gestión de la calidad del aire y usos de los inventarios de emisiones.

Para determinar el cumplimiento de las normas, se emplean **redes de monitoreo de calidad del aire** a través de las cuales se miden los niveles actuales de contaminación. Aunque una región puede estar cumpliendo con las normas, el crecimiento económico y de la población puede llevar a futuras excedencias a las normas. Por esta razón los programas de calidad del aire deben considerar estrategias para lograr y mantener el cumplimiento de las normas y mantener una vigilancia constante de la calidad del aire. (Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo [CCAD], 2007, p. 16)

Después de adoptar **normas de calidad** del aire e implementar el **monitoreo atmosférico**, el siguiente paso en el proceso de planeación es identificar y analizar las posibles **estrategias para lograr y mantener el cumplimiento de las normas**. Este análisis se lleva a cabo empleando herramientas de modelación de calidad del aire que a su vez tienen como

base a los **inventarios de emisiones** e información sobre meteorología y perfiles del terreno. (Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo [CCAD], 2007, p. 17)

2.7 El Control de la Calidad del Aire

El campo del control de calidad del aire se dirige principalmente al impacto de los efectos perjudiciales de las sustancias arrastradas por el aire sobre la salud de los organismos vivos. Las sustancias que disminuyen la calidad del bienestar se clasifican como *contaminantes*. Y la existencia de contaminantes en la atmósfera se denomina *contaminación del aire*. Las entidades que liberan contaminantes dentro del ambiente son *fuentes de contaminación*. Los organismos vivos que interactúan con los contaminantes son los *receptores*.

El movimiento de los contaminantes desde su fuente a la atmósfera se conoce como *liberación*. El movimiento del contaminante de la posición cercana a su fuente a la posición del receptor es el *transporte* y la interacción del contaminante con el receptor es la *exposición*.

El modelo de la *calidad del aire* es una representación física o matemática del evento de contaminación del aire. Su objetivo es la predicción de la concentración de un contaminante en un punto dado en el aire ambiente, específicamente en la posición de un receptor empleando la información respecto a las entidades que intervienen: la fuente, la atmósfera y cualquier otro objeto que pueda afectar el evento, y respecto a los procesos involucrados: liberación y transporte. (Alley, 2010, p. 3.1)

2.7.1 Los inventarios de emisiones.

Los inventarios de emisiones se realizan a efecto de identificar las diversas fuentes emisoras de contaminantes del aire, las cuales se asocian con actividades como de transporte, industria, comercio, construcción, agricultura actividades domésticas, etc. (Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo [CCAD], 2007)

El inventario de emisiones es un componente clave de todo programa de gestión de la calidad del aire. Antes de desarrollar estrategias para mejorar la calidad del aire, debe recopilarse información sobre las emisiones para determinar los tipos de fuentes de emisiones, cantidades de

contaminantes emitidos, características temporales y espaciales de las fuentes [...].

El inventario de emisiones se usa para identificar fuentes que están sujetas a posibles medidas de control, para medir la efectividad de los programas de control y predecir futuros niveles de la calidad del aire a través de la modelación.

Usos de los inventarios de emisiones.

Los principales usos de los inventarios de emisiones incluyen:

- Identificar posibles medidas para la reducción de emisiones a considerarse en los programas de gestión de la calidad del aire;
- Estimar la calidad del aire futura a través de la modelación y datos sobre la distribución espacial y temporal de las emisiones;
- Determinar tendencias en los niveles de emisiones;
- Determinar los efectos de las medidas de control en las tasas de emisiones de una región;
- Apoyar el establecimiento de programas de intercambio de emisiones
- Dar a conocer el reporte de emisiones de las fuentes. (Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo [CCAD], 2007, p. 18)

A nivel mundial los inventarios de emisiones a la atmósfera son reconocidos como un instrumento estratégico para la gestión de la calidad del aire [...]

En la actualidad, las tres ***herramientas principales de evaluación de la calidad del aire*** son: a) monitoreo del aire ambiente; b) modelos c) inventarios y medición de emisiones (Ministerio del Ambiente [MAE], 2010, p. 19)

Factores de Emisión.

Un factor de emisión es la relación entre la cantidad de contaminante emitido a la atmósfera con una cantidad de actividad asociada a dicha emisión, como por ejemplo la cantidad de material procesado o la cantidad de combustible usado.

En este caso la emisión se obtiene multiplicando el factor de emisión dado por la cantidad de material o combustible procesado.

$$E_{i,j} = A_{i,j} * EF_{ij} \quad [1]$$

Siendo: $A_{i,j}$ Nivel de *actividad* i que produce la emisión del contaminante j

$EF_{i,j}$: *factor de emisión* del contaminante j típico de la actividad i.

$E_{i,j}$: Emisión atmosférica del contaminante j, a causa de la actividad i

Si el factor de emisión fue desarrollado sin considerar la operación de un equipo de control, entonces se incorpora el término de efectividad del sistema de control $(1-ER/100)$; por lo tanto la ecuación queda así:

$$E_{ij} = A_{ij} \times EF_{ij} \times \left(1 - \frac{ER}{100}\right) \quad [2]$$

Dónde:

$A_{i,j}$ Nivel de *actividad* i que produce la emisión del contaminante j.

$EF_{i,j}$: *factor de emisión* del contaminante j típico de la actividad i. $E_{i,j}$: emisión atmosférica del contaminante j, a causa de la actividad i

ER: eficiencia general en la reducción de emisiones totales, expresada en porcentaje, que es igual a la eficiencia del equipo de captura, multiplicada por la eficiencia del equipo de control. Si no hay un equipo de control entonces $ER = 0$

La EPA realizó una recopilación de factores de emisión para contaminantes criterio denominada AP-42. (Rangel & Tami, 2010, p. 19)

2.8 Aseguramiento de la Calidad del Aire.

Existe una creciente toma de conciencia sobre la necesidad de una acción concertada y efectiva para mejorar la calidad del aire en los medios urbanos. La contaminación del aire se está convirtiendo en uno de los principales

factores de la calidad de vida de la población urbana porque representa un riesgo tanto para la salud humana como para el medio ambiente [...].

No es posible tomar decisiones informadas a partir de datos poco seguros. Además al realizar mediciones sin contar con los medios para asegurar que los objetivos de la calidad de los datos se cumplan constituye un desperdicio de recursos. [...] (Organización Mundial de la Salud [OMS], 1994)

De este modo el Aseguramiento de la Calidad (AC) y el Control de la Calidad (CC) constituyen una parte esencial de todos los sistemas de medición. Ambos incluyen toda la secuencia de actividades que aseguran que una medición cumpla las normas de calidad establecidas con un nivel establecido de confiabilidad. Básicamente, el Aseguramiento de la Calidad (AC) se refiere a la gestión general de todo el proceso, gestión que permite obtener datos de una calidad definida, mientras que el Control de la Calidad (CC) comprende las actividades realizadas para obtener cierta exactitud y precisión en la medición. Antes de emprender un programa de medición, es necesario es necesario diseñar un plan detallado de AC que cubra todos los aspectos de aseguramiento y control de la calidad. (Véase el recuadro siguiente). (Organización Mundial de la Salud [OMS], 1994, p. 1)

En la tabla 10 se muestran los elementos mínimos de un plan de aseguramiento de la calidad del aire.

Tabla 10:

Plan para aseguramiento y control de la calidad del aire

Desarrollo de un plan de aseguramiento de la calidad	
Definir objetivos de monitoreo	Objetivos relacionados con la calidad de los datos (exactitud, precisión, completitud, representatividad, comparabilidad).
Aseguramiento de la calidad:	
Diseñar red de monitoreo; seleccionar los sitios; seleccionar instrumentos y diseñar un sistema de muestreo; desarrollar un programa de capacitación.	
Control de Calidad:	
Preparar protocolos (procedimientos normalizados de operación y mantenimiento de registros), para la operación en los sitios y para el mantenimiento de los equipos;	
Preparar protocolos para la calibración de los equipos;	
Preparar un cronograma de visitas al sitio;	
Preparar los protocolos para la inspección, verificación y validación de datos	
Evaluación de la calidad.	
Cronograma para auditorías y reportes	

Fuente: OMS, 1994

2.8.1 Control de Fuentes móviles. Fundamentos de los motores.

Antes de examinar algunas soluciones para la contaminación que produce el motor del automóvil común de gasolina será útil comparar los tres tipos usuales de motores: de gasolina, de diésel y de reacción. (Davis & Masten, 2010, p. 507)

Motor de gasolina.

En el automóvil normal con motor de gasolina sin controles de contaminación del aire, se alimenta una mezcla de combustible y aire al interior de un cilindro, se comprime y se enciende con una chispa de la bujía. La energía de la explosión de la mezcla combustión impulsa los pistones [...]

Un kilogramo de gasolina puede quemarse por completo cuando se mezcla aproximadamente con 15 kg de aire. Sin embargo para obtener la potencia máxima la proporción entre aire y combustible debe ser menor de 15:1. La combustión es incompleta, y por el escape salen cantidades importantes de sustancias que no son dióxido de carbono ni agua. Una consecuencia del suministro inadecuado de aire es la emisión de monóxido de carbono en lugar de dióxido de carbono. Otros subproductos son la gasolina e hidrocarburos no quemados.

Debido a las altas temperaturas y presiones existentes en el cilindro se forma una cantidad abundante de NO_x, Davis Mackenzie y Masten S en su obra "Ingeniería y Ciencias Ambientales (2010) explican este fenómeno de la siguiente manera:

"Los procesos de combustión representan el 74% de las fuentes antropogénicas de óxidos de nitrógeno. Aunque existen nitrógeno y oxígeno en la atmósfera y no reaccionan, su relación es mucho menos indiferente a altas temperaturas. A altas temperaturas y presiones. A temperaturas mayores de 1600 K reaccionan como sigue:



Si el gas de combustión se enfría con rapidez después de la reacción, descargándolo a la atmósfera, se paraliza la reacción y el NO es el subproducto. A su vez, el NO reacciona con ozono u oxígeno y forma NO₂. La contribución antropogénica de las emisiones globales de NO₂ por este mecanismo ascendió a 24 toneladas globales Tg (como N) en 1992.”

Motor diésel

Este motor diferente del de gasolina de cuatro tiempos en dos aspectos. Primero que el suministro de aire no se restringe, esto es, pasa sin estorbos al motor. Así, un motor diésel funciona, normalmente con una relación entre aire y combustible mayor que un motor de gasolina. En segundo lugar, no hay sistema de ignición por chispa. El aire se calienta mediante compresión, esto es el aire en el cilindro del motor se comprime hasta que ejerce una presión lo bastante alta como para elevar la temperatura hasta unos 540 °C, suficiente para encender el combustible cuando se inyecta en el cilindro.

Un motor diésel bien diseñado, mantenido y ajustado emitirá menos CO e hidrocarburos que el de cuatro tiempos, por la alta relación entre aire-combustible. Sin embargo, las mayores temperaturas de operación hacen que las emisiones de NO_x sean apreciablemente mayores. (Davis & Masten, 2010, p. 507)

Motor de reacción.

Los grandes aviones comerciales que usan el empuje de gases comprimidos en propulsión pueden aportar cantidades importantes de partículas de NO_x a las atmósferas urbanas.

La propulsión se obtiene cuando el aire succionado en el frente del motor se comprime y después lo calienta el combustible al quemarse. El gas que se expone pasa por los álabes de la turbina que impulsan al compresor. Después, el gas sale del motor por la boquilla de escape. (Davis & Masten, 2010, p. 508)

El comportamiento descrito en los párrafos anteriores puede observarse en la Figura 3, la misma que se muestra a continuación.

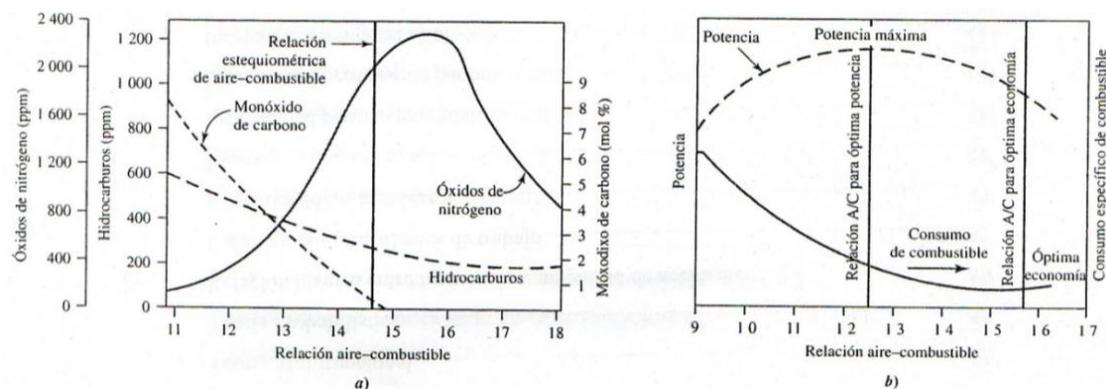


Figura 3: Efectos de la relación aire – combustible sobre las emisiones y la potencia y la economía.

Fuente: Seinfeld, J.H, Air Pollution, John Willey y Sons, 1986.

2.9 Instrumentos de Gestión Ambiental.

A continuación se describen una serie de instrumentos que contribuyen a mejorar la calidad del aire con los sectores que ocasionan mayor nivel de emisiones a la atmósfera, dentro de los que se incluyen, el transporte de pasajeros y de carga, la calidad de los combustibles, la industria, el comercio, la construcción, la agricultura y la necesidad de desarrollar programas de educación para promover la conciencia y participación ciudadana en el mejoramiento de la calidad del Aire. (Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo [CCAD], 2007, p. 21)

Actividades relacionadas con el transporte (fuentes móviles).

- 1) Reducir emisiones derivadas de la operación del sistema de buses y transporte colectivo urbano y extra urbano.
- 2) Reducir las emisiones derivadas de la operación de los servicios de taxis.
- 3) Incentivar un uso más racional del automóvil.
- 4) Reducir las emisiones derivadas de la operación del transporte de carga, así como regular este tipo de transporte para evitar congestionamiento en las horas pico.

- 5) Incorporar la variable ambiental en la planificación del transporte.
- 6) Evitar nuevos viajes motorizados.
- 7) Mejora de la calidad de los combustibles.
- 8) Mayores exigencias para la importación de vehículos.
- 9) Mejora del control de los vehículos en uso (inspección y mantenimiento).
- 10) Manejo de tráfico y transporte masivo. (Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo [CCAD], 2007, p. 22)

2.10 Monitoreo de la Calidad del Aire.

El monitoreo sirve de herramienta para la identificación y evaluación de problemas de la calidad del aire (OMS, 2000). El monitoreo junto con los modelos de predicción y los inventarios de emisiones son parte integral de la gestión de la calidad del aire [...].

El propósito más importante del monitoreo de la calidad del aire es generar y proporcionar la información necesaria a científicos, legisladores y planificadores para que ellos tomen las decisiones adecuadas a favor de la gestión y mejora del medio ambiente.

El monitoreo juega un papel regulador en este proceso proporcionando la base científica para el desarrollo de las políticas y estrategias, en el establecimiento de objetivos durante la evaluación del cumplimiento de las metas y en la ejecución de las acciones.

En la Figura 4 se muestra un esquema del papel del monitoreo dentro del ciclo de la gestión de la calidad del aire. (Instituto Nacional de Ecología[INE], 2005)



Figura 4: Papel del monitoreo de la calidad del aire.
Fuente: INE, 2005

Los objetivos básicos de una red de monitoreo se pueden resumir en los siguientes:

- Dar un cuadro realista de la calidad del aire en el lugar y la zona de la estación de monitoreo.
- Determinar la congruencia con normas.
- Estimar niveles de exposición en la población y en el ambiente.
- Informar al público sobre el estado de la calidad del aire
- Establecer bases científicas
- Evaluar tendencias, ubicar e identificar fuentes de emisión.
- Medir los efectos de las estrategias de control.
- Evaluar inventarios de emisiones y modelos. (Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo [CCAD], 2007)

2.10.1 Redes de Monitoreo de la Calidad del Aire.

Se denomina red de monitoreo al conjunto de dos o más estaciones de monitoreo. Es común que las estaciones de monitoreo se encuentren agrupadas en redes que puedan cubrir grandes extensiones geográficas.

Una red de medición de la calidad del aire es parte de un Sistema de Medición de Calidad del Aire, SMCA. Es importante mencionar que un SMCA puede incluir una o más redes en el mismo sistema. A su vez, una red de

medición de la calidad del aire es el conjunto de estaciones de muestreo manual y/o de monitoreo automático o semiautomático de contaminantes [...]. (Instituto Nacional de Ecología[INE], 2005, p. 8)

Las redes de monitoreo de calidad del aire pueden ser manuales o automáticas.

Redes manuales

Una red manual es el conjunto de dos o más estaciones para el muestreo de contaminantes.

Los elementos de una red manual dependen en gran parte de los objetivos del monitoreo de la calidad del aire. Dentro de los principales elementos de una red manual se encuentran:

- Equipos de muestreo [...]
- Laboratorios de análisis de muestras [...]
- Programas de muestreo y,
- Procedimientos para el manejo de muestras.

Redes automáticas

Una red automática es el conjunto de dos o más estaciones automáticas para la medición de contaminantes atmosféricos [...]

De manera general los elementos más comunes en una red automática son:

- Estaciones de medición de la calidad del aire;
- Equipos para la medición de la calidad del aire; analizadores automáticos, monitores de partículas, sensores meteorológicos, sistemas de adquisición de datos y sistemas de calibración,
- Procedimientos de operación estándar;
- Programas adecuados de mantenimiento preventivo y calibración de equipos. (Instituto Nacional de Ecología[INE], 2005, p. 11)

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA.

3.1 ENFOQUE DE LA MODALIDAD DE INVESTIGACIÓN

La modalidad de investigación empleada es cuantitativa, la misma “Busca describir, explicar y predecir fenómenos (causalidad), generar y probar teorías. En esta modalidad de investigación el investigador hace a un lado sus propios valores y creencias. La posición del investigador es ‘imparcial’ intenta asegurar procedimientos rigurosos y ‘objetivos’ de recolección y análisis de los datos, así como evitar que sus sesgos y tendencias influyan en los resultados (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2010)

El enfoque cuantitativo se justifica debido a que en la ciudad de Ambato se procede a efectuar un **“Inventario Vehicular”** mismo que es expresado como cantidad de vehículos por tipo. Para conseguir este inventario se procede a revisar estadísticas del INEC (Instituto de Estadísticas y Censos), referente a vehículos matriculados en el año 2002 a 2010, información de la Unidad Municipal de Tránsito (UMT); además esta información se complementa con datos de la Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador (AEADE), de los vehículos importados o que ingresaron a la ciudad de Ambato.

La modalidad básica de investigación es de campo y también bibliográfica. La modalidad de campo determina que el estudio sea sistemático que se desarrolle en el lugar de los hechos, que se tome contacto en forma directa con la realidad, y el objeto de investigación. (Herrera, Medina, & Naranjo, 2010)

La zona de estudio seleccionada es la zona céntrica de la ciudad de Ambato donde se determina la presencia del parque automotor denominado **“Fuentes móviles de emisión”**, para el caso de este estudio solo se consideran las fuentes móviles, debido a que la red a diseñar es preliminar,

dejando abierta la posibilidad que en posteriores estudios se pueda incluir la fuentes fijas representadas por industrias, canteras y otras.

Se empleó investigación documental – bibliográfica con el propósito de detectar, ampliar y profundizar diferentes enfoques, teorías, conceptualizaciones y criterios de diversos autores. Se revisó principalmente Manuales de la EPA referentes a “Criterios para Construcción de Inventarios de Emisiones”, La norma de la Calidad del Aire, Ambiente o Nivel de Inmisión Libro Vi, Anexo 4, Guías de la Organización Mundial de la Salud, Guías Metodológicas para la Elaboración de Inventarios de Emisiones, el Programa Nacional de Calidad del Aire del Ecuador (PNCA), la Norma de Calidad del Aire Ambiente o Nivel de Inmisión del Ministerio del Ambiente, entre otras.

3.2 Normativa y Marco Legal.

El inventario de emisiones y el diseño preliminar de la red de monitoreo se han desarrollado tomando en cuenta Normas tanto nacionales como internacionales.

Para desarrollar el análisis del Marco Normativo aplicable al presente proyecto se ha tomado como referencia al ***Plan Nacional de la Calidad del Aire*** desarrollado en el año 2010 por el Ministerio del Ambiente (MAE) mismo que fue desarrollado con el soporte financiero de la Agencia Suiza para el Desarrollo y la cooperación (COSUDE).

En la sección de “Análisis Legal de la Gestión de la Calidad del Aire en el Ecuador” se menciona que:

“El marco normativo aplicable a la gestión del aire se caracteriza por su fundamento constitucional y de derecho internacional. A nivel nacional hay normas legales, orgánicas y ordinarias; así como normas secundarias (reglamentos, acuerdos, etc..) que regulan la gestión del aire, y que se anotan a continuación:”

A continuación en la tabla 11 se muestra un marco general normativo aplicable a la presente investigación, luego de lo cual se hará un análisis específico.

Tabla 11:

Marco general normativo.

NORMA
CONSTITUCION
Constitución de la República del Ecuador
TRATADOS INTERNACIONALES
Convenio de Viena para la protección de la capa de ozono
Protocolo de Montreal relativa a las sustancias que agotan la capa de ozono.
Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático.
Protocolo de Kioto
Convenio Róterdam sobre el Procedimiento de Consentimiento Informativo Previo Aplicable a ciertos plaguicidas y ciertos plaguicidas y productos químicos peligrosos objeto de comercio internacional.
Convenio de Basilea sobre el control de los Movimientos transfronterizos de los desechos peligrosos y su Eliminación.
Convenio sobre la protección de los trabajadores contra los riesgos profesionales debidos a la contaminación del aire, el ruido y las vibraciones en el lugar de trabajo.
LEYES
Ley Orgánica de la Salud
Ley Orgánica de Régimen Municipal
Ley de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental
Ley de Gestión Ambiental
REGLAMENTOS Y OTRAS NORMAS SECUNDARIAS
Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA) – Libro VI: Calidad Ambiental
Reglamento para la prevención y control de la contaminación ambiental
TULSMA – Libro VI Anexo 3: Norma de emisión al aire desde fuentes fijas
TULSMA – Libro VI: Anexo 3A: Normas de Emisión al Aire desde Centrales Termoeléctricas
TULSMA – Libro VI: Anexo 4: Norma de calidad del aire ambiente.
Reglamento General para la Aplicación de la Ley Orgánica de Transporte Terrestre, Transito y Seguridad Vial

REGLAMENTOS TECNICOS ECUATORIANOS

Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 03
 “Emisiones de vehículos automotores y motores de vehículos usados”
 Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 017
 “Control de emisiones contaminantes de fuentes móviles terrestres.”

NORMAS TECNICAS

Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2202: 2000
 “Gestión Ambiental. Aire. Vehículos Automotores. Determinación de la Opacidad de Emisiones de escape de Motores Diésel Mediante la Prueba Estática. Método de Aceleración Libre.”

Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2203: 2000
 “Gestión Ambiental. Aire. Vehículos Automotores. Determinación de la Concentración de Emisiones de Escape en Condiciones de Marcha Mínima o Relantí. Prueba Estática”

Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2204: 2000
 “Gestión Ambiental. Aire. Vehículos Automotores. Límites Permitidos de Emisiones Producidas por Fuentes Móviles terrestres de Gasolina”

Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2207: 2002
 “Gestión Ambiental. Aire. Vehículos Automotores. Límites Permitidos de Emisiones Producidas por Fuentes Móviles terrestres de Diésel”

Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2349: 2003
 “Revisión Técnica Vehicular. Procedimientos”

ORDENANZAS

Distrito Metropolitano de Quito – Ordenanza 213
 Otros Cantones

Fuente: Ministerio del Ambiente, 2010

Al Grupo de Normas expuestas en el apartado anterior se suman las siguientes:

1.2.1 Guías de La Organización Mundial de la Salud. (OMS).

La importancia de incluir estas guías en el presente análisis radica en lo que se menciona en las propias Guías: “Las Guías de Calidad del Aire [...] son diseñadas para dar soporte y guía a los países en desarrollo de sus propios estándares nacionales de calidad del aire”. Se menciona además que:

“Las presentes guías tiene por objeto informar a los encargados de la formulación de políticas y proporcionar objetivos apropiados para una amplia variedad de opciones en materia de políticas en relación con la gestión de la calidad del aire en diferentes partes del mundo”.

En el mismo documento en el apartado: “**Funciones de las guías en la protección de la salud pública**” se menciona que:

“Las guías de calidad del aire (GCA) de la OMS están destinadas a su uso en todo el mundo, pero se han elaborado para respaldar medidas orientadas a conseguir una calidad del aire que proteja la salud pública en distintas situaciones. Por otra parte, cada país establece normas de calidad del aire para proteger la salud pública de sus ciudadanos, por lo que son un componente importante de las políticas nacionales de gestión del riesgo y ambientales. Las Normas nacionales varían en función del enfoque adoptado con el fin de equilibrar los riesgos para la salud, la viabilidad tecnológica, los aspectos económicos y otros factores políticos y sociales de diversa índole, que a su vez dependerán entre otras cosas del nivel de desarrollo y la capacidad nacional en relación con la gestión de la calidad del aire. En los valores guía recomendados se tiene en cuenta esta heterogeneidad, y se reconoce que cuando en particular que cuando los gobiernos fijan objetivos para sus políticas deben estudiar con cuidado las condiciones locales propias antes de adoptar las guías directamente como normas con validez jurídica.”

En las “Guías de Calidad del Aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre”, Actualización mundial 2005, Resumen de evaluación de riesgos.

Guías de Calidad del Aire, material particulado.

Los valores guía para el material particulado se muestran en la tabla 12.

Tabla 12:
Valores Guía para material particulado

Guías	
Agente	Valor
Contaminante	
MP _{2,5} :	10 ug/m ³ , media anual
	25 ug/m ³ , media de 24 horas
MP ₁₀ :	20 ug/m ³ , media anual
	50 ug/m ³ , media de 24 horas

Fuente: (OMS, 2005)

Fundamento para Material Particulado.

Las pruebas relativas al material particulado (MP) suspendido en el aire y sus efectos en la salud pública coinciden en poner de manifiesto efectos adversos en la salud pública con las exposiciones que experimentan actualmente las poblaciones urbanas, tanto en los países desarrollados como en desarrollo.[...] (Organización Mundial de la Salud [OMS], 1994)

En realidad el nivel más bajo de la gama de concentraciones para las cuales se han demostrado efectos adversos no es muy superior a la concentración de fondo, que para las partículas de menos de 2,5 μ (MP_{2,5}) se ha estimado en 3 – 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ tanto en los Estados Unidos como en Europa occidental.[...]

Tomando como base los efectos conocidos en la salud se necesitan guías tanto de exposición breve (24 horas) como de la prolongada (media anual) para los indicadores de la contaminación por MP. (Organización Mundial de la Salud [OMS], 1994, p. 10)

Guías de Calidad del Aire, Dióxido de Nitrógeno (NO₂).

Los valores guía para el dióxido de nitrógeno se pueden ver en la tabla 13.

Tabla 13:

Valores Guía para Dióxido de Nitrógeno

Guías	
Agente Contaminante	Valor
NO ₂ :	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, media anual
	200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, media de una hora

Fuente: (OMS, 2005)

Fundamento para Dióxido de Nitrógeno.

Como contaminante del aire, el dióxido de nitrógeno (NO₂) tiene múltiples funciones que a menudo resultan difíciles y en ocasiones imposibles de separar entre sí:

- Los estudios experimentales realizados con animales y con personas indican que el NO₂, en concentraciones de corta duración superiores a 200 µg/m³, es un gas tóxico con efectos importantes en la salud [...]
- El NO₂ se ha utilizado en numerosos estudios epidemiológicos como marcador de la mezcla de contaminantes relacionados con la combustión, en particular los que emiten el tráfico por carretera o las fuentes de combustión en espacios cerrados [...].
- La mayor parte del NO₂ atmosférico se emite en forma de NO, que se oxida rápidamente a NO₂ por acción del Ozono. El dióxido de nitrógeno es, en presencia de hidrocarburos y luz ultravioleta, la principal fuente de ozono troposférico y de aerosoles que constituyen una fracción importante de la masa de MP_{2,5} del aire ambiente.

El valor guía actual de la OMS de 40 ug /m³ (media anual) se estableció para proteger al público de los efectos del NO₂ gaseoso en la salud. [...]

Todavía no se encuentra una base sólida que permita establecer un valor guía medio anual para el NO₂ mediante cualquier efecto tóxico directo [...] (Organización Mundial de la Salud [OMS], 1994, p. 17)

A continuación en la tabla 14 se muestra a modo de resumen los valores actualizados de las Guías de la calidad del aire de la OMS.

Tabla 14:

Valores actualizados de las Guías de la Calidad del Aire de la OMS

Agente contaminante	Tiempo promedio	Valor GCA ⁴
Material Particulado MP _{2,5}	1 año 24 horas (percentil 99)	10 µg/m ³ 25 µg/m ³
MP ₁₀	1 año 24 horas (percentil 99)	20 µg/m ³ 50 µg/m ³
Ozono, O ₃	8 horas máximo diario	100 µg/m ³
Dióxido de nitrógeno, NO ₂	1 año	40 µg/m ³ 200 µg/m ³

⁴ Guías de la Calidad del Aire de la OMS (GCA)

Dióxido de azufre, SO ₂ ⁵	24 horas 10 minutos	20 µg/m ³ 500 µg/m ³
---	------------------------	---

Fuente: (OMS, 2005: 27)

1.2.2 Norma de Calidad del Aire ambiente o Nivel de inmisión (Libro VI, Anexo 4)

El análisis de la Norma que se menciona a continuación, corresponde a la reforma a la Norma de Calidad del Aire del 04 de Abril del 2011 efectuada por el Ministerio del Ambiente. La reforma se detalla el artículo 1 y menciona:

“Art 1.- Reformar la Norma de Calidad del Aire Ambiente o Nivel de Inmisión constante en el Anexo 4 del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente y que forma parte del conjunto de normas técnicas ambientales para la prevención y control de la contaminación, citadas en la Disposición General Primera del Título IV del Libro VI del Texto Unificado de Legislación secundaria del Ministerio del Ambiente... [...]

A continuación se toman varios apartados que pueden servir de referencia al presente estudio:

En el primer apartado de la Norma de Calidad del Aire se menciona:

1. OBJETO.

“La presente Norma tiene como objeto principal el preservar la salud de las personas, la calidad del aire ambiente, el bienestar de los ecosistemas y del ambiente en general. Para cumplir con este objetivo, establece los límites máximos permisibles de contaminantes en el aire ambiente a nivel del suelo. La norma también prevé los métodos y procedimientos destinados a la determinación de las concentraciones de contaminantes en el aire ambiente.”

⁵ Se deja como referencia, aunque el presente estudio no incluye este contaminante

Requisitos (numeral 4)

De los contaminantes del aire ambiente (numeral 4.1.1)

“Para efectos de esta norma se establecen como contaminantes criterio del aire ambiente a los siguientes (numeral 4.1.1.1):

- Partículas Sedimentables.
- Material Particulado de diámetro aerodinámico menor a 10 (diez) micrones. Se abrevia PM 10.
- Material Particulado de diámetro aerodinámico menor a 2,5 (dos enteros cinco décimos) micrones. Se abrevia PM 2,5.
- Dióxido de Nitrógeno (NO₂)
- Dióxido de Azufre SO₂
- Monóxido de Carbono CO
- Ozono O₃

Para efectos de esta norma se establecen como contaminantes no convencionales con efectos tóxicos y/o cancerígenos a los siguientes (Apartado 4.1.1.2):

- Benceno (C₆H₆)
- Cadmio (Cd)
- Mercurio orgánico (vapores) (Hg) ”

Antes de continuar con el análisis de la norma es necesario mencionar que para el presente estudio se han considerado a los siguientes contaminantes:

- Material Particulado de diámetro aerodinámico menor a 10 (diez) micrones. Se abrevia PM₁₀.
- Material Particulado de diámetro aerodinámico menor a 2,5. Se abrevia PM_{2,5}.
- Dióxido de Azufre (SO₂)
- Monóxido de Carbono (CO)
- Óxido de Nitrógeno (NO)
- Compuestos Orgánicos Volátiles (VOC)
- Hidrocarburos (HC)

El alcance del estudio en lo referente a contaminantes se detallará en el apartado 3.5.4 que corresponde a contaminantes incluidos.

En lo referente a las Concentraciones máximas permisibles el apartado 4.1.2 de la Norma determina lo siguiente:

Normas generales para concentraciones de contaminantes criterio en el aire ambiente (numeral 4.1.2)

“ Para los contaminantes criterio definidos en 4.1.1.1, se establecen las siguientes concentraciones máximas permitidas. La Autoridad Ambiental Nacional establecerá la frecuencia de revisión de los valores descritos en la presente norma de calidad del aire ambiente. [...]. La Autoridad Ambiental de Aplicación Responsable acreditada ante el Sistema único de Manejo Ambiental podrá establecer normas de calidad del aire ambiente de mayor exigencia que los valores descritos en esta norma nacional, esto si los resultados de evaluaciones de calidad de aire que efectúe dicha autoridad indicaren esta necesidad”. (Ministerio del Ambiente [MAE], 2010)

Material particulado menor a 10 micrones (PM₁₀) “El promedio aritmético de la concentración de PM₁₀ de todas las muestras en una año no deberá exceder de cincuenta microgramos por metro cúbico (50 µg/m³).

El promedio aritmético de monitoreo continuo durante 24 horas, no deberá exceder de 100 microgramos por metro cúbico (100µg/m³).

Se considera sobrepasada la norma de calidad del aire para material particulado PM₁₀ cuando el percentil 98 de las concentraciones de 24 horas registradas durante un periodo anual en cualquier estación monitorea sea mayor o igual a (100 µg/m³).

La misma norma, en la sección 4.1.2 determina que: para el caso de **“Material particulado menor a 2,5 micrones (PM_{2,5})**.- El; promedio aritmético de la concentración de PM_{2,5} de todas las muestras en un año no deberá exceder de quince microgramos por metro cúbico (15 µg/m³).

El promedio Aritmético de monitoreo continuo durante 24 horas, no deberá exceder de cincuenta microgramos por metro cúbico. (50 µg/m³).

Se considera sobrepasada la norma de calidad del aire para material particulado $PM_{2,5}$ cuando el percentil 98 de las concentraciones de 24 horas registradas durante un periodo anual en cualquier estación monitorea sea mayor o igual a $(50 \mu\text{g}/\text{m}^3)$.”

Dióxido de azufre (SO_2) determina que: “La concentración de SO_2 en 24 horas no deberá exceder ciento veinticinco microgramos por metro cúbico ($125 \mu\text{g}/\text{m}^3$), la concentración de este contaminante para un periodo de diez minutos, no debe ser mayor a quinientos microgramos por metro cúbico. ($500 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

El promedio aritmético de la concentración de SO_2 de todas las muestras en un año no deberá exceder de sesenta microgramos por metro cúbico ($60 \mu\text{g}/\text{m}^3$)”.

Monóxido de Carbono (CO).—“La concentración de monóxido de carbono de las muestras determinadas de forma continua, en un periodo de 8 (ocho) horas, no deberá exceder de diez mil microgramos por metro cúbico ($10000 \mu\text{g}/$

m^3) no más de una vez al año. La concentración máxima en (1) una hora de monóxido de carbono no deberá exceder $30000 \mu\text{g}/\text{m}^3$) no más de una vez al año.

Dióxido de Nitrógeno (NO_2) determina que: “ El promedio aritmético de la concentración de Dióxido de Nitrógeno, determinado en todas las muestras en un año, no deberá exceder de cuarenta microgramos por minuto $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

La concentración máxima en (1) una hora no deberá exceder doscientos microgramos por metro cúbico ($200 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

La misma norma en el apartado 4.1.2.2 menciona que “Los valores de concentración de contaminantes criterio, establecidas en esta norma, así como los que sean determinados en los programas públicos de medición están sujetos a las condiciones de referencia de 25°C y 760 mm Hg ”.

Finalmente de la misma Norma (Norma de Calidad del Aire Ambiente o Nivel de Inmisión, Libro VI Anexo V) se incluirá al apartado 4.1.3 denominado:

**De los planes de alerta, alarma y emergencia de la calidad del aire.
(Numeral 4.1.3)**

En el numeral 4.1.3.1 se menciona: “ La Autoridad Ambiental de Aplicación Responsable acreditada ante el Sistema Único de Manejo Ambiental establecerá un Plan de Alerta, de Alarma y de Emergencia ante Situaciones Críticas de Contaminación del Aire [...]”.

Tabla 15:

Concentraciones de contaminantes criterio que definen los niveles de alerta, de alarma y de emergencia en la calidad del aire.

CONTAMINANTE Y PERIODO DE TIEMPO	ALERTA	ALARMA	EMERGENCIA
Monóxido de Carbono Concentración promedio en ocho horas ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	15000	30000	40000
Ozono Concentración promedio en ocho horas ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	200	400	600
Dióxido de Nitrógeno Concentración promedio en una hora ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	1000	2000	3000
Dióxido de Azufre Concentración promedio en una hora ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	200	1000	1800
Material Particulado PM 10 Concentración en veinticuatro horas ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	250	400	500
Material Particulado PM 2,5 Concentración en veinticuatro horas ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	150	250	350

Fuente: (MAE, 2010).

En el apartado 4.1.3.4 la Norma determina que:

“La Autoridad Ambiental de Aplicación Responsable acreditada al Sistema Único de Manejo Ambiental podrá proceder a la ejecución de las siguientes actividades mínimas”:

En nivel de Alerta:

Informar al público mediante los medios de comunicación, del establecimiento del Nivel de Alerta.

Restringir la circulación de vehículos así como la operación de fuentes fijas de combustión en la zona en la que se está verificando el nivel de alerta para uno o más contaminantes específicos.

Estas últimas acciones podrán consistir en limitar las actividades de mantenimiento de fuentes fijas de combustión, tales como soplado de hollín, o solicitar a determinadas fuentes fijas no reiniciar un proceso de combustión que se encontrase fuera de operación. (Ministerio del Ambiente [MAE], 2010)

En Nivel de Alarma:

Informar al público del establecimiento del Nivel de Alarma

Restringir e inclusive prohibir la circulación de vehículos así como la operación de fuentes fijas de combustión en la zona en que se está verificando el nivel de alarma. (Ministerio del Ambiente [MAE], 2010)

En Nivel de Emergencia:

Informar al público del establecimiento del Nivel de Emergencia:

Prohibir la circulación y el estacionamiento de vehículos así como la operación de fuentes fijas de combustión en la zona que se está verificando el nivel de emergencia. Se deberá considerar extender estas prohibiciones a todo el conjunto de fuentes fijas de combustión, así como vehículos automotores, presentes en la región bajo responsabilidad de la Autoridad Ambiental de Aplicación Responsable acreditada ante el Sistema Único de Manejo Ambiental. (Ministerio del Ambiente [MAE], 2010)

3.3 Fundamentación Legal

En el Ecuador el cuidado de la naturaleza, la protección frente a la contaminación está regulada por la Constitución de la República promulgada el 20 de Octubre del 2008 y que corresponde al registro Oficial Nro. 449.

A continuación se citan los aspectos más relevantes de la constitución; aspectos que servirán de referencia para el presente estudio.

3.3.1 Constitución de la República Del Ecuador

En el capítulo IX Responsabilidades se menciona el artículo 83.

“**Art. 83.-** Son deberes y responsabilidades de las ecuatorianas y los ecuatorianos, sin perjuicio de otros previstos en la Constitución y la ley:”

“6. Respetar los derechos de la naturaleza, preservar un ambiente sano y utilizar los recursos naturales de modo racional, sustentable y sostenible.”

Ya en el Capítulo II: *Biodiversidad y recursos naturales*; Sección primera: *Naturaleza y ambiente* se toma como referencia lo que dice el siguiente artículo:

“**Art. 396.-** El Estado adoptará las políticas y medidas oportunas que eviten los impactos ambientales negativos, cuando exista certidumbre de daño. En caso de duda sobre el impacto ambiental de alguna acción u omisión, aunque no exista evidencia científica del daño, el Estado adoptará medidas protectoras eficaces y oportunas.”

“La responsabilidad por daños ambientales es objetiva. Todo daño al ambiente, además de las sanciones correspondientes, implicará también la obligación de restaurar integralmente los ecosistemas e indemnizar a las personas y comunidades afectadas”

“Cada uno de los actores de los procesos de producción, distribución, comercialización y uso de bienes o servicios asumirá la responsabilidad directa de prevenir cualquier impacto ambiental, de mitigar y reparar los daños que ha causado, y de mantener un sistema de control ambiental permanente. Las acciones legales para perseguir y sancionar por daños ambientales serán imprescriptibles”

Además de la Constitución de la República se hace referencia a la Ley de Gestión Ambiental en los apartados y aspectos que más se relacionan al presente estudio.

3.3.2 Ley de Gestión Ambiental (2004)

Se toma como referencia los siguientes apartados:

Título I: Ámbito y principios de la gestión ambiental

“Art. 1.- La presente Ley establece los principios y directrices de política ambiental; determina las obligaciones, responsabilidades, niveles de participación de los sectores público y privado en la gestión ambiental y señala los límites permisibles, controles y sanciones en esta materia.”

“Art. 2.- La gestión ambiental se sujeta a los principios de solidaridad, corresponsabilidad, cooperación, coordinación, reciclaje y reutilización de desechos, utilización de tecnologías alternativas ambientalmente sustentables y respecto a las culturas y prácticas tradicionales”

Estos artículos establecen la obligación de los ciudadanos para contribuir con el cuidado del medio ambiente aplicando una gestión ambiental acorde a las necesidades requeridas por la sociedad.

Título III: Instrumentos de gestión ambiental.: Capítulo V: Instrumentos de aplicación de normas ambientales.

“Art. 33.- Establécense como instrumentos de aplicación de las normas ambientales los siguientes: parámetros de calidad ambiental, normas de efluentes y emisiones, normas técnicas de calidad de productos, régimen de permisos y licencias administrativas, evaluaciones de impacto ambiental, listados de productos contaminantes y nocivos para la salud humana y el medio ambiente, certificaciones de calidad ambiental de productos y servicios y otros que serán regulados en el respectivo reglamento”

Este apartado establece la necesidad de aplicar normas ambientales nacionales e internacionales de acuerdo a parámetros específicos de ambiente.

3.4 Metodología para el estudio de campo.

3.4.1 Levantamiento de línea base

Datos de Ambato

Ubicación Geográfica

El estudio se desarrolla en la Ciudad de Ambato, localizada en a la zona de planificación 3 de acuerdo a lo que determina el Plan Nacional del Buen Vivir 2013 – 2017, la ciudad se encuentra en la Provincia de Tungurahua, tiene como coordenadas - 750370 m Este, 9852510 Norte, está localizada a 2577,1 metros sobre el nivel del mar (msnm); y tiene una temperatura que oscila entre los 14 y 19^o C.

El estudio incluirá el área Urbana consolidada de la Ciudad, con una extensión aproximada 11,55 kilómetros cuadrados, el área incluye a 6 parroquias urbanas: La Matriz, La Merced, San Francisco, Celiano Monge, Huachi Loreto y Atocha Ficoa.

La zona se delimita de la siguiente manera: al Norte por el sector del parque industrial: km 4 ½ de la Panamericana Norte, al Sur por el Sector de Huachi Grande, al Este por el Sector de San Antonio, y al Oeste por la Parroquia de Pinllo.

En la Figura 5 que se muestra a continuación se puede observar la localización a nivel de provincia del estudio.



Figura 5: Ubicación provincial del estudio
Elaborado por: Autor

En la figura 6 que se muestra a continuación se puede observar la localización a nivel de cantón del área de estudio.

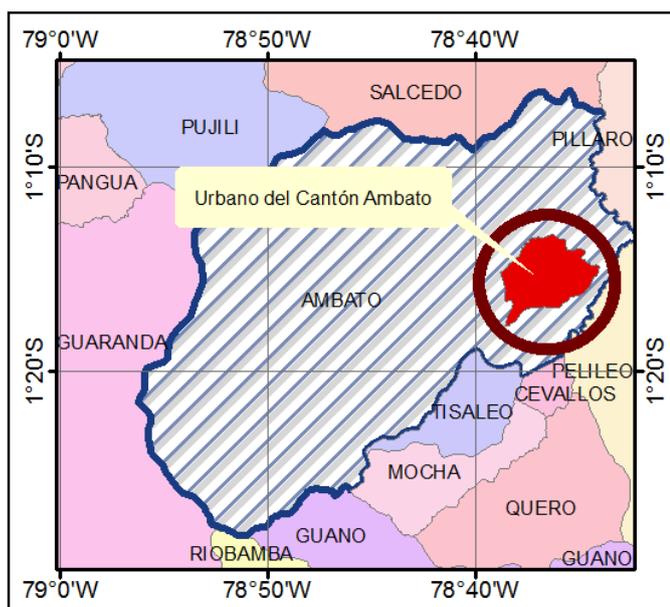


Figura 6: Ubicación cantonal del estudio
Elaborado por: Autor

En cuanto a algunos parámetros climáticos que caracterizan a la ciudad, en Ambato la velocidad media del viento es de 5m/s entre Enero y Abril, de

3,67 m/s en los meses de Mayo a Julio y de 5,32 m/s en los meses de Agosto a Diciembre. Las velocidades máximas del viento se registran en los meses de Agosto, Septiembre con valores de 16m/s, 16m/s, y 18 m/s respectivamente⁶.

El viento predominante proviene del Sur y Sur Sur Este (SSE) (ver Figura 7).

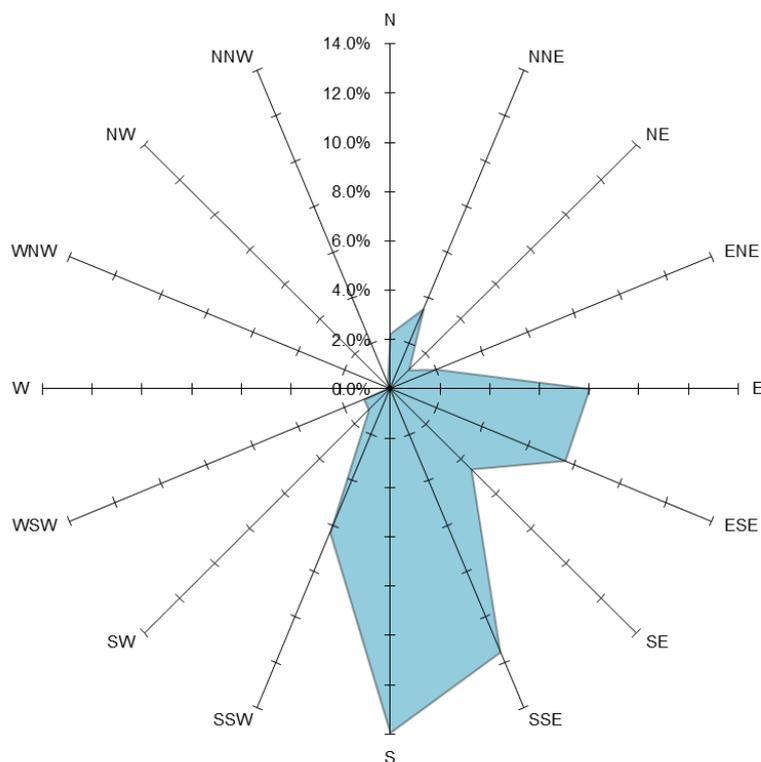


Figura 7: Rosa de los vientos en el Aeropuerto Chachoan, 2013

Elaborado por: Autor

3.4.2 Área de Influencia.

Se ha determinado como áreas de influencia del presente estudio a las Parroquias de: Huachi Loreto y Celiano Monge.

Además se incluye dentro del área de influencia al sector del Parque Industrial en donde pueden localizarse “Fuentes Fijas de Emisión” representadas por las industrias, el sector de Santa Rosa, Huachi Grande, además a los sectores

⁶ Los datos han sido interpolados al 2013, con datos base proporcionados por el Dr. René Parra, (2010). Los datos de referencia del 2013 han sido obtenidos por el autor del presente estudio

de Aguaján, la Península, Las Viñas, el Paso Lateral en donde están presentes las principales canteras, las cuales también podrían incluirse dentro del grupo de “Fuentes Fijas” para posteriores estudios

3.5 Delimitación del objeto de investigación.

3.5.1 Campo, área, aspecto, delimitación temporal y espacial.

El objeto de investigación se delimita de la siguiente manera:

Campo: Gestión Ambiental

Área: Contaminación del aire

Aspecto: Emisión de contaminantes

Delimitación Temporal: La presente investigación o propuesta será desarrollada en el periodo comprendido entre Abril del 2013 a Mayo del 2015

3.5.2 Alcance 1: Alcance Geográfico del estudio.

La zona de estudio se distribuye en las plataformas 1, 2 y 3 de acuerdo a lo que establece el Plan de Ordenamiento POT “Ambato 2020” del Ilustre Consejo Cantonal de Ambato. Esta área corresponde a la zona urbana consolidada de aproximadamente 11, 55 km² de área. Para el presente estudio el área principal se la refleja como una zona circular de 3,4 km de radio, tomando como centro el parque Pedro Fermín Cevallos (1° 14'17,196'' S; 78° 37'27,713'' W). El área se definió considerando un mapa de la ciudad a escala 1:10.000.

Considerando que Ambato incluye 10 Parroquias urbanas entre las que se menciona: Atocha, Celiano Monge, Ficoa, Huachi Chico, Huachi Loreto, La Matriz, La Merced, La Península, Pishilata, San Francisco y 18 Parroquias Rurales: Ambatillo, Atahualpa, Augusto Martínez, Constantino Fernández, Cunchibamba, Huachi Grande, Izamba, Juan B. Vela, Montalvo, Pasa, Picaihua, Pilahuin, Quisapincha, San Bartolomé de Pinillo, San Fernando, Santa Rosa, Totoras, Unamuncho. (Saltos & Vásquez , 2011)

El estudio incluye las Parroquias urbanas:

- La Matriz
- San Francisco
- La Merced
- Atocha Ficoa
- Huachi Loreto

Además se incluye el sector del Parque industrial, el sector de Huachi Grande, el Sector del Mercado Mayorista y el sector del Parque Industrial fin de verificar las emisiones generadas en estos sectores debido a que son puntos de entrada a la ciudad desde el norte (el punto localizado en el Parque Industrial, Panamericana Norte, frente a la Primera etapa del Parque Industrial, denominado punto “S”) y puntos de salida hacia el sur (los puntos localizados en el sector el Mayorista denominado punto “R” y en el sector de Huachi Grande denominado punto “T”).

En la Figura 8 se observa el lugar tomado como punto de referencia denominado “S”, con coordenadas: $1^{\circ} 11'40,403''$ S; $78^{\circ} 35'36,617''$ W.

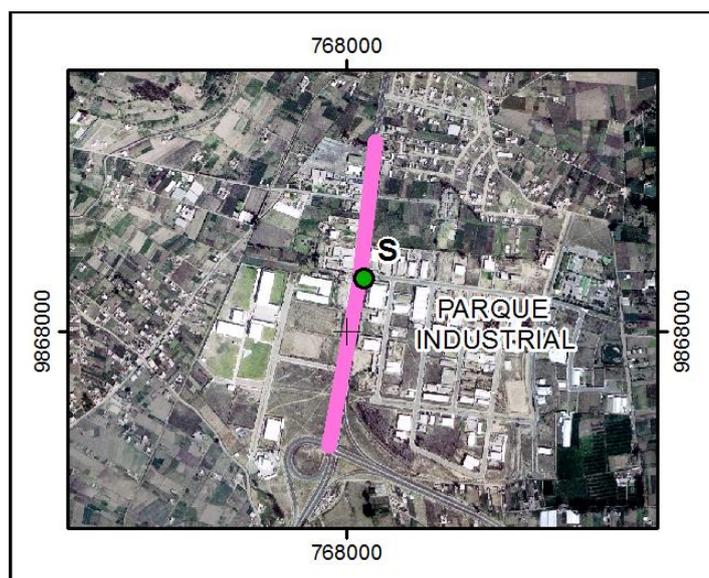


Figura 8: Sector Parque Industrial

Elaborado por: Autor

En la Figura 9 se observa el lugar tomado como punto de referencia denominado “R”, con coordenadas: $1^{\circ} 16'24,437''$ S; $78^{\circ} 36'40,273''$ W

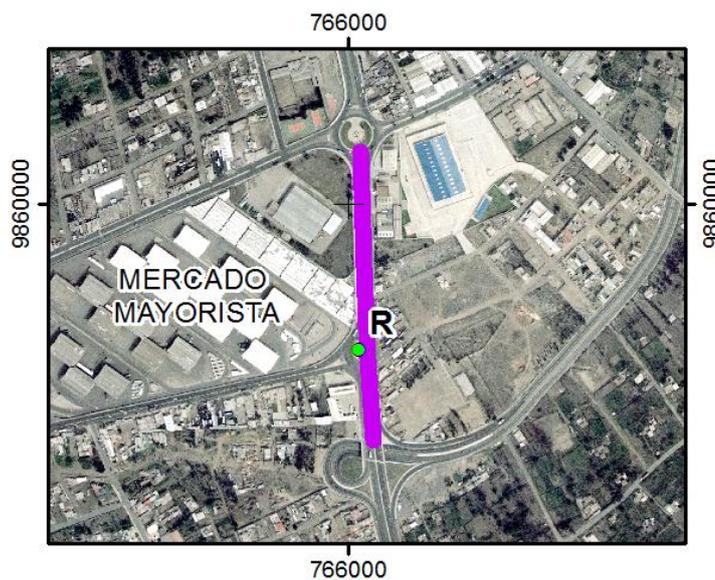


Figura 9: Sector Mercado Mayorista

Elaborado por: El Autor

En la Figura 10 se observa el lugar tomado como punto de referencia denominado "T" con coordenadas: $1^{\circ} 18'22,540''$ S; $78^{\circ} 38'13,372''$ W

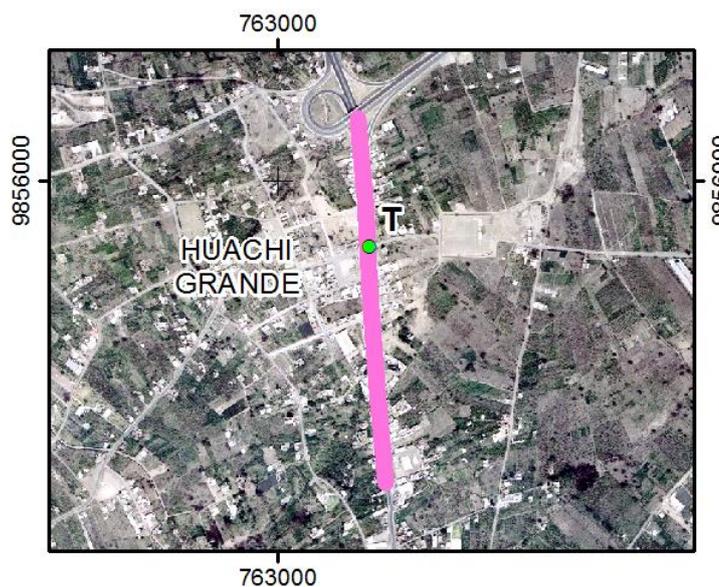


Figura 10: Sector Huachi Grande

Elaborado por: Autor

Considerando el Parque Cevallos como punto centro de referencia para el estudio la Cobertura geográfica del estudio hasta el Parque Industrial (el punto más extremo). El área tiene un Radio de 6,3 Kilómetros y cubre un total de 124,69 Kilómetros cuadrados.

3.5.3 Alcance 2: Alcance por Fuentes de Emisión.

De forma general el presente estudio incluye a fuentes móviles de emisión (vehículos) que circulan por la Zona de estudio denominada Zona centro o Zona Urbana consolidada de la ciudad de Ambato.

El alcance de las fuentes móviles se va a definir en razón del número de vehículos que circulan por la urbe, y a la profundidad en otras variables como número de contaminantes incluidos y el análisis espacial de la distribución de contaminantes (se muestran en los mapas temáticos de emisión, ver Anexos M). Al número y clase de vehículos se le denominará “Inventario Vehicular”.

A fin de obtener el Inventario Vehicular de la Ciudad de Ambato se procedió a consultar diferentes fuentes que permitieron levantar la información vehicular en la ciudad de Ambato. Estas fuentes se describen en la tabla 16 que se muestra a continuación.

Tabla 16:

Fuentes de Información para Inventario Vehicular

Nombre de la Entidad	Descripción del documento	Información Obtenida
Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador (AEADE)	Anuario 2013	Ventas Anuales de Vehículos por provincia y participación
Agencia Nacional de Transito Ambato (A.N.T)	Registro de Matriculación Vehicular, 2013.	Matriculación vehicular según el tipo y clases.
Dirección de Transporte y Movilidad (DTM)	Registro de Cooperativas, 2013	Número de Cooperativas de transporte de la ciudad de Ambato y cantidad de vehículos
Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC)	Estadísticas de Transporte -2013 (Tabulados)	Vehículos matriculados por provincia, uso, modelo, clase, marca, tonelaje, combustible.

Elaborado por: Autor

Como se puede observar en la tabla anterior los datos considerados tiene como año base el 2013.

En el capítulo IV (Análisis de Resultados y Discusión) se mostrarán los valores del parque automotor que interviene en el cálculo posterior de emisiones.

3.5.4 Alcance 3: Alcance por contaminantes incluidos.

Para el presente estudio se incluyen los siguientes contaminantes:

- Material Particulado: PM₁₀ (materia en partículas menor a 10 micrómetros (µm))
- Material Particulado PM_{2,5} (materia en partículas menor a 2,5 micrómetros (µm))
- El monóxido de carbono (CO)
- Óxidos de nitrógeno (NO)
- Hidrocarburos (HC)
- Compuestos Orgánicos volátiles (COVs)

A efectos de aplicar la ecuación [1], mencionada en apartados anteriores se ha dividido al parque automotor de la ciudad de Ambato en las siguientes categorías de acuerdo a lo que muestra la tabla 17; esto permite que el aforo vehicular a desarrollarse en el apartado de distribución geográfica de los contaminantes sea coherente.

Tabla 17:

Clasificación del parque automotor a efectos del Inventario

Tipo de Vehículo (Código)	Descripción detallada
LIV G:	vehículos particulares livianos a gasolina de entre 5 y 7 plazas, con un peso neto inferior a 3 toneladas (3 t)
TAXG	taxi, vehículos livianos de servicio público a gasolina, destinados al transporte de pasajeros, de entre 5 y 7 plazas, con un peso neto inferior a 2 t
BUTG	Furgonetas y buses pequeños de hasta 25 plazas a gasolina destinados en su mayoría al transporte escolar

BUSG	Vehículos a gasolina destinados al transporte de pasajeros, de más de 32 plazas y con un peso neto superior a 3t
PIC G	Camionetas de una o doble cabina a gasolina, de menos de 2t de peso neto vehicular
PESG	Vehículos de transporte de carga a gasolina, peso neto superior a 3t
LIVD	vehículos particulares livianos a diesel de entre 5 y 7 plazas, con un peso neto inferior a 3 toneladas (3 t)
TAXD	vehículos de servicio público a diesel, destinados al transporte de pasajeros, de entre 5 y 7 plazas, con un peso neto inferior a 2 t
BUTD	Furgonetas y buses pequeños de hasta 25 plazas a diesel destinados en su mayoría al transporte escolar
BUSD	Vehículos a diesel destinados al transporte de pasajeros, de más de 32 plazas y con un peso neto superior a 3t
PESD	Vehículos de transporte de carga a diesel, de peso neto superior a 3t
MOT G	Motos a gasolina

Fuente: Corpaire, 2005.

Elaborado por: Autor

En la Figura 11 se muestra de manera gráfica la distribución del parque automotor de acuerdo a los códigos: LIVG, TAXG, BUTG, BUSG, PICG, PESG, LIVD, TAXD, BUTD, BUSD, PESD, MOTG; códigos descritos en la tabla 17. Del mismo modo en la Figura 12 se muestra la distribución vehicular de acuerdo al modelo o año. En las dos Figuras (11 y 12) mostradas a continuación una tras de otra se puede observar las cantidades de vehículos existentes y registrados.

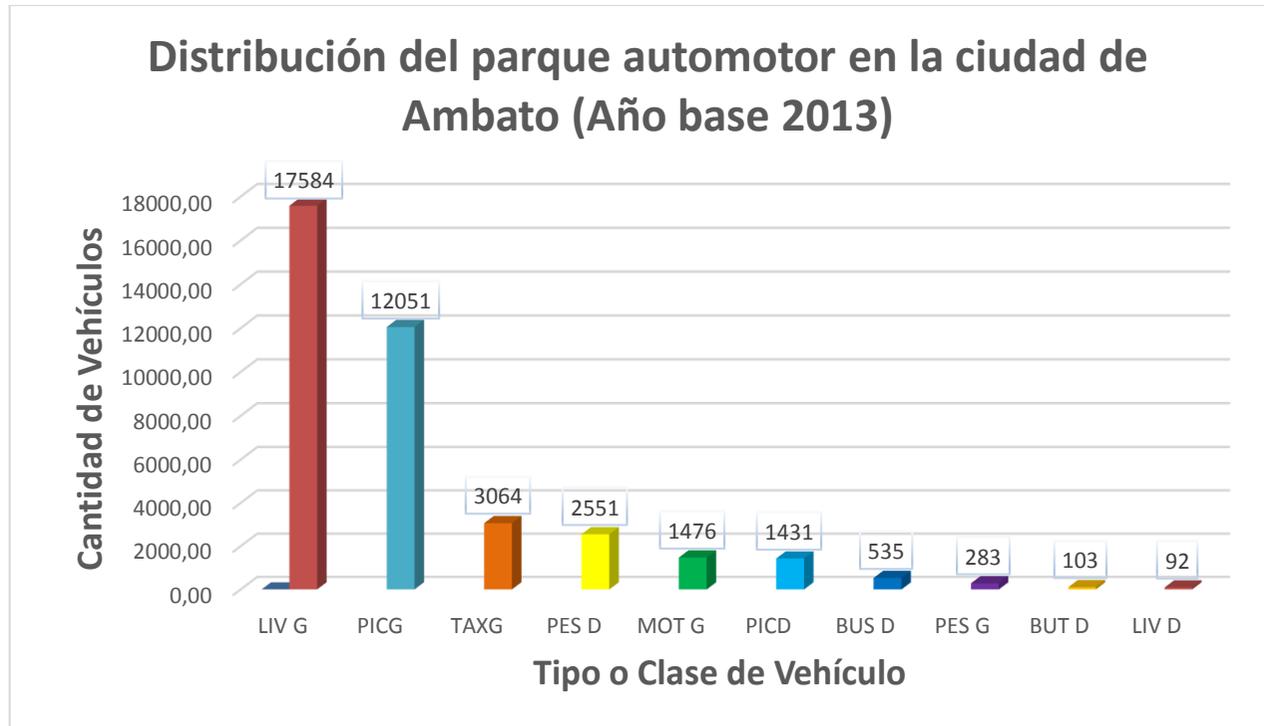


Figura 11: Distribución del Parque Automotor

Elaborado por: Autor

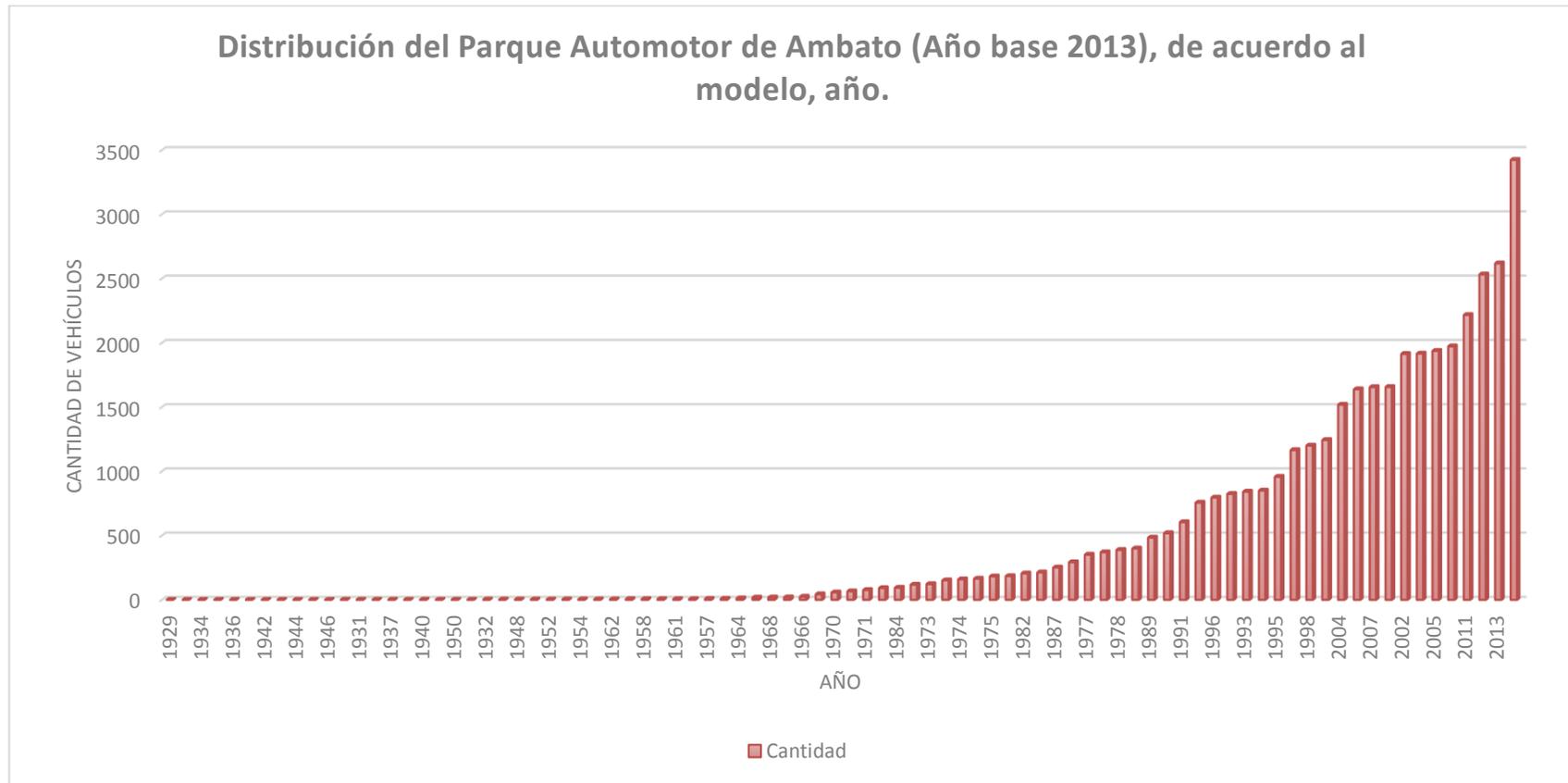


Figura 12: Inventario Vehicular de acuerdo al año o modelo; (datos al 2013).

Fuentes: INEC, AEADE, UTM, 2011

Debido a que el presente estudio toma como año base el 2013, y los factores de emisión del estudio elaborado por la Corpaire Incluye valores correspondientes a factores de emisión hasta el año 2005, y en ciertos casos hasta el año 2010 (aplicando revisión bibliográfica), para obtener los factores de emisión de los años 2011, 2012 y 2013, ha sido necesario revisar el “Inventario de Emisiones de Contaminantes y de Efecto Invernadero 2012 de la Zona Metropolitana del Valle de México”, elaborado por la Secretaría de Medio Ambiente de México (SEDEMA), de donde haciendo las respectivas homologaciones se han podido complementar las tablas para Factores de Emisión hasta el año 2013, esto por la necesidad del año base (2013) para el presente estudio, del mismo modo ha sido necesario tener en cuenta lo establecido por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático. ((IPCC), 2006).

Los Resultados de la homologación de factores de emisión respecto al inventario de la SEDEMA se muestran en el Anexo 1: (Factores de Emisión con año base 2013)

Otra fuente consultada para obtener los factores de emisión de los años 2011, y 13 es el método MOBILE6, desarrollado por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (US-EPA, por sus siglas en inglés), permite estimar factores de emisión para contaminantes criterio como los hidrocarburos (HC), el monóxido de carbono (CO), los óxidos de nitrógeno (NOx) y el dióxido de azufre (SO₂), entre otros⁷

3.5 Descripción metodológica del Alcance 1: Fuentes móviles.

A continuación se describe la forma como se calcularán las emisiones provenientes de fuentes móviles.

Para justificar la metodología empleada se toma como referencia a las “**Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto Invernadero**”, volumen 2 correspondiente a “Energía”, Capítulo III “Combustión Móvil”.

En el apartado 3.1 Generalidades del documento citado x se menciona que:

⁷ Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos. <http://www.epa.gov/otaq/models/moves/tools.htm>

“ Las fuentes móviles producen emisiones de gases directos de efecto invernadero de dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O) procedentes de la quema de diversos tipos de combustible, así como varios otros contaminantes como el monóxido de carbono (CO), los compuestos orgánicos volátiles diferentes del metano (COVDM), el dióxido de azufre (SO₂), la materia particulada (PM) y los óxidos de nitrato (NO_x), que causan o contribuyen a la contaminación del aire local o regional.”

En el apartado 3.2.1.1 denominado “Elección del Método” del documento “Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto Invernadero” se menciona lo siguiente:

“Es posible estimar las emisiones a partir del combustible consumido (representado por el combustible vendido) o la distancia recorrida por los vehículos. En general, el primer método (combustible vendido) es adecuado para el CO₂ y el segundo (distancia recorrida por tipo de vehículo y de carretera) es adecuado para el CH₄ y el N₂O [...]”

Para este caso la ecuación a emplear para el cálculo de las emisiones se desprenden del mismo documento expresándose de la siguiente manera:

$$Emisión = \sum_a (Combustible_a * EF_a) \quad [1]$$

Donde:

Emisión = Emisiones de CO₂ (kg)

Combustible = combustible vendido (TJ)

EF_a = factor de emisión (kg/TJ). Es igual al contenido de carbono del combustible multiplicado por 44/12.

a = tipo de combustible (p. ej., gasolina, diesel, gas natural, GLP, etc.)

El uso de esta ecuación se justifica debido a que en el mismo apartado de las Guías del IPCC, 2006 se menciona que:

“El factor de emisión de CO₂ toma en cuenta todo el carbono del combustible, incluido el que se emite en forma de CO₂, CH₄, CO, COVDM y materia particulada. Todo carbono presente en el combustible derivado de la biomasa debe declararse como elemento informativo y no incluirse en

los totales por sectores o nacionales, para evitar el cómputo doble, puesto que las emisiones netas de la biomasa ya se justifican [...].”

Para Justificar el uso de los factores de emisión en el presente estudio se incluye el apartado 3.2.1.1 de las Guías del IPCC 2006.

“El método de Nivel 2 es igual al Nivel 1, con la excepción de que se utiliza el contenido de carbono específico del país del combustible vendido en el transporte terrestre. La Ecuación 3.2.1⁸ aún se aplica, pero el factor de emisión se basa en el contenido real de carbono de los combustibles consumidos (según lo representa el combustible vendido) en el país, durante el año del inventario. En el Nivel 2, es posible ajustar los factores de emisión de CO₂ de forma de justificar el carbono sin oxidar o el carbono emitido como gas no CO₂”

3.7 Descripción metodológica para el estudio de campo.

La descripción metodológica general del estudio de campo se desarrolla en cuatro etapas que de forma general son:

- I) Inventario Vehicular
- II) Obtención de la Actividad Vehicular
- III) Cálculo de los valores de emisión
- IV) Mapas temáticos de emisión

La metodología general se describe de mejor manera en el siguiente diagrama de flujo:

⁸ Para el presente estudio se refiere a la ecuación [1]

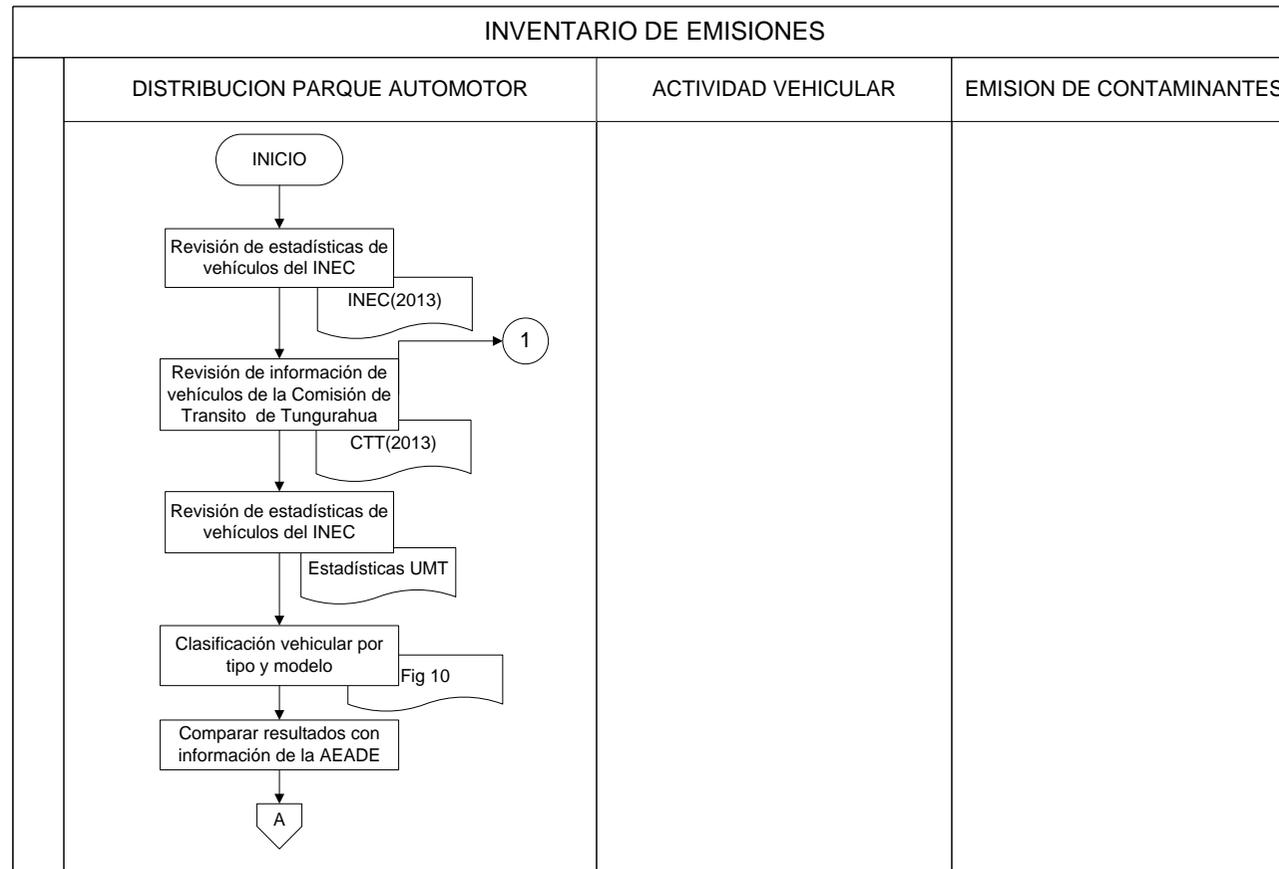


Figura 13: Metodología para el estudio de Campo

Elaborado por: Autor

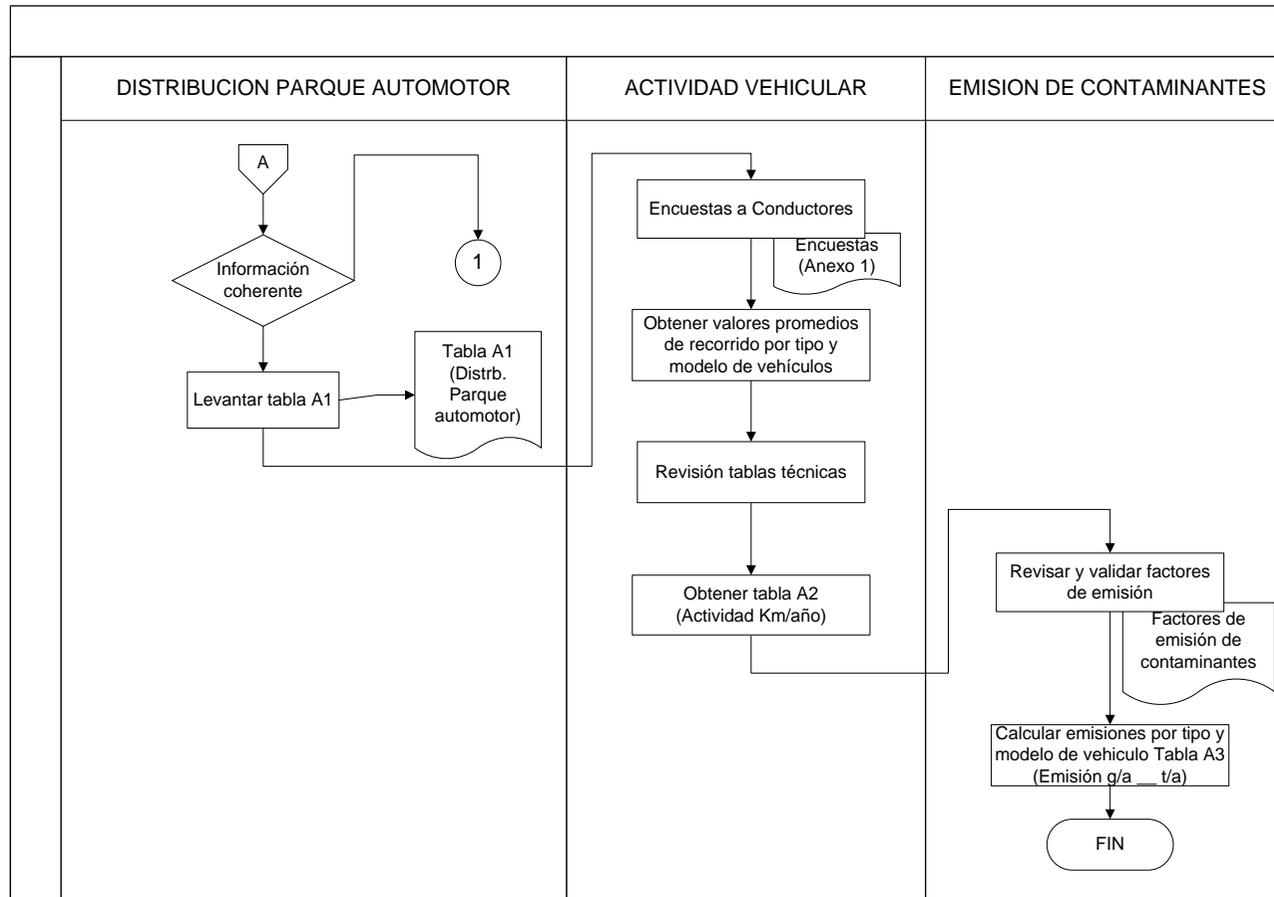


Figura 14: Metodología para el estudio de Campo-1

Elaborado por: Autor

3.7.1 Descripción Metodológica del Inventario Vehicular

De forma global y de acuerdo a Costa and Baldasano, 1996; Colvile et al., 2001; los Enfoques para el desarrollo de un inventario de emisiones se diferencian dos puntos de vista:

➤ **Enfoque top – down:** estima las emisiones totales para el área de estudio y luego procede a prorratear entre las diferentes celdas que conforman el ámbito espacial de análisis (desagregación espacial), por medio de parámetros tales como la densidad de tránsito, densidad poblacional e industrial.

➤ **Enfoque bottom - up:** estima las emisiones para cada una de las celdas en las que se ha dividido el área de estudio, por medio del establecimiento de todos los parámetros para cada celda en particular. El valor total de la emisión se obtiene por la agregación de las estimaciones efectuadas para cada celda.

Para el presente estudio se considera los lineamientos del enfoque top down.

A fin de Iniciar el Inventario de Emisiones para fuentes móviles se ha revisado estadísticas del INEC en cuanto a número de vehículos matriculados desde los años 2002 a 2013 (información de Tungurahua) obtenida de la página web del Instituto Nacional de Estadísticas Y Censos, se procede a levantar información referente al “Inventario Vehicular 2013”.

Para contar con información suficiente que ayude a mejorar la calidad del inventario se obtuvo información a la Comisión de Tránsito de Tungurahua quienes entregaron datos de los años 2009, 2010, 2011, 2012 y 2013 de la ciudad de Ambato. En base a los documentos recibidos se clasifica a los vehículos como: Transporte público, particular, estatal y municipal; desagregando además a los vehículos como: automóvil, camioneta, jeep, ómnibus, camión, tanquero, tráiler, volqueta, motocicleta, especial, otros.

Otra fuente de información fue la Unidad municipal de tránsito (UMT), en la que se pudo contar con datos de Cooperativas de buses urbanos,

cooperativas de taxis, cooperativas de vehículos de carga liviana (camionetas), cooperativas de transporte escolar e institucional (furgonetas). Finalmente se verifica la información de la Asociación de Empresas automotrices del Ecuador (AEADE) en documentos como el Anuario 2014. Con la información recogida se procede a armar la Tabla A1 o tabla 18 para el presente estudio (distribución del parque vehicular del 2013 por tipo de vehículo, año y modelo con el siguiente formato.

Tabla 18:

Distribución del Parque Automotor por tipo, año y modelo al 2013 (A1)

Tabla A1													
Distribución del parque automotor													
por tipo de vehículo y año modelo de la ciudad de Ambato, Año base 2013													
Año modelo	LIV G	TAXG	BUT G	PICG	PES G	LIV D	BUT D	BUS D	PICD	PES D	MOT G	TOTAL	
TOTAL	17584	3064	196	12051	283	92	103	535	1431	2551	1476	39366	
% Representación	44,67	7,78	0,50	30,61	0,72	0,23	0,26	1,36	3,64	6,48	3,75	100,00	
<1979	520	0	0	1137	49	5	0	0	2	217	4		
1980	129	0	0	165	14	0	0	0	0	60	2	370	▲
1981	127	0	0	191	14	0	0	0	0	56	11	399	▲
1982	137	0	0	26	3	0	0	0	2	32	5	205	▲
1983	78	0	0	7	0	0	0	0	0	1	5	91	▲
1984	67	0	0	20	0	0	0	0	0	6	1	94	▲
1985	95	0	0	28	0	2	0	0	1	31	7	164	▲

Elaborado por: Autor

Esta distribución por años es necesaria debido a que los factores de emisión se aplican de acuerdo al año de fabricación del vehículo.

En el capítulo 4 se mostrarán los resultados detallados de la distribución del Parque Automotor, en este apartado se cita la tabla con fines de explicación del método.

Para facilitar la aplicación de los factores de emisión el Parque automotor se ha clasificado de acuerdo a lo que establece la Tabla A en la sección 3.6 del presente estudio. Los factores de emisión a emplear se exponen en la misma sección 3.6 y se muestran en el Anexo 1 (Factores de Emisión, Año Base 2013)

El parque automotor en la ciudad de Ambato al año 2013 se distribuye de acuerdo a lo que muestra la tabla 19.

Tabla 19:
Distribución general del Parque Automotor al 2013

TIPO DE VEHICULO	CANTIDAD	PORCENTAJE (%)
Buses Urbanos	436	9.58
Buses Intracantonales	56	1.23
Taxis	2419	53.13
Carga Liviana	711	15.62
Buses Escolares	269	5.91
Carga Pesada	478	10.50
Volquetes	184	4.04
TOTAL	4553	100.00

Fuentes: INEC, UMT, AEADE; 2013

Actividad vehicular.

Con datos recopilados a través de encuestas se procede a obtener cuantos Kilómetros al mes (y en lo posterior al año) recorre cada vehículo, a este valor se le denomina “actividad vehicular”.

Para esto se aplicaron encuestas a los conductores que circulan por la urbe. Las encuestas corresponden al formato que se muestra en el Anexo 2: (Encuestas a conductores). La Pregunta 3 del cuestionario, busca obtener el valor de actividad expresado en km recorridos al día, luego serán llevados a kilómetros al mes y luego al año.

La distribución de encuestas efectuadas en los meses de Agosto 2013 a diciembre del 2014 se realizó de acuerdo a la tabla 20:

Tabla 20:
Distribución de Encuestas

CLASE DE VEHICULO	TOTAL VEHICULOS	ENCUESTAS APLICADAS
BUSES URBANOS	436	43
BUSETAS	269	22
TAXIS	2419	75
PESADOS	478	35
MOTOS	S/D	12
Total Encuestas		187

Elaborado por: Autor

Producto de la tabulación de las encuestas aplicadas se obtuvieron los siguientes valores de actividad: (Obtenidos de la tabulación de la pregunta 3 de las encuestas: Anexo 2).

La actividad vehicular se muestra la tabla 21

Tabla 21:

Kilómetros recorridos al día

Promedio de Kilómetros recorridos al día(Actividad Vehicular: Km/día)											
LIV G	TAXG	BUT G	PICG	PESG	LIV D	BUT D	BUS D	PIC D	PESD	MOT G	
47	232	92	78	297	45	93	187	63	256	37	

Elaborado por: Autor.

El siguiente paso para obtener la actividad vehicular, se procedió a preguntar el número de días que labora cada clase de vehículo. Para esto se aplicó la pregunta 7 de la encuesta mostrada en el anexo 2. Los resultados se muestran en la tabla 22

Tabla 22:**Días laborados al año**

Número de días Laborados al año, por cada clase de vehículo (Días/año)										
LIV G	TAXG	BUT G	PICG	PESG	LIV D	BUT D	BUS D	PIC D	PESD	MOT G
325,00	340,00	292,00	322,00	199,00	314,00	287,30	317,30	337,00	212,00	295,00

Elaborado por: Autor

La actividad vehicular se expresará en Kilómetros al año. (Km/año).

La actividad vehicular o días de actividad vehicular (DAV) se obtendrá de multiplicar el número de días laborados al año por el número de kilómetros recorridos al día. De este modo se consigue la Actividad vehicular en kilómetros al año; (Km/año). Los valores de actividad vehicular se muestran en la Tabla 23.

Tabla 23:**Actividad Vehicular**

Actividad Vehicular (Kilómetros al año: Km/año)										
LIV G	TAXG	BUT G	PICG	PESG	LIV D	BUT D	BUS D	PIC D	PESD	MOT G
15275	78880	26864	25116	59103	14130	26718,9	59335,1	21231	54272	10915

Elaborado por: Autor

Los valores que se muestran en la tabla anterior se convierten en constantes con los cuales se va a obtener los Kilómetros al año por cada categoría de vehículo.

A continuación se obtiene la *Actividad por categoría año y modelo de vehículo para la Ciudad de Ambato al año 2013*, expresada en kilómetros al año. Para esto es necesario multiplicar los valores de la tabla A1 con los mostrados en la tabla 23. La actividad por categoría vehicular se muestra en la tabla 24.

Tabla 24:

Actividad Vehicular

Tabla A2												
Actividad por categoría Vehicular (kilómetros/año; Km/año)												
Año modelo	LIV G	TAXG	BUT G	PICG	PES G	LIV D	BUT D	BUS D	PICD	PES D	MOT G	TOTAL
TOTAL	268595600	215928295	5068331	297791780	16331697	1304540	2660495,5	30422475,5	28636453	133417259	16154140	1016311066
%	26,43	21,25	0,50	29,30	1,61	0,13	0,26	2,99	2,82	13,13	1,59	100
<=1979	7943000	0	0	28556892	2896047	70650	0	0	42462	11777024	43660	1934
1980	1970475	0	0	4144140	827442	0	0	0	0	3256320	21830	10220207
1981	1939925	0	0	4797156	827442	0	0	0	0	3039232	120065	10723820
1982	2092675	0	0	653016	177309	0	0	0	42462	1736704	54575	4756741
1983	1191450	0	0	175812	0	0	0	0	0	54272	54575	1476109

Elaborado por: Autor

Rendimiento Vehicular

El rendimiento vehicular (RV) se refiere al número de kilómetros que recorre cada tipo de vehículo por galón de combustible consumido. Estos valores se obtienen de aplicar la pregunta 5 de la encuesta (ver anexo 2) a los conductores que circulan por la urbe, además de datos que proporcionan los fabricantes de los vehículos.

Los resultados obtenidos producto de las encuestas se muestran en la tabla 25 que se observa a continuación:

Tabla 25:
Rendimiento Vehicular

Rendimiento Vehicular Km/gal										
LIV G	TAXG	BUT G	PICG	PESG	LIV D	BUT D	BUS D	PIC D	PESD	MOT G
46,32	46,35	58,35	42	11,23	47	60	8,35	42	11,85	57

Elaborado por: Autor

Es importante mencionar que los datos obtenidos de las encuestas referentes a los conductores (187 encuestas) solo pretenden corroborar lo que mencionan otros estudios mas no son determinantes y que además “el rendimiento vehicular depende de otros factores como combustible, altitud, estado del vehículo entre otras. [...] (Davis & Masten, 2010)

A fin de obtener los valores de consumo total es necesario dividir los valores de kilómetros totales recorridos al año para el rendimiento de cada vehículo con lo cual se obtendrá el consumo total de galones de gasolina y diésel respectivamente.

Como resultado de la operación indicada en la tabla anterior se obtiene la tabla de consumo de combustible de acuerdo a lo que se muestra en la tabla 26

Tabla 26:

Consumo de combustible al año.

TABLA CONSUMO DE COMBUSTIBLE												
Consumo de combustible al año en galones al año (gal/año)												
por tipo de vehículo, año modelo de vehículo para la ciudad de Ambato												
Año modelo	LIV G	TAXG	BUT G	PICG	PES G	LIV D	BUT D	BUS D	PICD	PES D	MOT G	TOTAL
TOTAL	5813757,58	4658647,14	86860,86	7090280,48	1454291,81	27756,17	44341,59	3643410,24	681820,31	11258840,42	283405,96	35043412,56
% Representación	16,59	13,29	0,25	20,23	4,15	0,08	0,13	10,40	1,95	32,13	0,81	100,00
<=1979	171926,407	0	0	679926	257884,862	1503,19149	0	0	1011	993841,6878	765,9649123	2106859,113
1980	42650,974	0	0	98670	73681,3891	0	0	0	0	274794,9367	382,9824561	490180,2823
1981	41989,7186	0	0	114218	73681,3891	0	0	0	0	256475,2743	2106,403509	488470,7855
1982	45295,9957	0	0	15548	15788,8691	0	0	0	1011	146557,2996	957,4561404	225158,6205
1983	25788,961	0	0	4186	0	0	0	0	0	4579,915612	957,4561404	35512,33279
1984	22152,0563	0	0	11960	0	0	0	0	0	27479,49367	191,4912281	61783,04118
1985	31409,632	0	0	16744	0	601,276596	0	0	505,5	141977,384	1340,438596	192578,2312
1986	35377,1645	0	0	32890	10525,9127	0	0	0	0	68698,73418	957,4561404	148449,2676
1987	36369,0476	0	0	65182	21051,8255	0	0	0	0	123657,7215	191,4912281	246452,0858
1988	64803,0303	0	0	40066	21051,8255	0	0	0	505,5	91598,31224	765,9649123	218790,6329
1989	122332,251	0	0	53222	21051,8255	0	0	0	505,5	73278,64979	765,9649123	271156,1913
1990	111421,537	0	0	84916	21051,8255	300,638298	0	0	0	132817,5527	957,4561404	351465,0094

Elaborado por: Autor

A fin de corroborar los valores obtenidos en la tabla anterior se ha revisado datos de despacho y consumo de combustibles en la Provincia de Tungurahua y la ciudad de Ambato proporcionados por la Secretaria de Hidrocarburos del Ecuador (SHE). Además otro punto de soporte han sido las encuestas realizadas a los conductores de acuerdo al Anexo 1(Encuestas a Conductores) a través de las preguntas 4 y 6. Del respectivo análisis se llega a determinar que los datos son relativamente coherentes y válidos a fin de calcular las emisiones totales en el siguiente paso del estudio.⁹

Emisiones Totales

Una vez que se ha comprobado la coherencia de los datos, el siguiente paso es calcular las emisiones de contaminantes en toneladas al año, para esto se tomará en cuenta la actividad vehicular, Tabla A2 y los factores de emisión.

De este modo para el caso de material particulado se obtienen los resultados que se muestran en la tabla 27:

⁹ A este análisis se lo puede entender como un balance de masas

Tabla 27:

Emisiones totales PM₁₀

Tabla A3												
Emision de material Particulado (PM 10), para cada tipo de vehículo, Año base 2013 en [g/año]												
Año modelo	LIV G	TAXG	BUT G	PICG	PES G	LIV D	BUT D	BUS D	PICD	PES D	MOT G	TOTAL
Em Total Modelo	4919955,3	4005721,27	106370,477	5879801,62	1424616,09	282366,509	361589,59	14602788,2	568741,878	107583922	387459,29	140123332
%	26,43	21,25	0,50	29,30	1,61	0,13	0,26	2,99	2,82	13,13	1,59	100
<=1979	179511,8	0	0	622540,246	268753,162	19110,825	0	0	925,6716	24731750,4	1047,84	25823639,9
1980	44532,735	0	0	90342,252	76786,6176	0	0	0	0	6838272	523,92	7050457,52
1981	40738,425	0	0	95463,4044	76786,6176	0	0	0	0	6382387,2	2881,56	6598257,21
1982	42272,035	0	0	12733,812	16454,2752	0	0	0	828,009	3647078,4	1309,8	3720676,33
1983	24067,29	0	0	3322,8468	0	0	0	0	0	113971,2	1309,8	142671,137
1984	20468,5	0	0	9644,544	0	0	0	0	0	683827,2	261,96	714202,204
1985	28296,9375	0	0	13502,3616	0	6697,62	0	0	407,6352	3533107,2	1833,72	3583845,47
1986	30890,6325	0	0	25417,392	10721,2842	0	0	0	0	1709568	1309,8	1777907,11

Elaborado por: Autor

Los datos de la tabla anterior determinan que durante al año 2013 se hayan emitido 140, 123 Toneladas al año de Material Particulado PM₁₀

A continuación; en la tabla 28 se muestran los valores de emisión total de material particulado PM_{2,5}

Tabla 28:

Emisiones totales PM_{2,5}

Tabla A3												
Emision de material Particulado (PM 2.5), para cada tipo de vehículo, por tipo de vehículo, año modelo para la ciudad de Ambato, Año base 2013en [g/año]												
Año modelo	LIV G	TAXG	BUT G	PICG	PES G	LIV D	BUT D	BUS D	PICD	PES D	MOT G	TOTAL
Em Total Modelo	2346847,95	1883653,91	49675,91	3050277	774538,734	161457,138	312874,271	16869510,5	3371300,73	75944845,3	132996,612	104897978
%	2,24	1,80	0,05	2,91	0,74	0,15	0,30	16,08	3,21	72,40	0,13	100,00
<=1989	295724	0	0	561322,507	271672,85	10632,825	0	0	21460,2948	16148449,1	4492,614	17313754,2
1990	63316,4025	0	0	52427,1384	11489,6232	1767,663	0	0	0	973607,117	458,43	1103066,37
1991	65697,775	0	0	51967,5156	17128,0494	0	0	0	0	1645060,3	366,744	1780220,38
1992	75020,1075	0	0	76764,5424	31141,3707	0	0	0	0	2148650,19	641,802	2332218,01
1993	52845,39	0	0	103904,892	30946,3308	1767,663	0	0	0	2014359,55	275,058	2204098,89
1994	83859,75	0	0	130291,762	41933,5785	0	0	0	2554,0893	2652240,08	1283,604	2912162,86
1995	54516,475	0	0	104824,138	33334,092	1767,663	0	0	17090,955	2249368,17	1008,546	2461910,04
1996	54647,84	709,92	521,1616	73818,4356	24787,7982	1767,663	3142,14264	220228,157	4993,5312	1611487,64	550,116	1996654,41
1997	54910,57	10648,8	260,5808	64317,0528	19279,3986	0	0	183523,464	0	1309333,71	641,802	1642915,38
1998	71199,83	41885,28	781,7424	107925,964	33050,3976	0	3142,14264	1871939,34	4993,5312	2786530,71	366,744	4921815,68
1999	45583,655	26976,96	260,5808	88435,9476	27541,998	0	3142,14264	880912,629	0	2182222,85	91,686	3255168,45
2000	9852,375	1419,84	260,5808	13155,7608	0	7070,652	0	330342,236	2496,7656	67145,3184	275,058	432018,586

Elaborado por: Autor

Observando la Tabla anterior se puede determinar que las emisiones totales de Material Particulado PM_{2,5} durante el 2013 son de 104,90 Toneladas.

A continuación en la tabla 29 se muestra en resumen las emisiones totales de Monóxido de Carbono (CO).

Tabla 29:

Emisiones totales CO

Tabla A3												
Emision de Monóxido de Carbono (CO), para cada tipo de vehículo, por tipo de vehículo, año modelo para la ciudad de Ambato, Año base 2013 [g/año]												
Año modelo	LIV G	TAXG	BUT G	PICG	PES G	LIV D	BUT D	BUS D	PICD	PES D	MOT G	TOTAL
Em Total Modelo	3177048151	1267279287	156477403	6137235644	3238601828	1852745,51	5194895,048	431467912	180370586	2072428385	440586383,5	17108543220
%	26,43	21,25	0,50	29,30	1,61	0,13	0,26	2,99	2,82	13,13	1,59	100
<=1979	314542800	0	0	1376442194	1178696921	417400,2	0	0	2046668,4	228839353,3	1451214,74	3102436552
1980	78030810	0	0	199747548	336770548,9	0	0	0	0	63273553,92	725607,37	678548068,2
1981	76821030	0	0	231222919,2	336770548,9	0	0	0	0	57648152,58	3990840,535	706453491,2
1982	82869930	0	0	31475371,2	71882309,76	0	0	0	2046668,4	32938328,06	1814018,425	223026625,9
1983	47181420	0	0	8474138,4	0	0	0	0	0	1029322,752	1814018,425	58498899,58
1984	40527630	0	0	24211824	0	0	0	0	0	6157701,12	362803,685	71259958,81
1985	57464550	0	0	33896553,6	0	161195,04	0	0	1023334,2	31703748,61	2539625,795	126789007,2
1986	64723230	0	0	66582516	46709100,9	0	0	0	0	15224110,08	1814018,425	195052975,4
1987	66537900	0	0	131954440,8	93417256,15	0	0	0	0	27321338,88	362803,685	319593739,5
1988	118558440	0	0	81109610,4	93156730,13	0	0	0	1023334,2	20217405,44	1451214,74	315516734,9
1989	223809300	0	0	107742616,8	89802989,5	0	0	0	1023334,2	16139190,27	1451214,74	439968645,5
1990	161636995	0	0	171903950,4	88993514,81	77870,43	0	0	0	29250708,48	1814018,425	453677057,5
1991	179383490	0	0	207011095,2	115727102	0	0	0	0	49298622,46	1451214,74	552871524,4
1992	220152465	0	0	342597309,6	180128449,5	0	0	0	0	64143425,54	2539625,795	809561275,4

Elaborado por: Autor

La tabla 29 muestra que las emisiones totales de Monóxido de Carbono (CO) corresponden a 17108.54 Toneladas durante el año 2013.

En la tabla 30 que se muestra a continuación se muestra el resumen de emisiones Totales para Óxidos de Nitrógeno.

Tabla 30:

Emisiones totales NO

Tabla A2												
Emision de Oxidos de Nitrógeno (NOx), para cada tipo de vehículo, por tipo de vehículo, año modelo para la ciudad de Ambato, Año base 2013, [g/año]												
Año modelo	LIV G	TAXG	BUT G	PICG	PES G	LIV D	BUT D	BUS D	PICD	PES D	MOT G	TOTAL
TOTAL	299881198,2	319721190,7	9249170,67	663481691,8	50560523,25	945003,64	2051889,168	213033453	38367307,49	1423997533	5233065,4	3026522026
%	9,91	10,56	0,31	21,92	1,67	0,03	0,07	7,04	1,27	47,05	0,17	100,00
<=1979	16680300	0	0	96236726,04	13055379,88	110214	0	0	143096,94	239827316,7	14888,06	366067921,7
1980	4137997,5	0	0	13965751,8	3730108,536	0	0	0	0	66311700,48	7444,03	88153002,35
1981	4073842,5	0	0	16166415,72	3714387,138	0	0	0	0	61817978,88	40942,165	85813566,4
1982	4394617,5	0	0	2200663,92	793103,157	0	0	0	143096,94	35281141,76	18610,075	42831233,35
1983	2502045	0	0	592486,44	0	0	0	0	0	1102535,68	18610,075	4215677,195
1984	2149192,5	0	0	1692818,4	0	0	0	0	0	6589489,152	3722,015	10435222,07
1985	3047362,5	0	0	2369945,76	0	43237,8	0	0	71548,47	33702477,82	26054,105	39260626,46
1986	3432292,5	0	0	4655250,6	516678,426	0	0	0	0	16288926,72	18610,075	24911758,32
1987	3528525	0	0	9225860,28	1028628,612	0	0	0	0	29298087,94	3722,015	43084823,84
1988	6287190	0	0	5670941,64	1005223,824	0	0	0	71548,47	21679493,12	14888,06	34729285,11
1989	13564200	0	0	7533041,88	985128,804	0	0	0	71548,47	17328832,51	14888,06	39497639,73
1990	12354420	0	0	12019010,64	955104,48	20714,58	0	0	0	31369161,73	18610,075	56737021,5
1991	13710840	0	0	14473597,32	1253929,248	0	0	0	0	52747770,88	14888,06	82201025,51
1992	16826940	0	0	23953380,36	1990057,113	0	0	0	0	68339302,4	26054,105	111135734
1993	13637520	0	0	33348522,48	1969252,857	16744,05	0	0	0	48734085,12	11166,045	97717290,55
1994	22362600	0	0	44351842,08	2549703,42	0	0	0	71548,47	57165077,5	51955,4	126552726,9
1995	15213900	0	0	37580568,48	2011393,296	16376,67	0	0	500839,29	45736425,47	40461,905	101099965,1

Elaborado por: Autor

En la tabla anterior se puede observar que las emisiones totales de Óxidos de Nitrógeno son de 3026.52 Toneladas.

En la tabla 31 se muestran las emisiones totales de Hidrocarburos (HC)

Tabla 31:

Emisiones totales de HC

Tabla A3 Emision de Hidrocarburos (HC), para cada tipo de vehículo, por tipo de vehículo, año modelo para la ciudad de Ambato, Año base 2013 [g/año]												
Año /modelo	LIV G	TAXG	BUT G	PICG	PES G	LIV D	BUT D	BUS D	PICD	PES D	MOT G	TOTAL
TOTAL	395633941	110137499,9	15593422,7	692032878,7	198708914,3	699676,46	1261737,33	113088885,7	29654834,61	640741953,5	42233598,95	2239787343
%	17,66	4,92	0,70	30,90	8,87	0,03	0,06	5,05	1,32	28,61	1,89	100,00
<=1979	49683465	0	0	126849714,3	71697435,58	243954,45	0	0	188616,204	90600645,63	242662,28	339506493
1980	12325321,1	0	0	18408269,88	20484981,59	0	0	0	0	25050869,76	121331,14	76390773,5
1981	11026533,7	0	0	21308966,95	20484981,59	0	0	0	0	23380811,78	667321,27	76868615,3
1982	11894764,7	0	0	2900697,072	4388929,677	0	0	0	188616,204	13320519,68	303327,85	32996855,2
1983	6772201,8	0	0	780956,904	0	0	0	0	0	416157,696	303327,85	8272644,25
1984	5817147,7	0	0	2231305,44	0	0	0	0	0	2493364,224	60665,57	10602482,9
1985	8248194,5	0	0	3123827,616	0	93879,72	0	0	94308,102	12789848,06	424658,99	24774717
1986	7428461,63	0	0	6136089,96	2863303,938	0	0	0	0	6185379,84	303327,85	22916563,2
1987	7636736,25	0	0	12160614,65	5714078,04	0	0	0	0	11119030,27	60665,57	36691124,8

Elaborado por: Autor

De acuerdo a la tabla anterior las emisiones totales de Hidrocarburos son de 2239,78 Toneladas al año.

Las emisiones totales de Compuestos Orgánicos volátiles diferentes del metano están en función de la tabla 32 que se muestra a continuación.

Tabla 32:

Emisiones totales de COVs

Tabla A3												
Emision de Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs), para cada tipo de vehículo, por tipo de vehículo, año modelo para la ciudad de Ambato, Año base 2013 [g/año]												
Año modelo	LIV G	TAXG	BUT G	PICG	PES G	LIV D	BUT D	BUS D	PICD	PES D	MOT G	TOTAL
TOTAL	100514689	153108705	3399623,43	311927964	30275547,8	1258124,84	2046808,57	94226229,2	17469182,7	391983364	39618479,3	1145828718
%	8,77	13,36	0,30	27,22	2,64	0,11	0,18	8,22	1,52	34,21	3,46	100,00
<=1989	15995711,2	0	0	84084208,8	15287014,6	385936,929	0	0	585253,746	200970660	4394150,88	321702935,7
1990	2716428,1	0	0	6162506,97	650511,259	51475,59	0	0	0	8073573,27	448382,743	18102877,93
1991	2938118,76	0	0	7252260,07	619092,104	0	0	0	0	11739869,4	358706,194	22908046,51
1992	3512623,73	0	0	11722229,9	1121674,46	0	0	0	0	14631731,2	627735,84	31615995,17
1993	2770689,48	0	0	15929114,7	874623,925	40447,125	0	0	0	11369115,6	269029,646	31253020,55
1994	4420340,6	0	0	20662430,9	1189920,7	0	0	0	57323,7	13948913,5	1255471,68	41534401,02
1995	2922336,63	0	0	17069607,2	949808,851	31887,171	0	0	366979,958	10983578,2	986442,034	33310640,03
1996	2844864,88	209418,512	80076,2112	11342164,6	710760,857	28268,478	59690,0226	1125456,31	94860,108	7249349,84	538059,291	24282969,09
1997	2772983,79	2884404,96	38993,096	9624350,74	551531,465	0	0	937880,258	0	5404123,55	627735,84	22842003,69
1998	3486307,96	10246535,7	113755,608	15704896,7	943354,804	0	47752,0181	9566378,63	75888,0864	10548365,6	328772,898	51062007,95

Elaborado por: Autor

Las emisiones de compuestos orgánicos volátiles diferentes del metano (COVs) durante el año 2013 son de 1145,83 Toneladas

A modo de resumen en la tabla 33 se muestran las emisiones de los diferentes contaminantes que son objeto del presente estudio, además se muestran los porcentajes de representación.

Tabla 33:

Resumen de Emisiones Totales

Tabla Resumen							
Emisiones anuales para la Ciudad de Ambato (ton/a)							
FUENTES	CONTAMINANTES PRIMARIOS						
	PM10	PM2,5	NOx	CO	HC	COVs	TOTAL
Fuentes Móviles	140,12	104,9	3026,52	17108,54	2239,78	1145,82	23765,68
Porcentaje	0,59	0,44	12,73	71,99	9,42	4,82	100

Elaborado por: Autor

3.8 Distribución espacial de las emisiones

Con el objeto de visualizar la distribución espacial de las emisiones en el área de estudio, es decir la Zona Centro de la ciudad de Ambato y las Zonas consideradas como zonas de ingreso y salida a la ciudad como elementos referenciales del presente estudio; a continuación se procede a exponer de forma general el método empleado para obtener los mapas temáticos o mapas de emisión de contaminantes para la ciudad de Ambato.

El método se descompone en las siguientes etapas generales:

- 1) Determinar los puntos de conteo o aforo vehicular
- 2) Georreferenciar los puntos de medición
- 3) Obtener la Intensidad Media diaria de vehículos que circulan por la Urbe.
- 4) Obtener matriz general para mapas temáticos.

El punto 4 a su vez se descompone en las siguientes sub-etapas.

4.1) Codificar los puntos de medición¹⁰

4.2) Georreferenciar los puntos de medición

¹⁰ Los Códigos corresponden a los empleados en el Proyecto: “Estudio de la contaminación acústica ocasionada por ruido urbano en la zona centro de la ciudad de Ambato”, cuyo autor es Carlos Burgos A.

- 4.3) Obtener la Intensidad Media Diaria (IMD) para cada punto de medición.
- 4.5) Mediante el uso de sistemas de información geográfica (GIS) obtener las distancias de cada tramo de vía. (Longitud: L)
- 4.6) Obtener los valores de emisión puntual a interpolar con el método específico (empleando GIS)
- 4.7) Levantar los mapas temáticos empleando Sistemas de Información Geográfica (GIS).
- 4.8) interpretar y validar los resultados.

4.1 Codificación de puntos de medición.

Los puntos de medición son los incluidos en el proyecto ““Estudio de la contaminación acústica ocasionada por ruido urbano en la zona centro de la ciudad de Ambato”, del año 2013. Los códigos facilitaron el manejo de la información.

A los 73 puntos originales (del estudio mencionado) se sumaron 3, los que corresponden a puntos de entrada y salida de la ciudad. De esta forma se consiguen 76 puntos georreferenciados a partir de los cuales se procede a contabilizar el número de vehículos que circulan por las calles, en lo posterior sirven de base para representar los datos en los mapas temáticos.

Para seleccionar los puntos de monitoreo se aplicó el método de ponderación por puntos que de forma general se resume de la siguiente forma: Se procedió a tomar datos en 108 puntos iniciales, de estos puntos se obtendrán los puntos definitivos de estudio.

Los puntos de monitoreo definitivos fueron establecidos mediante el método de ponderación de Brown y Gibson , considerando factores como: mediciones iniciales efectuadas en 108 lugares denominados “puntos aleatorios” (medición directa), las rutas de autobuses, el flujo peatonal y vehicular (campañas de conteo in situ), la percepción de la ciudadanía (encuestas); y la cercanía a instituciones educativas (observación directa). Estos factores se codificaron de la siguiente manera:

- Circulación peatonal. Factor F1 o CPT
- Mediciones iniciales o efectuadas en los “puntos aleatorios”. Factor F2

O Leq_A

- Tráfico vehicular de acuerdo a rutas de circulación vehicular. Factor F3

o IMD

- Encuesta; percepción de la ciudadanía (obtenida con encuestas a 266 personas); Factor F4 o PC

- Cercanía a instituciones educativas y conglomerados sociales Factor F5 o CI

El método de ponderación empleado para la selección definitiva de los puntos de estudio (PE), consistió en asignar, una ponderación “P” a cada factor (F1 a F5) en una escala de 0 a 1 (0 a 100%) de acuerdo a como este factor incide en mayor o menor grado en la generación de ruido y otros contaminantes. A mayor ponderación el factor incide en mayor proporción. Con la localización específica de cada “punto aleatorio” se asigna un peso “p” en una escala de 1 a 10, evaluando como ese “punto aleatorio” se ve afectado en mayor o menor grado por el factor F que genera ruido, los puntos con valores cercanos a 10 serán aquellos que se ven más afectados por los factores que generan ruido; de la multiplicación de $P \cdot p$ se obtiene el Factor Ponderado “FP”. Al final se suman los factores ponderados para cada punto aleatorio, los puntos seleccionados serán aquellos que tengan mayor puntuación.

De la aplicación del método de ponderación, se obtuvieron 73 puntos de estudio (PE) definitivos. A estos 73 puntos se suman 3 considerados puntos de entrada y salida vehicular en Ambato, dando un total de 76 puntos o sitios de estudio.

Los parámetros considerados en la selección de los puntos o sitios de estudio incluyen parámetros de carácter social entre los cuales se mencionan a los siguientes:

Circulación peatonal (CPT): Corresponde a la presencia en mayor o menor número de transeúntes, se reflejó como el número de personas que circulan por los posibles sitios a incluirse en el estudio.

Ponderación: 19 %

Percepción ciudadana (PC): Corresponde a la percepción que tiene la ciudadanía respecto a los lugares que a su consideración presentan mayor o menor nivel de ruido. Para obtener estos datos se aplicaron encuestas a un total de 266 personas cuyos datos se expusieron en el Estudio titulado: “Estudio de la contaminación acústica ocasionada por ruido urbano en la zona centro de la ciudad de Ambato”

Ponderación: 15 %

Cercanía a instituciones educativos, y otros: (CI): Se refiere a la cercanía que tiene el punto a considerar en relación a centros de concurrencia de peatones como: escuelas, colegios, universidades, mercados y otros.

Ponderación: 13 %

Dentro de los parámetros se pueden nombrar como “parámetros cuantificables” entre los cuales se menciona:

Intensidad media diaria: (IMD) que corresponde al número total de vehículos que circulan por la ciudad durante el periodo de estudio

Ponderación: 28 %

Medición inicial de ruido (Leq_A): corresponde a los valores iniciales de Límite equivalente ponderado (Leq) en decibeles con escala de ponderación A; es decir Leq_A

Ponderación: 25 %

Calificación (C): En escala de 1 a 10 en donde 1 es la menor relación con la variable a evaluar y 10 es la mayor relación.

De esta forma la ecuación que permite expresar la ponderación total se convierte en la siguiente expresión

$$PT = IMD(C) + Leq_A(C) + CPT(C) + PC(C) + CI(C)$$

[4]

En la tabla 34 se incluye a modo de ejemplo la selección de los puntos denominados A1 y H8 y se descartan los dos restantes.

Tabla 34: Matriz de selección de puntos de estudio

		Intendencia Media diaria (IMD) Ponderación (0,28)		Ponderación Parcial	Medición inicial de Leq Ponderación 0,25		Ponderación Parcial	Circulación peatonal (CPT) Ponderación (0,19)		Ponderación Parcial	Percepción ciudadana Ponderación 0,15		Ponderación Parcial	Cercanía Ponderación (0,13)		Ponderación Parcial	Ponderación Total
Código	Dirección	Valor de Intensidad (vehiculos/día)	Valor		Valor Leq (A)	Valor		Valor de CPT (personas/día Valor)	Valor		Percepción	Valor		Distancia	Valor		
A 1	Av. Los Shyris y Paltas	17084	7	1,96	71,13	8	2	35410	9	1,71	6	6	0,9	1100	7	0,91	7,5
	Av Atahualpa y Quis Quis	14305	5	1,4	58,3	5	1,3	30423	6	1,14	4	4	0,6	2400	4	0,52	4,9
H8	Luis A. Martinez y Doce de Noviem	26660	10	2,8	75,21	9	2,3	47000	10	1,9	10	10	1,5	700	8	1,04	9,5
	Av. Cevallos y Tomas Sevilla	17950	7	1,96	74,32	6	1,5	38000	7	1,33	5	5	0,8	2000	5	0,65	6,2

Elaborado por: Autor

El área de estudio incluye un total de 11, 55 km², dentro de la cual está la zona urbana consolidada de aproximadamente 3,14 km²., en la zona seleccionada se encuentran un número representativo de establecimientos educativos, mercados, parques; es en esta zona en donde circulan la mayor cantidad de peatones y circula la mayor cantidad de vehículos, lo cual determina que el área seleccionada sea representativa.

En la tabla 35 se muestran los puntos definitivos a considerar

Tabla 35:

Puntos o sitios de estudio

Nro.	Parroquia	Ubicación	P. de Medida	Coordenadas Geograficas	
1	Huachi Loreto	Av. Los Shyris y Paltas	A 1	1° 15'10,517'' S	78° 37'47,901'' W
2	Huachi Loreto	Av. Rumiñahui y Av. Pichincha	B 1	1° 15'04,970'' S	78° 37'30,490'' W
3	Huachi Loreto	Av. Bolivariana y Española	C 1	1° 14'47,455'' S	78° 37'00''155 W
4	Huachi Loreto	Av. Bolivariana y Chiles	C 2	1° 14'36,081'' S	78°37'07,632''W
5	Huachi Loreto	Av. Los Chasquis	D 1	1° 14'52,036'' S	78° 37'13,170'' W
6	Huachi Loreto	Av. Pichincha e Imbabura	D 2	1° 14'46,070'' S	78° 37'23,862'' W
7	Huachi Loreto	QuisQuis y Paccha	D 3	1° 14'41,666'' S	78° 37'35,170'' W
8	Huachi Loreto	Av. Pichincha y QuisQuis	D 4	1° 14'34,873'' S	78° 37'27,307'' W
9	Huachi Loreto	Av. Los Shiris y Av. QuisQuis	E 1	1° 14'51,403'' S	78° 37'45,095'' W
10	Huachi Loreto	Av. Atahualpa y Calicuchima	E 2	1° 14'47,276'' S	78° 37'49,167'' W
11	Huachi Loreto	Trece de abril y Tupac Yupanqui	E 3	1° 14'38,155'' S	78° 37'44,131'' W
12	La Matriz	Doce de Octubre y Juan Elcano	E 4	1° 14'46,522'' S	78° 38'00,791'' W
13	Atocha Ficoa	Av. Los Guaytambos y Datiles	F 1	1° 14'37,137'' S	78° 38'18,118'' W
14	Atocha Ficoa	Av. Los Guaytambos y Aceitunas	F 2	1° 14'28,716'' S	78° 38'09,898'' W
15	Atocha Ficoa	Las Aceitunas y las guabas	F 3	1° 14'25.669'' S	78° 38'10,742'' W
16	La Matriz	Yahaira y Francisco Flor	G 1	1° 14'31,550'' S	78° 37'43,595'' W
17	La Matriz	Simon Bolivar y Francisco Flor	G 2	1° 14'25,976'' S	78° 37'46,117'' W
18	La Matriz	Av. Perdo Fermin Cevallos Y Quito	G 3	1° 14'26,426'' S	78° 37'38,464'' W

Elaborado por: Autor

Tabla 35:
Puntos o sitios de estudio (continuación)

19	La Matriz	Mariano Castillo y Simon Bolivar	G 4	1° 14'19,802'' S	78° 37'39,544'' W
20	La Matriz	Jose Maria Urbina	H 1	1° 14'32,842'' S	78° 37'35,391'' W
21	La Matriz	Trece de abril	H 2	1° 14'34,127'' S	78° 37'30,493'' W
22	Huachi Loreto	Trece de Abril y Urdaneta	H 3	1° 14'27,583'' S	78° 37'25,444'' W
23	San francisco	Juan Leon Mera y Juan Benigno Vela	H 4	1° 14'22,677'' S	78° 37'29,608'' W
24	La Matriz	Juan Montalvo y Av. Pedro Fermin Cevallos	H 5	1° 14'22,169'' S	78° 37'33,577'' W
25	La Matriz	Juan Leon Mera Y Simon Bolivar	H 6	1° 14'16,083'' S	78° 37'35,585'' W
26	San francisco	Av. Pedro Fermin Cevallos y Juaqin Lalama	H 7	1° 14'17,196'' S	78° 37'27,713'' W
27	San francisco	Luis A. Martinez y Doce de Noviembre	H 8	1° 14'23,531'' S	78° 37'25,082'' W
28	Huachi Loreto	Urdaneta	H 9	1° 14'39,907'' S	78° 37'20,895'' W
29	Huachi Loreto	Oriente y QuisQuis	H 10	1° 14'29,358'' S	78° 37'19,917'' W
30	Huachi Loreto	Oriente y Biblan	H 11	1° 14'32,625'' S	78° 37'15,254'' W
31	Huachi Loreto	Av. Bolivariana	H 12	1° 14'31,610'' S	78° 37'11,808'' W
32	Huachi Loreto	Eugenio Espejo y Chindul	H 13	1° 14'27,938'' S	78° 37'13,175'' W
33	Huachi Loreto	Pillis Hurco Y Archidona	H 14	1° 14'25,436'' S	78° 37'15,775'' W
34	Huachi Loreto	Eugenio espejo y Doce de Noviembre	H 15	1° 14'19,616'' S	78° 37'20,701'' W
35	San francisco	Juan Benigno Vela y eugenio Espejo	H 16	1° 14'16,581'' S	78° 37'22,495'' W
36	Huachi Loreto	Av. Los Andes e Iliniza	H 17	1° 14'18,040'' S	78° 37'27,595'' W

Elaborado por: Autor

Tabla 35:

Puntos o sitios de estudio (continuación)

37	Huachi Loreto	Corazon Y Chiles	I 1	1° 14'32,343" S	78° 37'01,868" W
38	Huachi Loreto	Camino el Rey y Curiquingue	I 2	1° 14'28,358" S	78° 36'57,737" W
39	Huachi Loreto	Camino el rey y Monte de Cajas	I 3	1° 14'22,652" S	78° 36'58,859" W
40	Huachi Loreto	Av. El rey y Napo Galeras	I 4	1° 14'18,584" S	78° 37'07,323" W
41	Huachi Loreto	Av. El Rey y Cayambe	J 1	1° 14'21,395" S	78° 37'12,033" W
42	Huachi Loreto	Doce de Noviembre y Unidad Nacional	J 2	1° 13'59,654" S	78° 37'09,838" W
43	La Merced	Av. Pedro Fermin Cevallos y Unidad Nacional	J 3	1° 14'02,124" S	78° 37'08,393" W
44	Huachi Loreto	Av. Doce de Noviembre y Av. El Rey	J 4	1° 13'57,992" S	78° 37'01,130" W
45	La Merced	Av. Las Americas y Paraguay	J 5	1° 14'01,538" S	78° 36'51,405" W
46	San francisco	Av. Pedro Fermin Cevallos y Eugenio Espejo	K 1	1° 14'13,855" S	78° 37'24,534" W
47	San francisco	Doce de Noviembre y Vicente Maldonado	K 2	1° 14'10,590" S	78° 37'17,821" W
48	La Merced	Los Andes y Cotacachi	K 3	1° 14'22,112" S	78° 37'19,392" W
49	La Merced	Joaquin Ayllon y Av. Pedro Fermin Cevallos	K 4	1° 14'05,279" S	78° 37'15,957" W
50	La Merced	Joaquin Ayllon y Simon Bolivar	K 5	1° 14'00,340" S	78° 37'19,625" W
51	San francisco	Vicente Maldonado y Simon Bolivar	K 6	1° 14'03,169" S	78° 37'22,406" W
52	San francisco	Simon Bolivar y Eugenio Espejo	K 7	1° 14'08,732" S	78° 37'28,317" W
53	San francisco	Cuenca y Eugenio Espejo	K 8	1° 14'03,928" S	78° 37'31,522" W

Elaborado por: Autor

Tabla 35:
Puntos o sitios de estudio (continuación)

54	San francisco	Lizardo Ruiz Y Eugenio Espejo	K 9	1° 13'58,998'' S	78° 37'35,309'' W
55	La Merced	Joaquin Ayllon y Cristobal Colon	K 10	1° 13'57,017'' S	78° 37'31,522'' W
56	La Matriz	Cuenca y Juan Montalvo	L 1	1°14'13,166'' S	78°37'41,378'' W
57	San francisco	Cuenca y Luis A. Martinez	L 2	1° 14'09,497'' S	78° 37'37,233'' w
58	San francisco	La Delicia y Lizardo Ruiz	L 3	1° 14'03,686'' S	78° 37'40,257 W
59	Atocha Ficoa	Las Guayabas y Los Mirabeles	L 4	1° 14'01,225'' S	78° 37'46,071'' W
60	Atocha Ficoa	Rodrigo Pachano y Juan Montalvo	L 5	1° 14'03,977'' S	78° 37'51,123'' W
61	Atocha Ficoa	Los Guaytambos y Juan Montalvo	L 6	1° 14'02,162'' S	78° 37'53,417'' W
62	Atocha Ficoa	Los Guaytambos y La Delicia	L 7	1° 14'07,803'' S	78°37'55,934'' W
63	Atocha Ficoa	Rodrigo Pachano IESS	N 1	1° 13'50,789'' S	78° 37'41,966'' W
64	Atocha Ficoa	Rodrigo Pachano y Eduardo Mera	N 2	1° 13'45,569'' S	78° 37'38,681'' W
65	La Merced	Lizardo Ruiz y Juaquin Ayllon	O 1	1° 13'48,998'' S	78° 37'27,776'' W
66	La Merced	Simon Bolivar y Unidad Nacional	O 2	1° 13'53,646'' S	78° 37'13,438'' W
67	La Merced	Unidad Nacional y Luis A. Pasteur	O 3	1° 13'46,491'' S	78° 37'17,375'' W
68	La Merced	Hospital Ambato	O 4	1° 43'43,940'' S	78° 37'16,762'' W
69	Atocha Ficoa	Rodrigo Pachano y Soledad Eterna	O 5	1° 13'37,372'' S	78° 37'33,123'' W

Elaborado por: Autor

Tabla 35:**Puntos o sitios de estudio (continuación)**

70	La Merced	Av. Pedro Fermin Cevallos	P 1	1° 13'49,749" S	78° 36'58,998" W
71	La Merced	Av. Colombia y Chile	P 2	1° 13'51,536" S	78° 36'53,670" W
72	La Merced	Cesar Borja y Luis A. Pasteur	P 3	1° 13'53,391" S	78° 37'15,931" W
73	Atocha Ficoa	Rodrigo Pachano y Mentor Mera	Q 7	1° 13'33,598" S	78° 37'25,739" W
74	Celiano Monje	Redondel del Mercado Mayorista	R	1° 16'24,438" S	78° 36'40,272" W
75	Izamba	Parque Industrial	S	1° 11'40,402" S	78° 35'36,616" W
76	Huachi Belén	Huachi Grande Salida a Riobamba	T	1° 18'22,540" S	78° 38'13,372" W

Elaborado por: Autor

4.2) Georreferenciación de puntos de estudio.

Para georreferenciar los puntos de estudio se empleó el equipo que se muestra en la siguiente figura y cuyas características técnicas se muestran en la tabla 36.



Figura 15: Sistema de Posicionamiento Global (GPS).

Fuente: Trimble instruments

Características técnicas del equipo:

Las características del GPS empleado para obtener las coordenadas de los puntos de estudio se muestra en la tabla 36

Tabla 36:

Características técnicas del equipo GPS

CARACTERISTICAS TECNICAS DEL GPS.	
Nro.	Descripción
1	Receptor GPS de alta sensibilidad y precisión de 2 a 5 metros con receptor SBAS integrado
2	Módem celular integrado HSDPA 3.5 G con Bluetooth® y LAN inalámbrica.
3	Cámara de 3 megapíxeles para la captura de datos GIS.
4	Memoria para tarjeta micro SD de 8 GB.
5	Sistema operativo Windows Mobile® 6.1 con herramientas de productividad personal como Word Mobile, Excel® Mobile, Internet Explorer® Mobile y Outlook® Mobile.
6	Batería 24 horas de duración.

Elaborado por: Autor

4.3) Obtener la Intensidad Media Diaria (IMD) para cada punto de estudio

Para obtener la intensidad media diaria (IMD) o número de vehículos que circulan por los puntos de estudio fueron necesarias campañas de medición en los 76 puntos de estudio. Las campañas se desarrollaron en los meses de Agosto a Diciembre del 2013, debido al año base del estudio.

Para levantar los datos de IMD se dividió al parque automotor en “categorías vehiculares” de acuerdo a lo que muestra la Tabla 37 que se muestra a continuación; en las campañas de conteo en campo se emplearon tablas como la tabla 38.

Tabla 37:

Categoría Vehicular

CATEGORÍA VEHICULAR	DESCRIPCION DE LA CATEGORIA VEHICULAR
LIV G:	Vehículos particulares livianos a gasolina de entre 5 y 7 plazas, con un peso neto inferior a 3 toneladas (3 t)
TAXG	Taxi, vehículos livianos de servicio publico a gasolina, destinados al transporte de pasajeros, de entre 5 y 7 plazas, con un peso neto inferior a 2 t
BUTG	Furgonetas y buses pequeños de hasta 25 plazas a gasolina destinados en su mayoría al transporte escolar
BUSG	Vehículos a gasolina destinados al transporte de pasajeros, de mas de 32 plazas y con un peso neto superior a 3t
PIC G	Camionetas de una o doble cabina a gasolina, de menos de 2t de peso neto vehicular
PESG	Vehículos de transporte de carga a gasolina, peso neto superior a 3t
LIVD	Vehículos particulares livianos a diesel de entre 5 y 7 plazas, con un peso neto inferior a 3 toneladas (3 t)
TAXD	Vehículos de servicio publico a diesel, destinados al transporte de pasajeros, de entre 5 y 7 plazas, con un peso neto inferior a 2 t
BUTD	Furgonetas y buses pequeños de hasta 25 plazas a diesel destinados en su mayoría al transporte escolar
BUSD	Vehículos a diesel destinados al transporte de pasajeros, de mas de 32 plazas y con un peso neto superior a 3t
PESD	Vehículos de transporte de carga a diesel, de peso neto superior a 3t
MOT G	Motos a gasolina

Elaborado por: Autor

Como se mencionó anteriormente a fin de recopilar información de primera mano referente a la circulación de vehículos por el área de estudio se emplearon tablas como la Tabla 38 que se muestra a continuación

Tabla 38:

Recolección de flujo vehicular (IMD)

INTENSIDAD MEDIA DIARIA (IMD)													
Hora	LIV G	TAX G	BUS G	PIC G	PES G	LIV D	TAX D	BUT D	BUS D	PIC D	PES D	MOT G	TOTAL
6:00:00 - 07:00													
7:00:00 - 08:00													
8:00:00 - 9:00													
9:00:00 - 10:00													
10:00:00 - 11:00													
11:00:00 - 12:00													
12:00:00 - 13:00													
13:00:00 - 14:00													
14:00:00 - 15:00													
15:00:00 - 16:00													
16:00:00 - 17:00													
17:00:00 - 18:00													
18:00:00 - 19:00													
19:00:00 - 20:00													
20:00:00 - 21:00													
21:00:00 - 22:00													
22:00:00 - 23:00													
23:00:00 - 24:00													
24:00:00 - 01:00													
01:00:00 - 02:00													
02:00:00 - 03:00													
03:00:00 - 04:00													
04:00:00 - 05:00													
05:00:00 - 06:00													
TOTAL													

Elaborado por: Autor

Los resultados generales producto del estudio se muestran en la Tabla 39

Tabla 39:

Resultados de la Intensidad Media Diaria (IMD)

CÓDIGO	A1	B1	C 1	C 2	D 1	D 2	D 3	D 4	E 1	E 2	E 3	E 4	F 1	F 2	F 3	G 1	G 2	G 3	G 4
DESCRIPCIÓN DEL PUNTO	Av. Shyris y Paltas	Av. Rumiñahui y Av. Pichincha	Av. Bolívar y Española	Av. Bolívar y Chiles	Av. Los Chasquis	Av. Pichincha e Imbabura	Quis-Quis y Paccha	Av. Pichincha y Quis-Quis	Av. Los Shyris y Quis-Quis	Av. Atahualpa y Calicuchima	Trece de abril y Túpac Yupanqui	Doce de Octubre y Juan Elcano	Av. Los Guaytambos y Dátiles	Av. Los Guaytambos y Aceitunas	Las Aceitunas y las guabas	Yahuira y Francisco Flor	Simón Bolívar y Francisco Flor	Av. Pedro Fermin Cevallos Y Quito	Mariano Castillo y Simón Bolívar
IMD	17255	14111	16974	17262	11417	10596	17835	19557	18829	21806	23662	3530	11044	11193	1579	24019	7953	22818	9608
CÓDIGO	H 1	H 2	H 3	H 4	H 5	H 6	H 7	H 8	H 9	H 10	H 11	H 12	H 13	H 14	H 15	H 16	H 17	I 1	I 2
DESCRIPCIÓN DEL PUNTO	José María Urbana	Trece de abril	Trece de abril y Urdaneta	Juan León Mera y Juan Benigno Vela	Juan Montalvo y Av. Pedro Fermin Cevallos	Juan León Mera Y Simón Bolívar	Av. Pedro Fermin Cevallos y Joaquín Lalama	Luis A. Martínez y Doce de Noviembre	Urdaneta	Oriente y Quis-Quis	Oriente y Biblian	Av. Bolívar	Eugenio Espejo y Chindul	Pillis Hurco Y Archidona	Eugenio espejo y Doce de Noviembre	Juan Benigno Vela y Eugenio Espejo	Av. Los Andes e Iliniza	Corazón Y Chiles	Camino el Rey y Curiquingue
IMD	15610	27213	27411	23604	23285	8595	23508	26927	18687	24750	13318	19674	11282	7100	23740	15613	12456	7458	9381
Código	I 3	I 4	J 1	J 2	J 3	J 4	J 5	K 1	K 2	K 3	K 4	K 5	K 6	K 7	K 8	K 9	K 10	L 1	L 2
DESCRIPCIÓN DEL PUNTO	Camino el rey y Monte de Cajas	Av. El rey y Napo Galeras	Av. El Rey y Cayambe	Doce de Noviembre y Unidad Nacional	Av. Pedro Fermin Cevallos y Unidad Nacional	Av. Doce de Noviembre y Av. El Rey	Av. Las américas y Paraguay	Av. Pedro Fermin Cevallos y Eugenio Espejo	Doce de Noviembre y Vicente Maldonado	Los Andes y Cotacachi	Joaquín Ayllon y Av. Pedro Fermin Cevallos	Joaquín Ayllon y Simón Bolívar	Vicente Maldonado y Simón Bolívar	Simón Bolívar y Eugenio Espejo	Cuenca y Eugenio Espejo	Lizardo Ruiz Y Eugenio Espejo	Joaquín Ayllon y Cristóbal Colon	Cuenca y Juan Montalvo	Cuenca y Luis A. Martínez
IMD	10401	19325	20401	22035	16257	23474	22675	23779	15188	14532	17294	21340	19063	14445	7329	12210	11137	11323	8771
Código	L 3	L 4	L 5	L 6	L 7	N 1	N 2	O 1	O 2	O 3	O 4	O 5	P 1	P 2	P 3	Q 7	R	S	T
DESCRIPCIÓN DEL PUNTO	La Delicia y Lizardo Ruiz	Las Guayabas y Los Mirabeles	Rodrigo Pachano y Juan Montalvo	Los Guaytambos y Juan Montalvo	Los Guaytambos y La Delicia	Rodrigo Pachano IESS	Rodrigo Pachano y Eduardo Mera	Lizardo Ruiz y Joaquín Ayllon	Simón Bolívar y Unidad Nacional	Unidad Nacional y Luis A. Pasteur	Hospital Regional de Ambato	Rodrigo Pachano y Soledad Eterna	Av. Pedro Fermin Cevallos	Av. Colombia y Chile	Cesar Borja y Luis A. Pasteur	Rodrigo Pachano y Mentor Mera	Redondel del mercado mayorista Paso lateral	Parque industrial Primera Etapa	Huachi Grande Salida a Riobamba
IMD	15258	8065	19016	17188	16018	19132	18765	10939	16483	16483	10353	18406	11519	12528	13055	17316	34825	26851	25606

Elaborado por: Autor

Los literales 4.6 a 4.8 (emisión puntual, mapas temáticos, interpretación y validación) corresponden a datos obtenidos empleando Sistemas de Información Geográfica (SIG), aplicando los respectivos métodos de interpolación, por lo que se analizarán en el Capítulo IV.

Los mapas temáticos levantados a partir de los valores de emisiones totales y emisiones específicas en cada tramo de vía representan la situación encontrada en el periodo de estudio.

Los mapas temáticos levantados y que se muestran en el Anexo 3 son:

- Mapa de Emisiones de material particulado: PM₁₀ (materia en partículas menor a 10 micrómetros (µm))
- Mapa de Emisiones de material particulado PM_{2,5} (materia en partículas menor a 2,5 micrómetros (µm))
- Mapa de Emisiones de monóxido de carbono (CO)
- Mapa de Emisiones de Óxidos de nitrógeno (NO)
- Mapa de Emisiones de Hidrocarburos (HC)
- Mapa de Emisiones de Compuestos Orgánicos volátiles (COVs)

A estos mapas temáticos se suma el Mapa de Tráfico vehicular que representa la situación del tráfico vehicular en el periodo de estudio.

Los mapas mencionados se analizarán en el Capítulo IV.

3.9 Diseño preliminar de la Red de Monitoreo de la Calidad del Aire.

Considerando que el presente estudio considera el diseño preliminar de la red de Monitoreo de la Calidad del Aire para la ciudad de Ambato a continuación se mencionarán lineamientos generales que permitan a futuro configurar la mencionada red.

La situación Actual.

Ambato en la actualidad cuenta con seis estaciones de monitoreo pasivo de calidad del aire; tres estaciones localizadas en el área Urbana y tres estaciones en el área Rural. Estas Estaciones son:

En el Área Urbana

- Estación San Francisco

- Estación Huachi Chico
- Estación Pishilata

En el área Rural.

- Estación Ambatillo
- Estación Izamba
- Estación Parque Industrial.

A continuación en la tabla 40 se muestran datos de las mencionadas estaciones¹¹:

Tabla 40:

Ubicación de estaciones de monitoreo pasivo

Nro.	Denominación	Localización Específica	Coordenadas (WGS 84)	
			Longitud	Latitud
1	San Francisco	Parroquia San Francisco, Calles Eugenio Espejo y Avenida Cevallos; Mercado Modelo	764255	9862766
2	Huachi Chico	Parroquia Huachi Chico, Calles Francisco Falquez Ampuero y Jesús Calle; Redondel de Huachi.	763688	9859007
3	Pishilata	Parroquia Pishilata, Calles Alphonse de Lamartine y Aloys Senefelder; Inidad de Policía Comunitaria	769346	9861129
4	Ambatillo	Parroquia Ambatillo, Vía Ambato Quisapincha; Parque Provincial de la Familia	760704	9862085
5	Izamba	Parroquia Izamba, Calles Pedro Vásconez e Indoamérica	767279	9864350
6	Parque Industrial.	Parroquia Izamba, Ciudadela Amazonas, calles Baeza u Nueva Loja	767973	9868152

Fuente: Villacís 2014

En la página web de la Dirección de Gestión Ambiental de la Municipalidad de Ambato (2015), se menciona que: “Producto del Convenio de Cooperación

¹¹ Las coordenadas se han tomado de Villacís, 2014.

Institucional entre la Secretaría de Ambiente del Municipio descentralizado Metropolitano de Quito y el Gobierno autónomo descentralizado municipalidad de Ambato, se establece el Proyecto de Optimización de Monitoreo de la Calidad del Aire presente en la Agenda Ambiental, el cual involucra asuntos relativos al diagnóstico, investigación y monitoreo del aire en la ciudad de Ambato”. Se menciona que los contaminantes que se van a monitorear son: Mensualmente SO₂, NO₂, BTX¹² y material sedimentable; quincenalmente O₃ (Ozono troposférico) y COVs. Finalmente se menciona que los puntos donde se colocaron las estaciones de monitoreo pasivo son: Edificio del Mercado Modelo [...], Edificio del Parque Provincial de la Familia [...], Parroquia Pishilata [...] edificación de la UPC, Redondel de Izamba, Barrio Amazonas, colindante al Parque Industrial [...].

La estación de monitoreo de Ambato que se plantea diseñar debe incluir estaciones de monitoreo pasivo, en lo posterior activo o automático.

Los criterios para el diseño de la estación serán los establecidos por la EPA referentes a cobertura de las estaciones, además deberán considerarse los parámetros de diseño de las Redes contemplados en los Manuales que exponen buenas prácticas de Monitoreo de Calidad del Aire, elaborados por el Instituto Nacional de Ecología de México, a Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (US-EPA), el Colegio de Ingenieros Ambientales de México.

Los criterios generales para el diseño de acuerdo a la literatura mencionada son:

- Características de la localidad en donde se instalará la red de monitoreo.
- Criterios de cobertura (Micro, local, Vecinal, ciudad, regional)¹³
- Ubicación de las estaciones y número de estaciones (en función de los tipos de fuentes que predominan).

¹² BTX es el significado de Benceno, Tolueno y Xileno

¹³ Fuente: Manual 3. Redes, Estaciones y Equipos de Medición de la Calidad del Aire, INE, 2010.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados que se muestran en el presente capítulo corresponden a las etapas descritas en el capítulo III.

4.1 Alcance 1: Alcance Geográfico del estudio

El estudio incluye un área total de 124,69 Kilómetros cuadrados. El área tiene un Radio de 6,3 Kilómetros considerando como centro el Parque Cevallos hasta el Parque Industrial.

En esta área se incluye el área urbana consolidada de aproximadamente 11, 55 km² si del mismo modo se considera como centro el Parque Cevallos hasta el inicio del Terminal terrestre.

El estudio incluye las Parroquias urbanas de:

- La Matriz
- San Francisco
- La Merced
- Atocha Ficoa
- Huachi Loreto

4.2 Alcance 2: Alcance por Fuentes de Emisión.

El estudio incluye a las fuentes móviles de emisión es decir a los vehículos que circulan por la urbe.

La distribución del Parque Automotor se muestra en la tabla 41 que se muestra a continuación:

Tabla 41:
Distribución Vehicular a efectos del Inventario.

Tipo de Vehículo (Código)	Descripción detallada
LIV G:	vehículos particulares livianos a gasolina de entre 5 y 7 plazas, con un peso neto inferior a 3 toneladas (3 t)
TAXG	taxi, vehículos livianos de servicio público a gasolina, destinados al transporte de pasajeros, de entre 5 y 7 plazas, con un peso neto inferior a 2 t
BUTG	Furgonetas y buses pequeños de hasta 25 plazas a gasolina destinados en su mayoría al transporte escolar
BUSG	Vehículos a gasolina destinados al transporte de pasajeros, de más de 32 plazas y con un peso neto superior a 3t
PIC G	Camionetas de una o doble cabina a gasolina, de menos de 2t de peso neto vehicular
PESG	Vehículos de transporte de carga a gasolina, peso neto superior a 3t
LIVD	vehículos particulares livianos a diesel de entre 5 y 7 plazas, con un peso neto inferior a 3 toneladas (3 t)
TAXD	vehículos de servicio público a diesel, destinados al transporte de pasajeros, de entre 5 y 7 plazas, con un peso neto inferior a 2 t
BUTD	Furgonetas y buses pequeños de hasta 25 plazas a diesel destinados en su mayoría al transporte escolar
BUSD	Vehículos a diesel destinados al transporte de pasajeros, de más de 32 plazas y con un peso neto superior a 3t
PESD	Vehículos de transporte de carga a diesel, de peso neto superior a 3t
MOT G	Motos a gasolina

Elaborado por: Autor

Esta clasificación vehicular es necesaria debido a que los factores de emisión serán los empleados en el Inventario de Emisiones del Distrito Metropolitano de Quito elaborado por la Corpaire en el año 2005, el “Inventario de Emisiones de Contaminantes y de Efecto Invernadero 2012 de la Zona Metropolitana del Valle de México”, elaborado por la Secretaría de Medio Ambiente de México (SEDEMA), los propuestos por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (US-EPA, 2004) y lo que establece el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC-1996, IPCC-2006)¹⁴

Para mostrar en número de vehículos que se agrupan en cada una de las categorías vehiculares descritas en la tabla 41, se revisaron las fuentes de información descritas en el apartado 3.5.3 del presente estudio; los resultados obtenidos se pueden observar en la Figura 16 que se muestra a continuación.

¹⁴ IPCC. Revised Guidelines for National Greenhouse Gas Inventory, 1996 y 2006.

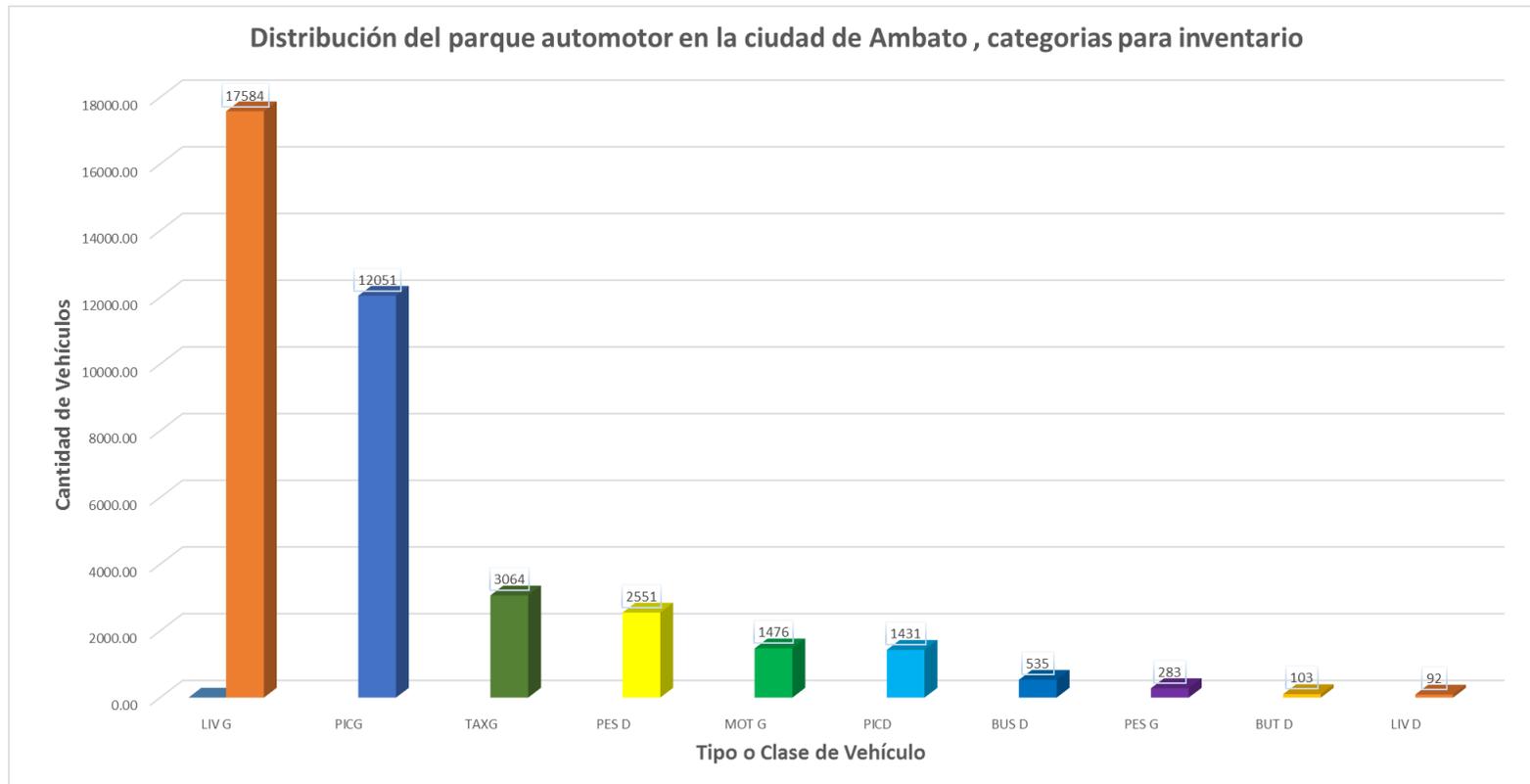


Figura 16: Distribución del Parque Automotor, Año base 2013

Elaborado por: Autor

A continuación en la tabla 42 se muestra la distribución del parque automotor.

Tabla 42:

Distribución del Parque Automotor al 2013, Tipo y Año, Modelo (Tabla A1)

Año modelo	LIV G	TAXG	BUT G	PICG	PES G	LIV D	BUT D	BUS D	PICD	PES D	MOT G	TOTAL
TOTAL	17584	3064	196	12051	283	92	103	535	1431	2551	1476	39366
% Representación	44,67	7,78	0,50	30,61	0,72	0,23	0,26	1,36	3,64	6,48	3,75	100,00

Elaborado por: Autor

4.3 Alcance 3: Alcance por contaminantes incluidos.

Como se mencionó en el capítulo IV en el presente estudio se incluyen los siguientes contaminantes:

- Material Particulado: PM₁₀ (materia en partículas menor a 10 micrómetros (µm))
- Material Particulado PM_{2,5} (materia en partículas menor a 2,5 micrómetros (µm))
- El monóxido de carbono (CO)
- Óxidos de nitrógeno (NO)
- Hidrocarburos (HC)
- Compuestos Orgánicos volátiles (COVs)

4.4 Resultados del estudio de Campo

El estudio de campo se divide en cuatro etapas que son:

- V) Inventario Vehicular
- VI) Obtención de la Actividad Vehicular, rendimiento, kilómetros recorridos al año.
- VII) Cálculo de los valores de emisión
- VIII) Mapas temáticos de emisión

4.4.1 Resultados del Inventario Vehicular.

La actividad vehicular se ha incrementado de forma notable en los últimos años debido a varios factores: los factores que se mencionan son el fácil acceso a fuentes de financiamiento de vehículos, la presencia de concesionarios, entre otros

Los vehículos que circulan por la urbe se distribuyen de acuerdo a la tabla 43, en la misma tabla se puede observar el aporte a la contaminación que cada categoría de vehículo representa en relación al total.

Tabla 43:

Composición del Parque automotor de Ambato, año 2013 y aportes a la contaminación

Categoría Vehicular	# Vehículos	Actividad Individual [Km/año]	Actividad Total [Km/año]	PM10		PM 2,5		NOx		CO		HC		COVs	
				Emisión Total [t/año]	% de Aporte										
Buses Urbanos (BUSD)	436	59335,1	25870103,6	25,34	43,07	14,80	42,99	338,74	30,28	423,46	7,86	139,61	16,00	82,55	16,18
Buses Intracantoniales (BUSD)	56	59335,1	3322765,6	3,25	5,53	1,90	5,52	43,51	3,89	54,39	1,01	17,93	2,06	10,60	2,08
Taxis (TAXG)	2419	78880	190810720	3,65	6,21	1,77	5,15	341,33	30,51	3974,25	73,78	513,41	58,86	326,40	63,98
Buses Escolares (BUTD)	269	26718,9	7187384,1	0,96	1,63	0,89	2,57	9,78	0,87	21,44	0,40	9,79	1,12	11,63	2,28
Carga Pesada (PESD)	478	54272	25942016	25,27	42,96	14,89	43,23	339,68	30,36	422,95	7,85	139,97	16,05	60,29	11,82
Carga Liviana (PICG)	711	25116	17857476	0,35	0,59	0,18	0,53	45,70	4,09	490,04	9,10	51,60	5,92	18,66	3,66
Emisión Total				58,83		34,43		1118,74		5386,53		872,32		510,13	

Elaborado por: Autor

De la tabla anterior y la figura 17 se deduce que por la urbe circulan un total de 4369 vehículos de los cuales 436 son Buses Urbanos, estos representan al 9,98 % del total de vehículos que circulan; los buses emiten 423,46 Toneladas al año [t/año] de Monóxido de Carbono (CO), los taxis a gasolina TAXG representan el 55,37 % del total de vehículos que circulan por la Urbe y emiten 3974,25 Toneladas al año [t/año]. De material particulado PM₁₀ se emiten un total de 58,83 Toneladas al año (t/año), de las cuales los buses urbanos emiten 25,34 Toneladas al año es decir el 43,07 % de este contaminante, algo similar pasa con el PM_{2,5}. El contaminante que más se emite en la urbe producto de la actividad vehicular es el Monóxido de Carbono con un total de 5386,53

Toneladas al año (t/año), en segundo lugar están los Óxidos de Nitrógeno (NO_x) con un total de 1118,74 Toneladas al año [t/año], en tercer lugar están los Hidrocarburos HC con un total de 872 Toneladas al año [t/año], el contaminante que menos se emite por acción de la actividad vehicular es el Material particulado menor a 2,5 micras PM_{2,5} con un total de 34,43 Toneladas al año [t/año]. Varios pueden ser los análisis que se hagan en cuanto a la composición vehicular en la urbe, esta composición vehicular puede considerarse en porcentajes y cantidades para relacionar con las emisiones que cada categoría vehicular genera. Este tipo de análisis pueden aportar a generar políticas de gestión ambiental que vayan encaminadas a reducir las emisiones de uno u otro contaminantes. La distribución vehicular en la zona de estudio se observa en la figura 17.

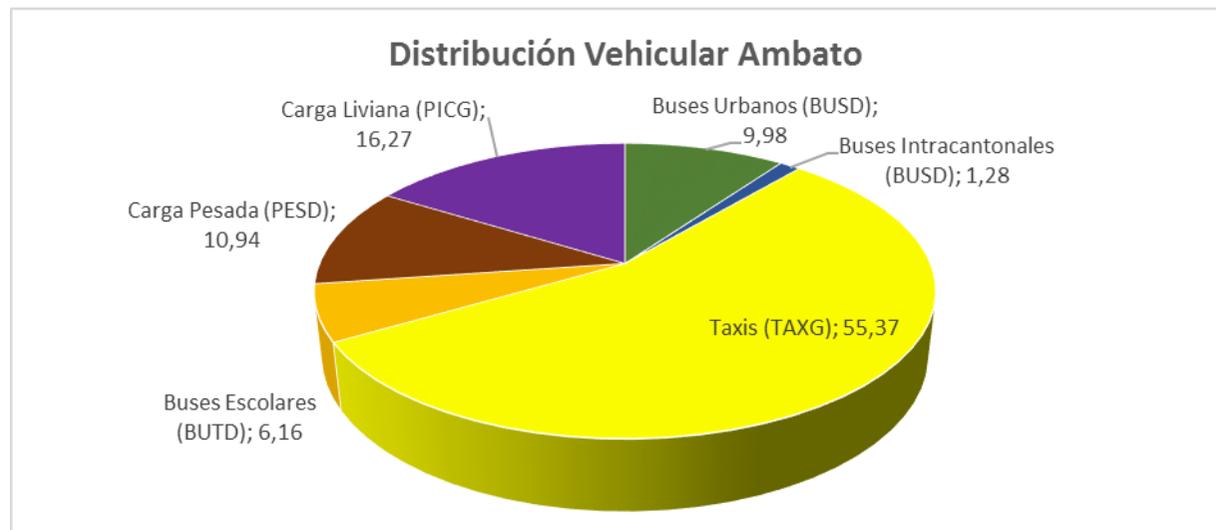


Figura 17: Composición del Parque automotor en Ambato, porcentajes
Elaborado por: Autor

La composición vehicular en la zona de estudio expresada en cantidades se puede observar en la Figura 18.

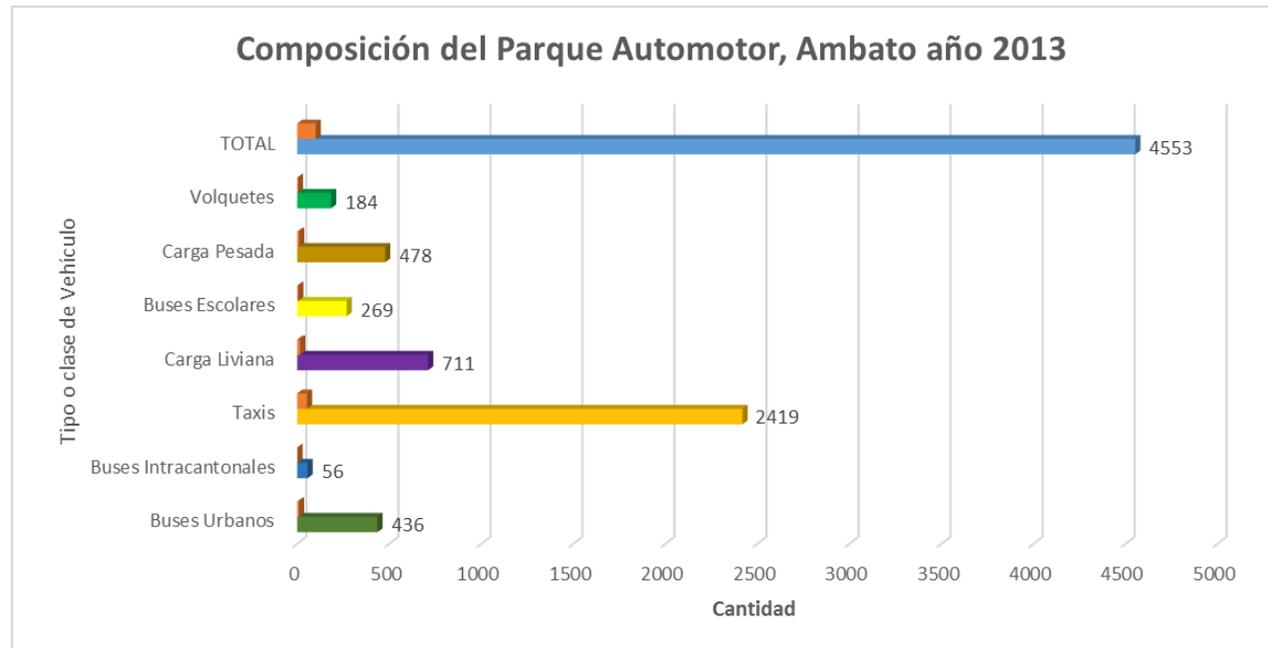


Figura 18: Composición del Parque automotor en Ambato, valores
Elaborado por: Autor

Como se puede observar en la figura 18 de un total de 4553 vehículos, 2419 son Taxis que representan al 53,13 % de los vehículos, 711 vehículos son de Carga Liviana lo que representa el 15,62 %, 478 son vehículos de carga pesada ósea el 10,5 %, 436 son Buses Urbanos (el 9,58%), 269 son Buses escolares (el 5,91%), 184 son Volquetes (el 4,04%) y 56 son buses Intercantoniales lo que representa el 1,23%.

4.4.2 Actividad Vehicular, rendimiento, kilómetros recorridos al año.

A través de encuestas a los conductores, como ya se mencionó en el apartado 3.7.1 del presente estudio, se procedió a obtener los datos de:

- **Actividad vehicular:** Kilómetros al día (km/día), kilómetros al año (km/a)
- **Rendimiento Vehicular:** Kilómetros recorridos por galón consumido (Km/gal)

Se aplicaron un total de 187 encuestas (El modelo de encuesta se muestra en el Anexo 2) distribuidas de acuerdo a lo que muestra la tabla 44 que se muestra a continuación:

Tabla 44:
Encuestas aplicadas

CLASE DE VEHICULO	ENCUESTAS APLICADAS
BUSES URBANOS	43
BUSETAS	22
TAXIS	75
PESADOS	35
MOTOS	12
TOTAL ENCUESTAS	187

Elaborado por: Autor

Los resultados de las encuestas se muestran en la tabla 45:

Tabla 45:

Resultados de Actividad vehicular individual

Promedio de Kilómetros recorridos al día(Actividad Vehicular: Km/día)										
LIV G	TAXG	BUT G	PICG	PESG	LIV D	BUT D	BUS D	PIC D	PESD	MOT G
47	232	92	78	297	45	93	187	63	256	37
Número de días Laborados al año, por cada clase de vehículo (Días/año)										
LIV G	TAXG	BUT G	PICG	PESG	LIV D	BUT D	BUS D	PIC D	PESD	MOT G
325,00	340,00	292,00	322,00	199,00	314,00	287,30	317,30	337,00	212,00	295,00
Actividad Vehicular (Kilómetros al año: Km/año)										
LIV G	TAXG	BUT G	PICG	PESG	LIV D	BUT D	BUS D	PIC D	PESD	MOT G
15275	78880	26864	25116	59103	14130	26718,9	59335,1	21231	54272	10915

Elaborado por: Autor

La tabla 45 muestra que los Taxis a Gasolina recorren en el día un promedio de 232 Kilómetros al día [Km/día] y laboran un promedio de 340 días al año lo que genera una actividad vehicular individual de 78880 Kilómetros al año [Km/año], esto significa que su actividad es superior a cualquier otra categoría vehicular. En segundo lugar de actividad vehicular están los Buses diésel (BUSD) con 59335,1 Kilómetros al año [Km/año], en tercer lugar se encuentran los pesados a gasolina (PESG) con 59103 Kilómetros al año [Km/año]. La diferencia en cuanto a la cantidad de vehículos entre una y otra categoría determina que las emisiones sean representativas no solo por la actividad individual sino por la actividad total, esto se puede verificar en la tabla 42.

A fin de visualizar la actividad vehicular individual se presenta la figura 19 que se muestra a continuación:

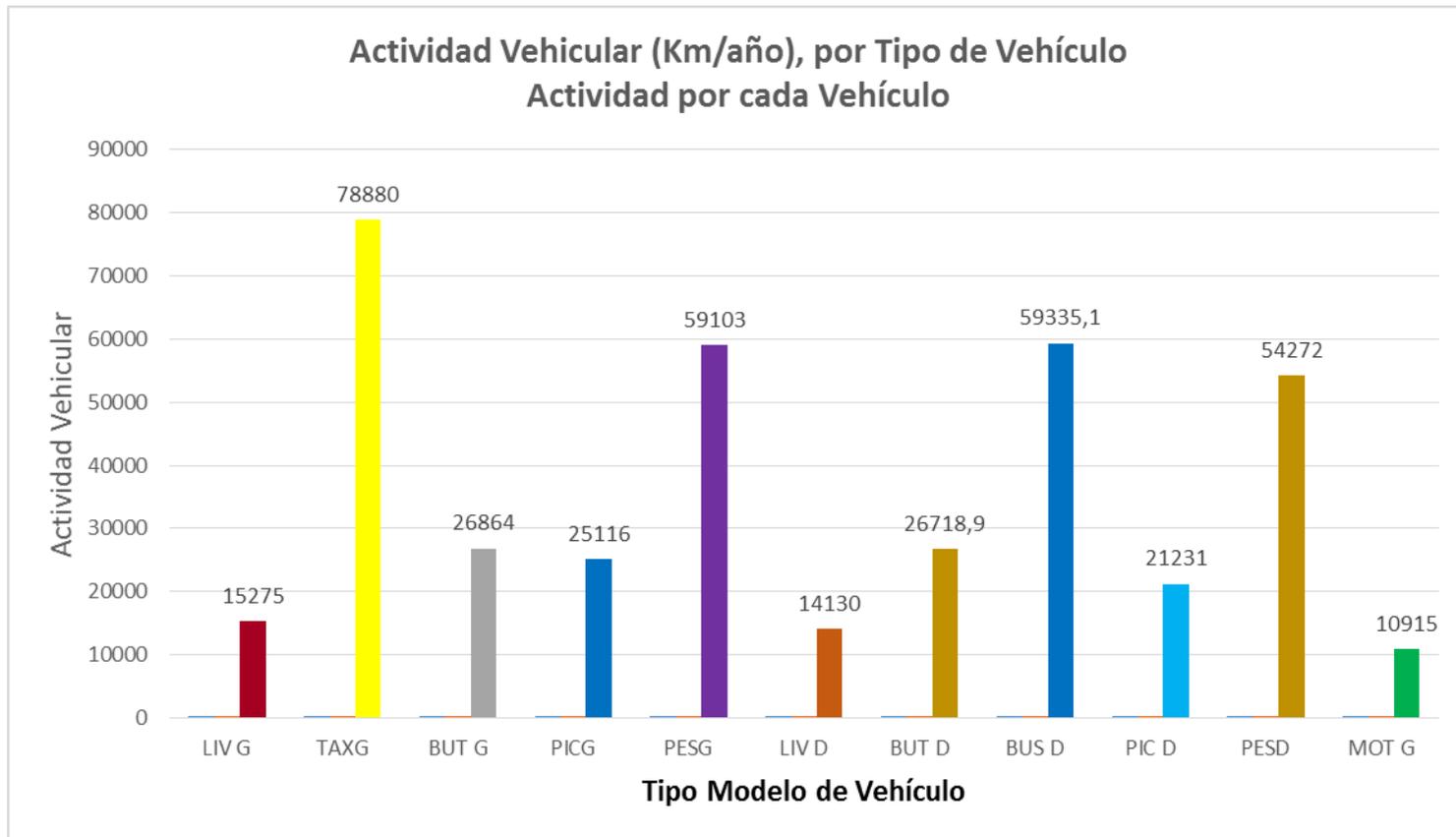


Figura 19: Actividad Vehicular Individual (AVI), kilómetros al año.

Elaborado por: El Autor.

De la figura anterior se puede observar que los vehículos que tienen mayor actividad en el año son los Taxis a gasolina (TAXG) con un promedio total de 78880 Km/año, seguidos por los Buses a Diésel (BUSD) con 59335,1 kilómetros al año (Km/año), los que menos actividad representan son las motos a gasolina (MOTG) con un total 10915 kilómetros al año. La actividad de los vehículos restantes puede apreciarse en la tabla 45 y la figura 19 respectivamente.

Actividad total de Parque Automotor.

A fin de obtener la actividad total del Parque automotor presente en la ciudad de Ambato es necesario multiplicar los Valores de la Tabla A1 (datos de inventario vehicular) por los datos de actividad vehicular individual mostrados en la tabla 46.

Los resultados obtenidos reflejan lo siguiente:

Tabla 46:

Actividad vehicular total

Tabla A2												
Actividad por categoría Vehicular (kilómetros/año; Km/año)												
por tipo de vehículo, año modelo para la ciudad de Ambato, Año base 2013												
Año modelo	LIV G	TAXG	BUT G	PICG	PES G	LIV D	BUT D	BUS D	PICD	PES D	MOT G	TOTAL
TOTAL	268595600	215928295	5068331	297791780	16331697	1304540	2660495,5	30422475,5	28636453	133417259	16154140	1016311066
%	26,43	21,25	0,50	29,30	1,61	0,13	0,26	2,99	2,82	13,13	1,59	100
<=1979	7943000	0	0	28556892	2896047	70650	0	0	42462	11777024	43660	1934
1980	1970475	0	0	4144140	827442	0	0	0	0	3256320	21830	10220207
1981	1939925	0	0	4797156	827442	0	0	0	0	3039232	120065	10723820
1982	2092675	0	0	653016	177309	0	0	0	42462	1736704	54575	4756741
1983	1191450	0	0	175812	0	0	0	0	0	54272	54575	1476109
1984	1023425	0	0	502320	0	0	0	0	0	325632	10915	1862292
1985	1451125	0	0	703248	0	28260	0	0	21231	1682432	76405	3962701

Elaborado por: Autor

Tabla 46:

Actividad vehicular total (continuación)

1986	1634425	0	0	1381380	118206	0	0	0	0	814080	54575	4002666
1987	1680250	0	0	2737644	236412	0	0	0	0	1465344	10915	6130565
1988	2993900	0	0	1682772	236412	0	0	0	21231	1085440	43660	6063415
1989	5651750	0	0	2235324	236412	0	0	0	21231	868352	43660	9056729
1990	5147675	0	0	3566472	236412	14130	0	0	0	1573888	54575	10593152
1991	5712850	0	0	4294836	354618	0	0	0	0	2659328	43660	13065292
1992	7011225	0	0	7107828	650133	0	0	0	0	3473408	76405	18318999
1993	5682300	0	0	9895704	650133	14130	0	0	0	3256320	32745	19531332
1994	9317750	0	0	13160784	886545	0	0	0	21231	4287488	152810	27826608
1995	6339125	0	0	11151504	709236	14130	0	0	148617	3636224	120065	22118901
1996	6354400	78880	53728	7610148	531927	14130	26718,9	356010,6	42462	2605056	65490	17738950,5
1997	6384950	1183200	26864	6630624	413721	0	0	296675,5	0	2116608	76405	17129047,5
1998	8279050	4653920	80592	11126388	709236	0	26718,9	3026090,1	42462	4504576	43660	32492693
1999	5300425	2997440	26864	9117108	591030	0	26718,9	1424042,4	0	3527680	10915	23022223,3
2000	1145625	157760	26864	1356264	0	56520	0	534015,9	21231	108544	32745	3439568,9
2001	8477625	3628480	161184	10146864	236412	0	80156,7	2966755	21231	4233216	196470	30148393,7
2002	12372750	10727680	537280	15170064	650133	28260	293907,9	5280823,9	445851	9606144	349280	55462173,8
2003	10631400	9623360	564144	13763568	709236	28260	320626,8	2788749,7	424620	6349824	643985	45847773,5

Elaborado por: Autor

Tabla 46:

Actividad vehicular total (continuación)

2004	9959300	7809120	644736	10950576	472824	28260	347345,7	3975451,7	530775	5535744	982350	41236482,4
2005	12678250	17984640	698464	14064960	531927	42390	374064,6	2195398,7	679392	5535744	1047840	55833070,3
2006	13579475	15144960	80592	14215656	413721	113040	53437,8	1305372,2	743085	6295552	1440780	53385671
2007	10203700	12857440	161184	12482652	413721	240210	80156,7	1186702	636930	5644288	1528100	45435083,7
2008	9241375	13409600	295504	12281724	236412	84780	160313,4	890026,5	1252629	4993024	1975615	44821002,9
2009	14190475	31552000	510416	14843556	295515	183690	267189	771356,3	3545577	6078464	2979795	75218033,3
2010	23080525	26898080	241776	20042568	413721	197820	133594,5	296675,5	5647446	8303616	3427310	88683132
2011	15733250	27371360	376096	10548720	295515	42390	187032,3	1424042,4	5265288	5915648	98235	67257576,7
2012	13610025	23664000	322368	9117108	236412	42390	160313,4	1246037,1	4543434	5101568	87320	58130975,5
2013	18589675	6186375	259675	7576400	137475	61100	122200	458250	4475575	1970475	152750	39989950
TOTAL	268595600	215928295	5068331	297791780	16331697	1304540	2660495,5	30422475,5	28636453	133417259	16154140	1016311066
Año modelo	LIV G	TAXG	BUT G	PICG	PES G	LIV D	BUT D	BUS D	PICD	PES D	MOT G	

Elaborado por: Autor

En la figura 20 se muestra a modo de resumen la Actividad Vehicular Total (AVT) de cada categoría vehicular

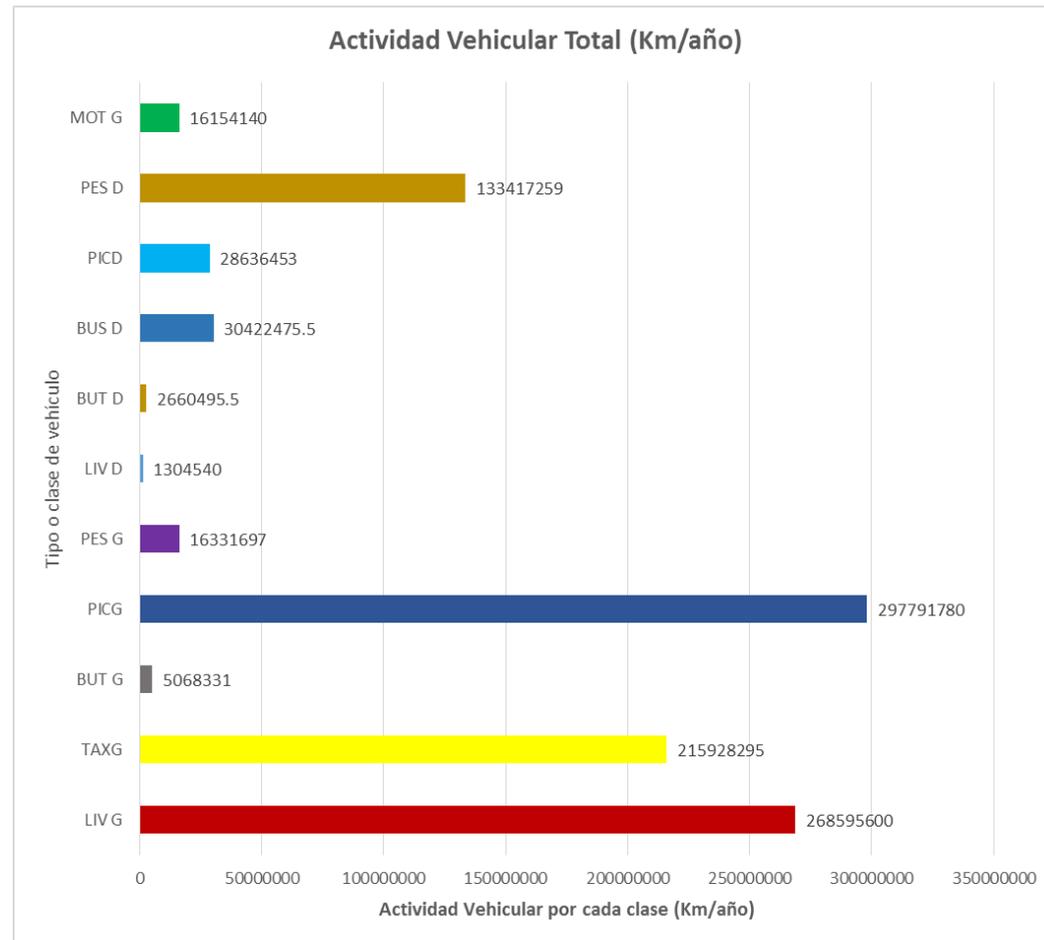


Figura 20: Actividad Vehicular Individual Total (AVT)

Elaborado por: Autor

La actividad vehicular total (AVT) muestra que en casos como los vehículos livianos a gasolina (LIVG) tienen actividad vehicular individual baja: 15275Km/año (ver figura 20), debido a su número elevado 17584 unidades (de acuerdo a la Tabla A1 del método, u actividad vehicular total (Km/año) sea representativa y esté en segundo lugar con 268595600 Km/año, solo después de los Vehículos denominados PICG que aunque tienen una actividad vehicular individual de 25116 Km/año y ser un total de 12051 unidades, esto determina que su Actividad Vehicular Total sea de 268595600 Km/año.

Esto evidencia que la actividad vehicular total es una función del número de unidades por clase de vehículo y de la actividad vehicular individual en Km/año.

Es decir:

$$\mathbf{AVT = AVI \times U} \quad \mathbf{[5]}$$

Donde:

AVT = Actividad vehicular Total o Kilómetros recorridos al año (Km/año)

U = Número de unidades por cada clase de vehículo (unidades)

AVI = Actividad vehicular Individual o Kilómetros recorridos al año por cada clase de vehículo (Km/año)

Rendimiento Vehicular (RV)

Se refiere a los kilómetros recorridos por galón de combustible consumido, se obtuvo producto de las encuestas y de datos que proporcionan los fabricantes de vehículos. Las encuestas buscan ajustar los datos generales a la realidad de la ciudad de Ambato.

El rendimiento vehicular individual está de acuerdo a la tabla 47, la cual se muestra a continuación.

Tabla 47:
Rendimiento Vehicular

Rendimiento Vehicular Km/gal										
LIV G	TAXG	BUT G	PICG	PESG	LIV D	BUT D	BUS D	PIC D	PESD	MOT G
46,32	46,35	58,35	42	11,23	47	60	8,35	42	11,85	57

Elaborado por: Autor

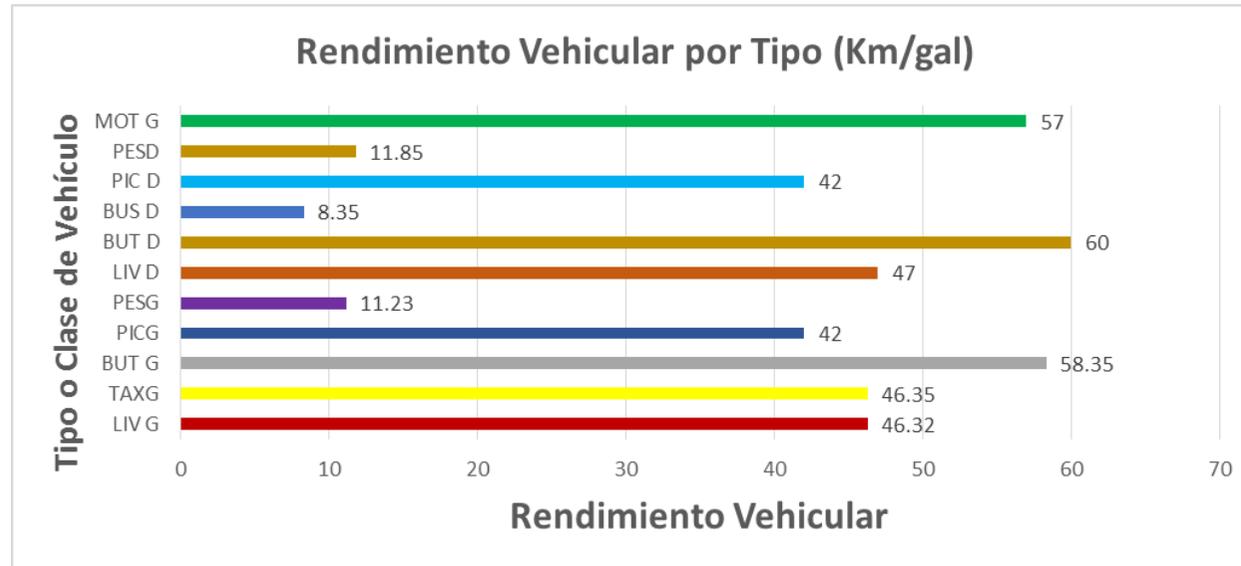


Figura 21: Rendimiento Vehicular, kilómetros por galón.

Elaborado por: Autor.

La figura 21 muestra que el rendimiento vehicular (RV) oscila entre valores máximos de 60 Km/gal para la clase de vehículos denominados BUTD (furgonetas de hasta 25 plazas [...]) hasta valores mínimos de 8,35 km/gal para la clase de vehículo denominada BUSD (vehículos de transporte destinados al transporte de más de 32 pasajeros [...]), pasando por el rendimiento de los taxis a gasolina (TAXG) con 46,35 km/gal.

Consumo Total de Combustible (CTC)

El consumo de total combustible producto de la presencia vehicular en la urbe y producto de la actividad vehicular, este valor, se obtiene producto de la Actividad y rendimiento Vehicular.

$$\text{CTC} = \text{AVT/RV}$$

[6]

Los resultados de esta operación se muestran en la tabla 48:

Tabla 48:

Consumo de combustible por clase vehicular

TABLA CONSUMO DE COMBUSTIBLE												
Consumo de combustible al año en galones al año (gal/año)												
por tipo de vehículo, año modelo de vehículo para la ciudad de Ambato												
Año modelo	LIV G	TAXG	BUT G	PICG	PES G	LIV D	BUT D	BUS D	PICD	PES D	MOT G	TOTAL
TOTAL	5813757,58	4658647,14	86860,86	7090280,48	1454291,81	27756,17	44341,59	3643410,24	681820,31	11258840,42	283405,96	35043412,56
% Representación	16,59	13,29	0,25	20,23	4,15	0,08	0,13	10,40	1,95	32,13	0,81	100,00

Elaborado por: Autor

De la tabla 48 se determina que el parque automotor de la ciudad de Ambato consume un total de 35043412,56 galones al año [gal/año], de combustible, entre diésel y gasolina; de ese combustible la categoría vehicular denominada Pesados Diesel (PESD) consume 11258840,96 galones al año [gal/año], es decir el 32,13 % del total de combustible consumido. En segundo lugar está la categoría vehicular denominada Pick Up a gasolina (PICG) misma que consume un total de 7090280,48 galones al año [gal/año], lo que representa el 20,23 % del total de combustible consumido. El consumo de otras categorías vehiculares se puede deducir de la misma tabla.

A continuación en la tabla 49 se muestra el consumo total de combustible por tipo sea este gasolina o diésel.

Tabla 49:

Consumo de combustible por clase de combustible

Tipo de Combustible	Galones Totales (gal/año)	Porcentaje (%)
Gasolina	19387243,8	55,32
Diesel	15656168,7	44,68
Total	35043412,6	100

Elaborado por: Autor

En la figura 22 que se muestra a continuación se puede observar que el parque automotor de Ambato consume un total de 35043412,6 galones al año [gal/año] de combustible, de este total 19387243,8 galones son de gasolina y 15656168,7 galones son de diésel, lo que representa el 55,32 y 44,68 % respectivamente.

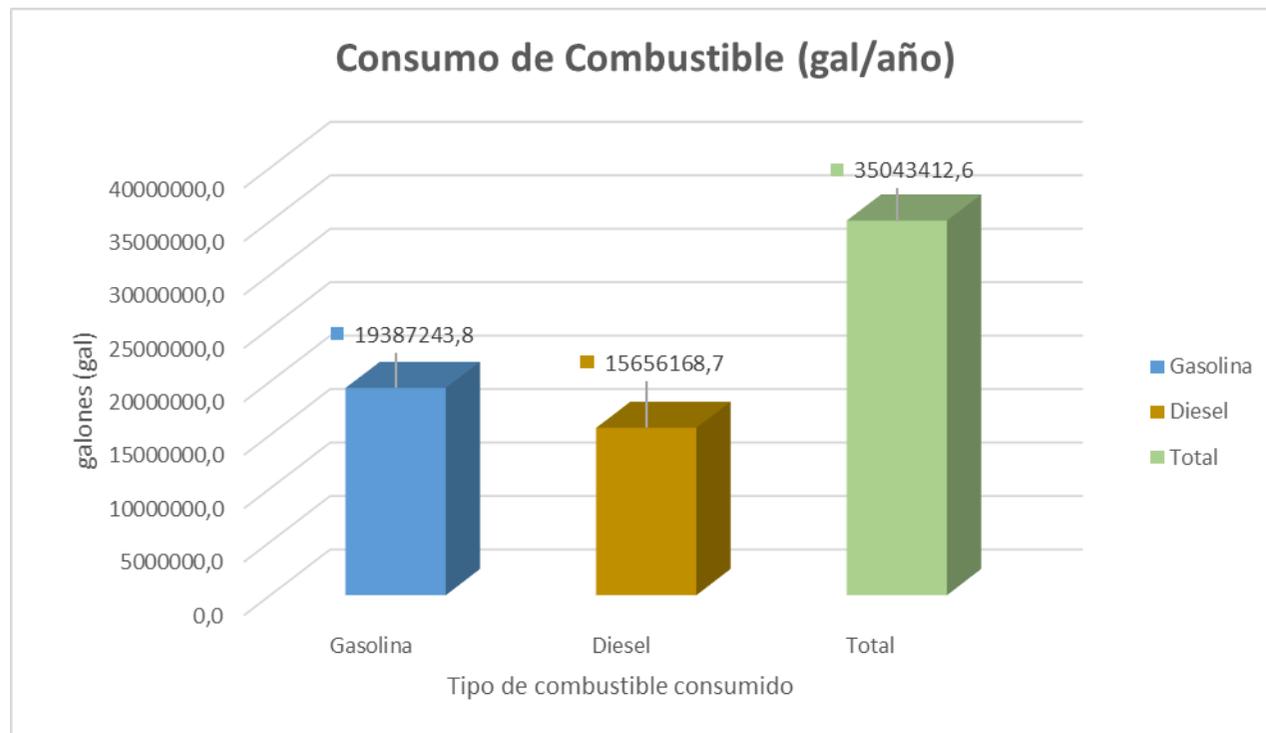


Figura 22: Consumo de combustible

Elaborado por: Autor

Como se mencionó con anterioridad, estos datos muestran que el 55,4 % del combustible que consume el parque automotor de la ciudad de Ambato es gasolina y el restante porcentaje es decir 44,6 % es Diesel.

Estos datos han sido enfrentados con los datos de despacho de la Secretaría de Hidrocarburos del Ecuador (SHE) a fin de comparar los resultados y reducir la incertidumbre del cálculo, además a través de las preguntas 4 y 6 de la encuesta a los conductores se han hecho proyecciones y comparaciones que determinaron que los datos de la Figura 22 son coherentes¹⁵

4.5 Análisis de las Emisiones Totales

Para obtener las emisiones totales provenientes del tráfico de vehículos en el área de estudio se procede a multiplicar los resultados de Actividad vehicular en Km/año de la tabla A2 por los factores de Emisión para cada tipo de contaminante mostrados en el Anexo 1.

De esta forma la Ecuación siguiente obtenida de la IPCC 199-2006 se verifica. A modo de información se deja la siguiente ecuación, cuyo análisis fue elaborado en el capítulo III.

$$Emisión = \sum_a (Combustible_a * EF_a) \quad [1]$$

Donde:

Emisión = Emisiones de CO2 (kg)

Combustible = combustible vendido (TJ)

¹⁵ A este ejercicio se lo entiende como un balance de masas

E_{Fa} = factor de emisión (kg/TJ). Es igual al contenido de carbono del combustible multiplicado por 44/12.

a = tipo de combustible (p. ej., gasolina, diesel, gas natural, GLP, etc.)

Los resultados de las emisiones totales se muestran en la tabla 48 y determinan que en la ciudad de Ambato se emitan un total de 23711,53 toneladas de contaminantes repartidos entre: CO, PM2,5, PM10, COVs, HC, NOx, que son los contaminantes considerados para el presente estudio.

La distribución por tipo de contaminante se muestra en la figura 23 y en la Tabla 50

Tabla 50:

Emisiones totales por contaminante

Tabla Resumen							
Emisiones anuales para la Ciudad de Ambato (t/a)							
FUENTES	CONTAMINANTES PRIMARIOS						TOTAL
	PM10	PM2,5	NOx	CO	HC	COVs	
Fuentes Móviles	140,12	104,9	3026,52	17108,54	2239,78	1145,82	23765,68
Porcentaje	0,59	0,44	12,73	71,99	9,42	4,82	100

Elaborado por: Autor

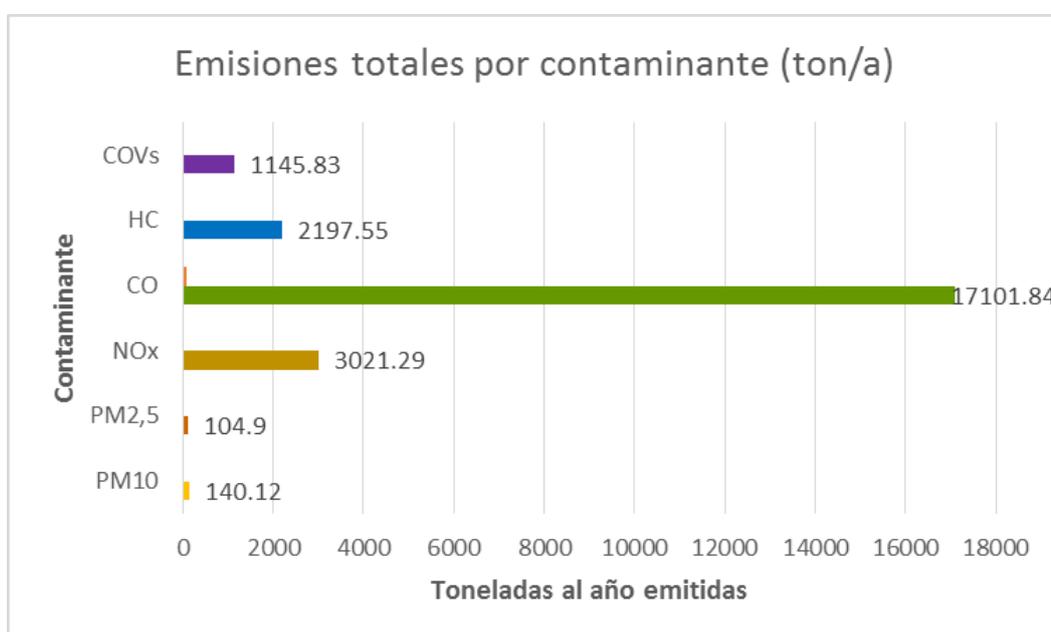


Figura 23: Emisiones totales por contaminante

Elaborado por: Autor

De lo anterior se desprende que el 72, 12 % de las emisiones generadas por el parque automotor de la ciudad sean de CO, es decir 17101,84 t/a, seguidas de 3021, 29 ton/a de NOx que representan el 12,74 %. Los valores más bajos de emisión corresponden a PM₁₀ y PM_{2,5} con 140,12 y 104 ton/a respectivamente. Sin que ello signifique que en el aire no haya mayor presencia de PM₁₀ y PM_{2,5} producto de fuentes fijas como canteras y fábricas de bloques o ladrillos, sin embargo esas fuentes serían fuentes fijas.

4.6 Análisis de la distribución espacial de las emisiones

4.6.1 Tráfico vehicular

Para distribuir las emisiones en el área de estudio fue necesario efectuar campañas de conteo o aforo vehicular para distribuir el total de vehículos en el área de estudio de forma que los mapas temáticos fueran representativos.

El parámetro para distribuir el tráfico vehicular fue la Intensidad Media Diaria (IMD) obtenida de las campañas de medición.

A continuación en la tabla 51 se muestran los 10 lugares de la zona de estudio que cuentan con valores de intensidad media diaria (número de vehículos que circulan por el lugar) más elevados.

Tabla 51:

Lugares con mayor tráfico vehicular

Nro	Descripción del Lugar (Dirección)	Código del Lugar	Intensidad Media Diaria en el lugar (IMD), [Vehículos/día]
1	Redondel del Mercado Mayorista Paso lateral	R	34480
2	Trece de Abril y Urdaneta	H3	27140
3	Trece de Abril	H2	26944
4	Luis A. Martínez y Doce de Noviembre	H8	26660
5	Parque Industrial Primera Etapa	S	26585
6	Huachi Grande Salida a Riobamba	T	25352
7	Oriente y Quis-Quis	H10	24505
8	Yahaira y Francisco Flor	G1	23781
9	Av. Pedro Fermín Cevallos y Eugenio Espejo	K1	23544
10	Eugenio espejo y Doce de Noviembre	H15	23505

Elaborado por: Autor

De la tabla anterior se desprende que en la ciudad de Ambato en sitios de ingreso o tránsito por la ciudad como el redondel del Mercado Mayorista circulan unos 34480 vehículos al día (v/día), el lugares de salida de la ciudad en dirección norte sur como el sector de Huachi grande salida a Riobamba circulan unos 25352 vehículos al día. Ya en la ciudad dentro del área específica de estudio en la Trece de Abril y Urdaneta (código H13, ver capítulo III) circulan diariamente unos 27140 vehículos al día.

La distribución del Parque automotor por las calles y vías de la ciudad puede verse en el Mapa de Tráfico vehicular (anexo 3).

4.6.2 Análisis General de la distribución de las emisiones.

Las emisiones de monóxido de carbono representan un total de 17101,84 ton/a, en el mapa temático emisiones de CO se puede evidenciar que los sitios de Huachi Grande, Mercado Mayorista y Parque Industrial con los sitios en donde se generan valores mayores de emisión de 443,19; 716,063; y 627,925 ton/a respectivamente.

De acuerdo a los datos de meteorología expuestos en el apartado 3.4.1; la dirección del viento predominante es la SSE por lo que los contaminantes tienden a dispersarse en este sentido.

Observando los mapas de emisión se puede evidenciar que hay sitios en la ciudad de Ambato como: Yahaira y Francisco Flor (Lugar G1), Juan Montalvo y Av. Pedro Fermin Cevallos (H5), Av. Doce de Noviembre y Av. El Rey (J4), Av. Los Shyris y Av. Quis Quis (E1), Luis A. Martinez y Doce de Noviembre (H8), en donde se concentran en mayor grado los valores de emisión y eso lo reflejan los mapas temáticos levantados.

4.6.3 Análisis comparativo del aporte a las emisiones por categoría vehicular.

A fin de analizar el aporte a la contaminación que cada categoría vehicular representa a continuación se muestran la tabla 52 y la figura 24.

Tabla 52: Aporte a la contaminación por categoría vehicular.

Contaminantes	Categoría Vehicular	# Vehiculos	PM10		PM 2,5		NOx		CO		HC		COVs	
			Emisión Total [t /año]	% de Aporte	Emisión Total [t /año]	% de Aporte	Emisión Total [t /año]	% de Aporte	Emisión Total [t /año]	% de Aporte	Emisión Total [t /año]	% de Aporte	Emisión Total [t /año]	% de Aporte
	Buses Urbanos (BUSD)	436	25,34	43,07	14,80	42,99	338,74	30,28	423,46	7,86	139,61	16,00	82,55	16,18
	Buses Intracantonales (BUSD)	56	3,25	5,53	1,90	5,52	43,51	3,89	54,39	1,01	17,93	2,06	10,60	2,08
	Taxis (TAXG)	2419	3,65	6,21	1,77	5,15	341,33	30,51	3974,25	73,78	513,41	58,86	326,40	63,98
	Buses Escolares (BUTD)	269	0,96	1,63	0,89	2,57	9,78	0,87	21,44	0,40	9,79	1,12	11,63	2,28
	Carga Pesada (PESD)	478	25,27	42,96	14,89	43,23	339,68	30,36	422,95	7,85	139,97	16,05	60,29	11,82
	Carga Liviana (PICG)	711	0,35	0,59	0,18	0,53	45,70	4,09	490,04	9,10	51,60	5,92	18,66	3,66
	Totales	4369	58,83		34,43		1118,74		5386,53		872,32		510,13	

Elaborado por: Autor

En la tabla anterior se puede observar que por el área de estudio circulan un total de 4369 vehículos, 2419 son taxis a gasolina (TAXG) es decir el 55,36%; convirtiéndose en la categoría vehicular más representativa; además circulan 436 Buses Urbanos (BUSD) los que representan al 9,98% del total de vehículos.

Se observa además que los Taxis a Gasolina emiten 3974,25 toneladas al año de CO lo que representa el 73,78% del total de toneladas emitidas, de este modo podríamos analizar el aporte en toneladas y en porcentaje de cada categoría vehicular.

A fin de visualizar mejor los valores y porcentajes de aporte a continuación se muestra la figura 24.

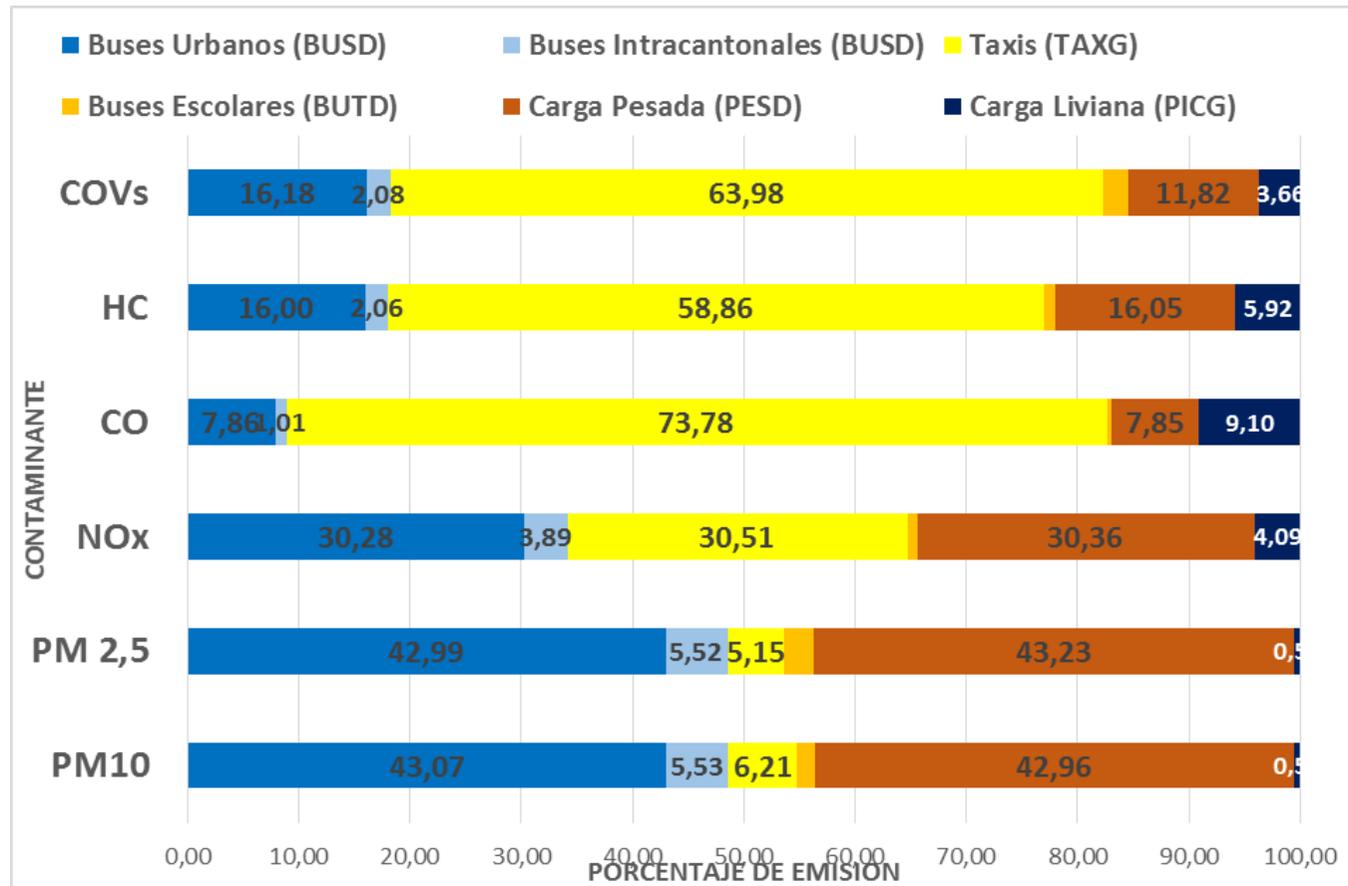


Figura 24: Aportes a la contaminación por cada categoría vehicular

Elaborado por: Autor

4.7 Diseño Preliminar de la red de Monitoreo.

De acuerdo a los resultados obtenidos en las emisiones la Red de Monitoreo de Calidad del Aire para el Área Urbana de la Ciudad de Ambato deberá contar con al menos 7 estaciones fijas de monitoreo, las mismas que podrán contar con equipos automáticos para monitoreo.

La configuración general de la red se muestra en la siguiente figura:

Contará con 7 estaciones:

- E1: Av. Los Shyris y Av. Quis Quis
- E2: Juan Montalvo y Pedro Fermín Cevallos
- E3: Av. Doce de Noviembre y Av. El Rey
- E4: Estación Hospital del IESS
- E5: Estación Parque Industrial
- E6: Estación Mercado Mayorista
- E7: Estación Huachi Grande

En la figura 24 que a continuación se muestra se puede observar la distribución geográfica de las estaciones de monitoreo de la ciudad de Ambato, mismas que deberán conformar la red preliminar de monitoreo.

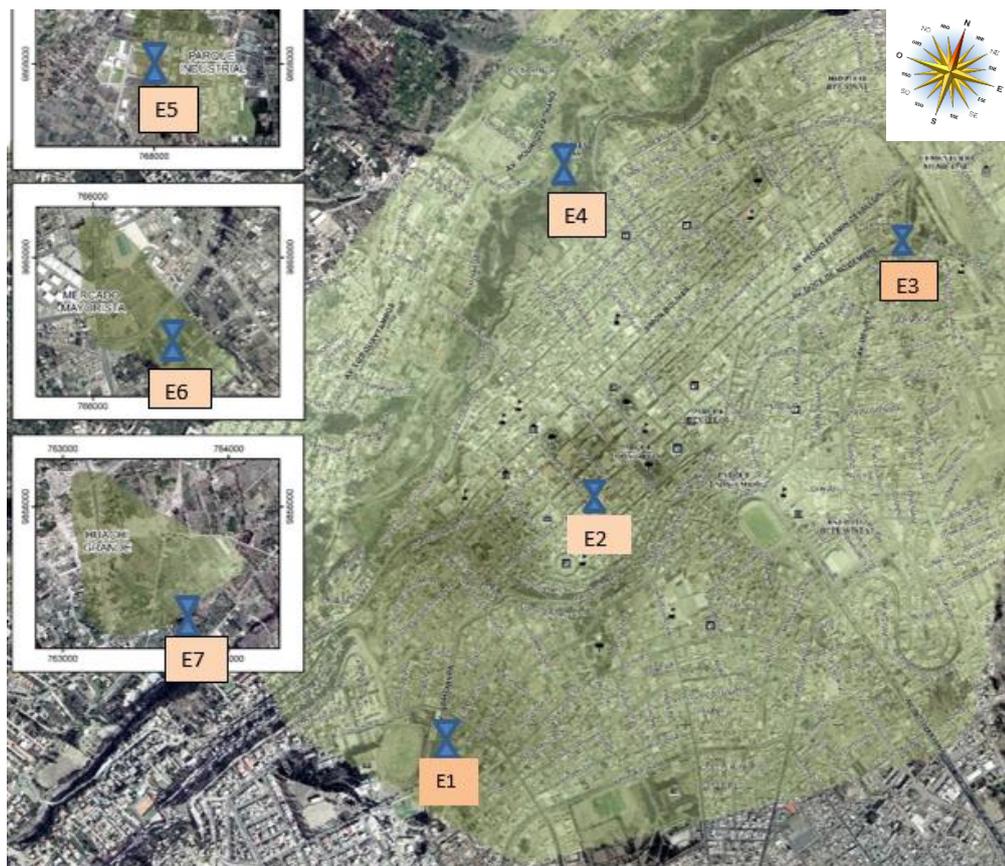


Figura 25: Configuración preliminar para la red de monitoreo, Ambato
Elaborado por: Autor.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones.

- El diseño preliminar de la red de monitoreo de la Calidad del Aire se ha ejecutado partiendo de un inventario de emisiones provenientes de fuentes móviles, en un área aproximada de 124,69 km², tomando como punto central el parque Cevallos y el punto más extremo el inicio del Parque Industrial, para lo cual se han incluido un total de 76 lugares de aforo vehicular.
- El aforo vehicular componente fundamental del inventario de emisiones ha determinado que en la ciudad existan lugares por los que circulan hasta 34480 vehículos al día, los mismos son: Redondel del Mercado Mayorista, además en las calles trece de Abril y Urdaneta donde circulan hasta 27140 vehículos al día, por citar a dos de los principales. Es así que al número de vehículos que circulan por un lugar determinado en el presente estudio se le ha denominado Intensidad Media Diaria (IMD)
- El inventario de emisiones provenientes de fuentes móviles ha conseguido establecer los sitios que en la ciudad presentan mayores niveles de emisión son: Yahaira y Francisco Flor (G1), Juan Montalvo y Av. Pedro Fermín Cevallos (H5), Av. Doce de Noviembre y Av. El Rey (J4), Av. Los Shyris y Av. Quis Quis (E1), Luis A. Martinez y Doce de Noviembre (H8), a los que se suman los puntos R, S, T, es decir: Parque Industrial, Mercado Mayorista y Huachi Grande. Estos puntos que quedan debidamente georreferenciados y se pueden observar en los mapas temáticos que se muestran en el Anexo 3.
- Los resultados del inventario de emisiones demuestran que la emisión total de contaminantes es de 23711 toneladas al año (t/a), siendo el principal contaminante el monóxido de carbono con 17101,84 toneladas al año (t/a) y el menos importante el PM_{2,5} con 104,9 toneladas al años (t/a).

- Los resultados de emisiones de contaminantes como el $PM_{2,5}$ y PM_{10} no son concluyentes pero si representativos. No así el resto de contaminantes considerados. La literatura demuestra que las principales fuentes de emisión de estos contaminantes ($PM_{2,5}$ y PM_{10}) son las canteras, las fábricas de ladrillos y bloques, fuentes que en el presente estudio no se incluyen por ser puntuales, lo cual podría incluirse en futuros estudios.
- La distribución de contaminantes a lo largo y ancho del área de estudio está caracterizada por la forma como se distribuye el tráfico vehicular con su parámetro Intensidad media diaria de tráfico (IMD), es decir los contaminantes van a presentarse con mayor intensidad sobre las vías que tengan mayor IMD, sin embargo por elementos como la velocidad y dirección del viento los contaminantes van a dispersarse de acuerdo a estos dos últimos parámetros.
- El estudio de campo demostró que las campañas de aforo vehicular y las encuestas aplicadas a los conductores buscando obtener o corroborar algunos datos son difíciles de ejecutar por la escasa predisposición a colaborar de los conductores, sin embargo a lo largo de 9 meses que duró el estudio se consiguieron datos concluyentes que ayudan a reducir la incertidumbre de los datos aquí presentados.
- El alcance del presente estudio no incluye la selección de equipos para monitoreo ni tampoco análisis de costos de: montaje, instalación y mantenimiento de la red, pero los datos aquí mostrados determinan en donde deben localizarse esas estaciones que en lo posterior conformen la red de monitoreo. La literatura demuestra que en ciudades como Quito, Cuenca y Guayaquil los datos de inventarios de emisiones han sido concluyentes para el diseño de las redes.
- La renovación racionalizada de vehículos, las acciones orientadas a mejorar el rendimiento de los vehículos de uso público como buses y taxis puede contribuir significativamente a reducir las emisiones. En el apartado 4.4.1 del presente estudio se pudo observar que siendo el monóxido de carbono (CO) el contaminante más representativo con 5386,53 toneladas al año, los taxis a

gasolina (TAXG) emiten 3974,25 toneladas al año [t/año] es decir aportan con el 73,78 % del total del monóxido de carbono que se emite en el área de estudio. Entonces el control sobre esta y otras categorías vehiculares puede incidir significativamente en la reducción de emisiones totales.

- El estudio demuestra que los valores de emisión dependen directamente de variables como el número de vehículos que circulan por el área de estudio representado por la Intensidad Media Diaria (IMD), el rendimiento vehicular (Kilómetros/galón), la actividad vehicular Individual (kilómetros recorridos al día), el tipo y la calidad del combustible. Esto determina que modificar alguna de estas variables conlleva a un cambio directo en los valores de emisión. En este sentido el control y mejoramiento de índices como el rendimiento vehicular, es decir la cantidad de combustible quemado por kilómetro recorrido es fundamental en el control de emisiones, en el capítulo 4 del presente estudio se demostró como este indicador, incide directamente en las emisiones totales de contaminantes estudiados.

5.2. Recomendaciones.

- Se recomienda que en los sitios seleccionados y mostrados en el capítulo IV se instalen las estaciones de monitoreo, mismas que en lo posterior conformarán la red de Monitoreo de la Calidad del Aire para la ciudad de Ambato, para esto las entidades de control de la calidad del aire en la ciudad de Ambato deberán incorporar personal debidamente capacitado a fin de que la red de monitoreo sea aprovechada al máximo.
- Las estaciones de monitoreo de aire deben complementarse con estaciones meteorológicas que entre otras variables monitoreen: Humedad relativa, presión atmosférica, precipitación, temperatura del aire, dirección y velocidad del viento; esto permitirá a futuro analizar la dispersión de contaminantes y así complementar las políticas de gestión de calidad del aire.
- Los inventarios de emisiones deben actualizarse de manera periódica en lapsos de dos o tres años a fin de contar con información que permita predecir el comportamiento de las fuentes de emisión, valores máximos y mínimos de emisión, principales fuentes, dispersión de contaminantes, comportamiento de la calidad del aire frente al crecimiento poblacional, evolución del parque automotor y del sector industrial.
- El inventario de emisiones de fuentes móviles expuesto deberá complementarse con un inventario de fuentes fijas y fuentes área, a fin de que el diseño definitivo de la red de monitoreo se ajuste a la realidad que vive la ciudad de Ambato, sin embargo los datos que se muestran en el presente estudio son concluyentes en cuanto a los valores de emisión, fuentes de emisión, distribución geográfica de las emisiones encontradas y ubicación de las estaciones de monitoreo que conformen una red.
- A fin de reducir la incertidumbre en futuros inventarios de emisiones es recomendable que las entidades encargadas del control y regulación vehicular lleven estadísticas actualizadas de matriculación vehicular, en lo posible

clasificada por: categoría de vehículo, modelo, cilindraje, tonelaje entre otros parámetros.

- Como medidas organizativas se recomiendan aplicación de normas más estrictas relacionadas con la calidad del aire, estas regulaciones deben estar orientadas a reducir las emisiones provenientes de los vehículos en donde se deban revisar los valores de emisión límites para los distintos contaminantes. La emisión de regulaciones relacionadas con la calidad del aire deben ir acompañadas del fortalecimiento técnico administrativo de los entes y organismos relacionados con la gestión ambiental, sean estos: la Ilustre Municipalidad de Ambato con su Dirección de Ambiente, así como el Ministerio de Ambiente - Ambato.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, EPA (1997). Manuales del Inventario de Emisiones México, Sacramento: Autor.
- Alley R, (2010). Manual de control de la calidad del aire. México: Mc Graw Hill.
- BERAU VERITAS (2008). Manual para la formación en Medio Ambiente. Recuperado de [https://books.google.com.ec/books\[...\]m%C3%B3sfera%20muy%20susceptible%20a%20cualquier%20cambio%20en%20el%20entorno&f=false](https://books.google.com.ec/books[...]m%C3%B3sfera%20muy%20susceptible%20a%20cualquier%20cambio%20en%20el%20entorno&f=false)
- Bravo. A, Sosa. E, (2010). Contaminación del Aire. Barcelona: Reverte.
- Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo, CCAD (2007), Guía para mejorar la Calidad del Aire, Guatemala: Autor.
- Conesa Fdez, Vitora (2010) “Guía Metodológica para la Evaluación del impacto Ambiental” Ediciones Mundi Prensa – Madrid.
- Corporación para el mejoramiento del aire en Quito, CORPAIRE (2005), Inventario de Emisiones. Quito: Autor
- Davis & Masten (2010). Ingeniería y Ciencias Ambientales. Barcelona: Reverte
- Distrito Metropolitano de Quito. Ordenanza 213; Capítulo II De la Contaminación Acústica. Disponible en: <http://www.derecho-ambiental.org/Derecho/Legislacion/Ordenanza-213-Distrito-Metropolitano-Quito-Capitulo-II.html>
- Elco den Boer, Arno Schrotten;(2010) ; Traffic noise reduction in Europe.
- Fundación Natura-CUENCAIRE-CGA. Resumen del inventario de emisiones del cantón Cuenca, año base 2007, Cuenca-Ecuador. 2009.
- Fundación Natura. El Programa de Calidad del Aire Ecuador: una utopía hecha realidad (Acciones, resultados, efectos y aprendizajes 1999 – 2009) Quito. 2009.
- Hernández R, Fernández C, Baptista P. 2005. Metodología de la Investigación, primera edición, Bogotá, Colombia: McGraw – Hill. 497p.

- Herrera, Medina y Naranjo (2010). Tutoría de la Investigación Científica. Ambato: Empredane Gráficas.
- Instituto Nacional de Ecología [INE] (2005), Guía de Elaboración y Usos de Inventarios de emisiones. México: Autor
- IPCC (2006). Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H. S; Buendía L, Miwa K, Ngana T, and Tanabe K (eds). Publicado por IGES, Japón.
- INEC (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos). (2010). Censo de Población y vivienda 2010. Disponible en <http://www.inec.gob.ec>
- Ilustre Consejo Cantonal de Ambato. 2009. Plan de Ordenamiento Territorial Ambato 2020, Ambato, Ecuador: Ilustre Consejo Cantonal de Ambato. 151p.
- Jacobson, M. (2002). "Atmospheric Pollution". History, Science, and Regulation. Cambridge University Press, United Kingdom.
- Martínez Sandoval, A. 2005. Ruido por tráfico Urbano: Conceptos, medidas descriptivas y valoración económica. Revista de Economía y Administración 2/9: 18-66.
- Ministerio del Ambiente, MAE (2010), *Plan Nacional de Calidad del Aire*. Recuperado de: <http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/10/libro-calidad-aire-1-final.pdf>.
- Olmos, Isabel (2009). Proyecto: "Prevención de Contaminación Acústica del Municipio de Quito".
- Organización Mundial de la Salud OMS (1994). Serie de Manuales de Metodología, Volumen 1: Aseguramiento de la calidad en el monitoreo de la calidad del aire urbano. Ginebra: Autor
- Ortega, I, (2009) Espectroscopia FTIR de absorción solar y lunar para la determinación en columna de CO en la capa de mezcla de la Ciudad de México (Tesis de Maestría) Universidad Nacional Autónoma de México. DF. México.

- Presidencia de la República (2002). “Ley de Gestión Ambiental”. Autor.
- Presidencia de la República (2002). “Norma Ecuatoriana de Calidad del Aire”. Autor.
- Presidencia de la República (2002). “Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio de Ambiente TULSMA” Anexo 5: Límites permisibles de niveles de ruido ambiente para fuentes fijas y fuentes móviles, y para vibraciones. Autor.
- Rangel, S; Tami. (2010). Inventario de Emisiones atmosféricas de las principales fuentes fijas ubicadas en la zona industrial de Chimitá a lo largo de la vía entre el palenque y café Madrid. (Tesis de Ingeniería. Universidad Pontificia Bolivariana). Recuperado de http://repository.upb.edu.co:8080/jspui/bitstream/123456789/852/1/digital_19178.pdf
- Saltos, N y Vásquez L (2011). *Ecuador su realidad*, Quito, Ecuador, Fundación José Peralta. 395p
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, SEMARNAT (1998), Inventario de Emisiones Zona Metropolitana del Valle de México. México: Autor.
- SENPLADES (2013). “Plan Nacional del Buen Vivir”. Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo.
- Sexto, L. F. 2012. El control pasivo del ruido como elemento de la seguridad industrial. Disponible en <http://www.fceia.unr.edu.ar/acustica/biblio/rusegind.pdf>
- Spedding, D (2008). Contaminación Atmosférica. Recuperado de https://books.google.com.ec/books?id=5iPUOa_Q0mIC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- Universidad Central del Ecuador (2007). “Proyecto de Calidad del Aire de la Ciudad de Ambato”. Autor
- Vallero, D. (2008). “Fundamentals of Air Pollution”. Academic Press, USA.

Otras referencias

- <http://www.todoelderecho.com/Apuntes/Ambiental/Apuntes/CONTAMINACION%20SONORA.htm>
- http://www.defdigital.com.ar/index.php?option=com_content&view=article&id=228:contaminacion-sonora-una-amenaza-cotidiana&catid=46:medio-ambiente&Itemid=114
- <http://ecuador-tercermundista.blogspot.com/2008/10/contaminacion-acustica.html>
- <http://www.lahora.com.ec/index.php/noticias/show/1100998580>