

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES

Trabajo de fin de carrera titulado:

**“VALORACIÓN DE LA CAMPAÑA DE MONITOREO PASIVO DE
GASES EN LA CIUDAD DE AMBATO PARA EL DISEÑO DEL SISTEMA
DE CALIDAD DEL AIRE DE LA CIUDAD 2013 - 2014”**

Realizado por:

MARIANA PRISCILA VILLACÍS CHACHAPOYA

Directora del proyecto:

Ing. M.Sc. KATTY CORAL C.

Como requisito para la obtención del título de:

MÁSTER EN GESTIÓN AMBIENTAL EN LA INDUSTRIA

Quito, 03 de febrero de 2015

DECLARACION JURAMENTADA

Yo, MARIANA PRISCILA VILLACÍS CHACHAPOYA, con cédula de identidad 171348206-3, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado a calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración, cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.

Mariana Priscila Villacís Chachapoya

C.I.: 171348206-3

DECLARATORIA

El presente trabajo de investigación titulado:

**“VALORACIÓN DE LA CAMPAÑA DE MONITOREO PASIVO DE GASES EN LA
CIUDAD DE AMBATO PARA EL DISEÑO DEL SISTEMA DE CALIDAD DEL AIRE
DE LA CIUDAD”**

Realizado por:

MARIANA PRISCILA VILLACÍS CHACHAPOYA

Como requisito para la obtención del título de:

MÁSTER EN GESTIÓN AMBIENTAL EN LA INDUSTRIA

Ha sido dirigido por la maestra

M.Sc. KATTY CORAL C.

Quien considera que constituye un trabajo original de su autor

Katty Coral
DIRECTORA

LOS PROFESORES INFORMANTES

Los Profesores Informantes:

ING. ESTEBAN OVIEDO

DR. CARLOS ORDOÑEZ

Después de revisar el trabajo presentado, lo han calificado como apto para su defensa oral
ante el tribunal examinador

Ing. Esteban Oviedo

Dr. Carlos Ordoñez

Quito, 03 de febrero de 2015

DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedico con mucho amor a mis padres, esposo e hijos que me han brindado su apoyo incondicional durante esta etapa de mi vida. Gracias por estar siempre a mi lado.

A mi querido hermano Rodrigo que aunque ya no está presente físicamente siempre lo llevo en mi mente y corazón. Gracias por los buenos recuerdos que me dejaste.

AGRADECIMIENTOS

Al Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Ambato, por su auspicio y apoyo en la ejecución del presente trabajo.

A la Ing. Diana Fiallos, Biol. Edison Carvajal, Ing. David López y Sr. Orlando Vargas, por el apoyo técnico y logístico brindado en la ciudad de Ambato.

A la Ing. Katty Coral por su acertada dirección de tesis. Su amistad y guía han sido una gran fortaleza para la ejecución de este documento.

Al Ing. Esteban Oviedo y Dr. Carlos Ordoñez por los valiosos aportes en la revisión de mi tesis.

Al Dr. Jorge Oviedo, por sus enseñanzas y por haber sido quien me guió a la elaboración de este tema.

A las ingenieras Cecilia Bahamonde y Valería Díaz, técnicas de la Secretaría de Ambiente del Distrito Metropolitano de Quito, por su amistad y colaboración en este proyecto.

A mí querida Universidad Internacional SEK, que me brindó conocimientos y valores en esta hermosa profesión dedicada al cuidado del Ambiente.

ÍNDICE DEL CONTENIDO

RESUMEN	1
ABSTRACT	2
CAPÍTULO I	3
1. INTRODUCCIÓN	3
1.1 EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	6
1.1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	6
1.1.1.1 DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA	6
1.1.1.2 PRONÓSTICO.....	11
1.1.1.3 CONTROL DE PRONÓSTICO	11
1.1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	11
1.1.3 SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA.....	11
1.1.4 OBJETIVO GENERAL	11
1.1.5 OBJETIVOS ESPECIFICOS	12
1.1.6 JUSTIFICACIONES	12
1.2 MARCO TEORICO	13
1.2.1 ESTADO ACTUAL DEL CONOCIMIENTO SOBRE EL TEMA	13
1.2.2 ADOPCION DE UNA PERSPECTIVA TEORICA.....	15
1.2.3 MARCO CONCEPTUAL.....	15
1.2.3.1 COMPOSICIÓN DE LA ATMÓSFERA	15
1.2.3.2 ESTRUCTURA DE LA ATMÓSFERA.....	17
1.2.3.3 CONCEPTOS DE EMISIÓN E INMISIÓN	20
1.2.3.4 CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA	22
1.2.3.5 GUÍAS Y NORMAS PARA LA CALIDAD DEL AIRE AMBIENTE	25
1.2.3.6 CONTAMINANTES CRITERIO	29
1.2.3.7 CONTAMINANTES PELIGROSOS (NO CONVENCIONALES)	37
1.2.3.8 MONITOREO ATMOSFÉRICO	40
1.2.3.9 MONITORES PASIVOS	45
1.2.4 HIPÓTESIS	45
1.2.5 IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE VARIABLES	46
1.2.5.1 VARIABLE DEPENDIENTE.....	46

1.2.5.2	VARIABLE INDEPENDIENTE	46
CAPÍTULO II		48
2.	MÉTODO.....	48
2.1	NIVEL DE ESTUDIO	48
2.1.1	EXPLORATORIO	48
2.2	MODALIDAD DE INVESTIGACIÓN.....	49
2.2.1	DE CAMPO	49
2.2.2	DOCUMENTAL	49
2.3	MÉTODO.....	50
2.3.1	INDUCTIVO - DEDUCTIVO	50
2.3.2	HIPOTÉTICO - DEDUCTIVO	51
2.4	POBLACIÓN Y MUESTRA	51
2.4.1	POBLACIÓN	51
2.4.2	MUESTRA.....	52
2.5	SELECCIÓN DE INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN	53
2.5.1	ANÁLISIS DE DOCUMENTOS.....	53
2.5.2	MATERIALES Y EQUIPOS	53
2.5.2.1	MONITORES PASIVOS DE BTX	54
2.5.2.2	MONITORES PASIVOS DE SO ₂ /NO ₂	54
2.5.2.3	MONITORES PASIVOS DE O ₃	55
2.5.3	ANÁLISIS DE LABORATORIO	55
2.6	VALIDEZ Y CONFIABILIDAD DE INSTRUMENTOS	56
2.6.1	REPRESENTATIVIDAD DE LOS DATOS	56
2.6.2	PROCEDIMIENTOS OPERATIVOS	56
2.6.2.1	PREPARACIÓN DE MONITORES	57
2.6.2.2	TRASLADO DE MONITORES	57
2.6.2.3	COLOCACIÓN Y RETIRO DE MONITORES	57
2.6.2.4	ANÁLISIS DE MONITORES.....	60
2.7	PROCESAMIENTO DE DATOS	60
CAPÍTULO III		61
3.	RESULTADOS	61
3.1	LEVANTAMIENTO DE DATOS	61

3.1.1	UBICACIÓN DE LAS ESTACIONES DE MONITOREO	61
3.1.2	REGISTRO DE COLOCACION Y RETIRO DE MONITORES.....	68
3.1.3	NORMAS Y GUIAS PARA CONCENTRACIONES PROMEDIO ANUAL DE OZONO (O ₃), DIOXIDO DE NITROGENO (NO ₂), DIOXIDO DE AZUFRE (SO ₂) Y BENCENO (C ₆ H ₆).....	68
3.2	PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	69
3.2.1	MONITOREO PASIVO	69
3.2.2	COMPARACIÓN DE RESULTADOS PROMEDIO DEL MONITOREO PASIVO CON NORMAS Y GUÍAS	77
3.2.3	INDICADORES DE CALIDAD DEL AIRE	83
3.2.4	VALORACIÓN DE LA CAMPAÑA DE MONITOREO PASIVO	86
3.2.4.1	ANÁLISIS DE LA UBICACIÓN DE LAS ESTACIONES DE MONITOREO PASIVO	86
3.3	DISEÑO DEL SISTEMA DE VIGILANCIA DE CALIDAD DEL AIRE EN EL CANTÓN AMBATO	94
3.3.1	INFORMACIÓN GENERAL DEL CANTÓN	94
3.3.1.1	DATOS DE DENSIDAD POBLACIONAL DE LAS PARROQUIAS	94
3.3.1.2	SECTORES INDUSTRIALES Y VÍAS DEL CANTÓN AMBATO.....	97
3.3.1.3	USO DE SUELO DEL CANTÓN AMBATO	98
3.3.1.4	ISOTERMAS Y CURVAS DE NIVEL DEL CANTÓN AMBATO.....	99
3.3.2	INVENTARIO DE EMISIONES.....	100
3.3.3	CAMPAÑA DE MONITOREO PRELIMINAR	101
3.3.4	OBJETIVOS DEL MONITOREO	102
3.3.5	DEFINICIÓN DE PARÁMETROS AMBIENTALES.....	104
3.3.6	DEFINICIÓN DEL NÚMERO Y LOS SITIOS DE MUESTREO	105
3.3.7	UBICACIÓN DE LAS ESTACIONES DE MONITOREO	107
3.3.8	TIEMPOS Y TÉCNICAS DE MUESTREO.....	113
CAPÍTULO IV		116
4.	DISCUSIÓN	116
4.1	CONCLUSIONES	116
4.2	RECOMENDACIONES	119
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		122
ANEXOS		126

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Composición del aire limpio en la atmósfera baja	16
Tabla 2. Afectaciones relacionadas con la contaminación atmosférica	22
Tabla 3. Clasificación de los contaminantes del aire	24
Tabla 4. Guías y estándares de calidad del aire.....	27
Tabla 5. Normas de calidad del aire ambiente de algunos países de América Latina.....	28
Tabla 6. Resumen norma ecuatoriana de calidad del aire ambiente	29
Tabla 7. Comparación entre partículas finas y gruesas	30
Tabla 8. Contaminantes peligrosos con efectos no carcinogénicos	37
Tabla 9. Contaminantes peligrosos con efectos carcinogénicos	38
Tabla 10. Valores máximos permisibles para contaminantes no convencionales del aire.....	39
Tabla 11. Metodologías de muestreo atmosférico.....	41
Tabla 12. Utilidad de las metodologías de acuerdo a los objetivos establecidos.....	42
Tabla 13. Distancias recomendadas para la ubicación de los instrumentos de muestreo de aire de acuerdo a los obstáculos de los alrededores	44
Tabla 14. Alturas recomendadas para la ubicación de los instrumentos de muestreo de aire de acuerdo al tipo de estudio a realizarse.....	45
Tabla 15. Ubicación de las estaciones de monitoreo pasivo de contaminantes del aire	53
Tabla 16. Métodos de medición y equipos utilizados en la REMPA.....	55
Tabla 17. Normas y guías para medias anuales de O ₃ , NO ₂ , SO ₂ y C ₆ H ₆	68
Tabla 18. Valores del promedio mensual de monitoreo de ozono (µg/m ³).....	70
Tabla 19. Valores del monitoreo mensual de dióxido de nitrógeno (µg/m ³)	72
Tabla 20. Valores del monitoreo mensual de dióxido de azufre (µg/m ³)	74
Tabla 21. Valores del monitoreo mensual de BTX (µg/m ³)	76

Tabla 22. Indicadores de calidad del aire	84
Tabla 23. Densidad poblacional de las parroquias del cantón Ambato.....	95
Tabla 24. Escalas espaciales definidas por la EPA para diferentes objetivos de monitoreo..	103
Tabla 25. Relación entre objetivos de monitoreo y escalas de representatividad	104
Tabla 26. Localidades de muestreo sugeridas para la determinación de la calidad del aire del cantón Ambato	106
Tabla 27. Tiempos de muestreo para los contaminantes del aire a determinarse	114
Tabla 28. Técnicas de monitoreo para los contaminantes del aire a determinarse	114
Tabla 29. Registro de exposición de los monitores de ozono en las estaciones: San Francisco (FRA), Huachi Chico (HUA) y Pishilata (PIS)	127
Tabla 30. Registro de exposición de los monitores de ozono en las estaciones: Ambatillo (AMB), Izamba (IZA), Parque Industrial Ambato (PIA).....	129
Tabla 31. Registro de exposición de los monitores de BTX, SO ₂ y NO ₂ en las estaciones: San Francisco (FRA), Huachi Chico (HUA) y Pishilata (PIS)	131
Tabla 32. Registro de exposición de los monitores de BTX, SO ₂ y NO ₂ en las estaciones: Ambatillo (AMB), Izamba (IZA), Parque Industrial Ambato (PIA)	132

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Estructura de la atmósfera.....	18
Figura 2. Esquema de emisión, evolución de contaminantes en la atmósfera e inmisión.....	21
Figura 3. Mapa de ubicación de estaciones de monitoreo pasivo	61
Figura 4. Monitoreo de ozono (promedio mensual).....	71
Figura 5. Monitoreo de dióxido de nitrógeno (mensual)	73
Figura 6. Monitoreo de dióxido de azufre (mensual).....	75
Figura 7. Monitoreo de benceno (mensual).....	76
Figura 8. Concentración promedio anual de ozono (O_3) en $\mu g/m^3$	78
Figura 9. Concentración promedio anual de dióxido de nitrógeno (NO_2) en $\mu g/m^3$	78
Figura 10. Concentración promedio anual de dióxido de azufre (SO_2) en $\mu g/m^3$	80
Figura 11. Concentración promedio anual de benceno (C_6H_6) en $\mu g/m^3$	81
Figura 12. Presencia de contaminantes por estación.....	83
Figura 13. Ubicación de estaciones de monitoreo en el mapa político del cantón Ambato.....	86
Figura 14. Ubicación de estaciones de monitoreo en el área urbana del cantón Ambato	87
Figura 15. Mapa de la parroquia San Francisco del cantón Ambato	88
Figura 16. Mapa de la parroquia Huachi Chico del cantón Ambato.....	89
Figura 17. Mapa de la parroquia Pishilata del cantón Ambato	90
Figura 18. Mapa de la parroquia Ambatillo del cantón Ambato.....	91
Figura 19. Ubicación de la estación Izamba en el mapa de la parroquia Izamba	92
Figura 20. Ubicación de la estación Parque Industrial en el mapa de la parroquia Izamba.....	93
Figura 21. Densidad poblacional de las parroquias del cantón Ambato	96
Figura 22. Mapa de zonas industriales y vías del cantón Ambato	97
Figura 23. Uso de suelo del cantón Ambato	98
Figura 24. Isotermas y curvas de nivel del cantón Ambato	99

Figura 25. Emisiones de contaminantes primarios en el cantón Ambato año 2010 (kt/año) . 100

Figura 26. Mapa de ubicación de las estaciones de monitoreo en el área urbana de Ambato 109

Figura 27. Mapa de ubicación de las estaciones de monitoreo en el área rural de Ambato... 111

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1. Monitor para BTX	54
Fotografía 2. Monitor para SO ₂ /NO ₂	54
Fotografía 3. Monitor para O ₃	55
Fotografía 4. Brazo metálico y contenedor de monitores	58
Fotografía 5. Colocación de monitores de BTX y SO ²	59
Fotografía 6. Colocación de monitores de O ₃	59
Fotografía 7. Estación San Francisco	62
Fotografía 8. Estación Huachi Chico	63
Fotografía 9. Estación Pishilata.....	64
Fotografía 10. Estación Ambatillo	65
Fotografía 11. Estación Izamba.....	66
Fotografía 12. Parque Industrial Ambato	67

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A.....	127
REGISTRO DE COLOCACIÓN Y RETIRO DE MONITORES.....	127
ANEXO B	133
CAPÍTULO I DEL TÍTULO SEGUNDO DE LAS NORMAS GENERALES DE APLICACIÓN DEL PLAN DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL DEL CANTÓN AMBATO.....	133

RESUMEN

El aire es un recurso indispensable para la vida, y teniendo en cuenta el acelerado crecimiento poblacional, industrial y del parque automotor del cantón, el GAD de Ambato decidió ejecutar el Programa de Monitoreo Pasivo de Calidad del Aire con el objeto de que los resultados sirvan de base para diseñar un sistema de calidad del aire de la ciudad. Se ubicaron seis estaciones en sitios representativos de la ciudad, los parámetros ambientales determinados fueron ozono, dióxido de nitrógeno, dióxido de azufre y benceno. Por problemas técnicos en el laboratorio de la Secretaría de Ambiente del Distrito Metropolitano de Quito no se realizó el análisis de todas las muestras colectadas durante el año, sin embargo se trabajó con el promedio aritmético de los resultados entregados y se los comparó con las concentraciones medias anuales establecidas en la Norma Ecuatoriana de Calidad del Aire, otras normas internacionales y guía de la OMS; encontrándose que todos los parámetros estaban bajo los límites establecidos, siendo el dióxido de nitrógeno el que más se acercaba a estos por lo cual, se recomendó investigar medidas necesarias para evitar que en un futuro se convierta en un problema. Se planteó continuar con el monitoreo pasivo ampliando la red a diez estaciones en las cuales también se debería realizar monitoreo de depósito para determinar el material sedimentable; además se recomendó colocar una estación de monitoreo activo/automático en la cual a más de los parámetros ya monitoreados en la primera etapa, también se midan las concentraciones de monóxido de carbono, material particulado y parámetros meteorológicos.

Palabras clave: monitoreo pasivo, contaminantes criterio, calidad del aire.

ABSTRACT

The air is an indispensable resource for life, and taking into account the rapid growth of population, industrial and vehicles fleet of canton, the GAD of Ambato decided to implement Passive Monitoring Program of the Quality of the Air in the order that the results serve as a basis for designing a system of the city's air quality. Six stations were located at representative sites of the city; certain environmental parameters were ozone, nitrogen dioxide, sulphur dioxide and benzene. For technical problems in the laboratory of the Ministry of Environment of the Metropolitan District of Quito was not done the analysis of all samples collected during the year, however, it worked with the arithmetic average of the delivered results and compared with the annual average concentrations established in the Ecuadorian Air Quality Standard, other standards international and WHO guidelines; found that all parameters were under the limits, being nitrogen dioxide which came closest to those, for which it was recommended to investigate necessary measures to avoid that in the future it becomes a problem. Was raised passive monitoring continue expanding the network to ten stations which should also perform deposit monitoring for determining settleable material; also recommended to place a station active/automatic monitoring in which more of the parameters already monitored in the first stage, also measured the concentrations of carbon monoxide, particulate matter and meteorological parameters.

Keywords: passive monitoring, criteria pollutants, air quality.

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

La atmósfera terrestre está formada por una envoltura gaseosa con partículas sólidas y líquidas en suspensión; su espesor es de unos 2000 km. Está constituida por las siguientes capas: troposfera, estratosfera, mesosfera, termosfera o ionosfera y exosfera. (Orozco Barrenetxea, Pérez Serrano, González Delgado, Rodríguez Vidal, & Alfayate Blanco, 2003)

El 95% de la masa atmosférica terrestre se localiza dentro de los primeros 20 km sobre el nivel del mar, por encima de éste valor la densidad y la presión del aire disminuyen con la altura. (Strauss & Mainwaring, 2012)

La capa que está en contacto con la superficie es la troposfera, su espesor medio es de 10 - 12 km, en los polos su espesor es de 8km, mientras en la zona ecuatorial la cota tiene un máximo de 17 km. Esta capa es de interés debido a que en ella tienen lugar los fenómenos meteorológicos, además que tiene las condiciones necesarias para que se desarrolle la vida. Cabe indicar que las actividades humanas se desarrollan principalmente dentro de los primeros 2 km de la atmósfera. (Grupo Editorial Océano, 1987)

Los componentes atmosféricos varían sus proporciones, de acuerdo a la altura a la que se encuentren. En la troposfera la composición es homogénea, debido a la intensidad considerable de los movimientos de convección, que permite que el aire se mezcle continuamente. El aire está constituido por nitrógeno, oxígeno, argón, dióxido de carbono, entre otros. (Anguita Virella & Moreno Serrano, 1993)

La importancia de la atmósfera para la vida, radica en que regula el calor de la superficie terrestre, actúa como escudo protector de las radiaciones solares perjudiciales, controla el clima y el ambiente, además que provee a los seres vivos de los gases atmosféricos para sus procesos vitales tales como la fotosíntesis en la que se utiliza el dióxido de carbono y la respiración que se da por la existencia del oxígeno. (Ramírez Vicente, 2011)

Debido a la importancia de la atmósfera para la vida, las alteraciones que en ella se produzcan tienen gran influencia en el planeta, y particularmente en los seres vivos. La contaminación atmosférica se entiende como la presencia de sustancias en el aire en concentraciones muy superiores a las normales, de tal manera que causan efectos adversos a las personas, plantas, animales y en general al ambiente. Se considera que el principal impacto de la contaminación es la afectación de la salud pública. (E. Roberts Alley & Associates, 2001) (Strauss & Mainwaring, 2012)

Entre los contaminantes atmosféricos están: monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NOx), óxidos de azufre (SOx), hidrocarburos excepto el metano, oxidantes fotoquímicos y partículas. (Martínez & Romieu, 2002)

El problema de la contaminación atmosférica no tiene que ver únicamente con la cantidad de contaminantes emitidos tanto por fuentes de origen natural como antropogénico, sino principalmente porque estas emisiones, especialmente las de origen antropogénico, se concentran en las ciudades donde hay actividad industrial y gran flujo vehicular, que a la vez son donde se localiza la mayoría de la humanidad. Al ser el aire un elemento indispensable para la vida, es importante procurar una buena calidad del mismo, pues su baja calidad repercute especialmente sobre las personas, produciendo enfermedades y muerte. Por tanto es de suma importancia actuar consecuentemente para mantener una buena calidad del aire. (Hernández Berasaluce, s.f.)

Para mejorar la calidad del aire de las ciudades y proteger la salud de sus habitantes, es primordial medir la calidad del aire, determinar las causas y sus efectos, para así diseñar un plan de gestión del aire adecuado. (Organización Panamericana de la Salud, 2005)

El país cuenta con el Plan Nacional de Calidad del Aire, el cual surgió para cumplir con la Constitución del Ecuador que establece el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado. El PNCA tiene como principal objetivo “alcanzar una gestión ambiental adecuada de la calidad del recurso aire para proteger la salud humana, los recursos naturales y el patrimonio cultural” (Ministerio del Ambiente, 2010)

También es importante indicar que dentro de los objetivos del Plan Nacional del Buen Vivir 2013 – 2017, se encuentran: “Mejorar la calidad de vida de la población”, “Garantizar los derechos de la naturaleza y promover la sostenibilidad ambiental, territorial y global”. Mismos que igualmente están orientados a tener un ambiente sano, sin contaminación y sustentable. (Senplades, 2013)

La ciudad de Ambato, ante el alto ritmo de crecimiento en los aspectos poblacional, industrial, comercial, entre otros, y la preocupación por el cuidado del ambiente, tiene entre sus proyectos la determinación de la calidad del aire de la ciudad.

La presente tesis, pretende diseñar un sistema adecuado de calidad del aire de la ciudad de Ambato, para lo cual desde octubre del 2013, se realizaron mediciones de las concentraciones de NO₂, SO₂, O₃ y BTX en el aire respirable de la ciudad, datos que permitirán tener indicios de la calidad actual del aire en esta ciudad.

1.1 EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1.1.1 DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

Ambato capital de la provincia de Tungurahua, ubicada en la Cordillera Occidental a 2.577 msnm, se encuentra a 78°37'11'' de longitud y a 1°13'28'' de latitud sur. Al encontrarse en una hondonada entre seis mesetas, goza de un clima agradable cuya temperatura oscila entre 10 y 25°C. (Ambato, s.f.)

Parroquias del Cantón Ambato, en el área rural son: Ambatillo, Atahualpa (Chisalata), Augusto N. Martínez, Constantino Fernández, Cunchibamba, Huachi Grande, Izamba, Juan Benigno Vela, Montalvo, Pasa, Picaigua, Pilaguin (Pilahuin), Quisapincha (Quizapincha), San Bartolomé de Pinllog, San Fernando, Santa Rosa, Totoras, Unamuncho; y en el área urbana son: Atocha, Celiano Monge, Huachi Chico, Huachi Loreto, Matriz, La Merced, La Península, Pishilata, San Francisco. (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, 2002)

De acuerdo al último censo realizado en el 2010, la población del cantón Ambato es 329.856 habitantes, de los cuales 159.830 son hombres y 170.026 son mujeres. Del total de la población 165.185 residen en el área urbana y 164.671 en el área rural. La tasa de crecimiento poblacional anual es de 1,54%. Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, 2010)

Junto con el crecimiento poblacional, también se ha dado un crecimiento del parque automotor de la ciudad, mismo que se estima para el período 2012 – 2022, en 1,05% anual. (Moposita Guamán, 2011)

Las principales actividades económicas del cantón Ambato son el comercio y la industria. Las industrias más destacadas son: metal – mecánica, calzado, cuero, textiles, flores, alimenticias, madereras, entre otras. La economía del área rural se centra en la agricultura y ganadería. (Ambato Ecuador, s.f.)

El crecimiento poblacional y económico gracias a las industrias y al comercio, si bien aportan al desarrollo de la ciudad también influyen en la calidad del ambiente al afectar los recursos aire, agua y suelo, razón por la cual es importante monitorearlos.

El aire es un elemento vital, por lo cual es indispensable el conocimiento sobre la calidad del mismo. Es importante considerar que el principal efecto de su contaminación lo tiene sobre la salud humana, además de las afectaciones sobre la vegetación, los animales, los materiales y las construcciones. Por tanto los efectos de la contaminación del aire provocan costos, algunos de los cuales son medibles, mientras otros son incommensurables como los estéticos, la angustia por las enfermedades, etc. (E. Roberts Alley & Associates, 2001)

En el Ecuador el monitoreo de la calidad del aire se realiza principalmente en las ciudades de Quito, Guayaquil y Cuenca. (Ministerio del Ambiente, 2010)

En la ciudad de Ambato respecto a la calidad del aire se han realizado los siguientes estudios:

Estudio técnico sobre la calidad del aire realizado desde junio de 2007 a mayo de 2008 por la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad Central del Ecuador, para el muestreo definieron 60 sitios que se redujeron a 33, en los cuales midieron monóxido de carbono (CO), dióxido de azufre (SO₂), dióxido de nitrógeno (NO₂), compuestos aromáticos (BTX), compuestos orgánicos volátiles (COV's), material particulado (PM₁₀ y PM_{2.5}) y ruido. También caracterizaron la gasolina y diesel en el terminal de Petrocomercial y en estaciones de servicio, además midieron las emisiones gaseosas de los tubos de escape de 695 vehículos. Para el establecimiento de la calidad de aire utilizaron el índice ORAQI, llegando a la conclusión de que la calidad del aire es heterogénea con valores que oscilan entre 8 y 145, variación que atribuyen a la compleja e irregular capa límite atmosférica producto de la topografía y construcciones de la ciudad. Se indica que si bien en ciertos sitios y tiempos específicos se sobrepasaron los límites máximos permisibles, ninguna de las concentraciones

promedio de los contaminantes en el aire, superó la norma vigente a la fecha de estudio, considerándose la contaminación del aire de la ciudad relativamente baja. (Montesdeoca, De La Rosa, & Medina, 2008)

La escala de los valores de ORAQUI es: ≤ 20 aire muy limpio, 20-39 aire limpio, 40-59 calidad aceptable, 60-79 calidad deficiente, 80-99 mala calidad y ≥ 100 peligroso. (Puigcerver & Dolors Carrascal, 2008)

Entre junio de 2010 y agosto de 2011, la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos de la Universidad Técnica de Ambato, realizó un estudio de simulación de dispersión en el aire de los contaminantes provenientes de fuentes fijas y del volcán Tungurahua, para lo cual estableció una muestra de 56 empresas, que por diversos motivos se redujo a 42.

Los parámetros analizados fueron: material particulado (PM_{10}), dióxido de carbono (CO_2), dióxido de azufre (SO_2), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO_x), oxígeno (O_2), número de humo y eficiencia global, cuyos análisis estuvieron a cargo de laboratorios calificados (CHEMENG, LAB-CESTA, Margoth Cifuentes, CENERIN, y SOLINEC), además consideraron los datos de la estación de monitoreo de gases del Municipio de Ambato, de la estación meteorológica del aeropuerto Chachoan, así como reportes del Instituto Geofísico EPN.

El impacto generado por las industrias en la calidad del aire de las zonas de influencia fue determinado mediante el índice ICAIRE.

Una de las conclusiones a las que llegaron en este estudio es que la calidad del aire únicamente bajo la influencia de las chimeneas estudiadas se encontró entre óptima y buena.

El ICAIRE, establece la calidad del aire en base a los siguientes intervalos: 100 – 80% óptima, 80-60% buena, 60-40% aceptable, 40-20% estado de emergencia y de 20-0% inaceptable. (Bustillos Ortiz & Velasteguí Sánchez, 2011)

Cabe indicar que desde el 2010, existe una estación de monitoreo de la calidad del aire, instalada en la antigua Dirección de Higiene Municipal, además de un monitor semiautomático para la medición de PM_{10} instalado en el 2011, y sensores meteorológicos que determinan la dirección del viento, su velocidad, y la temperatura. Los contaminantes que determina son monóxido de carbono (CO), óxidos de azufre (SO_x) y óxidos de nitrógeno (NO_x).

El inconveniente de esta estación radica, en que funciona de manera discontinua por falta de mantenimiento y repuestos, por lo tanto los datos generados son incompletos, y no alcanzan por lo menos los 365 días ininterrumpidos de monitoreo y reporte.

Sin embargo de lo indicado, para la elaboración de la Agenda Ambiental de la ciudad, se han analizado datos corregidos a condiciones normales, correspondientes a 220 días de monitoreo, realizado entre los meses de noviembre de 2010 y diciembre de 2011.

Debido a que durante este período se produjo la reforma a la Norma de Calidad del Aire Ambiente, misma que se especifica en el Registro oficial No. 464 del 7 de junio de 2011, Acuerdo Ministerial No 50 del 4 de abril de 2011; los datos seleccionados fueron comparados tanto con la norma anterior como con la vigente.

En el análisis de los datos concluyeron que las concentraciones de monóxido de carbono, y de material particulado se encontraban por debajo de los límites máximos permisibles establecidos en la norma vigente hasta abril de 2011 y en la actual, a excepción de un día de medición del PM_{10} , mientras que las concentraciones de dióxido de nitrógeno en su mayoría se encontraban por debajo de la norma, exceptuando las mediciones de 91 días; y en lo que respecta al dióxido de azufre en su mayoría se encontraban bajo los límites de la norma anterior, sin embargo superaban la actual norma.

Por los valores obtenidos, especialmente de monóxido de carbono y de material particulado, que no muestran una relación con el parque automotor de la ciudad y la presencia

del volcán Tungurahua respectivamente, se puso en tela de duda la validez de los datos y/o la representatividad de los mismos. (Oviedo Carrillo, 2012)

Los estudios realizados por las dos universidades, aportan información valiosa sobre la gestión de la calidad del aire en la ciudad de Ambato, sin embargo son sólo orientadores en lo que se refiere al diagnóstico de la calidad del aire, ya que son mediciones indirectas de la presencia de contaminantes en la atmósfera. En lo que respecta a los valores obtenidos de la estación de monitoreo son inciertos. Además es importante indicar que la calidad del aire si bien tiene relación con las emisiones tanto de fuentes fijas como móviles, también se ve influenciada por las condiciones atmosféricas imperantes. Es así que hay ciudades que a pesar de tener altos niveles de emisiones, tienen una calidad de aire aceptable, ya que por sus condiciones urbanísticas y/o geográficas se facilita la dispersión de los contaminantes, es claro que también puede suceder lo contrario, es decir que se tengan bajos niveles de emisiones y que la calidad del aire no sea aceptable debido a que las condiciones atmosféricas no facilitan la dispersión de los contaminantes.

Por todo lo señalado, se concluyó que no existe un diagnóstico claro sobre la calidad de aire de la ciudad de Ambato.

Por tanto, con la finalidad de realizar un diagnóstico de la calidad del aire, el Municipio de Ambato mediante convenio con el Municipio de Quito, desde octubre del 2013, realiza un monitoreo pasivo del aire de la ciudad para la determinación de las concentraciones de los contaminantes SO_2 , NO_2 , O_3 y BTX, para lo cual se han colocado seis estaciones, mismas que están ubicadas en el barrio Amazonas, ex redondel de Izamba, Mercado Modelo, redondel de Huachi Chico, parque Provincial de la Familia y en el barrio Techo Propio.

La presente investigación tiene por objeto valorar la campaña de monitoreo pasivo de gases que se está realizando en la ciudad, para el diseño del sistema de calidad del aire del cantón Ambato.

1.1.1.2 PRONÓSTICO

En caso de no realizarse un estudio adecuado de la calidad del aire respirable de la ciudad de Ambato, será difícil plantear medidas adecuadas para la correcta gestión del aire del cantón.

1.1.1.3 CONTROL DE PRONÓSTICO

Es imprescindible monitorear los contaminantes del aire de la ciudad mediante métodos sostenibles, que permitan obtener datos confiables de ozono, dióxido de nitrógeno, dióxido de azufre y benceno. Una vez obtenidos los datos, se los deberá analizar y en base a ello plantear un sistema adecuado de la calidad del aire.

1.1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cuáles son los factores que influyen en la valoración de la campaña de monitoreo pasivo de gases en la ciudad de Ambato para el diseño del sistema de calidad del aire de la ciudad?

1.1.3 SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cuál es la calidad del aire ambiente de la ciudad de Ambato?

¿Cuáles son los sitios representativos para la determinación de la calidad del aire de la ciudad de Ambato con monitores pasivos?

¿Cuál sería el diseño del sistema de calidad del aire de la ciudad de Ambato?

1.1.4 OBJETIVO GENERAL

Valorar la campaña de monitoreo pasivo de gases en la ciudad de Ambato para el diseño del sistema de calidad del aire de la ciudad.

1.1.5 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Determinar cuál es la calidad del aire de la ciudad de Ambato.
- Establecer los sitios representativos para la determinación de la calidad del aire de la ciudad de Ambato con monitores pasivos.
- Diseñar el sistema de monitoreo de calidad del aire de la ciudad de Ambato, considerando los resultados obtenidos y los criterios de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos y/u otras instituciones del ramo.

1.1.6 JUSTIFICACIONES

La contaminación del aire es un fenómeno antiquísimo; pero cuyas formas de contaminación han ido cambiado junto con el desarrollo de la sociedad. En la actualidad los principales problemas de contaminación atmosférica se deben a las actividades industriales y a los medios de transporte. (Strauss & Mainwaring, Contaminación del aire causas, efectos y soluciones, 2012)

La contaminación atmosférica tiene un efecto directo sobre la salud pública y el ambiente. La exposición de las personas a contaminantes del aire, dependiendo de factores tales como concentración, tiempo de exposición, edad entre otros, puede provocar o agravar enfermedades respiratorias, cardíacas u otras, especialmente a la población más vulnerable como son los niños, ancianos, mujeres embarazadas y personas con enfermedades pre-existentes. (Korc, 2000)

El aire es un recurso esencial para la vida, por lo que su contaminación constituye una agresión que afecta tanto a los seres humanos como a los ecosistemas, razón por la cual es menester que la sociedad tenga conciencia de la importancia de evaluar y realizar una gestión adecuada de este recurso.

Consciente de la problemática y con la finalidad de minimizar el riesgo que representa la contaminación del aire para la salud humana, la Municipalidad de Ambato, a través de la Dirección de Gestión Ambiental y con el apoyo del Municipio de Quito, ha decidido realizar un diagnóstico de la calidad del aire de la ciudad a través de un programa de monitoreo pasivo de gases, el cual servirá de base para plantear el diseño del sistema de calidad del aire de la ciudad de Ambato, motivo de esta tesis de grado.

La técnica de monitoreo pasivo fue escogida ya que permite realizar un estudio base, a bajo costo y de manera simple. Además que es una técnica conocida y utilizada en la ciudad de Quito, cantón que es un referente en la gestión del recurso aire.

1.2 MARCO TEORICO

1.2.1 ESTADO ACTUAL DEL CONOCIMIENTO SOBRE EL TEMA

La contaminación del aire es una situación de preocupación mundial; en el Ecuador la gestión de éste recurso comenzó en 1976 con la aprobación de la Ley de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental y la implementación de la Red Ecuair con la asistencia técnica de OPS/OMS. (OPS, OMS, MAE, 2003)

Los datos recopilados por la Red Ecuair en las ciudades de Quito, Guayaquil, Cuenca, Ambato y Esmeraldas desde 1976 a 1999 (año en que la red dejó de existir) han servido de referente del estado real de la calidad del aire. (OPS, OMS, MAE, 2003)

Quito es una de las ciudades que mejor está encaminada en la gestión de la calidad del aire, actualmente cuenta con una Red de Monitoreo Atmosférico (REMMAQ) que entró en funcionamiento a partir del 2003, genera información diaria y confiable de la presencia de contaminantes comunes en el aire (monóxido de carbono, dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno, ozono, material particulado fino). Además cuenta con estaciones de monitoreo pasivo y de depósito (REMPA) para el reporte de promedios mensuales de concentración de

ozono, dióxido de nitrógeno y partículas sedimentables. También cuenta con estaciones meteorológicas, laboratorios, entre otros. (GEOECUADOR, 2008)

En ciudades como Guayaquil, Cuenca y Ambato, también ha existido preocupación por la gestión de la calidad del aire, para ello han realizado estudios, implementado programas, operado y mantenido estaciones de monitoreo de la calidad del aire, aunque en menor grado que en la ciudad de Quito. (GEOECUADOR, 2008)

Cabe indicar que en la ciudad de Ambato, el Departamento de Control Urbano del Municipio, cuenta con una estación de monitoreo de aire que tiene:

- Sensores automáticos para la determinación de monóxido de carbono, óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno,
- Monitor semiautomático para la medición de PM_{10} , y
- Sensores meteorológicos para determinar la dirección y velocidad del viento, y la temperatura.

Lamentablemente esta estación, debido a cuestiones económicas y técnicas, no funciona adecuadamente, por lo que los datos obtenidos no son confiables; además el registro no es constante y los datos existentes no están disponibles al público. (Oviedo Carrillo, 2012)

Respecto a la parte legal en el país referente al recurso aire, se cuenta con la Norma Ecuatoriana de Calidad del Aire (NECA), misma que fue publicada en el registro oficial No. 464 del martes 7 de junio del 2011 (Acuerdo 050), es de aplicación obligatoria y rige en todo el territorio nacional. En la misma se establecen objetivos de la calidad del aire ambiente, concentraciones máximas permitidas de contaminantes criterio y no convencionales del nivel de inmisión, así como los métodos y procedimientos para la determinación de los contaminantes en el aire ambiente. Señala como contaminantes criterio del aire ambiente a los siguientes: partículas sedimentables, material particulado de diámetro aerodinámico menor a 10 micrones (PM_{10}), material particulado de diámetro aerodinámico menor a 2.5 micrones

(PM_{2.5}), dióxido de nitrógeno NO₂, dióxido de azufre (SO₂), monóxido de carbono (CO), ozono (O₃); y como contaminantes no convencionales con efectos tóxicos y/o carcinogénicos a los siguientes: benceno (C₆H₆), Cadmio (Cd), Mercurio inorgánico (Hg).

1.2.2 ADOPCION DE UNA PERSPECTIVA TEORICA

La existencia de diversas situaciones y niveles de avance de la gestión de la calidad del aire en las distintas ciudades del país conlleva que cada una desarrolle e implemente actividades de acuerdo a sus posibilidades y necesidades locales.

La Dirección de Gestión Ambiental del Municipio de Ambato, considerando el presupuesto disponible, la necesidad de obtener datos bases de la calidad del aire de la ciudad, el soporte técnico que brinda el Municipio de Quito y los materiales disponibles en el mismo para la realización del monitoreo del aire, decidió utilizar la metodología de monitores pasivos para determinar la calidad del aire de la ciudad de Ambato.

1.2.3 MARCO CONCEPTUAL

1.2.3.1 COMPOSICIÓN DE LA ATMÓSFERA

La composición química del aire limpio en general se mantiene homogénea desde el nivel del suelo hasta una altura de alrededor de 80 km, especialmente en lo que respecta a sus componentes mayoritarios como el nitrógeno y el oxígeno; el componente que presenta variaciones importantes es el contenido de agua, que dependiendo del sitio puede alcanzar concentraciones desde 0 a 5% en volumen (ver Tabla 1). También es importante considerar el tiempo de permanencia de los gases en la atmósfera, es decir la vida media de sus moléculas; mientras menor es el tiempo de permanencia de un gas, la variación de su concentración aumenta en el tiempo y el espacio. Considerando que los componentes mayoritarios permanecen prácticamente constantes, los cambios físicos atmosféricos estarían regidos

especialmente por la concentración de los gases variables y las partículas. (Orozco Barrenetxea, Pérez Serrano, González Delgado, Rodríguez Vidal, & Alfayate Blanco, 2003)

Tabla 1. Composición del aire limpio en la atmósfera baja

Gases	Fórmula	% en volumen	Tiempo permanencia
PERMANENTES			
Nitrógeno	N ₂	78,08	10 ⁶ años
Oxígeno	O ₂	20,95	5x10 ³ años
Argón	Ar	0,93	-
Helio	He	5,2x10 ⁻⁴	10 ⁷ años
Neón	Ne	1,8x10 ⁻³	-
Kriptón	Kr	1,0x10 ⁻⁴	-
Xenón	Xe	8,0x10 ⁻⁶	-
VARIABLES			
Dióxido de carbono	CO ₂	3,0x10 ⁻²	15 años
Metano	CH ₄	1,5x10 ⁻⁴	5 años
Hidrógeno	H ₂	5,0x10 ⁻⁵	7 años
Monóxido de dinitrógeno	N ₂ O	2,0x10 ⁻⁵	8 años
Ozono	O ₃	2,0x10 ⁻⁶	2 años
MUY VARIABLES			
Agua	H ₂ O	0-5	10 días

Fuente: (Orozco Barrenetxea, Pérez Serrano, González Delgado, Rodríguez Vidal, & Alfayate Blanco, 2003)

Tabla 1. (cont.)

Gases	Fórmula	% en volumen	Tiempo permanencia
MUY VARIABLES			
Monóxido de carbono	CO	$1,0 \times 10^{-5}$	½ año
Amoniaco	NH ₃	$6,0 \times 10^{-7}$	7 días
Dióxido de nitrógeno	NO ₂	$1,0 \times 10^{-7}$	6 días
Dióxido de azufre	SO ₂	$2,0 \times 10^{-8}$	3 días
Sulfuro de hidrógeno	H ₂ S	$2,0 \times 10^{-8}$	2 días

Fuente: (Orozco Barrenetxea, Pérez Serrano, González Delgado, Rodríguez Vidal, & Alfayate Blanco, 2003)

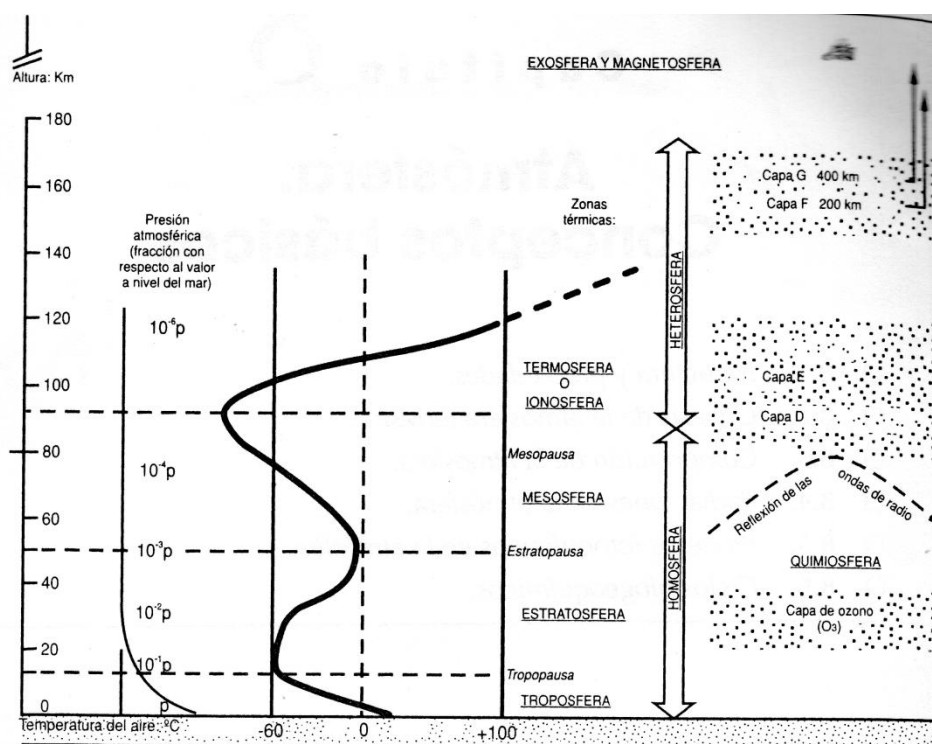
1.2.3.2 ESTRUCTURA DE LA ATMÓSFERA

La atmósfera está constituida por varias capas, ver figura 1, que a continuación se describen:

Troposfera

Capa que se encuentra en contacto con la superficie de la Tierra, cuyo espesor medio es de 10 - 12 km, su densidad es la más elevada debido a que contiene alrededor del 75% de la masa total de la atmósfera. Tanto la densidad como la temperatura disminuyen con la altura; la temperatura lo hace a razón de 6,5°C/km. En esta capa se producen la mayor parte de los fenómenos meteorológicos como los vientos, la lluvia, la nieve, entre otros. Las masas de aire están sometidas a movimientos verticales y horizontales, facilitando el transporte de materiales y dispersión de los contaminantes. En ella se concentra la mayor parte del oxígeno y del vapor de agua; actuando éste último como regulador térmico del planeta. (Orozco Barrenetxea, Pérez Serrano, González Delgado, Rodríguez Vidal, & Alfayate Blanco, 2003)

Figura 1. Estructura de la atmósfera



Fuente: (Orozco Barrenetxea, Pérez Serrano, González Delgado, Rodríguez Vidal, & Alfayate Blanco, 2003)

Estratosfera

Capa que se extiende desde unos 10 hasta aproximadamente 50 km de altura. La temperatura en principio permanece prácticamente constante (alrededor de -60°C) hasta una altura de unos 25 km, de ahí aumenta con la altitud a razón de $1-3^{\circ}\text{C}/\text{km}$; hasta alcanzar temperaturas que oscilan entre 0 y 10°C (máximo 17°C). En esta capa se encuentra la mayor parte del ozono estratosférico que absorbe la radiación ultravioleta provocando el incremento de temperatura. La mezcla de los componentes gaseosos se da por las corrientes horizontales, las verticales son prácticamente inexistentes debido a la ausencia de movimientos de convección. En ella el contenido de humedad es muy bajo. (Grupo Editorial Océano, 1987)

Mesosfera

Esta región está comprendida entre los 50 – 100 km de altura. En principio la temperatura aumenta con la altura dentro de los primeros kilómetros, posteriormente debido a la disminución de ozono; ésta empieza a bajar hasta alcanzar valores mínimos que pueden variar entre -70 y -90°C. Contiene solo cerca del 0,1% de la masa de aire, cuya composición depende de la altura; las concentraciones de vapor de agua y ozono son insignificantes, existe presencia de gases ligeros. En esta capa se observan las nubes noctilucientes, se encuentran meteoritos. (Orozco Barrenetxea, Pérez Serrano, González Delgado, Rodríguez Vidal, & Alfayate Blanco, 2003)

Termosfera o Ionosfera

Región que empieza desde los 80 a 120 km hasta una altura cuyo límite superior no está definido, pero podría estar entre 500 y 1000 km de altura. En esta capa a causa de la radiación solar de alta frecuencia los componentes se disocian químicamente, absorben amplias bandas del espectro ultravioleta, provocando el aumento gradual de la temperatura con la altitud, alcanzando valores desde 200 hasta 1000°C. Aquí debido a la escasa densidad del aire las partículas se encuentran muy separadas. En ella se produce gran actividad fotoquímica, dando lugar a las auroras boreales y australes. (Grupo Editorial Océano, 1987)

Exosfera y magnetosfera

Se estima que la base de esta capa se encuentra entre unos 500 a 750 km, llega hasta una altura en que la densidad atmosférica se equipara con la del gas interestelar que la rodea. En esta capa el concepto común de temperatura desaparece debido a que la densidad de la masa de aire es prácticamente despreciable, además de que pierde sus propiedades físico – químicas. En ella existe un nivel en que los gases más ligeros escapan de la atracción terrestre hacia el espacio (siempre que su velocidad no sea inferior a 11 km/s); esta zona de

intercambio llamada orla de la atmósfera, se extiende hasta unos 2500 km. Por encima de ésta altura se encuentra una enorme banda de radiaciones que se extienden hasta unos 55000 km conocida como magnetosfera, allí la ionización de las partículas determina que la atracción del campo magnético terrestre sea mayor al gravitatorio. (Grupo Editorial Océano, 1987)

1.2.3.3 CONCEPTOS DE EMISIÓN E INMISIÓN

En contaminación atmosférica es importante tener en cuenta la diferencia entre los conceptos de emisión e inmisión.

Emisión

Es la cantidad total de contaminantes vertidos a la atmósfera en un período de tiempo, desde un foco determinado. La concentración de contaminantes se mide a la salida del foco emisor. Estos focos o fuentes pueden ser fijos o móviles. (Mendoza Roca, Montañés Sanjuan, & Palomares Gimeno, 1998)

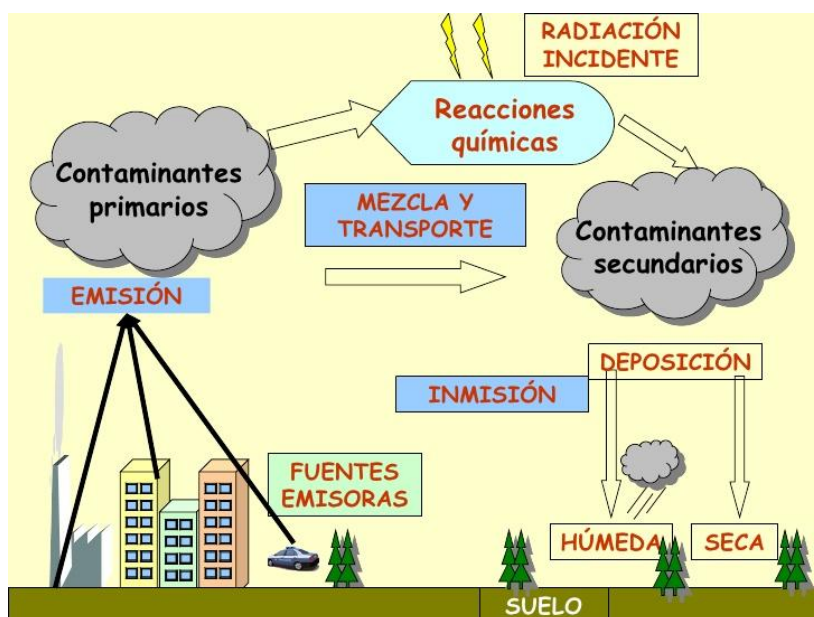
Inmisión

Es la concentración de contaminantes presentes en una atmósfera determinada, a nivel del suelo, por tanto, son valores a los que están expuestos los seres bióticos y abióticos cuya actividad se desarrolla en esa atmósfera concreta. Por ello la inmisión es un parámetro de medida de la calidad del aire ambiente. (Orozco Barrenetxea, Pérez Serrano, González Delgado, Rodríguez Vidal, & Alfayate Blanco, 2003)

La concentración de contaminantes presentes en la atmósfera, corresponde a la diferencia entre las cantidades emitidas y producidas en ella, y las que se eliminan por los procesos de autodepuración. Por tanto los valores de inmisión son resultado de los valores de emisión y de los fenómenos de mezcla, transporte, deposición y transformaciones químicas

que experimentan los contaminantes una vez emitidos a la atmósfera (ver figura 2). (Mendoza Roca, Montañés Sanjuan, & Palomares Gimeno, 1998) / (Orozco Barrenetxea, Pérez Serrano, González Delgado, Rodríguez Vidal, & Alfayate Blanco, 2003)

Figura 2. Esquema de emisión, evolución de contaminantes en la atmósfera e inmisión



Fuente: <http://es.slideshare.net/emartinvidales/contaminantes-quimicos-de-la-atmosfera>

La concentración de contaminantes presentes en el aire, tanto en el caso de emisión como en el de inmisión, se suele expresar en dos tipos de unidades:

- Unidades de volumen/volumen: ppm (cm^3/m^3) o ppb (mm^3/m^3)
- Unidades masa/volumen: mg/m^3 , $\mu\text{g}/\text{m}^3$ o ng/m^3 .

Los contaminantes gaseosos se expresan con los dos tipos de unidades; para interconvertir estas, es necesario conocer el peso molecular del contaminante además de la temperatura y la presión a la que se mide. Mientras que para las partículas en suspensión sólo se pueden utilizar las unidades de masa/volumen, debido a que las partículas están

conformadas por una mezcla de sustancias, por lo cual se desconoce el peso molecular de la mezcla, lo que impide realizar una transformación para expresar en unidades de volumen/volumen. (Orozco Barrenetxea, Pérez Serrano, González Delgado, Rodríguez Vidal, & Alfayate Blanco, 2003)

1.2.3.4 CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

Es la alteración de la composición del aire por la introducción de sustancias ajenas al medio o por la presencia de sustancias gaseosas y/o partículas sólidas o líquidas en suspensión, en proporciones distintas a las naturales, lo cual puede provocar afectaciones a las personas, demás seres vivos, ambiente y bienes materiales (ver tabla 2). En la contaminación del aire intervienen el emisor (tipo de fuente, tasa de emisión, tipo de contaminante, legislación, prevención y control), la atmósfera (dispersión, remoción, transformación, meteorología) y el receptor (consecuencias e impactos). (Oviedo, 2013)

Tabla 2. Afectaciones relacionadas con la contaminación atmosférica

Área afectada	Efectos
Salud de la población	• Afecciones respiratorias y cardíacas • Ingresos hospitalarios • Consultas médicas • Medicación • Bajas laborales • Restricción actividades • Fallecimientos

Fuente: (OSE Observatorio de la Sostenibilidad, 2007)

Tabla 2. (cont.)

Área afectada	Efectos
Salud de la población	• Número de meses de vida perdidos • Efectos sobre el bienestar: altera la vida cotidiana y reduce el nivel de vida.
Ecosistemas	• Afecciones a masas forestales, ríos, lagos y suelos. • Pérdida de biodiversidad (espacios / especies) • Cambios en los ecosistemas
Agricultura	• Daños visibles en las cosechas • Reducción en el rendimiento de las cosechas • Disminución de las producciones ganaderas.
Materiales	• Corrosión ácida de piedras, metales y pinturas en edificios e infraestructuras • Ataque del ozono a revestimientos plásticos polímeros.

Fuente: (OSE Observatorio de la Sostenibilidad, 2007)

Los contaminantes gaseosos del aire son gases o vapores, la diferencia entre estos dos radica en que a temperatura ambiente, un gas se encuentra en forma gaseosa, mientras que un vapor se encuentra en forma sólida o líquida. Al encontrarse los contaminantes gaseosos diluidos en el aire, la probabilidad de que sus moléculas sean capturadas en la superficie de las vías respiratorias, superficies ambientales o equipos monitores de contaminación, es la misma para todas las moléculas. Mientras tanto, en lo que respecta a las partículas dispersas, conocidas también como aerosoles, se debe considerar adicionalmente el tamaño y forma de

las mismas ya que ello influye en la sedimentación, dispersión, coagulación y propiedades ópticas de éstas. (Moreno Grau, 2003)

Existe una gran cantidad de sustancias consideradas como contaminantes atmosféricos, mismas que han sido clasificadas de acuerdo a varios criterios, algunos de los cuales se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3. Clasificación de los contaminantes del aire

Criterio	Contaminantes	Descripción
Por su origen	Primarios	Se emiten desde un foco identificable.
	Secundarios	Se forman en la atmósfera por reacciones químicas de los contaminantes primarios o precursores.
Estado físico	Gaseosos	Se encuentra como gases o vapores diluidos en el aire.
	Particulados: sólidos o líquidos	Son sólidos o líquidos suspendidos en el aire.
Escala espacial de sus efectos	Locales	Influyen sobre un área específica de hasta 4 km.
	Urbanos	Efectos sobre una ciudad.
	Regionales	Aquellos que causan impactos sobre un área rural de geografía relativamente homogénea, puede extenderse de decenas hasta cientos de kilómetros.
	Globales	Tienen efectos sobre una nación o el mundo como un todo.

Fuente: Elaboración propia, recopilación de varios autores.

Tabla 3. (cont.)

Criterio	Contaminantes	Descripción
Impactos en la salud humana	Comunes o criterio	Son de referencia, aquellos sobre los que hay un criterio o límite máximo permisible
	Peligrosos o de interés sanitario	Son aquellos que generalmente no tienen un umbral y presentan efectos graves sobre la salud
Genérico	De tipo reductor	Los que se producen por la combustión incompleta de combustibles fósiles, predominan el SO ₂ y materia particulada.
	De tipo oxidante o fotoquímico	Se dan por reacciones químicas en la atmósfera de compuestos orgánicos volátiles y gases de escape. Se presentan con mayor frecuencia en zonas con fuerte radiación solar.

Fuente: Elaboración propia, recopilación de varios autores.

1.2.3.5 GUÍAS Y NORMAS PARA LA CALIDAD DEL AIRE AMBIENTE

Las guías de calidad del aire son orientaciones básicas que dan valores límites basados en estudios toxicológicos y epidemiológicos de los efectos ambientales en la salud; su principal objetivo es proteger la salud de las personas de los efectos negativos de la contaminación atmosférica, y eliminar o disminuir los contaminantes que son o pueden ser perjudiciales para la salud y el bienestar humano. Los estándares de calidad del aire pueden ser de dos tipos: primarios (aquellos que buscan proteger la salud humana) o secundarios (los que buscan proteger el bienestar del ser humano y de los ecosistemas). (OMS, 1999) / (Organización Panamericana de la Salud, 2005)

Las normas de calidad del aire al igual que las guías tienen la finalidad de proteger la salud o bienestar público. Las normas son valores adoptados como obligatorios, por un ente regulador que establece límites máximos permisibles de concentración de los contaminantes en tiempos promedios; teniendo en cuenta valores guías y la realidad de sus circunstancias locales. (Organización Panamericana de la Salud, 2005)

Los estándares establecidos por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (USEPA – varios años) y la Unión Europea (UE, 2008), están basados en las Guías de Calidad del Aire de la Organización Mundial de la Salud, así como en asuntos y circunstancias locales; por lo cual se consideran como estándares de referencia adicionales. En la Tabla 4, se presenta los valores guía de la OMS y los estándares de la Agencia de Protección Ambiental de Estados y la Unión Europea, para contaminantes comunes.

En la Tabla 5, se presentan normas nacionales de calidad del aire ambiente de algunos países latinoamericanos. Los datos presentados son recopilaciones (de diversas fuentes y años) realizadas por un estudio de Clean Air Institute, edición 2012. Algunos estándares están fijados a nivel local (provincial) como Buenos Aires y La Paz. Los datos de Ecuador son aquellos establecido en la Norma Ecuatoriana de Calidad del Aire (2011); los cuales adicionalmente se presentan con mayor detalle en la Tabla 6. Los valores que se presentan en las tablas 4, 5 y 6, están establecidos para contaminantes criterio a nivel del suelo en el aire ambiente.

Tabla 4. Guías y estándares de calidad del aire

Contaminante	Tiempo promedio	EEUU	UE	Organización Mundial de la Salud			
				OI-1	OI-2	OI-3	OI-4
PM _{2,5} (µg/m ³)	24 h	35 ^a	-	75	50	38	25
	anual	12 ^b	25 ^b	35	25	15	10
PM ₁₀ (µg/m ³)	24 h	150	50 ^d	150	100	75	50
	anual	-	40	70	50	30	20
O ₃ (µg/m ³)	1 h	-	-	-	-	-	-
	8 h	147 ^c	120	160	-	-	100
	anual	-	-	-	-	-	-
SO ₂ (µg/m ³)	10 min	-	-	-	-	-	500
	1 h	197	350 ^f	-	-	-	-
	3 h	1310	-	-	-	-	-
	24 h	-	125 ^e	125	50	-	20
	anual	-	-	-	-	-	50 ⁱ
NO ₂ (µg/m ³)	1 h	188 ^a	200 ^g	-	-	-	200
	24 h	-	-	-	-	-	-
	anual	100	40	-	-	-	40
CO (mg/m ³)	1 h	40	-	-	-	-	30 ^k
	8 h	10	10 ^h	-	-	-	10 ^k

OI: objetivos intermedios.

^a Percentil 98 del promedio de 3 años; ^b promedio de 3 años; ^c promedio de 3 años del cuarto valor anual más alto del promedio máximo diario de 8 horas; ^d 35 excedencias permitidas; ^e 3 excedencias permitidas; ^f 24 excedencias permitidas; ^g 18 excedencias permitidas; ^h 25 días de excedencias permitidas en 3 años; ⁱ valor establecido en OMS 2000 y eliminado en OMS 2005, ^k valores que se mantienen de lo establecido en OMS 2000.

Fuente: (Green & Sánchez, 2013) / (Organización Panamericana de Salud, 2006)

Tabla 5. Normas de calidad del aire ambiente de algunos países de América Latina

Contaminante	Tiempo prom.	Buenos Aires	La Paz	Brasil	Colombia	Chile	Costa Rica	El Salvador	México	Perú	Venezuela	Ecuador
PM _{2,5} (µg/m ³)	24 h	65	25	-	50	50	-	65	65	50	-	50
	anual	15	10	-	25	20	-	15	15	-	-	15
PM ₁₀ (µg/m ³)	24 h	150	50	150	100	150	150	150	120	150	150	100
	anual	50	20	50	50	50	50	50	50	50	50	50
O ₃ (µg/m ³)	1 h	235	-	160	120	-	160	235	216	-	200	-
	8 h	157	100	-	80	120	-	120	157	120	160	100
	anual	-	60	-	-	-	-	60	-	-	-	-
SO ₂ (µg/m ³)	10 min	-	500	-	-	-	-	-	-	-	-	500
	1 h	-	-	-	-	-	-	-	524	-	-	-
	3 h	1300	-	-	750	-	1500	-	-	-	1300	-
	24 h	365	20	365	250	250	365	365	288	80	365	125
	anual	80	-	80	80	80	80	80	66	-	80	60
NO ₂ (µg/m ³)	1 h	-	200	320	200	400	400	-	395	200	367	200
	24 h	-	-	-	150	-	-	150	-	-	300	-
	anual	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	40
CO (mg/m ³)	1 h	40	0,03	40	40	30	40	40	-	30	35	30
	8 h	10	0,01	10	10	10	10	10	13	10	10	10

Fuente: (Green & Sánchez, 2013) / (Ministerio del Ambiente, 2011)

Tabla 6. Resumen norma ecuatoriana de calidad del aire ambiente

Contaminante	Valor	Período de medición
PM _{2,5} (µg/m ³)	15	Promedio aritmético de todas las muestras colectadas en 1 año
	50	Promedio aritmético de todas las muestras colectadas en 24 horas
PM ₁₀ (µg/m ³)	50	Promedio aritmético de todas las muestras colectadas en 1 año
	100	Promedio aritmético de todas las muestras colectadas en 24 horas
O ₃ (µg/m ³)	100	Concentración máxima en 8 horas consecutivas
SO ₂ (µg/m ³)	60	Promedio aritmético de todas las muestras colectadas en 1 año
	125	Concentración en 24 horas de todas las muestras colectadas
	500	Concentración en 10 minutos de todas las muestras colectadas
NO ₂ (µg/m ³)	40	Promedio aritmético de todas las muestras colectadas en 1 año
	200	Concentración máxima en 1 hora de todas las muestras colectadas
CO (mg/m ³)	10	Concentración en 8 horas consecutivas
	30	Concentración máxima en 1 hora
Partículas sedimentables mg/cm ²	1	Acumulado en 30 días

Los valores deben reportarse en las siguientes condiciones: 25°C de temperatura y 760 mm Hg de presión atmosférica.
Para los contaminantes CO y O₃ la excedencia permitida es 1 vez por año, para el resto de contaminantes NO se permite excedencia.

Fuente: (Días Suárez, López, Pallango, Chávez, & Guerrón, 2011)

1.2.3.6 CONTAMINANTES CRITERIO

Son aquellas sustancias que se identifican como comunes y perjudiciales para la salud, el ambiente y el bienestar de los seres humanos; las concentraciones de estos contaminantes dan una medida de la calidad del aire. Se consideran como contaminantes criterio el material

particulado, ozono troposférico, dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno y monóxido de carbono. (Oviedo, 2013)

Material Particulado

Mezcla compleja de partículas sólidas o líquidas (excepto el agua no combinada) suspendidas en el aire, que varían en tamaño, número, origen, forma y naturaleza química. De acuerdo a su diámetro aerodinámico se clasifican en: nanopartículas ($<0,1\mu\text{m}$), ultrafinas ($<1\mu\text{m}$), finas ($<2,5\mu\text{m}$), gruesas ($<10\mu\text{m}$) y sedimentables ($> 10\mu\text{m}$). La norma ecuatoriana de calidad del aire dentro de los contaminantes criterio incluye a las partículas sedimentables y al material particulado MP_{10} y $\text{MP}_{2,5}$. (Oviedo, Curso de gestión de la calidad del aire, 2013)

En la siguiente tabla se presenta una comparación entre partículas finas y gruesas presentes en el aire ambiente.

Tabla 7. Comparación entre partículas finas y gruesas

Características	Partículas finas	Partículas gruesas
Se forma a partir de	Gases	Sólidos grandes/ gotas pequeñas
Formadas por	Reacción química, nucleación, condensación, coagulación, evaporación de niebla y gotas de nubes donde los gases se han disuelto y reaccionado	Disrupción mecánica (trituration, abrasión de superficies); evaporación de atomizadores; suspensión de polvo.

Fuente: (WHO/SDE/OEH, 2000)

Tabla 7. (cont.)

Características	Partículas finas	Partículas gruesas
Composición	Sulfato; nitrato; amonio, ion hidrógeno; carbón elemental; compuestos orgánicos (HAP's); metales (Pb, Cd, V, Ni, Cu, Zn, Mn, Fe); agua ligada a las partículas.	Polvos resuspendidos; ceniza de carbón y petróleo, óxidos metálicos de elementos presentes en la corteza terrestre (Si, Al, Ti, Fe); CaCO ₃ , NaCl, sal marina; polen, esporas de moho; fragmentos de animales y plantas; restos de llantas gastadas.
Solubilidad	Muy soluble, higroscópico y delicuescente	Muy insoluble y no higroscópico
Fuentes	Combustión de carbón, hidrocarburos; madera; productos de transformación atmosférica de NO _x , SO ₂ y compuestos orgánicos, procesos de altas temperaturas, etc.	Resuspensión del polvo industrial; suspensión de tierra removida; fuentes biológicas; construcción y demolición; combustión de carbón e hidrocarburos; brisa marina.
Tiempo de vida	De días a semanas	De minutos a horas
Distancia de viaje	Cientos a miles de kilómetros	Hasta 10 kilómetros

Fuente: (WHO/SDE/OEH, 2000)

Los efectos del material particulado sobre la salud dependen del tamaño y concentración de las partículas; estas difieren de acuerdo a su fuente de emisión y pueden

caracterizarse por sus propiedades físicas y químicas. Las propiedades físicas tienen efecto sobre el transporte y depósito en el sistema respiratorio, mientras la composición química determina el impacto sobre la salud. (Venegas & Marín, 2004)

El material particulado es considerado como uno de los contaminantes más importantes del aire, debido a sus posibles efectos sobre la salud del ser humano. Entre los principales efectos se tienen: irritación de ojos y nariz, síntomas respiratorios severos, incremento en la frecuencia de cáncer pulmonar, muertes prematuras, exacerbación del asma, agravamiento en caso de enfermedades cardiovasculares, acumulación en pulmones (causa silicosis y asbestosis), incremento de tasas de admisión hospitalaria, entre otros. Según estudios realizados por la OMS, no se ha podido establecer un umbral bajo el cual no se produzcan efectos. La información disponible está relacionada con estudios realizados con MP_{10} , sin embargo estudios más recientes indican que el $MP_{2,5}$ es un mejor predictor de los efectos sobre la salud, hay incluso otros que indican al MP_1 como el contaminante a controlar de manera especial. (Wang, Huang, GAO, & Wang, 2002) / (Oviedo, Curso de gestión de la calidad del aire, 2013)

Ozono

Gas incoloro altamente reactivo. Existen dos tipos de ozono: el estratosférico (“bueno”), que es aquel que forma una capa que protege a los seres vivos de la radiación solar ultravioleta; y el troposférico (“malo”), que es un contaminante secundario y criterio que se forma por la oxidación fotoquímica de hidrocarburos reactivos y dióxido de nitrógeno en presencia de la luz solar. El ozono troposférico es el principal componente del smog fotoquímico además de ser el de mayor trascendencia toxicológica. (Moreno Grau, 2003) / (Oviedo, Curso de gestión de la calidad del aire, 2013)

Al ser el ozono troposférico un contaminante secundario, las fuentes corresponden a la de los contaminantes primarios de los que se forma (compuestos orgánicos volátiles y dióxido de nitrógeno). Las principales fuentes de dichos contaminantes son: el uso de solventes orgánicos, combustión de hidrocarburos, gases de escape de los vehículos, uso de derivados del petróleo, entre otros. (Organización Panamericana de la Salud, 2005)

Entre los principales efectos agudos a corto plazo del ozono, en la salud de las personas se tiene: el incremento en la tasa de admisiones hospitalarias debido a enfermedades respiratorias y ataques de asma; incremento en los síntomas respiratorios tales como tos, irritación de ojos, nariz y garganta, opresión pulmonar; días de actividad restringida por enfermedades respiratorias de la población trabajadora. También existen estudios de afectación en la salud de los animales. (Martínez & Romieu, 2002)

Respecto a los efectos crónicos, estos no son claros, sin embargo se considera que podrían conducir a un impedimento crónico del desarrollo pulmonar y sus funciones; posible envejecimiento acelerado del pulmón de poblaciones que residen en sitios con concentración elevada y persistente de ozono troposférico. También existen varios estudios de los efectos subcrónicos los cuales reportan: incremento en la respuesta bronquial y en la alteración del sistema inmunológico de los niños; posible reducción de la función pulmonar de personas que viven en áreas donde el promedio anual de concentraciones sobrepasa 40 ppb. (Martínez & Romieu, 2002)

Los niños asmáticos son considerados como la población más susceptible a los efectos del ozono, mientras que la población más expuesta a este contaminante se cree que corresponde a las personas que realizan actividades físicas al aire libre durante todo el año, debido a que el ejercicio físico provoca un incremento de la dosis recibida. (Moreno Grau, 2003)

Dióxido de Azufre

Gas incoloro, irritante, olor asfixiante, soluble en agua. Es el componente principal de la deposición de ácido. Precursor de sulfatos. Sus fuentes naturales son las erupciones volcánicas, la oxidación del sulfuro de hidrógeno originado por la degradación anaerobia de la materia orgánica de pantanos, océanos, lodazales, etc. Como fuentes antropogénicas se tiene las emisiones producidas por la combustión de combustibles fósiles que contienen azufre (para calefacción doméstica, generación eléctrica y vehículos a motor especialmente los de diesel); fundición de menas que contienen azufre; uso de fertilizantes. Se lo ha denominado como un contaminante que “pasa a través de” debido a que la cantidad emitida al aire es similar a la cantidad presente en el combustible. (Orozco Barrenetxea, Pérez Serrano, González Delgado, Rodríguez Vidal, & Alfayate Blanco, 2003) / (Oviedo, Curso de gestión de la calidad del aire, 2013)

El dióxido de azufre puede tener efectos negativos sobre los ecosistemas, por lo cual la última directiva de la Unión Europea establece como valor límite para proteger a éstos, en $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Estudios en animales indican que este contaminante reduce la efectividad de los macrófagos pulmonares en su acción antibacteriana y disminuye la capacidad para generar oxidantes endógenos. (Orozco Barrenetxea, Pérez Serrano, González Delgado, Rodríguez Vidal, & Alfayate Blanco, 2003) / (Moreno Grau, 2003)

En los seres humanos, como agente irritante causa broncoconstricción y estimula las secreciones mucosas; concentraciones elevadas de este contaminante pueden producir efectos severos en forma de broncoespasmos, bronquitis química y traqueítis. A bajas concentraciones, la exposición crónica produce incremento en la incidencia de bronquitis en la población. La sensibilidad a este contaminante es muy variable entre los individuos, especialmente entre la población asmática. (Martínez & Romieu, 2002) / (Moreno Grau, 2003)

La combinación de dióxido de azufre con partículas o humedad del aire, tienen efectos sinérgicos, es decir son mayores; siendo el más preocupante la contribución de este contaminante a la formación de la lluvia ácida. (Oviedo, Curso de gestión de la calidad del aire, 2013)

Dióxido de Nitrógeno

Gas naranja – marrón, soluble en agua. Desde el punto de vista toxicológico el dióxido de nitrógeno junto con el óxido nítrico son los principales contaminantes entre los varios óxidos de nitrógeno. Ambos son reactivos y pueden alcanzar concentraciones significativas en el aire. El óxido de nitrógeno (NO) que se incorpora a la atmósfera se oxida lento pero constantemente a dióxido de nitrógeno (NO₂). El dióxido de nitrógeno forma la niebla fotoquímica, la deposición de ácido y es precursor de la formación de partículas de nitrato. Desempeña un papel importante en la formación de ozono en la tropósfera. (Moreno Grau, 2003)

Las fuentes naturales del dióxido de nitrógeno son la descomposición de la materia orgánica, incendios forestales, actividad volcánica y descargas eléctricas de las tormentas. Su origen antropogénico tiene como principales causas el transporte y los procesos de combustión a altas temperaturas. (Kiely, 1999) / (Orozco Barrenetxea, Pérez Serrano, González Delgado, Rodríguez Vidal, & Alfayate Blanco, 2003)

Entre los efectos agudos del dióxido de nitrógeno se tienen: afección a los sistemas inmunitarios (celular y el humoral); reducción de la subpoblación de linfocitos T, lo que puede reflejar un deterioro funcional de la respuesta inmune. Estudios de exposiciones a concentraciones altas a largo plazo de dióxido de nitrógeno, muestran incremento de enfermedades respiratorias en niños menores de 12 años. Sin embargo aún no existe suficiente

evidencia epidemiológica sobre los efectos en la función pulmonar a corto y largo plazo de la exposición a dióxido de nitrógeno. (Martínez & Romieu, 2002)

Monóxido de carbono

Gas incoloro, inodoro e insípido, poco soluble en agua, altamente tóxico, su densidad es el 96,5% de la del aire y es el más ampliamente distribuido y abundante de los contaminantes de referencia. (Kiely, 1999)

Su origen natural se debe a incendios forestales y principalmente a reacciones de oxidación atmosférica del metano (producto de la reacción anaerobia de la materia orgánica). Respecto a su origen antropogénico, es el producto de la combustión incompleta de combustibles carbonosos (carbón, petróleo, gasolina, madera, gas, tabaco, etc.), en el aire urbano la principal fuente es la circulación vehicular. (Kiely, 1999) / (Orozco Barrenetxea, Pérez Serrano, González Delgado, Rodríguez Vidal, & Alfayate Blanco, 2003)

El principal efecto del monóxido de carbono en la salud de las personas y los animales, es la disminución del suministro de oxígeno a los tejidos, por tanto aquellos que necesitan una mayor cantidad de oxígeno se encuentran en mayor riesgo (corazón, sistema nervioso central, así como el feto), situación que se produce cuando el monóxido de carbono sustituye al oxígeno en la sangre formando carboxihemoglobina en lugar de oxihemoglobina. Se señalan cuatro tipos de efectos sobre la salud asociados con la exposición a este contaminante, y son: neuroconductales, cardiovasculares, fibrinólisis y perinatales. Dependiendo de la concentración y del tiempo de exposición puede existir riesgo importante de coma y muerte. Aparentemente el grupo más sensible a la exposición de este contaminante corresponde a las personas con enfermedad cardiovascular previa (personas con angina crónica). Otros grupos sensibles son los niños pequeños, las personas de la tercera edad y los individuos con padecimientos respiratorios. (Martínez & Romieu, 2002)

1.2.3.7 CONTAMINANTES PELIGROSOS (NO CONVENCIONALES)

El aire ambiental contiene otras sustancias tóxicas además de los contaminantes criterio, mismas que han sido agrupadas bajo el nombre de contaminantes peligrosos del aire. Estos contaminantes generalmente son productos químicos que proceden de fuentes específicas y que afectan a áreas aisladas; varios de ellos tienen efectos carcinogénicos (mismos que no tienen dosis mínima, debido a que incluso una pequeña cantidad puede producir cáncer) que pueden producir efectos irreversibles en la salud de las personas; la mayoría son compuestos orgánicos volátiles. (OPS/CEPIS, 2002)

A continuación en las tablas 8 y 9 se listan los contaminantes peligrosos con efectos no carcinogénicos y carcinogénicos.

Tabla 8. Contaminantes peligrosos con efectos no carcinogénicos

Compuesto	Efecto de salud
Acetaldehído	Irritante. Relacionado con carcinogeneidad en ratas.
Acetona	Malos olores
Acroleína	Irritación de los ojos en humanos. Malos olores
Bromuro de metilo	Reducción del índice de fertilidad en ratas.
Cadmio	Efectos renales en la población.
1,4 dicloro benceno	Aumento en el peso renal y proteínas urinarias
Disulfuro de carbono	Cambios funcionales del sistema nervioso central en los trabajadores. Malos olores.
Mercurio*	Efectos tubulares renales en humanos.

Fuente: (Oviedo, Curso de gestión de la calidad del aire, 2013)

Tabla 8. (cont.)

Compuesto	Efecto de salud
Tetracloruro de carbono	Hepatotoxicidad en ratas
Tolueno	Efectos en el sistema nervioso central de trabajadores. Malos olores
Vanadio	Efectos respiratorios en trabajadores.
Xilenos*	Efectos en el sistema nerviosos central en humanos voluntarios. Neurotoxicidad en ratas. Malos olores.

Fuente: (Oviedo, Curso de gestión de la calidad del aire, 2013)

Tabla 9. Contaminantes peligrosos con efectos carcinogénicos

Compuesto	Efecto de salud
Acetaldehído	Tumores nasales en ratas
Acrilonitrilo	Cáncer al pulmón en trabajadores
Arsénico	Cáncer al pulmón en humanos expuestos
Benceno	Leucemia en trabajadores expuestos
Benzo (a) pireno	Cáncer al pulmón en humanos
Cromo VI	Cáncer al pulmón en trabajadores expuestos
Níquel	Cáncer al pulmón en humanos expuestos
HAPs	Cáncer al pulmón en humanos expuestos
Cloruro de vinilo	Hemangiosarcoma en trabajadores expuestos. Cáncer de hígado en trabajadores expuestos

Fuente: (Oviedo, Curso de gestión de la calidad del aire, 2013)

Para el control de la emisión de estos contaminantes se emiten normas que establecen límites numéricos que permitan proteger la salud humana; sin embargo es un proceso complicado debido a la incertidumbre en la evaluación de los efectos sobre la salud. En Estados Unidos se han fijado normas de emisión sólo para ocho contaminantes (arsénico, asbesto, benceno, berilio, cloruro de vinilo, mercurio, radón y radionucleidos diferentes del radón). (Oviedo, Curso de gestión de la calidad del aire, 2013)

De acuerdo a la Norma Ecuatoriana de Calidad del Aire (2011), los contaminantes no convencionales “son aquellos contaminantes del aire que pueden presentar una amenaza de efectos adversos en la salud humana o en el ambiente” (p.2). Y se establecen como tales al benceno C_6H_6 , cadmio Cd y mercurio inorgánico (vapores) Hg, cuyos valores máximos permisibles se observan en la Tabla 10.

Tabla 10. Valores máximos permisibles para contaminantes no convencionales del aire

Contaminante no convencional	NECA ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Benceno (anual)	5
Cadmio (anual)	5×10^{-3}
Mercurio inorgánico (vapores) (anual)	1

Fuente: (Ministerio del Ambiente, 2011)

Los hidrocarburos aromáticos son perjudiciales para la salud, es así como el uso del benceno a nivel industrial se ha limitado por su alta toxicidad. Los BTX (benceno, tolueno, xileno) son líquidos muy volátiles de olor agradable; la exposición humana a altas concentraciones de estos compuestos afecta al sistema nervioso central. A bajas concentraciones afecta al sistema hematopoyético. Las principales fuentes antropogénicas

son la combustión incompleta de combustibles fósiles, solventes, emisiones de vehículos, entre otros. (Oviedo, Toxicología ambiental, 2013)

El cadmio debido a su presión de vapor relativamente alta, pasa fácilmente a estado de vapor, por lo cual en el aire se lo encuentra como óxido de cadmio. Sus principales fuentes son las actividades industriales, agrícolas, mineras, siendo la más importante el uso de combustibles fósiles. Sus posibles efectos son daños pulmonares, enfermedad renal, fragilidad en los huesos. (Oviedo, Toxicología ambiental, 2013)

El mercurio tiene como fuentes principales la combustión de combustibles fósiles, la minería, fabricación de baterías de mercurio, fabricación de cemento, fabricación de amalgamas en odontología, entre otros. Sus principales efectos se dan sobre el pulmón y el sistema nervioso central. (Oviedo, Toxicología ambiental, 2013)

1.2.3.8 MONITOREO ATMOSFÉRICO

Inche (2004), indica que son “todas las metodologías diseñadas para muestrear, analizar y procesar en forma continua las concentraciones de sustancias o de contaminantes presentes en el aire en un lugar establecido y durante un tiempo determinado” (p.69)

Un programa de monitoreo debe considerar el área de influencia en el que se va a desarrollar el estudio, pudiendo ser: muestreos en un área determinada, muestreos de contaminación causada por fuentes fijas y/o móviles, y muestreos específicos comúnmente relacionados con personas.

Para el monitoreo atmosférico, existen las siguientes metodologías: monitores pasivos, monitores activos, monitores automáticos, sensores remotos y bioindicadores. A continuación se muestra una tabla con las ventajas y desventajas de cada uno de estos métodos:

Tabla 11. Metodologías de muestreo atmosférico

Metodología	Ventajas	Desventajas
Monitores pasivos	Muy bajo costo Muy simples Útiles para cribado y estudios de base	No probado para algunos contaminantes. En general sólo proveen promedios semanales y mensuales. Requieren análisis de laboratorio.
Monitores activos	Bajo costo Fáciles de operar Confiables en operación y funcionamiento Historia de bases de datos	Proporciona concentraciones pico o de alerta Trabajo intensivo Requieren análisis de laboratorio
Monitores automáticos	Alto funcionamiento comprobado Datos horarios Información <i>on line</i> y bajos costos directos	Complejo Caro Requieren técnicos calificados Altos costos periódicos de operación
Sensores remotos	Proporcionan patrones de resolución de datos Útiles cerca de fuentes y para mediciones verticales en la atmósfera Mediciones de multicomponentes	Muy complejos y caros Difíciles de operar, calibrar y validar. No son siempre comparables con los analizadores convencionales

Fuente: (Banco Mundial, OPS, USEPA, ATEI, 2002)

Tabla 11. (cont.)

Metodología	Ventajas	Desventajas
Bioindicadores	Baratos Útiles para identificar la presencia de algunos contaminantes	Problemas en la estandarización de sus metodologías y otros inherentes a los procedimientos Algunos requieren análisis de laboratorio

Fuente: (Banco Mundial, OPS, USEPA, ATEI, 2002)

Para escoger la metodología a utilizar es importante tener en cuenta que esta cumpla con los objetivos del estudio, por ello, a continuación se muestra una tabla en la que se relacionan los objetivos establecidos con las metodologías arriba indicadas.

Los valores del 1 al 3 indican la utilidad de la metodología, siendo la 3 la más recomendada para cumplir con el objetivo. La ausencia de valor indica que la metodología no es recomendable para cumplir el objetivo establecido.

Tabla 12. Utilidad de las metodologías de acuerdo a los objetivos establecidos

Objetivos	Metodologías				
	MPA: Monitores pasivos MAC: Monitores activos MAU: Monitores automáticos SER: Sensores remotos BIN: Bioindicadores				
	MPA	MAC	MAU	SER	BIN
Vigilar el cumplimiento de los valores límite de calidad del aire	1	3	3	1	1

Fuente: (Banco Mundial, OPS, USEPA, ATEI, 2002)

Tabla 12. (cont.)

Objetivos	Metodologías				
	MPA: Monitores pasivos MAC: Monitores activos MAU: Monitores automáticos SER: Sensores remotos BIN: Bioindicadores				
	MPA	MAC	MAU	SER	BIN
Implementación de planes de contingencia	1	3	3	2	
Alertas ambientales: vigilancia de valores máximos	1	2	3	2	
Investigación del transporte de contaminantes atmosféricos	2	2	1	3	2
Barrido de contaminantes en una trayectoria			2	3	
Rastreo de tendencias temporales de calidad de aire	2	1	3	3	1
Medición del impacto de las medidas de control en la calidad del aire	3	2	3	2	1
Calibración y evaluación de modelos de dispersión	1	1	3	3	
Monitoreo Kerbside (en banqueta)	3	3	1		
Efectos de la contaminación atmosférica global. Inventario de efectos	2	2	2	1	3
Estudios de Salud Pública	3	3	1		1
Medición de concentraciones de fondo	3	1	1		3
Monitoreos en fuentes fijas	1	2	3	3	
Monitoreo perimetral a industrias riesgosas	1	2	3	3	1

Fuente: (Banco Mundial, OPS, USEPA, ATEI, 2002)

Una vez seleccionada una o varias metodologías y los parámetros a medir, es importante determinar el número y los sitios de muestreo; para los cuales es importante considerar la facilidad de acceso, seguridad contra vandalismo, infraestructura y que no existan obstáculos. En las tablas 13 y 14 se presenta un resumen de recomendaciones fijadas en los manuales de diferentes organismos, para la ubicación de los sitios de muestreo del aire.

Tabla 13. Distancias recomendadas para la ubicación de los instrumentos de muestreo de aire de acuerdo a los obstáculos de los alrededores

Obstáculo	Distancia
Árboles y edificios	Radio libre de 10 metros alrededor del sitio de muestreo*
Fuentes de emisión industriales, comerciales o móviles	Instalar a una distancia de por lo menos 20 metros del sitio de muestreo*

Fuente: (Martínez & Romieu, 2002)

*Las distancias indicadas en la tabla 13 no son aplicables en caso de monitoreo kerbside (aquel que se utiliza para monitorear partículas PM_{10} y obtener la concentración máxima a la que están expuestas las personas que transitan o trabajan en la calle).

Tabla 14. Alturas recomendadas para la ubicación de los instrumentos de muestreo de aire de acuerdo al tipo de estudio a realizarse

Altura de la toma de muestra	Tipo de estudio
1,5 a 2,5 m	Epidemiológicos o de tráfico vehicular
2,5 a 4 y hasta 8 m	De calidad del aire
10 m	Medición de parámetros meteorológicos

Fuente: (Martínez & Romieu, 2002)

1.2.3.9 MONITORES PASIVOS

Son dispositivos que mediante absorción y adsorción en un sustrato químico captan un contaminante específico del aire durante un tiempo determinado, posteriormente se traslada la muestra a un laboratorio para realizar la desorción de la sustancia y determinar la concentración promedio. Tienen como ventajas la simplicidad y el bajo costo, entre los contaminantes que se pueden determinar con esta técnica están el dióxido de nitrógeno, el dióxido de azufre, compuestos orgánicos volátiles, ozono y amoníaco. Existen dos tipos de monitores pasivos, aquellos que sirven para monitorear la calidad del aire en sitios fijos y los personales que se utilizan para estudios epidemiológicos. Para la determinación de la calidad del aire, los monitores pasivos pueden ser utilizados en combinación con monitores activos o monitores automáticos. (PNUMA/OMS, 2002)

1.2.4 HIPÓTESIS

Al ser un estudio de tipo exploratorio, no se establecen hipótesis.

1.2.5 IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE VARIABLES

1.2.5.1 VARIABLE DEPENDIENTE

Calidad del aire

Definición conceptual: La calidad del aire se relaciona con la composición y la idoneidad de éste para evitar daños en la salud de las personas y cautelar el ambiente. (Villacís, 2014)

Definición operacional: Consiste en medir y monitorear la concentración de los contaminantes seleccionados (BTX, SO₂, NO₂, O₃) presentes en la atmósfera, en un tiempo y espacio determinado, con la utilización de monitores pasivos; y relacionar los resultados con la norma y guías correspondientes, para determinar la calidad del recurso en la ciudad de Ambato. Cabe indicar que en la Norma Ecuatoriana de Calidad del Aire (NECA), el monitoreo pasivo se señala como un método alternativo para la determinación de los contaminantes señalados.

1.2.5.2 VARIABLE INDEPENDIENTE

Distribución espacial de los puntos de monitoreo

Definición conceptual: Son lugares representativos de la calidad del aire, dentro del área de estudio. Estos sitios se escogen en base a los objetivos que se pretenden alcanzar y al área que se procura cubrir. Otras consideraciones que se deben tener en cuenta son: tipo de emisiones, fuentes de emisión, factores topográficos y meteorológicos. (Martínez & Romieu, 2002)

Definición operacional: Consiste en colocar las estaciones de monitoreo pasivo en los seis sitios seleccionados: Mercado Modelo, Redondel de Huachi Chico, Barrio Techo Propio, Parque de La Familia, Antiguo Redondel de Izamba y Barrio Amazonas. Estos sitios fueron escogidos, considerando los puntos de mayor contaminación señalados en el Estudio de la

Calidad del Aire de la Ciudad de Ambato, realizado por la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad Central del Ecuador, durante el período junio 2007 a mayo 2008; además de criterios técnicos del personal del departamento de Gestión Ambiental del Municipio de Ambato y sugerencias del personal técnico de la Secretaría de Ambiente del Distrito Metropolitano de Quito.

CAPÍTULO II

2. MÉTODO

2.1 NIVEL DE ESTUDIO

2.1.1 EXPLORATORIO

Este tipo de estudio tiene como propósito examinar un tema poco estudiado; sirve entre otras cosas para familiarizarse con fenómenos en cierta forma desconocidos, conseguir información que permita posteriormente realizar una investigación más exhaustiva sobre un contexto particular, establecer prioridades para investigaciones futuras. Estudio utilizado especialmente cuando hay poca información. (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2006)

El presente trabajo es una investigación de tipo exploratoria, porque tiene como objeto familiarizarse con un tema poco estudiado, como lo es la calidad del aire en el país y particularmente en la ciudad de Ambato. Si bien se han realizado en la ciudad, varios estudios relacionados con el tema, éstos han sido sólo orientadores ya que la presencia de contaminantes en la atmósfera han sido determinados de manera indirecta; y respecto a los datos obtenidos de la estación de monitoreo de aire han sido considerados inciertos.

Para la primera campaña anual de monitoreo pasivo de la calidad del aire, la Dirección de Gestión Ambiental del Municipio, estableció el número, sitios de muestreo y contaminantes atmosféricos a medir, considerando puntos estratégicos de la ciudad y el presupuesto disponible para el programa.

2.2 MODALIDAD DE INVESTIGACIÓN

2.2.1 DE CAMPO

Es aquella en la que los datos se obtienen directamente de la realidad, a través del trabajo específico del investigador y su equipo. Los datos obtenidos se conocen como primarios ya que son de primera mano, originales, fruto de la investigación en curso, sin intermediación de ninguna clase. El trabajo de campo implica la relación directa del investigador con las fuentes de información no documentales. Sin embargo la cantidad de datos que se pueden obtener depende de las restricciones de cada estudio, tales como carencia de recursos económicos, físicos, humanos, materiales u otros. (Sabino, 1992)

Se tomaron muestras de los contaminantes gaseosos, en los sitios definidos; la frecuencia de recolección de las muestras de dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno y BTX en cada uno de los sitios fue de una muestra por contaminante cada mes; mientras que para el ozono fueron dos muestras cada quince días; posteriormente las muestras se trasladaron al laboratorio de la Secretaría de Ambiente de la ciudad de Quito para su respectivo análisis. La campaña de monitoreo pasivo se realizó durante un año en el período comprendido entre el 31 de octubre del 2013 y el 31 de octubre del 2014.

2.2.2 DOCUMENTAL

Son datos plasmados en un documento, recolectados en otras investigaciones, elaborados y procesados de acuerdo a los fines de quienes inicialmente los obtuvieron. Estos datos se conocen como secundarios, pues no son obtenidos directamente de la realidad del estudio en curso; sin embargo se pueden analizar, sistematizar o reinterpretar y tener un contacto con los hechos aunque de forma indirecta. La investigación documental es parte esencial de la investigación, ya que permite observar y reflexionar de manera sistemática

sobre realidades (teóricas o no) utilizando para ello distintos tipos de documentos. (Sabino, 1992)

Garza (1988) considera que ésta técnica “... se caracteriza por el empleo predominante de registros gráficos y sonoros como fuentes de información., registros en forma de manuscritos e impresos”

En este trabajo, se profundizó el conocimiento sobre: los parámetros que influyen en la calidad del aire, la distribución espacial de los puntos de monitoreo, la gestión de la calidad del aire, con apoyo de medios impresos, audiovisuales y electrónicos.

2.3 MÉTODO

2.3.1 INDUCTIVO - DEDUCTIVO

El método inductivo es aquel que va de lo particular a lo general; es decir a partir de la observación y experimentación de los hechos particulares se obtiene una conclusión general. Mientras el método deductivo va de lo general a lo particular; es decir parte de datos generales aceptados como verdaderos, para deducir a través del razonamiento lógico proposiciones particulares. (Ávila Baray, 2006)/ (Cegarra Sánchez, 2004)

Cervo y Bervian (1997), refieren “que la inducción y la deducción son procesos que se complementan y refuerzan mutuamente”.

Con el conocimiento de la concentración de contaminantes en los sitios seleccionados de medición, es posible inferir la calidad del aire de la ciudad; considerando que las estaciones de monitoreo se encuentran en sitios representativos.

Además al analizar los resultados es posible mantener, cambiar y/o incrementar las estaciones de monitoreo en cada una de las zonas estudiadas, debido a que, si en un lugar se alcanza o se excede los límites máximos permisibles de contaminación, es necesario incrementar los puntos de muestreo. (Inche, 2004)

2.3.2 HIPOTÉTICO - DEDUCTIVO

Es aquel que se aplica sobre el registro de un hecho medible y repetible, sobre el cual se desea encontrar una explicación o elaborar una ley, para ello se plantean hipótesis congruentes con el fenómeno y se deducen las consecuencias o proposiciones, mismas que posteriormente deben ser verificadas. (Días Narváez, 2006)

Camino para buscar la solución a los problemas planteados, en el que se emite hipótesis sobre las posibles soluciones, mismas que se comprueban si están de acuerdo con los datos disponibles. (Cegarra Sánchez, 2004)

Se estima que el estudio de la calidad del aire de la ciudad de Ambato, puede arrojar datos que alcancen o excedan los límites máximos permitidos de la concentración de uno o más de los contaminantes gaseosos medidos, debido a la existencia de fuentes fijas y móviles, y por la característica del cantón de ser una ciudad de altura, lo que implica la posibilidad de una baja dispersión de los contaminantes y por ende de una mayor concentración de los mismos.

2.4 POBLACIÓN Y MUESTRA

2.4.1 POBLACIÓN

“Una población es un conjunto de todos los elementos que estamos estudiando, acerca de los cuales intentamos sacar conclusiones” (Levin & Rubin, 2004)

La población es el conjunto integral de individuos, objetos o medidas con ciertas características comunes, sobre el que se tiene interés de estudio. En la selección de la población se deben considerar entre otras las siguientes características: homogeneidad, tiempo, espacio y cantidad. (Wigodsky, 2010)

En este proyecto de investigación la población objeto de estudio es el cantón Ambato.

2.4.2 MUESTRA

Es la parte accesible y limitada de la población sobre la que se va a realizar el estudio, del que se espera obtener conclusiones generalizadas a la población. La muestra debe ser representativa de la población, es decir que las partes reflejen la totalidad. (Fernández & Días, 2001)

Según Cadenas (1974), “una muestra debe ser definida en base a la población determinada, y las conclusiones que se obtengan de dicha muestra solo podrán referirse a la población en referencia”.

Existen diferentes tipos de obtener las muestras y son: muestreo aleatorio simple, muestreo estratificado, muestreo intencionado, muestreo mixto y muestreo tipo. En este trabajo de investigación se realizó un muestreo intencionado o sesgado, que consiste en que el investigador selecciona elementos que a su juicio son representativos. (Tamayo & Tamayo , 1997)

La muestra se escogió en base a un estudio previo de la calidad del aire de la ciudad de Ambato realizado por la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad Central del Ecuador entre junio de 2007 y mayo de 2008, del cual se seleccionó seis de los puntos que presentaron mayor concentración de contaminantes. En la tabla 15, se indican los sitios escogidos para la ubicación de las estaciones de monitoreo, en cada uno se colocó una estación de monitoreo.

Tabla 15. Ubicación de las estaciones de monitoreo pasivo de contaminantes del aire

Parroquias		Sector / Barrio
Urbanas	San Francisco	Mercado Modelo
	Huachi Chico	Redondel
	Pishilata	Techo Propio
Rurales	Ambatillo	Parque de la Familia
	Izamba	Antiguo redondel
		Amazonas

Fuente: Elaboración propia

2.5 SELECCIÓN DE INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN

2.5.1 ANÁLISIS DE DOCUMENTOS

Se revisaron:

- Estudios previos sobre la calidad del aire en el país,
- Normas nacionales e internacionales sobre la calidad del aire,
- Temas varios relacionados con parámetros, monitoreo, gestión y otros de la calidad del aire.

2.5.2 MATERIALES Y EQUIPOS

Se utilizaron monitores pasivos fabricados por el personal de la red de monitoreo pasivo del aire (REMPA), de la Secretaría de Ambiente del Distrito Metropolitano de Quito, mismos que sirvieron para determinar la concentración de los contaminantes BTX, SO₂/NO₂ y O₃.

2.5.2.1 MONITORES PASIVOS DE BTX

Consisten en un tubo de vidrio, empaquetado con carbón activado que adsorbe los hidrocarburos aromáticos (benceno, tolueno y xileno), fotografía 1.

Fotografía 1. Monitor para BTX

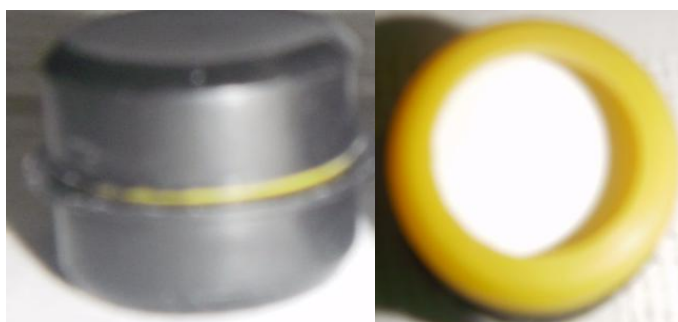


Fuente: Villacís, 2014

2.5.2.2 MONITORES PASIVOS DE SO₂/NO₂

Consisten en un estuche de polipropileno con filtro membrana y una tapa, fotografía 2, tiene como medio absorbente acetona que capta por difusión molecular al dióxido de azufre y al dióxido de nitrógeno.

Fotografía 2. Monitor para SO₂/NO₂

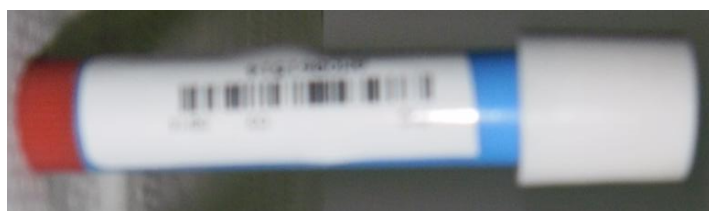


Fuente: Villacís, 2014

2.5.2.3 MONITORES PASIVOS DE O₃

Consisten en un tubo de polipropileno con una tapa fija y una desprendible, en su interior se encuentra un filtro impregnado con una solución de ácido acético, medio que absorbe el ozono presente en el aire ambiente, fotografía 3.

Fotografía 3. Monitor para O₃



Fuente: Villacís, 2014

2.5.3 ANÁLISIS DE LABORATORIO

El laboratorio químico de la Secretaría de Ambiente del DMQ realizó los análisis de los monitores pasivos utilizando los métodos y equipos indicados en la tabla 16.

Tabla 16. Métodos de medición y equipos utilizados en la REMPA

Contaminante	Método de medida	Marca y modelo
Benceno, tolueno y xileno (BTX)	Desarrollado en el laboratorio: difusión pasiva; extracción con solventes y análisis por cromatografía de gases	Shimatzu / GC-17 ^a

Fuente: (Días Suárez, López, Pallango, Chávez, & Guerrón, 2011)

Tabla 16. (cont.)

Contaminante	Método de medida	Marca y modelo
Dióxido de azufre (SO ₂)	Radiello: difusión pasiva; extracción y análisis por cromatografía iónica	Metrohm / Advanced compact IC 851
Dióxido de nitrógeno (NO ₂)	Radiello: difusión pasiva; extracción y análisis por cromatografía iónica	Metrohm / Advanced compact IC 851
Ozono (O ₃)	Radiello, Passam: difusión pasiva; espectrofotometría UV visible (reacción de color MBTH)	Labomed / Spectro 2000

Fuente: (Días Suárez, López, Pallango, Chávez, & Guerrón, 2011)

2.6 VALIDEZ Y CONFIABILIDAD DE INSTRUMENTOS

2.6.1 REPRESENTATIVIDAD DE LOS DATOS

Los registros se consideran válidos cuando cumplen con el criterio de cobertura temporal ya que existen suficientes datos que garantizan su representatividad. El criterio de cobertura temporal para el monitoreo pasivo indica que para los promedios mensuales y anuales se necesita de por lo menos 2/3 del período total con registros válidos. (Días Suárez, López, Pallango, Chávez, & Guerrón, 2011)

2.6.2 PROCEDIMIENTOS OPERATIVOS

Los procedimientos operativos para el monitoreo pasivo fueron los siguientes:

- Preparación de monitores,

- Traslado de monitores desde la Secretaría de Ambiente del DMQ hasta la ciudad de Ambato.
- Colocación y retiro de monitores de cada una de las estaciones de monitoreo,
- Traslado de monitores desde la ciudad de Ambato hasta la Secretaría de Ambiente del DMQ.
- Análisis de monitores.

2.6.2.1 PREPARACIÓN DE MONITORES

La preparación de los monitores de BTX, SO₂, NO₂ y O₃, estuvieron a cargo de personal técnico capacitado de la Secretaría de Ambiente del DMQ, mismos que basan su operación en un programa de control y aseguramiento de la calidad. Una vez preparado los monitores eran refrigerados hasta la entrega para su traslado a la ciudad de Ambato.

2.6.2.2 TRASLADO DE MONITORES

Los monitores eran empacados en fundas ziploc, cada una contenía un solo tipo de monitor para evitar cualquier tipo de contaminación.; las fundas debidamente selladas eran colocadas en un recipiente para su traslado. Cada quince días se trasladaban catorce monitores de ozono, dos de los cuales eran blancos; y cada mes se trasladaban siete monitores de BTX y siete de SO₂/NO₂, uno de ellos era blanco de cada monitor.

2.6.2.3 COLOCACIÓN Y RETIRO DE MONITORES

La primera vez que se colocaron los monitores, fue necesaria la instalación de brazos metálicos y contenedores elaborados específicamente para este fin (ver fotografía 4). Los dispositivos fueron ubicados procurando seguir las recomendaciones indicadas en las tablas 13 y 14. En cinco de los sitios los dispositivos fueron colocados en las terrazas de

instituciones o casas, mientras que en uno de los sitios (Parque de la Familia) se colocó en el balcón de las oficinas de administración.

Fotografía 4. Brazo metálico y contenedor de monitores



Fuente: Villacís, 2014

Los monitores debidamente etiquetados se ubicaban en los dispositivos (fotografías 5 y 6), teniendo los siguientes cuidados en su manipulación:

- Retirar el papel aluminio de los tubos de BTX, colocar en forma horizontal para evitar el ingreso de agua, sujetar con cinta de doble faz en un sitio limpio y seco en el interior del contenedor.
- Separar la tapa del monitor de SO_2/NO_2 , no topar el filtro, sujetar con cinta de doble faz en un sitio limpio y seco en el interior del contenedor.
- Despojar la tapa desprendible de los tubos de O_3 , ubicar los monitores con la abertura hacia abajo en los agujeros del dispositivo.

Fotografía 5. Colocación de monitores de BTX y SO_2



Fuente: Villacís, 2014

Fotografía 6. Colocación de monitores de O_3



Fuente: Villacís, 2014

Mientras tanto para los monitores que se recogían de las estaciones era necesario tener las siguientes precauciones:

- Colocar las tapas inmediatamente retirado el monitor (NO_2/SO_2 y O_3).
- Poner el monitor de BTX en fundas individuales selladas.
- Revisar que las etiquetas de identificación no se hayan removido y sean las correspondientes a la estación de muestreo.
- Clasificar los monitores en fundas ziploc de acuerdo al tipo de medidor.
- Ubicar todas las fundas con sus respectivos monitores en un recipiente adecuado para el traslado.
- Entregar los monitores recolectados y los blancos correspondientes, en el laboratorio de la Secretaría de Ambiente del DMQ, al siguiente día hábil de la recolección de los mismos.

2.6.2.4 ANÁLISIS DE MONITORES

Las técnicas analíticas utilizadas por los analistas del laboratorio de la Secretaría de Ambiente del DMQ para la determinación de la concentración de los contaminantes, fueron las indicadas en la tabla 16. Es importante indicar que en la ciudad de Quito se realiza monitoreo activo y pasivo, lo cual ha permitido comparar estos métodos y validar la metodología con tubos pasivos.

2.7 PROCESAMIENTO DE DATOS

Se mantuvo un registro para cada contaminante, con las fechas y horas de colocación y retiro de monitores de cada una de las estaciones.

Los datos de los análisis de laboratorio de los monitores, fueron procesados mediante Microsoft Office (Excel).

CAPÍTULO III

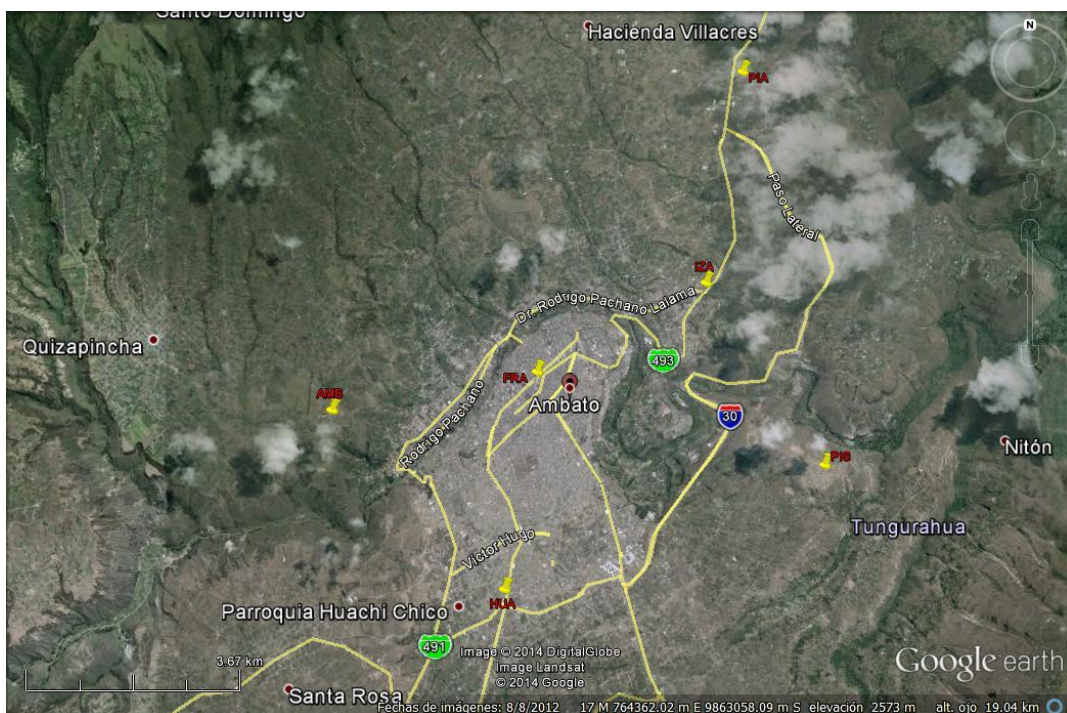
3. RESULTADOS

3.1 LEVANTAMIENTO DE DATOS

3.1.1 UBICACIÓN DE LAS ESTACIONES DE MONITOREO

En el área urbana se encuentran ubicadas tres estaciones: San Francisco (FRA), Huachi Chico (HUA) y Pishilata (PIS); mientras en el área rural se localizan las otras tres estaciones: Ambatillo (AMB), Izamba (IZA) y Parque Industrial Ambato (PIA).

Figura 3. Mapa de ubicación de estaciones de monitoreo pasivo



Fuente: Google earth

Estación San Francisco – FRA

La estación San Francisco está ubicada en la parroquia San Francisco, en el Mercado Modelo, en las calles Eugenio Espejo y Av. Cevallos. Se encuentra a una altitud de 2579 msnm.

Su ubicación geográfica (WGS84) es:

- Longitud: 764255
- Latitud: 9862766

Fotografía 7. Estación San Francisco



Fuente: Villacís, 2014

Estación Huachi Chico – HUA

La estación Huachi Chico está ubicada en la parroquia Huachi Chico, en una edificación cercana al redondel del mismo nombre, en las calles Francisco Falquez Ampuero y Jesús Calle. Se encuentra a una altitud de 2645 msnm.

Su ubicación geográfica (WGS84) es:

- Longitud: 763688
- Latitud: 9859007

Fotografía 8. Estación Huachi Chico



Fuente: Villacís, 2014

Estación Pishilata – PIS

La estación Pishilata está ubicada en la parroquia Pishilata, en una edificación de la UPC (Unidad de Policía Comunitaria), en las calles Alphonse de Lamartine y Aloys Senefelder. Se encuentra a una altitud de 2632 msnm.

Su ubicación geográfica (WGS84) es:

- Longitud: 769346
- Latitud: 9861129

Fotografía 9. Estación Pishilata



Fuente: Villacís, 2014

Estación Ambatillo – AMB

La estación Ambatillo está ubicada en la parroquia Ambatillo, en una edificación del Parque Provincial de la Familia, en la vía Ambato - Quisapincha. Se encuentra a una altitud de 3020 msnm.

Su ubicación geográfica (WGS84) es:

- Longitud: 760704
- Latitud: 9862085

Fotografía 10. Estación Ambatillo



Fuente: Villacís, 2014

Estación Izamba – IZA

La estación Izamba está ubicada en la parroquia Izamba, en una edificación cercana al redondel del mismo nombre, en las calles Pedro Vásconez e Indoamérica. Se encuentra a una altitud de 2535 msnm.

Su ubicación geográfica (WGS84) es:

- Longitud: 767279
- Latitud: 9864350

Fotografía 11. Estación Izamba



Fuente: Villacís, 2014

Estación Parque Industrial Ambato – PIA

La estación Parque Industrial Ambato está ubicada en la parroquia Izamba, en la ciudadela Amazonas, en una edificación cercana al sector industrial, en las calles Baeza y Nueva Loja. Se encuentra a una altitud de 2691 msnm.

Su ubicación geográfica (WGS84) es:

- Longitud: 767973
- Latitud: 9868152

Fotografía 12. Parque Industrial Ambato



Fuente: Villacís, 2014

3.1.2 REGISTRO DE COLOCACION Y RETIRO DE MONITORES

Los monitores de ozono fueron expuestos en las seis estaciones por períodos de 15 ± 3 días; mientras los monitores de BTX, dióxido de azufre y dióxido de nitrógeno se expusieron por tiempos de 30 ± 3 días, ver registros en el Anexo A.

3.1.3 NORMAS Y GUIAS PARA CONCENTRACIONES PROMEDIO ANUAL DE OZONO (O₃), DIOXIDO DE NITROGENO (NO₂), DIOXIDO DE AZUFRE (SO₂) Y BENCENO (C₆H₆)

En la tabla 17 se presentan los valores límites para las concentraciones medias anuales de ozono (O₃), dióxido de nitrógeno (NO₂), dióxido de azufre (SO₂) y benceno, estos han sido recogidos principalmente de la norma ecuatoriana de calidad del aire y de la guía de la Organización Mundial de la Salud. En los casos en que en ninguna de ellas constan valores límites para la media anual, se han buscado normas de otros países.

Tabla 17. Normas y guías para medias anuales de O₃, NO₂, SO₂ y C₆H₆

Contaminante	Guía o Norma	Valor límite (µg/m ³)
Ozono	N: La Paz y El Salvador	60
Dióxido de nitrógeno	N: Ecuatoriana	40
	G: OMS 2005	40
Dióxido de azufre	N: Ecuatoriana	60
	G: OMS 2000	50
Benceno	N: Ecuatoriana y Europea	5
	N: Japonesa	3

Fuente: (Green & Sánchez, 2013) / (Organización Panamericana de Salud, 2006)

3.2 PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.2.1 MONITOREO PASIVO

Se presentan tablas y gráficos de los resultados del monitoreo pasivo de la calidad del aire, para lo cual se monitorearon los siguientes contaminantes: ozono, dióxido de nitrógeno, dióxido de azufre y benceno. Para el ozono los valores corresponden a los promedios mensuales desde noviembre del 2013 a junio del 2014 (tabla 18 y figura 4); para el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre los valores corresponden a las concentraciones mensuales desde noviembre del 2013 a mayo del 2014 (tablas 19, 20 y figuras 5, 6); mientras para el benceno se tienen los datos únicamente de los meses de noviembre y diciembre del 2013 (tabla 21 y figura 7). El monitoreo de todos los contaminantes indicados se realizó hasta el mes de octubre del 2014, sin embargo por problemas técnicos del laboratorio de la Secretaría de Ambiente del DMQ, solo pudieron ser procesadas las muestras que a continuación se indican.

Registro mensual del monitoreo de ozono

Los valores de concentración de ozono registrados en la tabla 18, corresponden al promedio de las concentraciones de las cuatro muestras recolectadas por mes (dos muestras por estación cada quince días). En cinco de las seis estaciones de monitoreo pasivo de la calidad del aire, las concentraciones promedio mensuales de ozono más altas para cada una de las estaciones se registraron en noviembre del 2013. De todos los valores reportados la mayor concentración promedio mensual de ozono se dio en la estación San Francisco y fue de 30,60 $\mu\text{m}/\text{m}^3$ en noviembre del 2013, mientras la menor concentración de ozono se registró para la estación Huachi y fue de 3,58 $\mu\text{m}/\text{m}^3$ en enero del 2014.

Tabla 18. Valores del promedio mensual de monitoreo de ozono ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

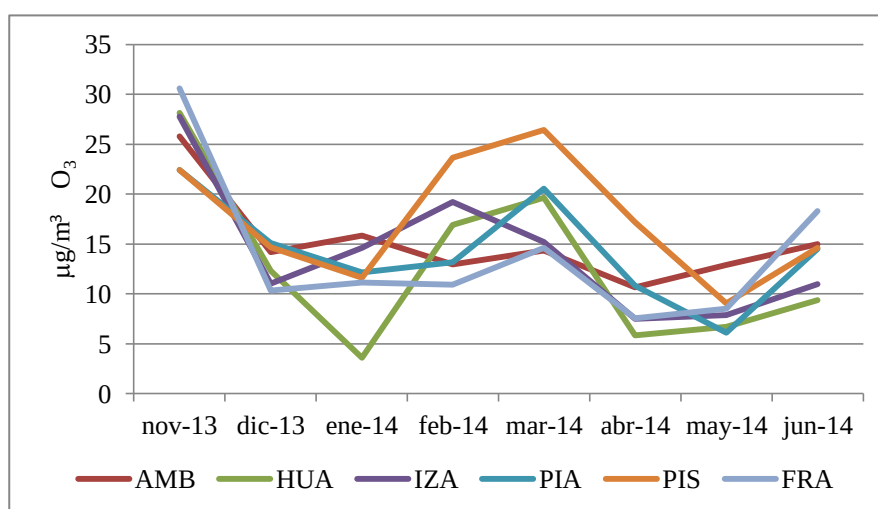
Estación	AMB	HUA	IZA	PIA	PIS	FRA
Mes						
nov-13	25,79	28,15	27,76	22,40	22,43	30,60
dic-13	14,17	12,30	11,03	15,10	14,67	10,31
ene-14	15,82	3,58	14,63	12,13	11,60	11,13
feb-14	12,93	16,89	19,21	13,17	23,66	10,91
mar-14	14,36	19,64	15,22	20,54	26,42	14,61
abr-14	10,67	5,84	7,50	10,80	17,15	7,55
may-14	12,91	6,69	7,90	6,09	9,07	8,53
jun-14	14,99	9,36	10,98	14,49	14,61	18,30
Promedio	15,21	12,81	14,28	14,34	17,45	13,99
σ	4,56	8,30	6,71	5,22	6,14	7,53

AMB: Ambatillo, HUA: Huachi, IZA: Izamba, PIA: Parque Industrial Ambato, PIS: Pishilata, FRA: San Francisco

Fuente: Elaboración propia en base a valores entregados por el Laboratorio de la Secretaría de Ambiente del DMQ.

En la figura 4, se observa que en la estación de Ambatillo se produjo una menor variación entre las concentraciones promedio mensuales de ozono reportadas, exceptuando el dato de noviembre del 2013, mes en el que la concentración promedio fue la más alta y con mayor variación respecto al resto de concentraciones promedio de dicha estación. En el resto de estaciones se observa que las concentraciones promedio varían de manera más significativa mes a mes.

Figura 4. Monitoreo de ozono (promedio mensual)



Fuente: Elaboración Propia en base a valores entregados por la Secretaría de Ambiente del DMQ

Registro mensual del monitoreo de dióxido de nitrógeno

Los valores registrados de concentración de dióxido de nitrógeno en la tabla 19, corresponden a la concentración de una única muestra recolectada por mes y por estación. En ella se observa que en diciembre del 2013 en las estaciones de Ambatillo, Huachi, Izamba, Parque Industrial Ambato y Pishilata, se registraron las concentraciones más altas de dióxido de nitrógeno en cada una de estas y el valor más alto fue de 34,10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; mientras para la estación San Francisco el valor más alto registrado fue en mayo del 2014. También es notable por los valores reportados, que existe menor presencia de este contaminante en el aire circundante de la estación San Francisco.

Tabla 19. Valores del monitoreo mensual de dióxido de nitrógeno ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

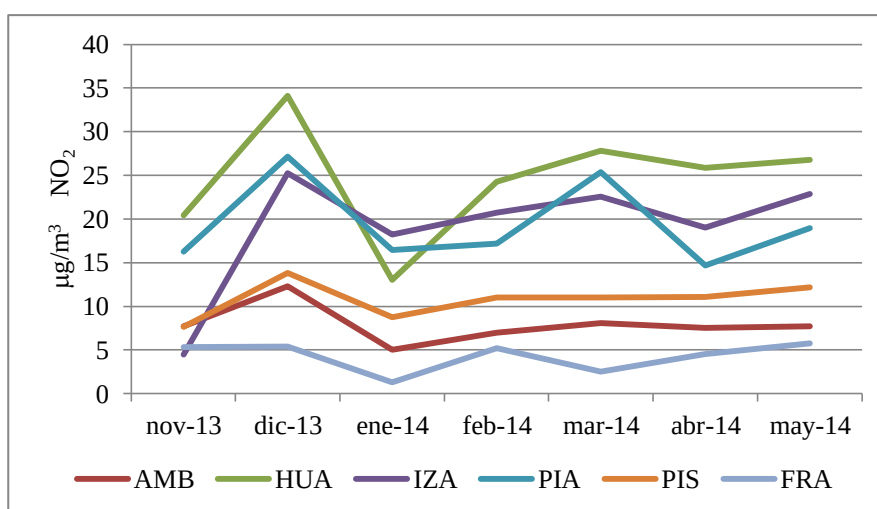
Estación	AMB	HUA	IZA	PIA	PIS	FRA
Mes						
nov-13	7,74	20,44	4,50	16,28	7,65	5,31
dic-13	12,31	34,10	25,23	27,16	13,85	5,38
ene-14	5,00	13,03	18,19	16,42	8,78	1,33
feb-14	7,01	24,26	20,73	17,20	11,04	5,23
mar-14	8,10	27,83	22,57	25,35	11,02	2,55
abr-14	7,52	25,87	19,00	14,70	11,09	4,57
may-14	7,74	26,77	22,88	18,98	12,19	5,77
Promedio	7,92	24,61	19,02	19,44	10,80	4,31
σ	2,03	6,08	6,33	4,49	1,90	1,57

AMB: Ambatillo, HUA: Huachi, IZA: Izamba, PIA: Parque Industrial Ambato, PIS: Pishilata, FRA: San Francisco

Fuente: Elaboración propia en base a valores entregados por el Laboratorio de la Secretaría de Ambiente del DMQ.

En la figura 5 se observa que las mediciones de dióxido de nitrógeno realizadas en las estaciones de Pishilata, Ambatillo y San Francisco, tienen pequeñas fluctuaciones mes a mes, mientras en las estaciones de Huachi, Parque Industrial Ambato e Izamba las variaciones y los valores de concentración son mayores en comparación a las otras tres estaciones.

Figura 5. Monitoreo de dióxido de nitrógeno (mensual)



Fuente: Elaboración Propia en base a valores entregados por la Secretaría de Ambiente del DMQ

Registro mensual del monitoreo de dióxido de azufre

Los valores registrados de concentración de dióxido de azufre en la tabla 20, corresponden a la concentración de una única muestra recolectada por mes y por estación. Cabe indicar que un mismo monitor fue utilizado para captar el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre circundante a cada una de las estaciones. Los valores más altos de concentración mensual de dióxido de azufre en la estaciones de Ambatillo, Izamba y Pishilata se registran en enero del 2014, mientras en las estaciones del Parque Industrial Ambato, Huachi y San Francisco se reportan en noviembre 2013, diciembre 2013 y mayo 2014 respectivamente; el mayor valor registrado fue de 24,31 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en la estación de Pishilata. También se observa que en todas las estaciones exceptuando la de Huachi por lo menos por una ocasión, la concentración de dióxido de azufre es menor al valor cuantificable (1,45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) de acuerdo al método utilizado.

Tabla 20. Valores del monitoreo mensual de dióxido de azufre ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

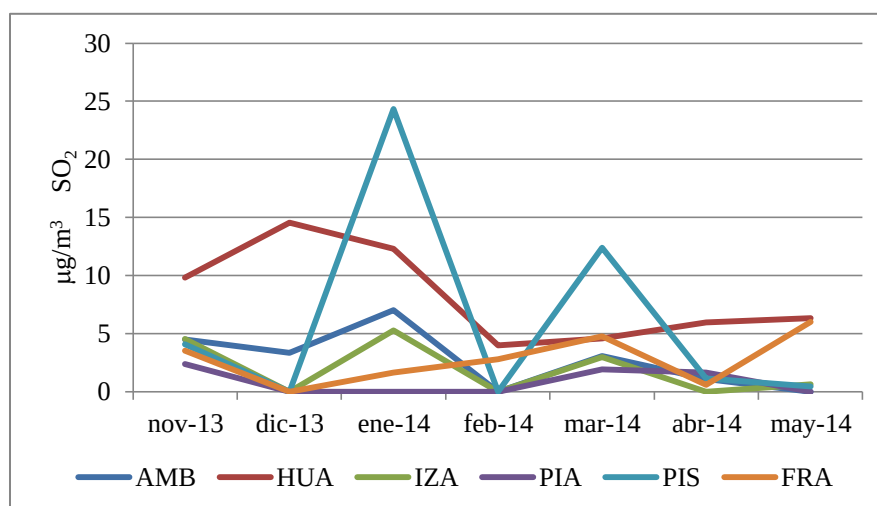
Estación	AMB	HUA	IZA	PIA	PIS	FRA
Mes						
nov-13	4,48	9,81	4,56	2,39	4,06	3,52
dic-13	3,35	14,55	< 1,45	< 1,45	< 1,45	< 1,45
ene-14	7,00	12,32	5,28	< 1,45	24,31	1,65
feb-14	< 1,45	4,01	< 1,45	< 1,45	< 1,45	2,80
mar-14	3,08	4,59	2,98	1,93	12,40	4,76
abr-14	1,11	5,95	< 1,45	1,66	1,13	0,58
may-14	< 1,45	6,35	0,62	< 1,45	0,47	6,02
Promedio	3,80	8,23	3,36	2,00	8,47	3,22
σ	2,40	3,76	2,20	1,09	8,55	2,04

AMB: Ambatillo, HUA: Huachi, IZA: Izamba, PIA: Parque Industrial Ambato, PIS: Pishilata, FRA: San Francisco

Fuente: Elaboración propia en base a valores entregados por el Laboratorio de la Secretaría de Ambiente del DMQ.

En la figura 6 se observa que las mayores variaciones de concentración de dióxido de azufre ocurren en las estaciones de Huachi y Pishilata. En la estación de Huachi durante los tres primeros meses de monitoreo la concentración mensual fluctúa alrededor de 10 a 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, mientras los subsiguientes cuatro meses presentan valores alrededor de 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Mientras tanto en la estación de Pishilata las concentraciones presentan cambios bruscos desde valores inferiores o cercanos al límite cuantificable (1,45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) hasta valores superiores a 20 y 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en enero y marzo del 2014 respectivamente, estos picos de concentración posiblemente tienen relación con acontecimientos puntuales, tales como actividad del volcán Tungurahua, o condiciones meteorológicas adversas en dichos meses.

Figura 6. Monitoreo de dióxido de azufre (mensual)



Fuente: Elaboración Propia en base a valores entregados por la Secretaría de Ambiente del DMQ

Registro mensual del monitoreo de benceno

Los valores registrados de concentración de benceno en la tabla 21, corresponden a la concentración de una única muestra recolectada por mes y por estación.

De las mediciones de BTX (benceno, tolueno y xileno), se tienen las concentraciones únicamente del contaminante benceno y sólo de dos meses. En la tabla 21 se observa que de las concentraciones reportadas de benceno, la mayor es de 2,00 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en la estación Ambatillo en noviembre del 2013 seguida por la de Izamba con una concentración de 1,55 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en el mismo mes. En general la mayor parte de las concentraciones de benceno registradas en las diferentes estaciones se encuentran bajo el límite de cuantificación. También se puede señalar que en las estaciones de Pishilata y San Francisco las concentraciones de benceno de los dos meses no fueron cuantificables.

Tabla 21. Valores del monitoreo mensual de BTX ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

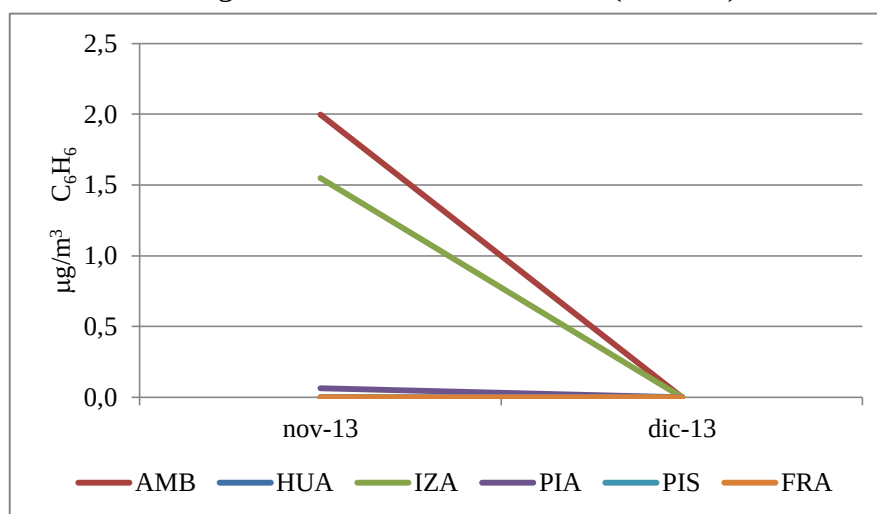
Estación	AMB	HUA	IZA	PIA	PIS	FRA
Mes						
nov-13	2,00	< 0,04	1,55	0,06	< 0,04	< 0,04
dic-13	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04
Promedio	2,00	-	1,55	0,06	-	-
σ	1,41	0,00	1,10	0,04	0,00	0,00

AMB: Ambatillo, HUA: Huachi, IZA: Izamba, PIA: Parque Industrial Ambato, PIS: Pishilata, FRA: San Francisco

Fuente: Elaboración propia en base a valores entregados por la Secretaría de Ambiente del DMQ.

En la figura 7, al tener sólo dos datos por estación no se puede dar un criterio sobre la variación de las concentraciones mes a mes, sin embargo en base a lo que se observa se puede indicar que durante los dos meses hay variación notable en las concentraciones reportadas de las estaciones de Izamba y Ambatillo.

Figura 7. Monitoreo de benceno (mensual)



Fuente: Elaboración Propia en base a valores entregados por la Secretaría de Ambiente del DMQ

3.2.2 COMPARACIÓN DE RESULTADOS PROMEDIO DEL MONITOREO PASIVO CON NORMAS Y GUÍAS

Los promedios de concentración de todos los datos reportados de cada contaminante para cada una de las estaciones, se comparan con los promedios anuales señalados en la Norma Ecuatoriana de Calidad del Aire y la Guía de la Organización Mundial de la Salud, para los casos en los que no existen valores especificados en los documentos señalados, se han considerado valores de normas de otros países.

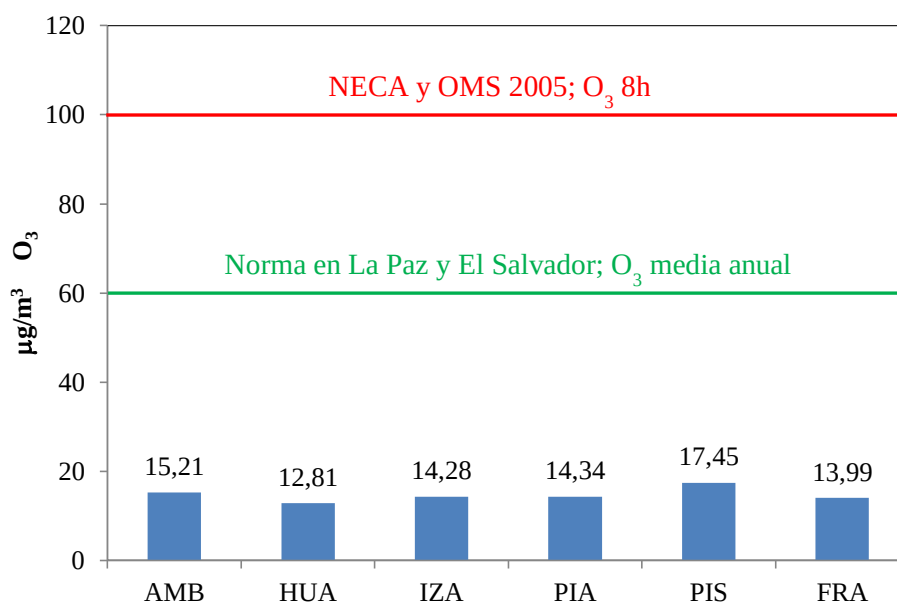
Análisis resultados del monitoreo de ozono

La Norma Ecuatoriana de Calidad del Aire (junio 2011) y la Guía de la Organización Mundial de la Salud (actualización 2005) recomiendan un nivel de ozono en el aire ambiente de $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ con una media máxima de 8 horas; no hay recomendación para una media anual. De acuerdo a la OMS no existe suficiente evidencia de que la exposición de largo plazo al ozono pueda causar efectos crónicos, razón por la cual no da una guía anual. Sin embargo se ha encontrado que en El Salvador y en La Paz se recomienda una media anual de $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Las concentraciones de ozono registradas en los seis sitios de monitoreo son incompletas, corresponden al promedio de ocho meses, sin embargo se realiza la comparación de estos valores con la guía anual dada en El Salvador y La Paz.

Como se puede observar en la figura 8, los promedios de las mediciones reportadas correspondientes al período noviembre 2013 – junio 2014, de las seis estaciones, indican que los valores se encuentran por debajo del valor guía $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$; igualmente en la figura 4, ninguno de los valores mensuales reportados excede el valor guía. Por tanto en primera instancia se podría decir que el ozono no es un problema de contaminación de gran importancia para la ciudad de Ambato.

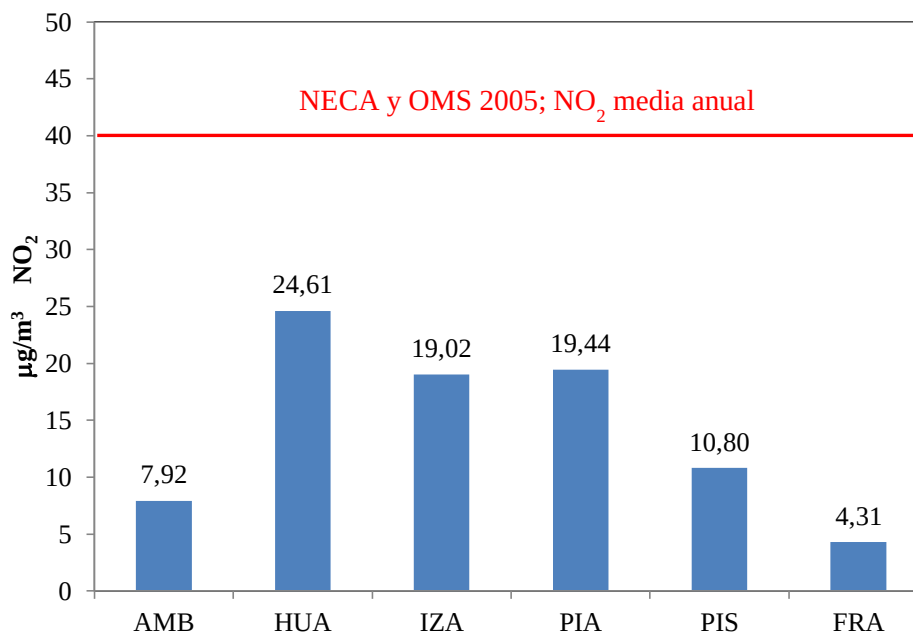
Figura 8. Concentración promedio anual de ozono (O_3) en $\mu g/m^3$



Fuente: Elaboración Propia

Análisis resultados del monitoreo de dióxido de nitrógeno

Figura 9. Concentración promedio anual de dióxido de nitrógeno (NO_2) en $\mu g/m^3$



Fuente: Elaboración Propia

En la figura 9 se presenta la media aritmética de concentración de dióxido de nitrógeno de las seis estaciones de monitoreo pasivo, cabe indicar que los valores corresponden al promedio de siete meses (noviembre 2013 a mayo 2014). Se observa que los tres promedios más altos se dan en las estaciones de Huachi, Izamba y Parque Industrial, el valor de las dos primeras estaciones podría tener relación con que estas están ubicadas en un sector de alto tráfico vehicular y la última a que además de estar aledaña a la panamericana se encuentra cercana a una zona industrial. Las estaciones de Ambatillo y Pishilata presentan menores concentraciones lo cual podría tener relación directa con un menor flujo vehicular en estas zonas. En lo que respecta a la estación San Francisco presenta la menor concentración media anual respecto al resto de estaciones a pesar de que esta se localiza en una zona céntrica de alto flujo vehicular, por tanto este valor podría ser explicado por una rápida dispersión de este contaminante en el aire. Al comparar las concentraciones promedio con la media anual indicada en la norma ecuatoriana de calidad del aire cuyo valor es el mismo que sugiere la OMS ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$), se observa que en ninguna estación se excede el valor; tampoco existe ningún registro mensual que exceda dicho valor (ver figura 5), sin embargo en la estación de Huachi en diciembre del 2013 se registró un valor de $34,10 \mu\text{g}/\text{m}^3$, el cual ha sido el más próximo al límite señalado en la norma.

En general se puede indicar que la presencia de dióxido de nitrógeno tiene relación con el tráfico vehicular de la zona y la presencia de zonas industriales; pero también que a pesar de lo indicado hay sectores cuyas condiciones atmosféricas les son favorables para la dispersión o transformación de dicho contaminante.

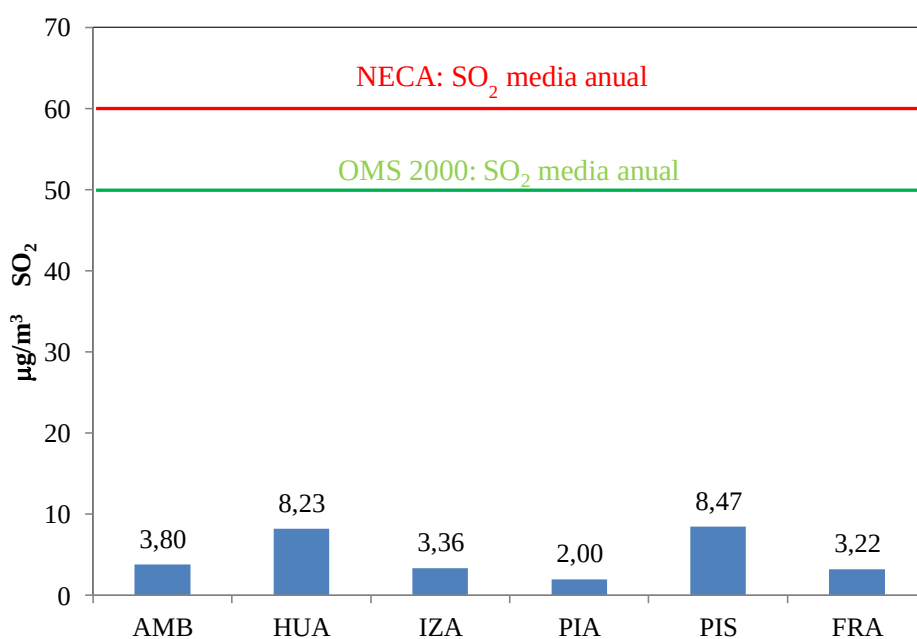
Tanto por los valores de concentraciones mensuales y las medias anuales obtenidas, se deduce que la presencia del contaminante dióxido de nitrógeno en el aire de la ciudad de Ambato no es despreciable.

Análisis resultados del monitoreo de dióxido de azufre

En la figura 10 se presenta la distribución de concentraciones de dióxido de azufre determinadas en las seis estaciones de monitoreo durante el período noviembre 2013 - mayo 2014. Al comparar estos resultados con el valor de la media anual señalada en la norma ecuatoriana de calidad del aire ($60 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y con una guía anterior de la OMS ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) se observa que las concentraciones medias en todas las estaciones se encuentran por debajo de los valores límites señalados.

Los mayores valores del promedio aritmético de las concentraciones reportadas fueron para las estaciones de Huachi y Pishilata, mismos que bordean los $8 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Figura 10. Concentración promedio anual de dióxido de azufre (SO_2) en $\mu\text{g}/\text{m}^3$



Fuente: Elaboración Propia

Cabe indicar que en la última actualización de la guía de la OMS (2005), no se da un valor para la media anual de concentración de dióxido de nitrógeno debido a que se señala

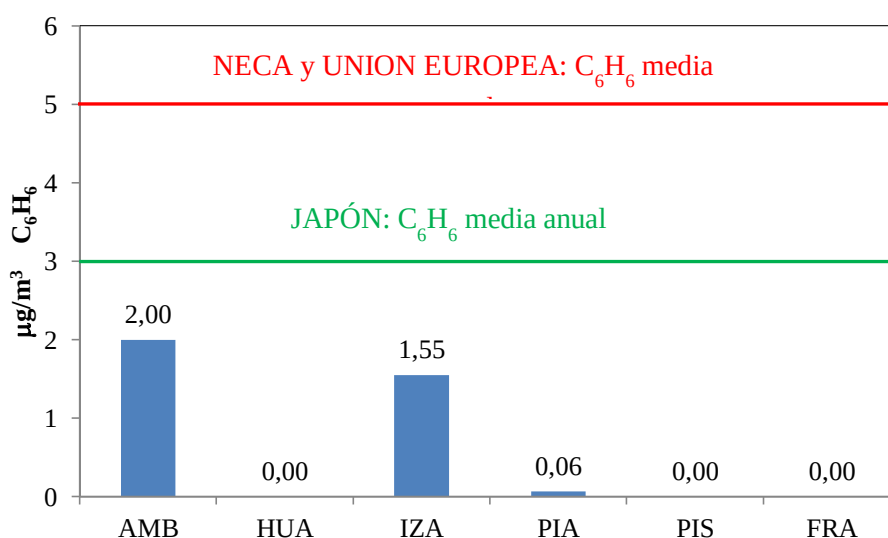
que con el cumplimiento del nivel para 24 horas ($20 \mu\text{g}/\text{m}^3$) se asegura niveles bajos del promedio anual.

Si se considera el valor guía de 24 horas de la OMS ($20 \mu\text{g}/\text{m}^3$), como el valor límite para comparar con los resultados promedio, se observa que este valor tampoco es sobrepasado en ninguna de las estaciones; sin embargo al observar la figura 6 en la que se presenta las mediciones mensuales, se detecta que este valor es sobrepasado por única ocasión en la estación de Pishilata en enero del 2014.

Análisis resultados del monitoreo de benceno

El benceno considerado un contaminante peligroso es el primer cancerígeno regulado por la directiva europea de calidad del aire estableciendo un valor límite de $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para un tiempo promedio de un año, valor que también ha sido asumido por la norma ecuatoriana de calidad del aire. Cabe indicar que en Japón la norma de calidad del aire establece para el benceno un límite de $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Figura 11. Concentración promedio anual de benceno (C_6H_6) en $\mu\text{g}/\text{m}^3$



Fuente: Elaboración Propia

La presencia de benceno en el aire de la ciudad de Ambato se atribuye al uso de este compuesto aromático como antidetonante en la gasolina, combustible utilizado en los motores de los automóviles.

Las concentraciones de benceno en las estaciones de Ambatillo, Izamba y Parque Industrial corresponden a los datos reportados en noviembre del 2013, no se consideran los de diciembre de 2013 debido a que todos están bajo el límite cuantificable, y por tanto no se puede realizar un promedio con los mismos.

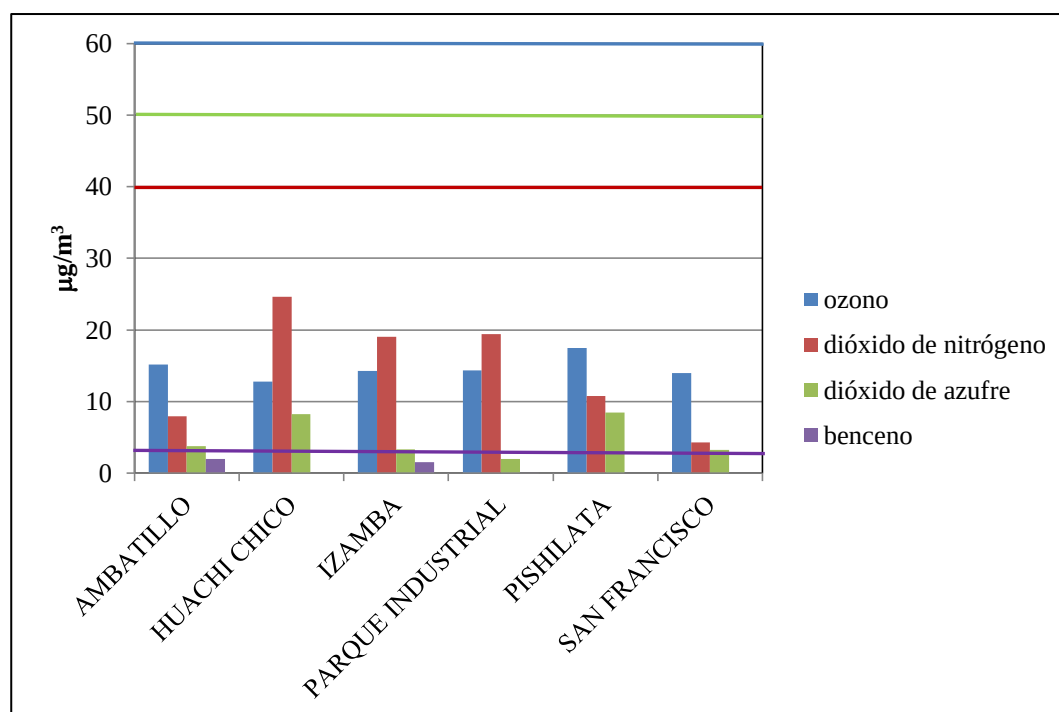
Si bien la cantidad de datos son insignificantes al ser los únicos con los que se cuenta, es con estos que se realiza la comparación con las normas y guía indicadas. Como se observa en la figura 11 los resultados de las concentraciones en las seis estaciones se encuentran por debajo de los valores límites; sin embargo las concentraciones en Ambatillo ($2 \mu\text{g}/\text{m}^3$) e Izamba ($1,55 \mu\text{g}/\text{m}^3$) están cercanos a la norma establecida en Japón.

Análisis de contaminación por estación

En la figura 12 se presentan las medias anuales de los contaminantes estudiados en cada estación, los valores límites resaltados corresponden a las concentraciones más bajas dadas para cada contaminante en las normas o guías correspondiente (ver tabla 17). Se observa que la contaminación en cada estación es diferente, la concentración que tiene mayor similitud en las seis estaciones es la de ozono. También es notable que en los lugares en los que las concentraciones de dióxido de nitrógeno son altas, existen bajas concentraciones de ozono y viceversa, situación que se debe a las reacciones químicas de estas sustancias. En lo que respecta al dióxido de azufre, su presencia parece no tener relación directa con el parque automotor que circula en los sitios aledaños de medición, exceptuando en la estación de Huachi; mientras el valor en la estación Pishilata, al ser un sitio de poca circulación vehicular, parece más bien tener relación con los acontecimientos del volcán Tungurahua; en las

estaciones de Ambatillo, Izamba, Parque Industrial y San Francisco la baja presencia de este contaminante puede deberse a condiciones meteorológicas favorables en estos sitios. Finalmente la presencia de benceno en Ambatillo e Izamba, simplemente indica valores puntuales obtenidos en un determinado mes, mismos no se puede corroborar que se mantengan o incrementen, debido a la escasez de resultados reportados por el laboratorio de la Secretaría de Ambiente del DMQ.

Figura 12. Presencia de contaminantes por estación



Fuente: Elaboración Propia

3.2.3 INDICADORES DE CALIDAD DEL AIRE

Para el cálculo de indicadores se consideró los siguientes valores límites de concentración media anual:

Ozono: $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Norma de La Paz y El Salvador)

Dióxido de nitrógeno: $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (NECA y OMS 2005)

Dióxido de azufre: 50 µg/m³ (OMS 2000)

Benceno: 3 µg/m³ (Norma de Japón)

Cabe señalar que los valores escogidos como límites, son los más estrictos encontrados para la concentración media anual de cada uno de los contaminantes estudiados, a la fecha.

El cálculo de los indicadores de calidad del aire, se realizó de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$ICA = \frac{CMC}{VLC}$$

Dónde:

ICA: indicador de calidad del aire

CMC: concentración media anual del contaminante analizado

VLC: valor límite de concentración media anual del contaminante analizado

En la tabla 22 se presenta los resultados del cálculo de indicadores para los contaminantes: ozono, dióxido de nitrógeno, dióxido de azufre y benceno.

Tabla 22. Indicadores de calidad del aire

Estación	Ambatillo	Huachi	Izamba	Parque	Pishilata	San
Contaminante				Industrial		Francisco
O ₃	0,25	0,21	0,24	0,24	0,29	0,23
NO ₂	0,20	0,62	0,48	0,49	0,27	0,11
SO ₂	0,08	0,16	0,07	0,04	0,17	0,06
C ₆ H ₆	0,67	0,00	0,52	0,02	0,00	0,00

Fuente: Elaboración propia

Los valores de los indicadores de calidad para el ozono son menores a la unidad, encontrándose en un rango de 0,21 a 0,29; lo que significa que la concentración de este contaminante en las seis estaciones no supera el valor límite señalado en las normas de La Paz y Bolivia y que se encuentran entre un 71 a 79% más bajos que dicho valor. En cambio los indicadores calculados para el dióxido de nitrógeno están en un rango más amplio que va de 0,11 a 0,62; encontrándose éste último un 38% más bajo del valor límite indicado en la norma ecuatoriana de calidad del aire y en la guía de la Organización Mundial de la Salud (actualización 2005). Mientras tanto para el dióxido de azufre los indicadores se encuentran en un rango de 0,04 a 0,17; siendo de todos los contaminantes estudiados el que más alejado se encuentra del límite establecido, puesto que el valor más alto se encuentra 83% bajo el máximo indicado en una guía anterior de la OMS del año 2000. Finalmente respecto al benceno los indicadores se encuentran en un rango de 0 a 0,67; siendo el rango más amplio comparado con el resto de contaminantes y que va desde cantidades no detectables hasta un valor que se encuentra a sólo 33% bajo el límite establecido en la norma japonesa.

Por los valores de los indicadores obtenidos, aparentemente el benceno sería el contaminante de mayor preocupación, especialmente en los sectores aledaños a las estaciones de Ambatillo e Izamba, sin embargo como de esta sustancia se tiene un número insignificante de mediciones reportadas, es posible que las concentraciones sean puntuales y no sea un problema significativo, no obstante por el grado de toxicidad de esta sustancia, una vez receptados el resto de análisis se deberá realizar una evaluación minuciosa de los mismos. En lo que respecta a los contaminantes convencionales estudiados, el de mayor preocupación sería el dióxido de nitrógeno especialmente en los sectores próximos a las estaciones de Huachi Chico, Izamba y Parque Industrial; al ser este contaminante proveniente de fuentes antropogénicas, especialmente del parque automotor y sector industrial, los cuales están en crecimiento, será necesario tomar las medidas necesarias para mantener o en lo posible

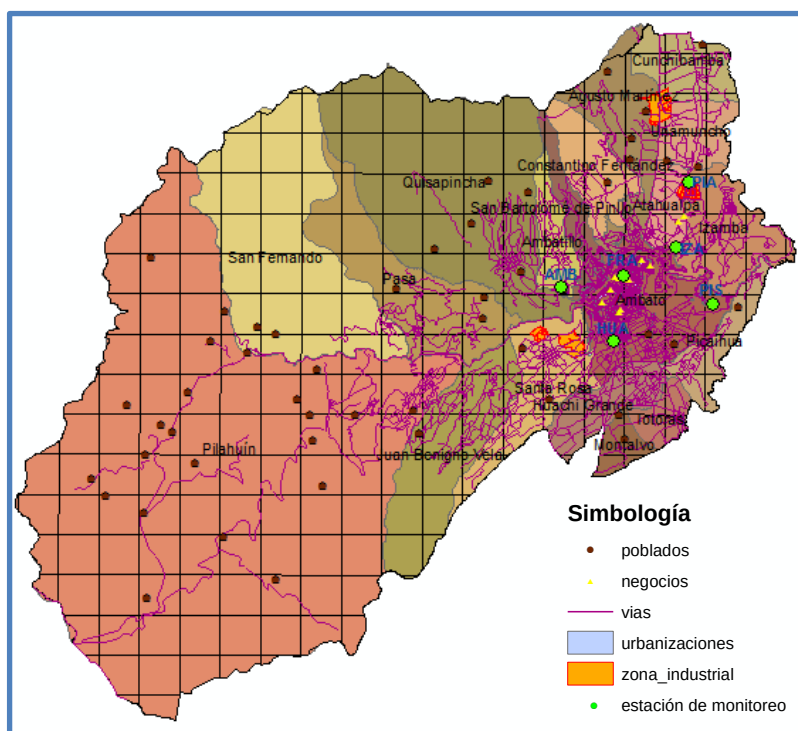
mermar las cantidades emitidas de este contaminante. Tanto el ozono como el dióxido de azufre parecen al momento no ser un problema significativo, sin embargo por los efectos que estos causan en la salud es importante continuar su monitoreo.

3.2.4 VALORACIÓN DE LA CAMPAÑA DE MONITOREO PASIVO

3.2.4.1 ANÁLISIS DE LA UBICACIÓN DE LAS ESTACIONES DE MONITOREO PASIVO

En la figura 13 se presenta el mapa político del cantón Ambato, en el que constan las parroquias rurales y bajo la denominación de Ambato se encuentran las parroquias urbanas. También se distinguen los poblados, sectores de negocios, vías de circulación vehicular, urbanizaciones, las zonas industriales y las seis estaciones de monitoreo.

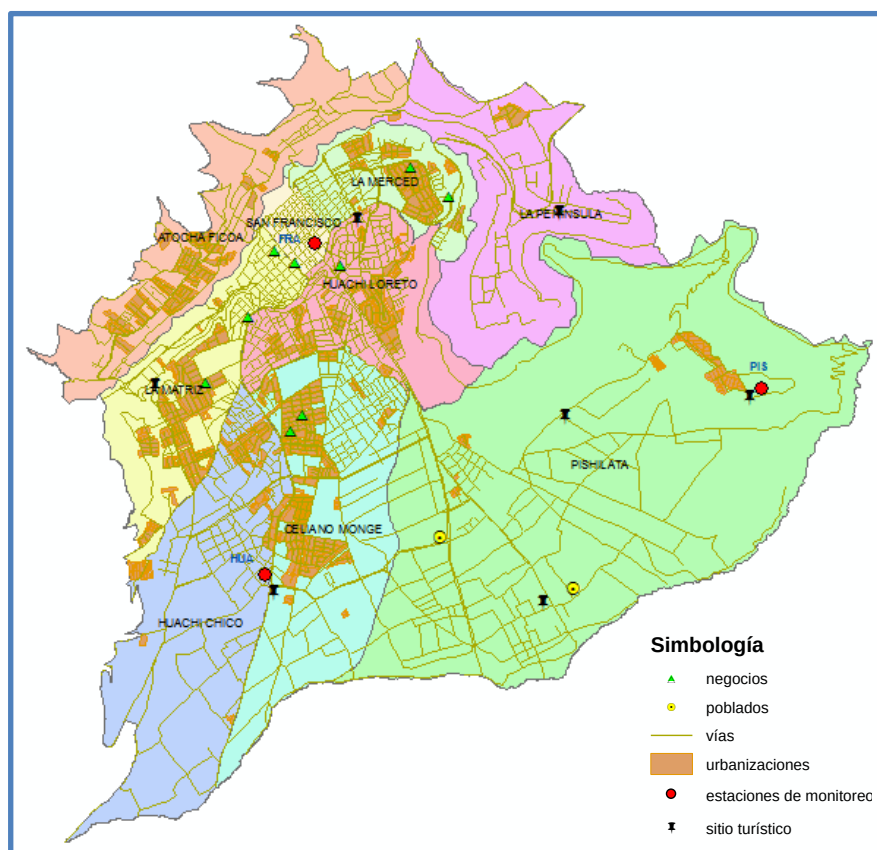
Figura 13. Ubicación de estaciones de monitoreo en el mapa político del cantón Ambato



Fuente: Elaboración Propia

En la figura 14 en cambio se observa el área urbana de la ciudad de Ambato, en la que también se detalla los negocios, poblados, urbanizaciones, vías y las tres estaciones de monitoreo ubicadas en las parroquias San Francisco, Huachi Chico y Pishilata.

Figura 14. Ubicación de estaciones de monitoreo en el área urbana del cantón Ambato



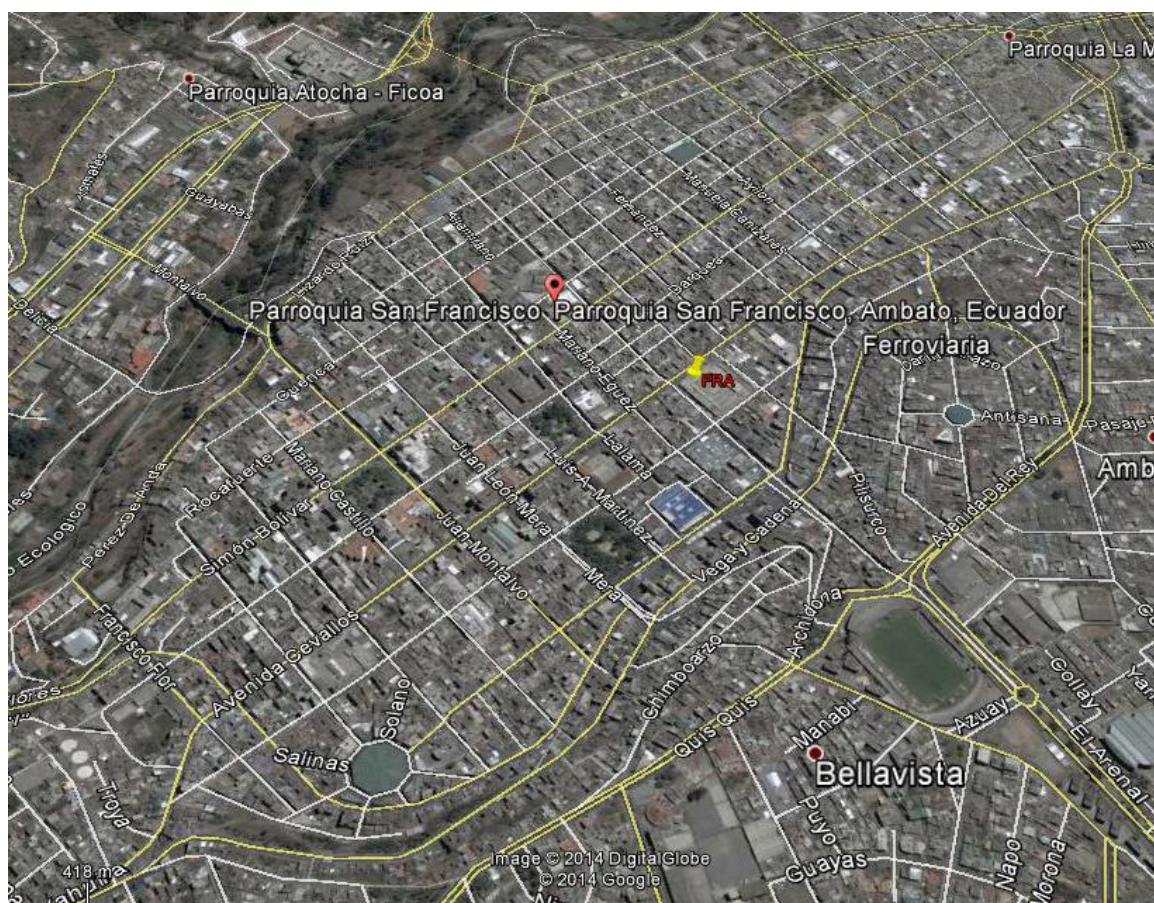
Fuente: Elaboración Propia

Estación San Francisco (FRA)

Esta estación se encuentra ubicada en la parroquia urbana San Francisco en un sector céntrico de la ciudad, por ende en sus alrededores circulan gran cantidad de personas y vehículos diariamente. Como se observa en la figura 15, alrededor de esta estación hay varias vías de circulación y gran cantidad de edificaciones que corresponden a locales comerciales,

lugares de interés turístico, oficinas, entre otros. Por lo señalado este punto es de interés para la determinación de la calidad del aire del cantón.

Figura 15. Mapa de la parroquia San Francisco del cantón Ambato



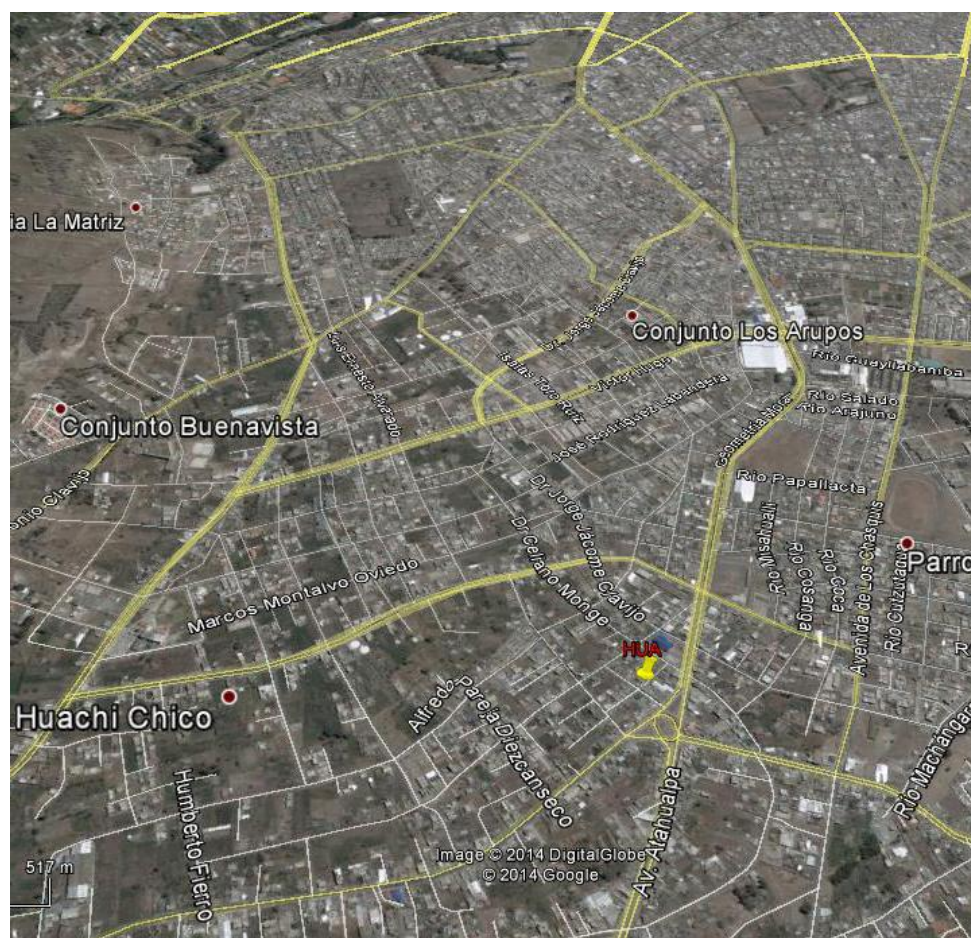
Fuente: Google Earth

Estación Huachi (HUA)

Esta estación se encuentra ubicada en la parroquia urbana Huachi Chico, al suroeste de la ciudad de Ambato. Como se observa en la figura 16, la estación se encuentra cercana a la Av. Atahualpa, por la cual circulan una cantidad importante de vehículos, sin embargo también es notorio que el sitio de monitoreo está en un lugar donde la concentración de viviendas y por ende de personas es menor que en otros puntos de la parroquia, además que se

encuentra en una vivienda particular. Por lo expresado se considera que se debe reubicar este punto dentro en un sitio más representativo, pudiendo ser este el edificio del municipio, cercano al centro comercial Mall de Los Andes.

Figura 16. Mapa de la parroquia Huachi Chico del cantón Ambato



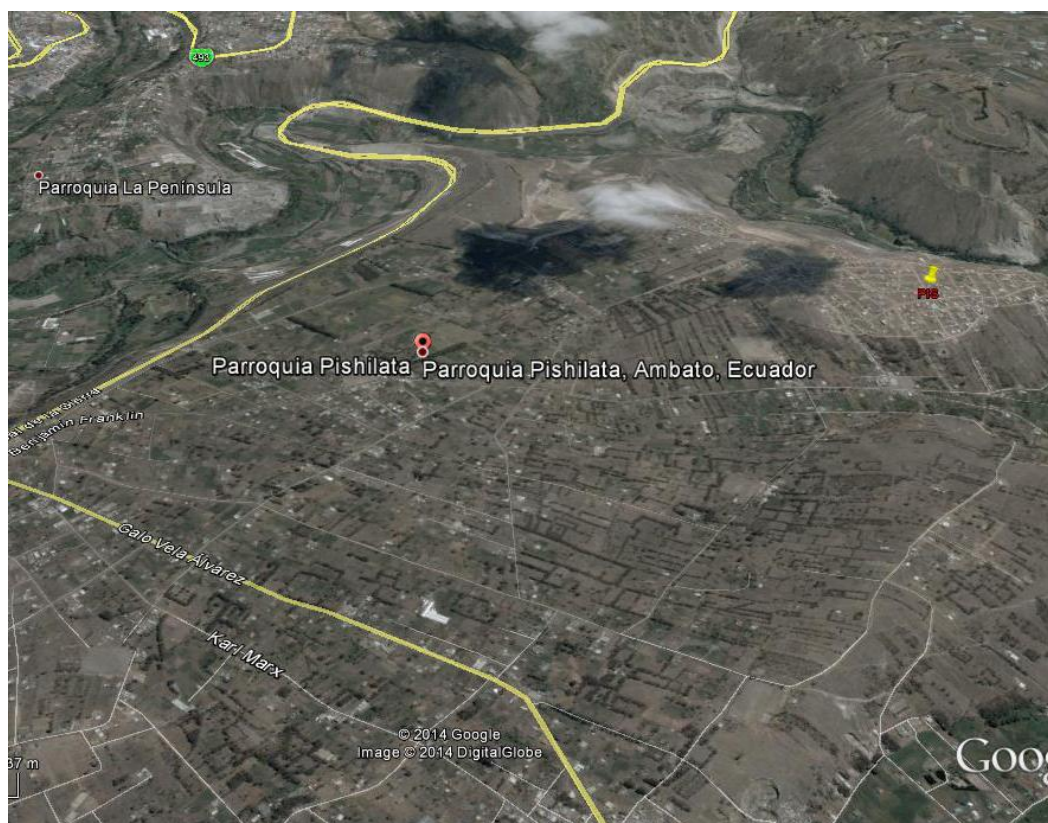
Fuente: Google Earth

Estación Pishilata (PIS)

Esta estación se encuentra ubicada en el centro poblado de la parroquia urbana Pishilata, la más grande del cantón. Esta parroquia es la de mayor desarrollo agrícola y ganadero de la ciudad, allí habitan alrededor de 120 familias, en este sector también se

encuentran las canteras del mismo nombre. Por su paisaje, variedad de aves, piscinas de truchas es un atractivo turístico. (El Telégrafo, 2014)

Figura 17. Mapa de la parroquia Pishilata del cantón Ambato



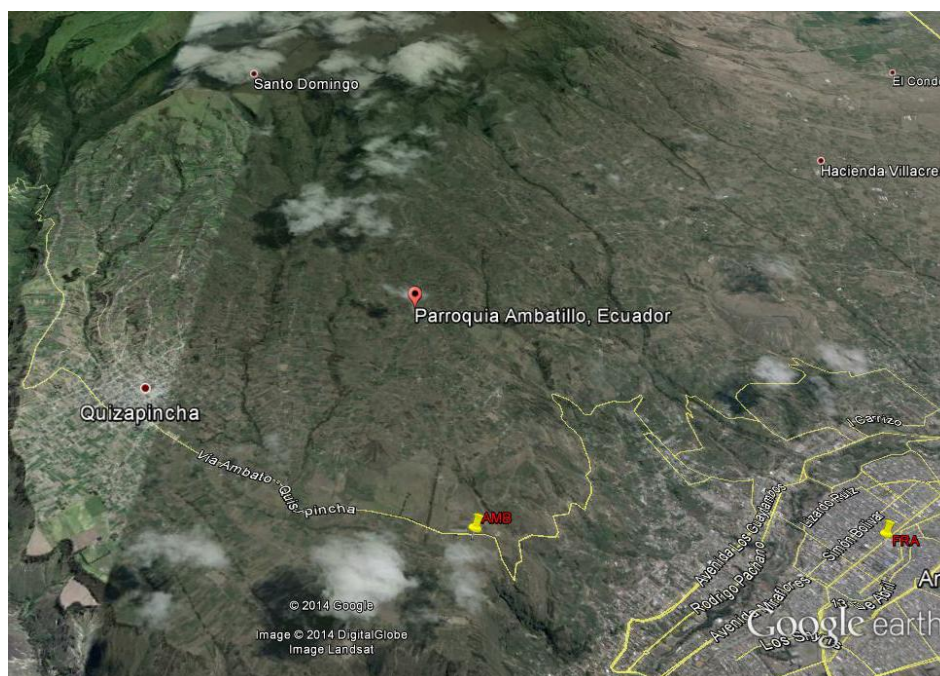
Fuente: Google Earth

Se considera que esta estación se debe mantener, ya que permitirá valorar la calidad del aire de un sitio esencialmente agrícola y ganadero, el cual además por la poca cantidad de habitantes es un sector con poca afluencia vehicular, todo esto permitirá hacer comparaciones con puntos ubicados en sectores con características distintas.

Estación Ambatillo (AMB)

Esta estación se encuentra ubicada en el parque provincial de La Familia, principal atractivo turístico de la parroquia rural Ambatillo, la cual tiene una población de 5.243 habitantes asentados sobre un área de 12,5 km². La población se dedica a la agricultura, ganadería y crianza de animales menores como cuyes, gallinas y conejos. (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, 2010)

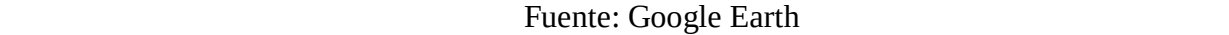
Figura 18. Mapa de la parroquia Ambatillo del cantón Ambato



Fuente: Google Earth

Al ser un atractivo turístico con gran afluencia de visitantes especialmente los fines de semana, además de un sector con un valor intermedio de densidad poblacional, y que por otro lado se encuentra cercano al centro poblado de la parroquia Quizapincha, es un sitio estratégico para mantener la estación de monitoreo, sin embargo se recomienda reubicar

Esta estación se encuentra ubicada en la parroquia rural de Izamba, en la que habitan 14.563 personas en un área de 28,9 km²; en el sector se comparte la actividad agrícola con la inmobiliaria, misma que ha tenido en los últimos tiempos un importante crecimiento, convirtiéndose en un referente de los conjuntos habitacionales. Además se destaca en la parroquia la presencia del aeropuerto de Chachoán, el Hospital de Solca, la Escuela de Formación de Soldados y el parque industrial. (La Hora Nacional, 2012)

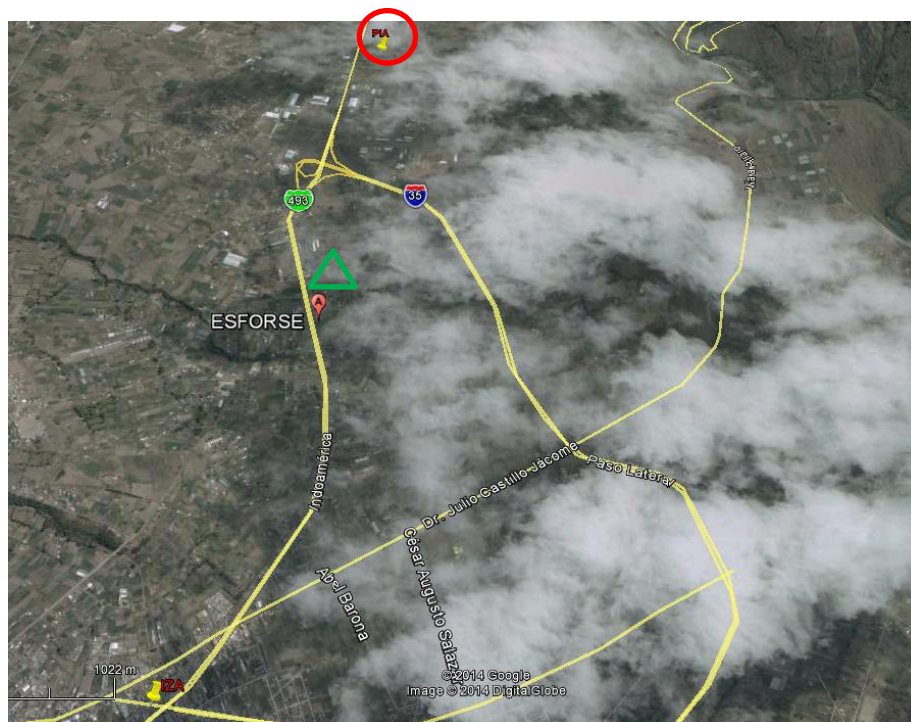


Como se observa en la figura 19, la estación Izamba está localizada alrededor del redondel de Las Focas, por la cantidad de vehículos que circulan en sus cercanías, por ser una zona agrícola - residencial, y por estar a tan solo cinco minutos de la urbe, se estima que se debe mantener la estación en el sector; sin embargo por facilidad de acceso se recomienda reubicar la estación en una institución pública.

Estación Parque Industrial (PIA)

Esta estación al igual que la de Izamba se encuentra ubicada en una vivienda de la parroquia rural de Izamba, pero se localiza en el barrio Amazonas al norte de la parroquia, lo cual la sitúa en un lugar muy cercano al parque industrial. Según datos del INEC (2010), la densidad poblacional de la parroquia es aproximadamente 504 habitantes por kilómetro cuadrado.

Figura 20. Ubicación de la estación Parque Industrial en el mapa de la parroquia Izamba



Fuente: Google Earth

De acuerdo al cálculo de los indicadores de calidad del aire (tabla 22), se considera que la calidad de dicho recurso en las dos estaciones ubicadas en la parroquia de Izamba poseen características similares, por ello y por la densidad poblacional de la parroquia se recomienda mantener solamente una estación y re-ubicarla en un sector intermedio entre los actuales sitios de monitoreo; que como se observa en la figura 20 podría ser la Escuela de Formación de Soldados del Ecuador (ESFORSE).

3.3 DISEÑO DEL SISTEMA DE VIGILANCIA DE CALIDAD DEL AIRE EN EL CANTÓN AMBATO

3.3.1 INFORMACIÓN GENERAL DEL CANTÓN

3.3.1.1 DATOS DE DENSIDAD POBLACIONAL DE LAS PARROQUIAS

En la tabla 23 se observa la densidad poblacional detallada por parroquias del cantón Ambato, cabe indicar que todas a excepción de la ciudad de Ambato, corresponden a las parroquias rurales. En la cabecera cantonal, es decir en la ciudad de Ambato se localizan las siguientes parroquias urbanas: Atocha, Celiano Monge, Huachi Chico, Huachi Loreto, Matriz, La Merced, La Península, Pishilata y San Francisco. También se señala que de los 178.538 habitantes de la ciudad de Ambato, 165.185 habitantes pertenecen al área urbana y 13.353 habitantes al área rural. (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, 2002)

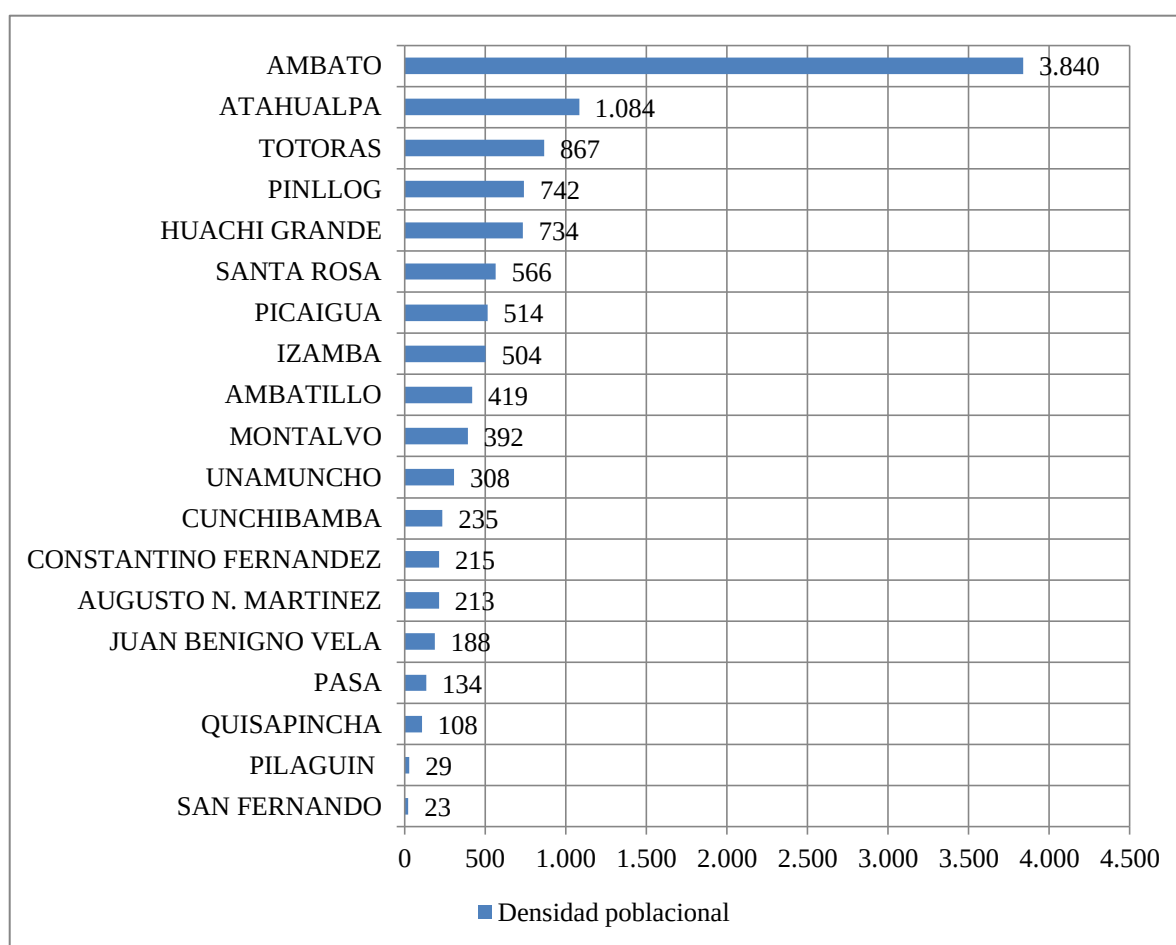
Tabla 23. Densidad poblacional de las parroquias del cantón Ambato

Nombre de parroquia	Población (hab)	Superficie de la parroquia (km²)	Densidad poblacional (hab/km²)
Ambato	178.538	46,50	3.839,53
Ambatillo	5.243	12,50	419,44
Atahualpa (Chisalata)	10.261	9,47	1.083,53
Augusto N. Martínez	8.191	38,47	212,92
Constantino Fernández	2.534	11,81	214,56
Huachi Grande	10.614	14,46	734,02
Izamba	14.563	28,90	503,91
Juan Benigno Vela	7.456	39,65	188,05
Montalvo	3.912	9,97	392,38
Pasa	6.499	48,57	133,81
Picaigua	8.283	16,10	514,47
Pilaguin (Pilahuin)	12.128	420,63	28,83
Quisapincha (Quizapincha)	13.001	120,79	107,63
San Bartolomé de Pinllog	9.094	12,26	741,76
San Fernando	2.491	108,97	22,86
Santa Rosa	21.003	37,12	565,81
Totoras	6.898	7,96	866,58
Cunchibamba	4.475	19,02	235,28
Unamuncho	4.672	15,17	307,98
Total cantón Ambato	329.856	1.018,32	323,92

Fuente: (Unidad de Procesamiento de Dirección de Estudios Analíticos Estadísticos - Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2010)

En la figura 21, se observa que de las parroquias rurales Atahualpa (Chisalata) tiene la mayor densidad poblacional (1084 hab/km²), mientras Totoras, San Bartolomé de Pinllog, Huachi Grande, Santa Rosa, Picaigua e Izamba tienen una densidad poblacional comprendida entre 500 y 1000 hab/km²; y el resto tiene valores menores a 500 hab/km², siendo las parroquias de menor densidad poblacional Pilaguin y San Fernando.

Figura 21. Densidad poblacional de las parroquias del cantón Ambato



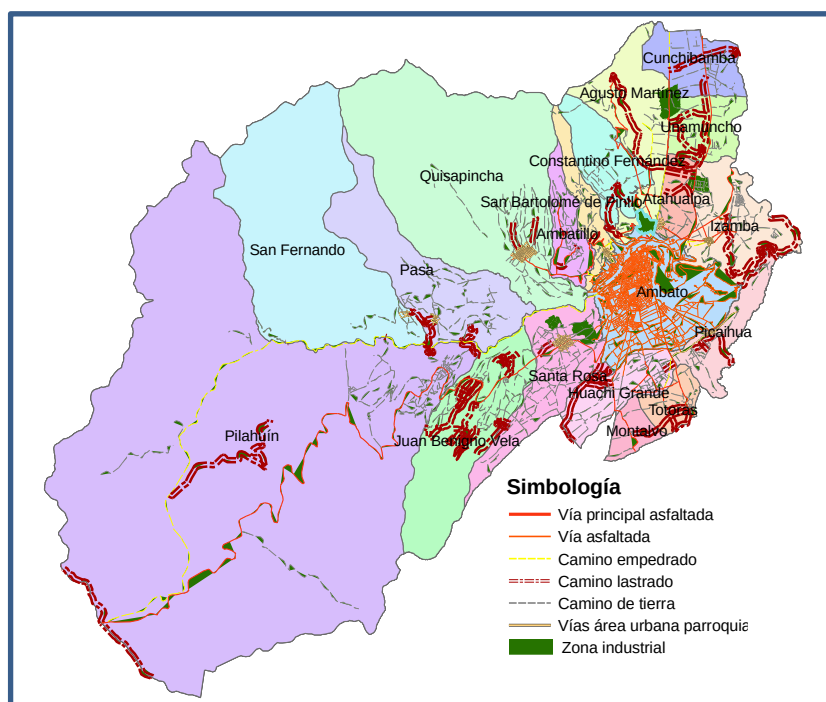
Fuente: Elaboración Propia en base a datos del INEC 2010

3.3.1.2 SECTORES INDUSTRIALES Y VÍAS DEL CANTÓN AMBATO

En la figura 22 se observa que las zonas industriales del cantón Ambato, se encuentran localizadas en las parroquias de Santa Rosa, Izamba y Martínez. Respecto a las vías se observa que en el área urbana todas estas son pavimentadas, mientras en el área rural la carretera principal y algunos caminos de los centros poblados son pavimentados, mientras el resto son empedrados, lastrados o de tierra.

De acuerdo a una nota de prensa del diario El Telégrafo realizado el 23 de febrero del 2014, las principales avenidas de la zona sur del cantón son: Atahualpa, Víctor Hugo, Shyris, Atis, Bolivariana, Panamericana Norte y Paso Lateral. Además se indica que la ciudad cuenta con aproximadamente 66.000 vehículos.

Figura 22. Mapa de zonas industriales y vías del cantón Ambato

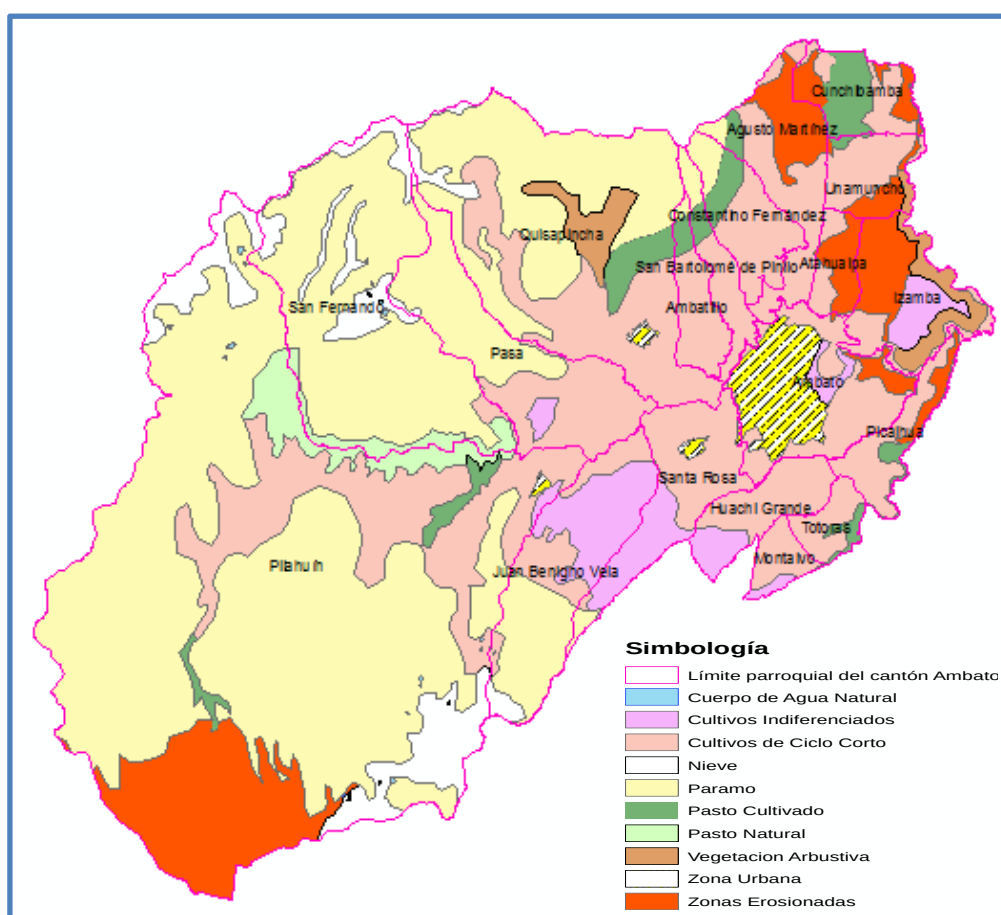


Fuente: Elaboración Propia en base a datos proporcionados por GAD de Ambato

3.3.1.3 USO DE SUELO DEL CANTÓN AMBATO

En la figura 23, se observa que el principal uso del suelo está destinado al páramo es decir a una zona de conservación y protección; seguida por el área agrícola en la cual predominan los cultivos de ciclo corto, también se distinguen algunas áreas erosionadas en los sectores de Cunchibamba, Augusto Martínez, Unamuncho, Atahualpa, Izamba, Pishilata, Picaihua y Pilahuín, además se distinguen zonas de pastos naturales y cultivados, importantes para el sector pecuario, el área más consolidada se encuentra en la zona urbana.

Figura 23. Uso de suelo del cantón Ambato



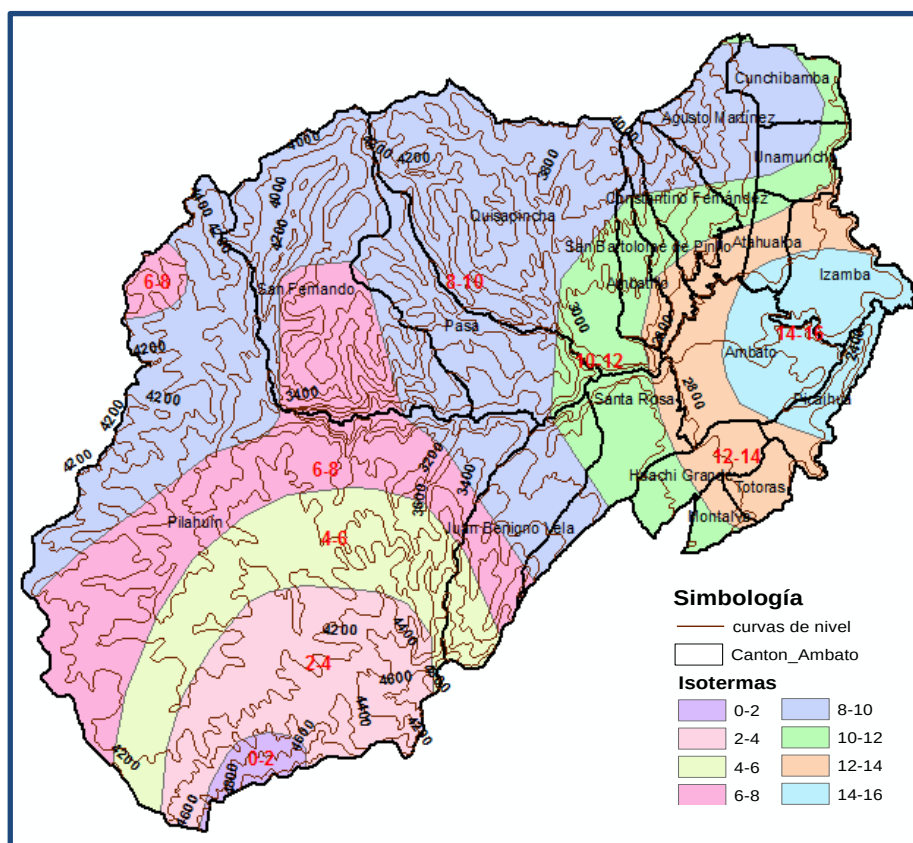
Fuente: Elaboración Propia en base a datos proporcionados por GAD de Ambato

Para efectos de aplicación del Plan de Ordenamiento Territorial del cantón Ambato, se han establecido tres clases de suelo: urbano, urbanizable y no urbanizable. (Ver Anexo B).

Cabe señalar que la ciudad de Ambato se divide en cinco plataformas de ocupación urbana, los detalles de estas se encuentran en el Registro Oficial edición especial No. 108 del 12 de marzo del 2009.

3.3.1.4 ISOTERMAS Y CURVAS DE NIVEL DEL CANTÓN AMBATO

Figura 24. Isotermas y curvas de nivel del cantón Ambato



Fuente: Elaboración Propia en base a datos proporcionados por GAD de Ambato

En la figura 24 se presentan las isotermas y curvas del nivel del cantón Ambato. En lo que respecta a la temperatura se observa que el sitio donde mayores rangos de temperaturas se

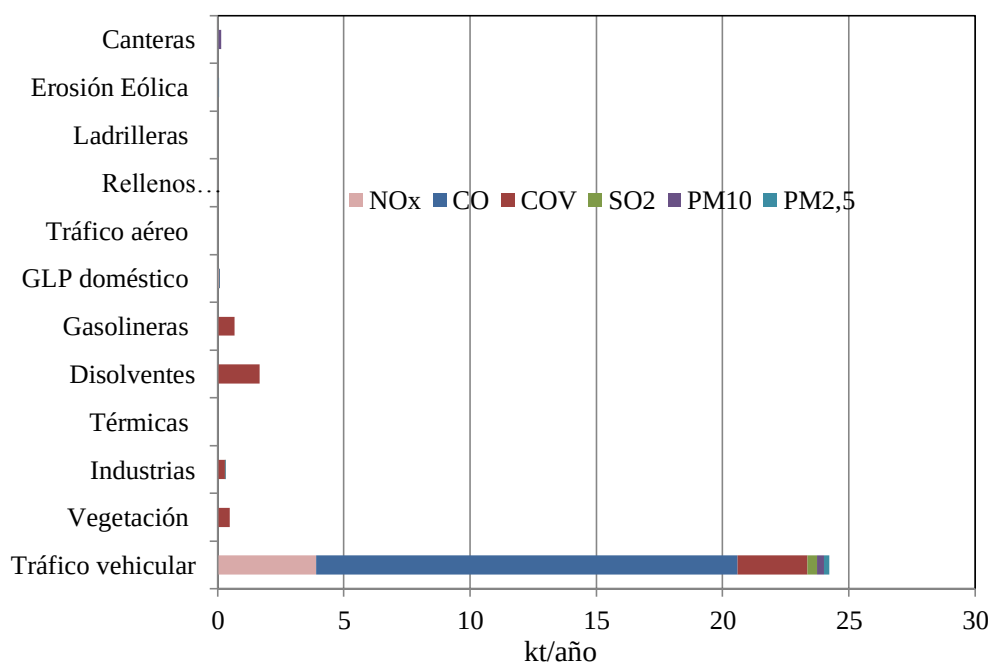
encuentran es en la parroquia de Pilahuín, pues van desde 0 a 10°C; mientras en la cabecera cantonal y áreas aledañas la temperatura oscila entre 12 y 16°C. Concerniente a las curvas de nivel se indica que el cantón presenta alturas que van desde los 2400 a los 4800 msnm; en las más bajas se asienta el área urbana.

3.3.2 INVENTARIO DE EMISIONES

A través del Proyecto Calidad del Aire Fase III en el año 2010, el Ministerio del Ambiente realizó un inventario preliminar de emisiones de los contaminantes primarios: óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono, compuestos orgánicos volátiles, dióxido de azufre y material particulado, en varios cantones del país entre ellos el cantón Ambato.

En la figura 25 se presenta las fuentes y las cantidades de contaminantes emitidos por cada una de ellas, como se puede observar el tráfico vehicular es el principal responsable de las emisiones de los contaminantes primarios.

Figura 25. Emisiones de contaminantes primarios en el cantón Ambato año 2010 (kt/año)



Fuente: (Parra Narváez, 2014)

En orden de importancia, las fuentes de emisión para cada uno de los contaminantes son las siguientes:

- Óxidos de nitrógeno: Tráfico vehicular e industria.
- Monóxido de carbono: Tráfico vehicular.
- Compuestos orgánicos volátiles: Tráfico vehicular, gasolineras, vegetación, industrias, GLP doméstico y rellenos sanitarios.
- Dióxido de azufre: Tráfico vehicular e industrias.
- Material particulado PM_{10} : Tráfico vehicular, canteras, erosión eólica, industrias y GLP doméstico.
- Material particulado $PM_{2,5}$: Tráfico vehicular, industrias, GLP doméstico y erosión eólica.

3.3.3 CAMPAÑA DE MONITOREO PRELIMINAR

La campaña de monitoreo pasivo realizada en el cantón Ambato en el período noviembre 2013 – octubre 2014, en la que se estudió la presencia en el aire respirable de los contaminantes ozono, dióxido de nitrógeno, dióxido de azufre y benceno; para lo cual se colocaron seis estaciones en las parroquias San Francisco (1), Huachi Chico (1), Pishilata (1), Ambatillo (1) e Izamba (2); en una primera evaluación de los datos reportados por el laboratorio de la Secretaría de Ambiente de la ciudad de Quito, arroja como resultado que la media anual de los contaminantes estudiados están dentro de los límites de la Norma Ecuatoriana de Calidad del Aire (NECA), de la guía de la Organización Mundial de la Salud y de otras normas internacionales utilizadas para el presente estudio.

Cabe indicar que según la NECA, el monitoreo pasivo de ozono, dióxido de nitrógeno y dióxido de azufre referido en las Normas Europeas correspondientes constituyen un método alterno para medir la concentración de los contaminantes criterio en estudio.

3.3.4 OBJETIVOS DEL MONITOREO

Una vez finalizada la primera campaña de monitoreo pasivo y con la finalidad de mantener y mejorar la vigilancia de la calidad del aire en el cantón Ambato, se plantean los siguientes objetivos del monitoreo continuo:

- Vigilar el cumplimiento de los valores límite de calidad del aire
- Rastrear las tendencias temporales de calidad de aire
- Dar información a la comunidad acerca de la calidad del aire
- Estimar los efectos en la población y el ambiente
- Tener bases para plantear políticas de desarrollo adecuadas
- Determinar los efectos de las medidas de control en la calidad del aire
- Medir concentraciones de fondo

Los muestreos a realizarse pretenden vigilar el nivel de contaminación del cantón Ambato a corto y largo plazo, para dictar las medidas y políticas adecuadas que permitan proteger la salud pública y el ambiente.

En la tabla 24, se presenta las escalas espaciales definidas por la EPA para diferentes objetivos de monitoreo, mismas que serán consideradas de acuerdo a los objetivos de monitoreo planteados para el cantón Ambato.

Tabla 24. Escalas espaciales definidas por la EPA para diferentes objetivos de monitoreo

Escala	Características
Microescala	Define las concentraciones en volúmenes de aire asociados con dimensiones de área de algunos metros hasta 100 metros.
Escala Media	Define concentraciones típicas de áreas que pueden comprender dimensiones desde 100 metros, hasta 0.5 km.
Escala Local	Define concentraciones en un área con uso de suelo relativamente uniforme, cuyas dimensiones abarcan de 0.5 a 4 km.
Escala Urbana	Define todas las condiciones de una ciudad con dimensiones en un rango de 4 a 50 km.
Escala Regional	Define generalmente un área rural de geografía razonablemente homogénea y se extiende desde decenas hasta cientos de kilómetros.
Escala Nacional y Global	Las mediciones que corresponden a esta escala representan concentraciones características de la nación y del mundo como un todo.

Fuente: (Martínez & Romieu, 2002)

En la tabla 25, se definen las escalas de representatividad que se consideran más adecuadas para cada uno de los objetivos de monitoreo planteados para el cantón Ambato.

Tabla 25. Relación entre objetivos de monitoreo y escalas de representatividad

Objetivo de monitoreo	Escalas
Vigilar el cumplimiento de los valores límite de calidad del aire	Urbana y regional
Rastrear las tendencias temporales de calidad de aire	Urbana y regional
Dar información a la comunidad acerca de la calidad del aire	Urbana y regional
Estimar los efectos en la población y el ambiente	Local y urbana
Tener bases para plantear políticas de desarrollo adecuadas	Local y urbana
Determinar los efectos de las medidas de control en la calidad del aire	Urbana y regional
Medir concentraciones de fondo	Local y urbana

Fuente: Elaboración propia en base a información de la tabla 24

Los objetivos planteados podrán ser desarrollados por etapas de acuerdo con la disponibilidad de recursos técnicos y económicos del Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Ambato.

3.3.5 DEFINICIÓN DE PARÁMETROS AMBIENTALES

Se considera que como indicadores de la contaminación atmosférica del cantón Ambato, se deben medir los contaminantes criterio indicados en la norma ecuatoriana de calidad del aire; es decir material particulado, partículas sedimentables, monóxido de carbono, ozono, dióxido de nitrógeno y dióxido de azufre. Además se manifiesta que se debe mantener la medición del contaminante no convencional benceno también normado en la NECA. Por otra parte dependiendo de las zonas de estudio y de la disponibilidad técnica y de recursos se podrían determinar contaminantes específicos tales como cadmio, mercurio inorgánico, entre otros, priorizándolos de acuerdo a su toxicidad, concentración y cantidades emitidas.

Además de los contaminantes atmosféricos es importante tener datos de los parámetros meteorológicos (velocidad y dirección del viento, temperatura, diferencial vertical de temperatura, precipitación, radiación solar) y topográficos (tipo de suelo, relieve). Ya que estos influyen en la dispersión de los contaminantes en el aire y en el caso de los contaminantes secundarios intervienen en su generación.

3.3.6 DEFINICIÓN DEL NÚMERO Y LOS SITIOS DE MUESTREO

La colocación de las estaciones de monitoreo deberán ser representativas de la calidad del aire del cantón Ambato lo que incluye tanto a las parroquias rurales como a las urbanas; la localización y el número de sitios de monitoreo corresponderá con los objetivos planteados y la disponibilidad de recursos técnicos y económicos de la municipalidad de Ambato. Para la ubicación de las estaciones se recomienda abarcar los siguientes sectores: residencial, escolar, industrial, comercial, turístico, centro de la ciudad, rural, zona de gran densidad de tráfico, zona baja densidad de tráfico y sector con pocos habitantes.

En base al análisis de los datos recolectados del cantón Ambato y con el afán de cumplir con los objetivos trazados, se plantean diez localidades para el muestreo (ver tabla 26), de las cuales cinco corresponden a parroquias urbanas y cinco a parroquias rurales.

Se propone el establecimiento de una red de monitoreo pasivo y de depósito en las diez localidades, ubicando una estación en cada una de ellas; y la colocación de una estación de monitoreo activo y/o automático en una de las localidades del área urbana, ésta última se señala en base al criterio recomendado por la OMS para establecer en función de la densidad de población, el número de estaciones de muestreo de acuerdo al parámetro que se pretende medir. (Martínez & Romieu, 2002)

Para la ubicación de las estaciones en cada una de las localidades, es menester considerar que los sitios de muestreo cumplan lo siguiente:

- Fácil acceso: que permita a los responsables colocar y retirar los monitores, realizar mantenimiento e inspeccionar de acuerdo a un cronograma preestablecido o cuando así lo requieran.
- Seguridad contra vandalismo: de tal manera que las muestras y equipos se encuentre libres de actos vandálicos.
- Infraestructura adecuada: electricidad, líneas telefónicas, otros que permitan la operación de los equipos de muestreo y el desenvolvimiento de las actividades planificadas; este ítem especialmente para equipos de muestreo activo o automático.
- Libre de obstáculos: evitar todos aquellos obstáculos que afecten el libre movimiento del aire alrededor de la toma de muestra, y fuentes de emisión que alteren la captación invalidando las muestras, algunas recomendaciones dadas por los diferentes organismos se pueden ver en las tablas 13 y 14 y criterios adicionales se pueden encontrar en el CFR 40 norteamericano (Code of Federal Regulations – Código de Regulaciones Federales).

Tabla 26. Localidades de muestreo sugeridas para la determinación de la calidad del
aire del cantón Ambato

Código	Parroquia urbana	Código	Parroquia rural
U001	Atocha - Ficoa	R001	Izamba
U002	San Francisco	R002	Ambatillo
U003	La Matriz	R003	Santa Rosa
U004	Pishilata	R004	Totoras
U005	Celiano Monge	R005	Pilahuín

Fuente: Elaboración propia

3.3.7 UBICACIÓN DE LAS ESTACIONES DE MONITOREO

En la figura 26 y 27 se presentan las ubicaciones de las estaciones de monitoreo en el área urbana y rural respectivamente.

Área urbana:

Estación U001

Parroquia: Atocha Ficoa

Coordenadas geográficas: longitud 763605, latitud 9863537, altura 2549 m.

Dirección: Ciudadela México, Av. Dr. Rodrigo Pachano Lalama, entre las calles Poesías y s/n.

Sitio específico: Terraza del IESS de Tungurahua

Sectores aledaños: Pastificio Ambato (empresa que elabora pastas: fideos, canelones, otros), colegio Rumiñahui, Centro Comercial Caracol.

Características del sitio: zona urbana de trazado irregular, área primordialmente residencial, existencia de población de alta sensibilidad (niños, ancianos, enfermos), presencia de comercio e instituciones educativas; principales ejes viales Av. Dr. Rodrigo Pachano y los Guaytambos.

Estación U002

Parroquia: San Francisco

Coordenadas geográficas: longitud 764255, latitud 9862766, altura 2579 m.

Dirección: Av. Cevallos, entre las calles Eugenio Espejo y T. Sevilla.

Sitio específico: Terraza del Mercado Modelo

Sectores aledaños: Hotel Pirámide Inn, parque Cevallos, iglesia de la Medalla Milagrosa, banco Pichincha, farmacia Sana Sana, entre muchos otros de gran importancia.

Características del sitio: núcleo central de la ciudad, presencia de instituciones financieras, administrativas, educativas, comercio de mayor escala territorial, parques, piezas arquitectónicas como iglesias, museos, entre otros sitios de interés; el principal eje vial y comercial es la Av. Cevallos.

Estación U003

Parroquia: La Matriz

Coordenadas geográficas: longitud 762771, latitud 9861150, altura 2659 m.

Dirección: Miraflores Alto, Av. Quis Quis entre las calles Valladolid y Algeciras

Sitio específico: Plaza de Toros

Sectores aledaños: Plaza Dos Culturas, Los Sauces, Ciudadela España, Hotel Miraflores, Quinta el Rosario.

Características del sitio: zona urbana de trazado homogéneo, área residencial con injerencia comercial en vías arteriales.

Estación U004

Parroquia: Pishilata

Coordenadas geográficas: longitud 769346, latitud 9861129, altura 2632 m.

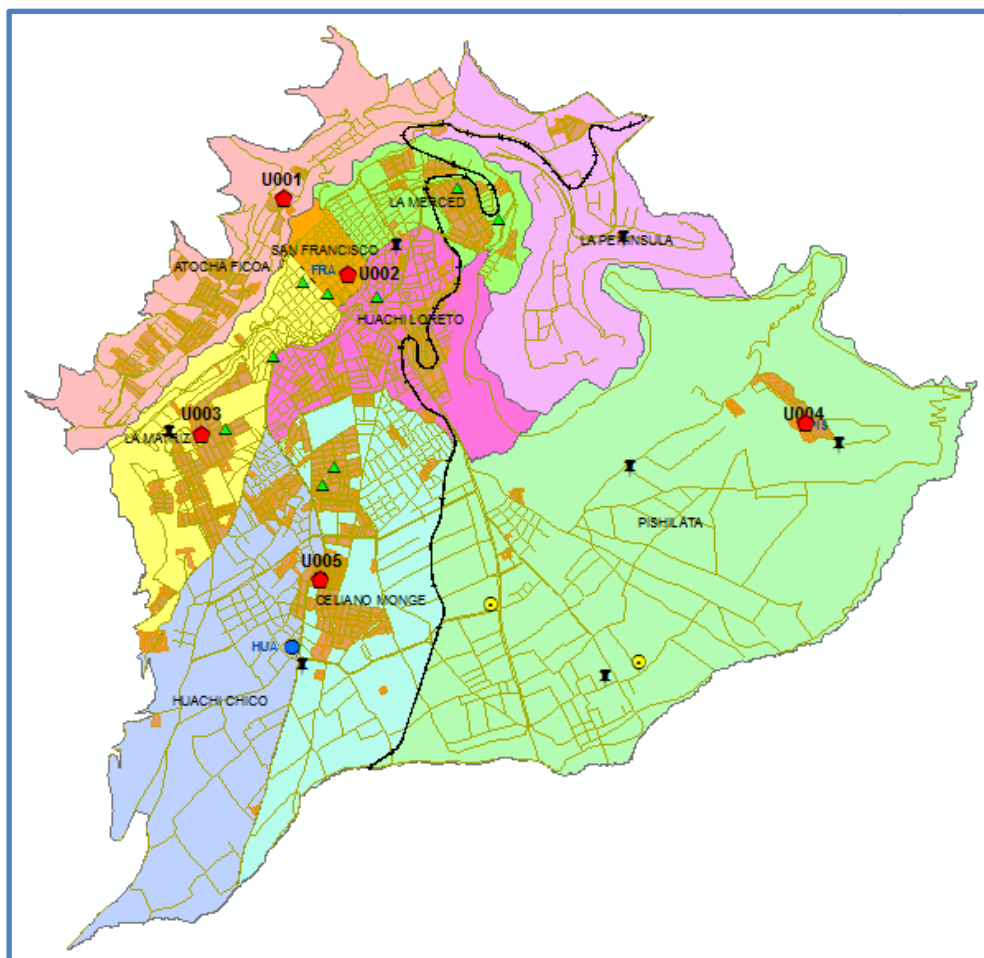
Dirección: Urbanización Techo Propio, calles Alphonse de Lamartine y Aloys Senefelder

Sitio específico: Terraza de la UPC (Unidad de Policía Comunitaria) del sector

Sectores aledaños: Canteras de material pétreo, parroquia La Península

Características del sitio: área destinada a conservación natural, baja densidad de tráfico

Figura 26. Mapa de ubicación de las estaciones de monitoreo en el área urbana de Ambato



Fuente: Elaboración Propia en base a datos proporcionados por GAD de Ambato

Estación U005

Parroquia: Celiano Monge

Coordenadas geográficas: longitud 763977, latitud 9859694, altura 2723 m.

Dirección: Ciudadela El Dorado, Av. Atahualpa, entre las calles Río Papallacta y Río Cutuchi.

Sitio específico: Terraza del Edificio Matriz del Municipio de Ambato

Sectores aledaños: Centro comercial Mall de los Andes, Cinemark, parroquia Huachi Chico, Universidad Técnica de Ambato, Colegio Juan León Mera La Salle, Parque de La Pradera, entre otros.

Características del sitio: área consolidada, presencia de instituciones públicas, centro comercial, comercio, instituciones educativas; eje vial importante la Av. Atahualpa.

Área rural:

Estación R001

Parroquia: Izamba

Coordenadas geográficas: longitud 767774, latitud 9866261, altura 2613 m.

Dirección: Av. Indoamérica, km 7 ½ vía a Quito

Sitio específico: Terraza de la ESFORSE (Escuela de Formación de Soldados “Vencedores del Cenepa”)

Sectores aledaños: Parque Industrial, aeropuerto Chachoan, estación meteorológica

Características del sitio: zona rural en consolidación con suelo urbano en los poblados, uso de suelo tipo comercial, también existe un área residencial; principales ejes viales Av. Indoamérica y Paso Lateral.

Estación R002

Parroquia: Ambatillo

Coordenadas geográficas: longitud 760704, latitud 9862085, altura 3020 m.

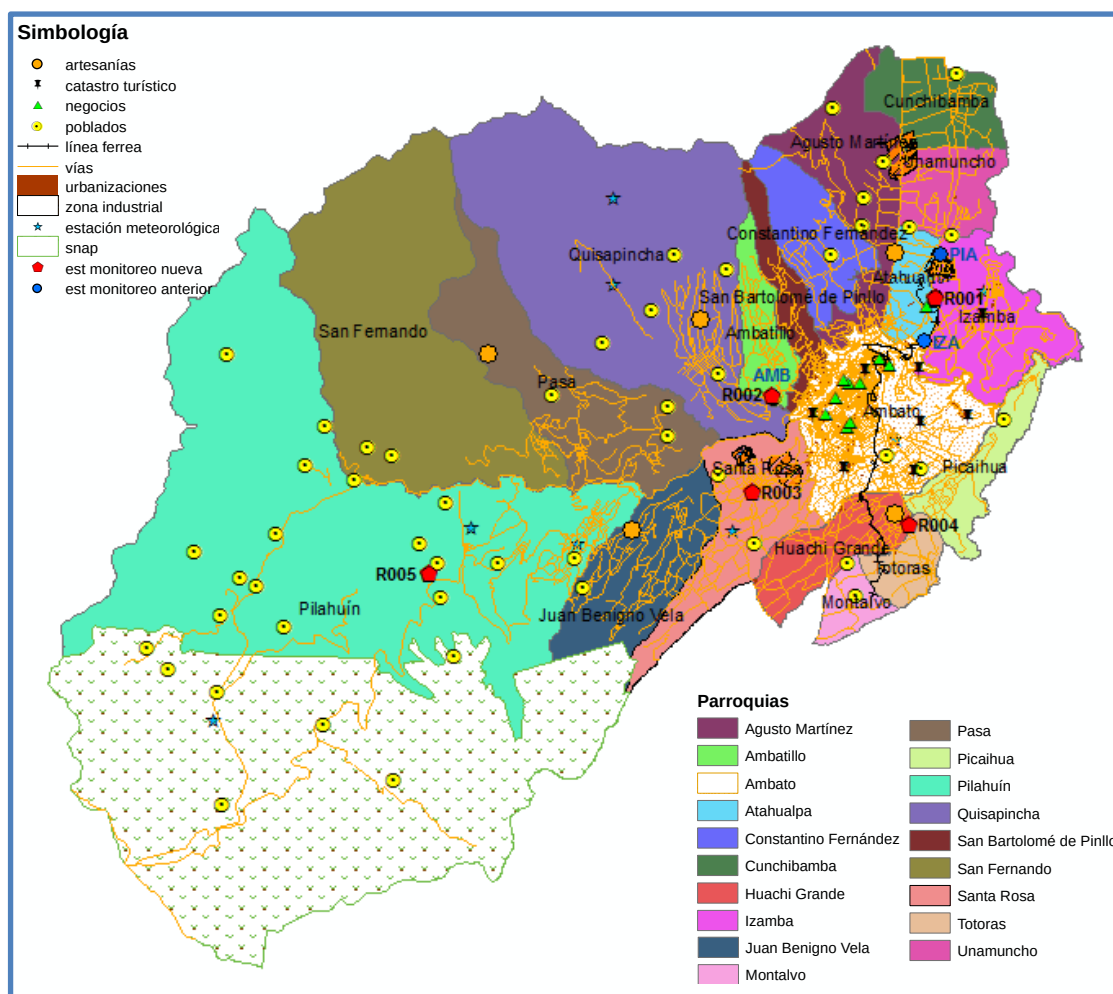
Dirección: Sector de Palama, vía Ambato - Quisapincha

Sitio específico: Jardín aledaño a las oficinas administrativas del Parque La Familia

Sectores aledaños: Parroquias Quizapincha y Pinllo

Características del sitio: Área de recreación y turismo, lugar poblado, sector agrícola y ganadero, existencia de pequeños negocios, se encuentran características casas de adobe; su principal eje vial es la vía Ambato – Quisapincha.

Figura 27. Mapa de ubicación de las estaciones de monitoreo en el área rural de Ambato



Fuente: Elaboración Propia en base a datos proporcionados por GAD de Ambato

Estación R003

Parroquia: Santa Rosa

Coordenadas geográficas: longitud 760000, latitud 9858217, altura 3016 m.

Sitios sugeridos: Parque Central o cementerio de Santa Rosa o santuario de Nuestra Señora de la Elevación (escoger en base a facilidad de acceso y seguridad)

Sectores aledaños: Curtiembres, río Ambato, estación meteorológica.

Características del sitio: Sector agrícola y ganadero, presencia de industria de la curtiembre, se desarrollan las ramas artesanales de sastrería y carpintería, el principal lugar

turístico es la Basílica de Nuestra Señora de la Elevación, conviven habitantes mestizos e indígenas, estos últimos se ubican especialmente en las áreas periféricas de la parroquia, principal eje vial Av. José Peralta.

Estación R004

Parroquia: Totoras

Coordenadas geográficas: longitud 766638, latitud 9856456, altura 2707 m.

Dirección: km 5 ½ vía a Baños

Sitio específico: Universidad Particular Uniandes

Sectores aledaños: Hotel Complexe Versailles, Pancho's Internet

Características del sitio: Sitio de alta densidad poblacional, residencial, presencia de instituciones educativas, comercio.

Estación R005

Parroquia: Pilahuín

Coordenadas geográficas: longitud 745820, latitud 9854306, altura 3720 m.

Sitio sugeridos: Junta parroquial, iglesia o colegio Pilahuín (escoger en base a facilidad de acceso y seguridad)

Sectores aledaños: Laguna Yanachocha, Siquibulo entre otras; volcanes Chimborazo, Carihuairazo, Reserva de Producción Faunística Chimborazo.

Características del sitio: Zona rural ubicada entre 2900 a 4400 msnm y dividido en tres pisos latitudinales, el piso más bajo (2900 a 3300m) pertenece la zona agrícola, el piso medio (3300 a 3700m) combinación de agricultura y pastoreo, y en el piso alto (3700 a 4400m) zona de páramo con extensos pajonales que sirve únicamente para el pastoreo; en la zona existen alrededor de 12000 habitantes en un área de 420,63km², los caminos son empedrados y

lastrados; como eje vial tienen la carretera Ambato – Guaranda, las organizaciones de base de la COCAP (Corporación de Organizaciones Campesinas de Pilahuín) cuenta con servicios básicos; en la zona hay dos subcentros y un dispensario médico. (Corporación de Organizaciones Campesinas de Pilahuín)

3.3.8 TIEMPOS Y TÉCNICAS DE MUESTREO

Para cumplir con los objetivos planteados, el programa de monitoreo de calidad del aire deberá ser permanente, para la evaluación se considera como duración de programa de monitoreo a un año completo de muestreo es decir doce meses consecutivos.

Los contaminantes a determinarse con la red de monitoreo pasivo serían: ozono, dióxido de nitrógeno, dióxido de azufre y BTX; con la red de monitoreo de depósito el material sedimentable; y con la estación de monitoreo activo y/o automático se plantea determinar la concentración de material particulado, dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno, oxidantes, monóxido de carbono y parámetros meteorológicos.

Los tiempos se determinan considerando criterios recomendados de efectos en la salud o factores de inmisión de los contaminantes, de acuerdo a los límites de detección del método de muestreo utilizado y por medio de criterios establecidos en normas de calidad del aire en cada país. (Martínez & Romieu, 2002)

Para el monitoreo en la ciudad de Ambato, los tiempos y técnicas de muestreo planteados están en base a la Norma Ecuatoriana de Calidad del Aire, valores que se presentan en la tabla 27 y 28.

Tabla 27. Tiempos de muestreo para los contaminantes del aire a determinarse

Valor a determinar	Parámetro
10 minutos	SO ₂ ,
1 hora	NO ₂ , CO
8 horas	O ₃ , CO
24 horas	PM _{2,5} , PM ₁₀ , SO ₂ ,
30 días	Partículas sedimentables, SO ₂ , NO ₂ , O ₃ ,
anual	PM _{2,5} , PM ₁₀ , SO ₂ , NO ₂ , C ₆ H ₆

Fuente: Elaboración propia en base a la NECA y técnicas de muestreo

Tabla 28. Técnicas de monitoreo para los contaminantes del aire a determinarse

Parámetro	Técnica
Ozono	Quimiluminiscencia – fotómetro ultravioleta Método alternativo: método pasivo
Dióxido de nitrógeno	Quimiluminiscencia Método alternativo: método pasivo
Dióxido de azufre	Método de la pararosanilina: absorción en medio líquido y análisis colorimétrico posterior. Método fluorescencia: medición de la señal fluorescente generada al excitar al dióxido de azufre en presencia de luz ultravioleta. Método alternativo: método pasivo

Fuente: Elaboración propia en base a la NECA y técnicas de muestreo

Tabla 28. (cont.)

Parámetro	Técnica
Monóxido de carbono	Analizador infrarrojo no dispersivo
Benceno	Adsorción TENAX [®] y cromatografía de gases/espectrofotometría de masas (GC/MS)
Partículas sedimentables	Método gravimétrico: mediante captación de partículas en envases abiertos
Material particulado (PM ₁₀)	Método gravimétrico: mediante muestreador de alto caudal o de bajo caudal. Métodos alternos: los de medición continua, tanto del tipo microbalanza oscilante como el tipo atenuación beta.
Material particulado (PM _{2,5})	Método gravimétrico: mediante muestreador de bajo caudal. Métodos alternos: los de medición continua, tanto del tipo microbalanza oscilante como el tipo atenuación beta.

Fuente: Elaboración propia en base a la NECA y técnicas de muestreo

CAPÍTULO IV

4. DISCUSIÓN

4.1 CONCLUSIONES

- En base a los resultados de concentración mensual de ozono, se considera que en el mes de noviembre del 2013, se dieron condiciones favorables en el cantón para la generación de este contaminante, con excepción del sector de Pishilata en el cual las condiciones favorables se presentaron en marzo del 2014.
- Las concentraciones de ozono tanto las mensuales como la media de ocho meses no excede el límite de la concentración media anual establecido en las normas de El Salvador y La Paz de $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$; por tanto tampoco excede el valor medio en ocho horas de $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ establecido en la NECA y en la guía de la OMS (2005), los máximos valores alcanzados fueron de $30,60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $17,45 \mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente.
- Los registros mensuales y la media de siete meses de la concentración de dióxido de nitrógeno, se encuentran bajo el límite permisible de $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para la media anual establecido en la NECA y en la guía de la Organización Mundial de la Salud, los mayores valores registrados corresponden a $34,10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $24,61 \mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente, siendo el primero de estos un valor muy cercano a la norma que es de $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

- El dióxido de azufre presenta concentraciones mensuales y media de siete meses dentro de la media anual establecida en la NECA de $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y de la guía de la OMS de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, los mayores valores registrados fueron de $24,31 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $8,47 \mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente.
- La mayoría de las concentraciones mensuales de benceno fueron inferiores al límite detectable, el mayor valor mensual registrado fue de $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$, el cual se encuentra por debajo de la NECA ($5 \mu\text{g}/\text{m}^3$) e igualmente por debajo pero cercano al establecido en la norma de Japón ($3 \mu\text{g}/\text{m}^3$) para la media anual.
- De acuerdo a los valores de los índices de calidad del aire de los contaminantes medidos, el contaminante de mayor interés para el cantón Ambato es el dióxido de nitrógeno, mientras el contaminante de menor interés sería el dióxido de azufre y en lo que respecta al benceno no se puede dar un criterio concluyente debido a que el número de mediciones reportadas no fue significativa.
- A pesar de las condiciones socioeconómicas y geográficas del cantón Ambato, la presencia en el aire respirable de los contaminantes primarios dióxido de nitrógeno, ozono y dióxido de azufre se encuentra dentro de los límites de concentración media anual, en principio esto nos indicaría una calidad adecuada del aire, sin embargo al no haberse determinado todos los contaminantes primarios normados en la NECA estos resultados se consideran solo como un indicio de la calidad del aire del cantón, debido a que los contaminantes primarios no determinados podrían presentar concentraciones significativas en el aire.
- Los datos registrados del monitoreo pasivo del dióxido de nitrógeno, dióxido de azufre y benceno no son representativos de acuerdo al criterio de cobertura

temporal, debido a que los registros válidos son menores a los 2/3 del período total que fue de un año de monitoreo.

- Es importante señalar que la concentración media de ozono no varía significativamente en los diferentes sitios de monitoreo, situación que podría deberse a niveles similares de precursores de O₃ durante la época de muestreo y probablemente a una escasa variación de la intensidad de la luz solar en el período de estudio.
- Los resultados medios de las concentraciones de los contaminantes determinados en las estaciones de Izamba y Parque Industrial, ubicadas en la parroquia rural de Izamba, demuestran que la calidad del aire en base a los contaminantes medidos es similar en dicha área, razón por la cual se podría disminuir de dos a una las estaciones en el sector.
- Al comparar las concentraciones medias obtenidas en el sector rural, se evidencia especialmente en lo que respecta al contaminante dióxido de nitrógeno que este presenta mayor concentración en los sectores de mayor circulación de tráfico vehicular.
- Las concentraciones determinadas en las estaciones ubicadas en la zona urbana demuestran que cada uno de estos sectores presenta características distintas; los resultados de las estaciones de Huachi Chico y Pishilata son representativos de las actividades y movimiento que se desarrollan en dichos lugares; mientras la estación San Francisco especialmente en lo que respecta al dióxido de nitrógeno y dióxido de azufre parece no tener relación directa con las características del área, presentando los valores más bajos de estos contaminantes con relación a las otras dos estaciones, esto a pesar de ser un área céntrica, lo que se atribuye probablemente a condiciones meteorológicas

favorables que permiten una adecuada dispersión de los contaminantes del sector.

- Al relacionar las áreas rural y urbana considerando solamente aquellas en las que se presentaron las mayores concentraciones medias de contaminantes, se indica que el área urbana fue la que presentó mayor contaminación.
- La cantidad anual de óxidos de nitrógeno emitida a la atmósfera son muy superiores a las cantidades de dióxido de azufre, lo cual coincide con las concentraciones encontradas en el aire respirable del cantón.
- En general la presencia de contaminantes en el aire, especialmente de dióxido de nitrógeno, tiene relación directa con la presencia del parque automotor en el área monitoreada.

4.2 RECOMENDACIONES

- A fin de cumplir con los objetivos planteados para el nuevo programa de monitoreo, se aconseja ampliar la red de monitoreo pasivo de seis a diez estaciones, cinco en parroquias rurales y cinco en parroquias urbanas. Además se recomienda instalar una estación de monitoreo activo y/o automático en la que se determinen los contaminantes primarios para los períodos recomendados en la Norma Ecuatoriana de Calidad del Aire (NECA).
- Para la ubicación de la estación de monitoreo activo y/o automático, es imprescindible contratar un estudio, debido a que esta será una estación fija con equipos costosos, para la cual se debe considerar los criterios de ubicación señalados en el CFR 40 norteamericano. En base al presente estudio un sitio representativo de la calidad del aire de la ciudad podría ser la parroquia Huachi Chico o su aldea Celiano Monge.

- En el área urbana se recomienda mantener en la misma ubicación las estaciones de monitoreo pasivo San Francisco (U002) y Pishilata (U004), y colocar las otras tres estaciones en las parroquias Atocha – Ficoa, La Matriz y Celiano Monge. En el área rural se debería mantener la estación ubicada en Ambatillo, colocar solamente una estación en Izamba y reubicarla en un sitio intermedio a las dos existentes e incrementar estaciones en Santa Rosa, Totoras y Pilahuín.
- La ubicación de las estaciones de monitoreo en las áreas sugeridas, debe realizarse considerando los criterios de las tablas 13 y 14, además por la experiencia de la primera campaña de monitoreo es mejor que estas se coloquen en entidades públicas y/o privadas en las que el acceso se facilite de manera ininterrumpida dentro de los horarios de oficina y días laborables.
- Para un manejo adecuado de los datos se instiga a la elaboración de hojas de ruta en la que consten: horas, fechas de colocación y retiro de muestras; mantenimiento realizado, observaciones y otros datos que se estimen importantes.
- Se considera importante capacitar al personal en manejo de muestras, mantenimiento de estaciones, seguridad industrial entre otros que ayuden a una mejor ejecución de sus labores.
- Una cuestión importante es dotar al personal de las herramientas necesarias para desarrollar el trabajo (tales como escalera, fundas ziploc, recipientes para traslado de muestras, cintas doble faz, entre otros) así como del equipo de protección personal para salvaguardar su seguridad.

- Al ser el parque automotor la principal fuente de emisión del dióxido de nitrógeno, es indispensable encontrar una solución técnica y económicamente manejable, para disminuir las emisiones de este contaminante, una de ellas podría ser el empleo de catalizadores de tres vías en los motores.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anguita Virella, F., & Moreno Serrano, F. (1993). *Procesos Geológicos Externos y Geología Ambiental*. Madrid: Rueda.
- Ávila Baray, H. L. (2006). *Introducción a la metodología de la investigación* (electrónica ed.). Cuauhtemoc.
- Banco Mundial, OPS, USEPA, ATEI. (2002). *Gestión de la Calidad del Aire*. Recuperado el 21 de febrero de 2014, de <https://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/Bvirtual/001083/Course2/Lecturas.htm#monitoreo>
- Bustillos Ortiz, A. A., & Velasteguí Sánchez, R. (2011). Simulación de la dispersión de contaminantes en el aire de la ciudad de Ambato emitidos por fuentes fijas y por la actividad del volcán Tungurahua, mediante la utilización de los softwares ambientales especializados Dispersion5.2 y Screen View. Ambato, Ecuador: Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos.
- Cegarra Sánchez, J. (2004). *Metodología de la investigación científica y tecnológica*. Madrid: Días de Santos.
- COCAP. (s.f.). Recuperado el 22 de noviembre de 2014, de <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/547/3/Capitulo%202.pdf>
- Días Narváez, V. P. (2006). *Metodología de la investigación científica y bioestadística para médicos, odontólogos y esduiantes de ciencias de la salud*. Santiago: RIL.
- Días Suárez, V., López, D., Pallango, E., Chávez, M. Á., & Guerrón, K. (2011). *Informe anual 2011: calidad del aire*. Quito: Digital Center.
- E. Roberts Alley & Associates, I. (2001). *Manual de control de la calidad del aire* (Vol. I). (McGRAW-HILL, Ed., & M. Hidalgo Mondragón, Trad.) México, D.F., México: Mexicana.
- El Telégrafo. (3 de Agosto de 2014). *El Telégrafo*. Recuperado el 15 de Noviembre de 2014, de <http://www.telegrafo.com.ec/regionales/regional-centro/item/pishilata-es-el-corazon-de-la-agricultura-en-ambato.html>
- Fernández, P., & Días, P. (6 de marzo de 2001). *Estadística descriptiva de los datos*. Recuperado el 24 de octubre de 2014, de <http://www.fisterra.com/mbe/investiga/10descriptiva/10descriptiva.asp>

- GEOECUADOR. (2008). *flacsoandes*. Recuperado el febrero 21 de 2014, de <http://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&frm=1&source=web&cd=2&cad=rja&ved=0CDEQFjAB&url=http%3A%2F%2Fwww.flacsoandes.org%2Fbiblio%2Fcatalog%2FresGet.php%3FresId%3D16377&ei=eFf5UswzFcidkAfl64DABg&usg=AFQjCNGc2NI8y3URaAQaVXBcCx5ZYAcizg&sig2=DnlaWe>
- Green, J., & Sánchez, S. (marzo de 2013). *Clean Air Institute*. Obtenido de La Calidad del Aire en América Latina: Una Visión Panorámica: <http://www.cleanairinstitute.org/calidaddelaireamericalatina/cai-report-spanish.pdf>
- Grupo Editorial Océano. (1987). *Enciclopedia Autodidáctica Océano* (Vol. III). Barcelona, España: Océano.
- Henry, J. G., & Heinke, G. W. (1996). *Ingeniería ambiental*. México: Pearson Educación.
- Hernández Berasaluce, L. (s.f.). *Calidad del Aire*. Llanera - Asturias, España: Envira.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2006). *Metodología de la investigación* (Cuarta ed.). México: Mc Graw Hill Interamericana.
- Inche, J. L. (2004). *Gestión de la calidad del aire: causas, efectos y soluciones*. Lima: Instituto de Investigación de Ingeniería Industrial-UNMSM.
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. (2002). *División Política Administrativa de la República del Ecuador*.
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. (2010). *Censo 2010 Población y Vivienda*. Recuperado el 11 de febrero de 2014, de Censo 2010 Población y Vivienda: http://issuu.com/hdavalos/docs/datos_tungurahua
- Kiely, G. (1999). *Ingeniería Ambiental: Fundamentos, entornos, tecnologías y sistemas de gestión*. Madrid: Mc Graw Hill.
- Korc, M. E. (2000). Calidad del aire y su impacto en la salud en América Latina y el Caribe. *Gestión de la calidad del aire* (págs. 15 - 22). Lima: CEPAL.
- La Hora Nacional. (12 de noviembre de 2012). Izamba encanto de tradición y progreso. *Noticias Tungurahua*.
- Levin, R. I., & Rubin, D. S. (2004). *Estadística para administración y economía*. México: Pearson.
- Martínez, A. P., & Romieu, I. (2002). Introducción al Monitoreo Atmosférico.
- Mendoza Roca, J. A., Montañés Sanjuan, M. T., & Palomares Gimeno, A. E. (1998). *Ciencia y tecnología del medio ambiente*. Valencia: Servicio de Publicaciones.
- Ministerio del Ambiente. (2010). *Plan nacional de la calidad de aire*. Quito.
- Ministerio del Ambiente. (2011). *Norma ecuatoriana de calidad del aire*.

- Montesdeoca, D. E., De La Rosa, A. F., & Medina, J. (2008). *Estudio de la calidad del aire de la ciudad de Ambato*. Quito: Relaciones Institucionales de Petroecuador.
- Moposita Guamán, E. D. (mayo de 2011). *Estudio y propuesta para la creación de un centro de revisión y control vehicular en la ciudad de Ambato*. Recuperado el 11 de febrero de 2014, de http://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&frm=1&source=web&cd=1&cad=rja&ved=0CCKQFjAA&url=http%3A%2F%2Fdspace.ups.edu.ec%2Fbitstream%2F123456789%2F4796%2F1%2FUPS-CT002645.pdf&ei=iSL8UpnaKlrXkQexxYCYCQ&usg=AFQjCNEVkiITvwdx0o_4qJeSQgrMGsLwQ&sig2=8R
- Moreno Grau, M. D. (2003). *Toxicología ambiental: Evaluación de riesgo para la salud humana*. Madrid: Mc Graw Hill.
- Municipalidad del Cantón Ambato. (2009). *Plan de Ordenamiento Territorial Ambato 2020*. Ambato.
- OMS. (1999). *Guías para la calidad del aire*. Obtenido de http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsci/e/fulltext/guiasoms/re_oms.pdf
- OPS, OMS, MAE. (2003). *Diagnóstico Preliminar - Gestión de la Calidad del Aire Ecuador*.
- OPS/CEPIS. (2002). *Curso de introducción a la toxicología de la contaminación del aire. Manual de autoinstrucción*, 02.74. (K. McLain, Editor) Obtenido de http://bvs.per.paho.org/bvsci/e/fulltext/toxicol/lecc4/lecc4_p.html
- Organización Panamericana de la Salud. (Enero de 2005). *Curso de autoinstrucción: Orientación para el control de la contaminación del aire*. Recuperado el 19 de febrero de 2014, de http://www.bvsde.paho.org/cursoa_orientacion/
- Organización Panamericana de Salud. (2006). *OMS Guías de calidad del aire: Actualización mundial 2005*. Santiago.
- Orozco Barrenetxea, C., Pérez Serrano, A., González Delgado, M. N., Rodríguez Vidal, F. J., & Alfayate Blanco, J. M. (2003). *Contaminación ambiental: Una visión desde la química*. Madrid, España: Thomson.
- OSE Observatorio de la Sostenibilidad. (2007). *Calidad del aire en las ciudades*.
- Oviedo Carrillo, J. (2012). *Agenda Ambiental Ambato*. Ambato: Gobierno Autónomo Descentralizado Municipalidad de Ambato.
- Oviedo, J. (2013). Curso de gestión de la calidad del aire. *La contaminación del aire: generalidades*. Quito.
- Oviedo, J. (2013). *Toxicología ambiental*. Quito.
- Parra Narváez, R. (2014). *Inventario Preliminar de las Emisiones de Contaminantes del Aire, de los cantones Ambato, Riobamba, Santo Domingo de los Colorados, Latacunga, Ibarra, Manta, Portoviejo, Esmeraldas y Milagro*. Ministerio del Ambiente, Quito.

- PNUMA/OMS. (2002). *Manuales de Metodología de GEMS/Aire. Aseguramiento de la calidad en el monitoreo de la calidad del aire urbano* (Vol. 1). (C. P. (OPS/CEPIS), Trad.) Ginebra, Suiza.
- Puigcerver, M., & Dolors Carrascal, M. (2008). *El medio atmosférico: meteorología y contaminación*. Barcelona: Universitat de Barcelona.
- Ramírez Vicente, L. (2011). *La atmósfera terrestre*. Eusemat.
- Ambato. (s.f.). Recuperado el 10 de febrero de 2014, de Ambato:
<http://es.wikipedia.org/wiki/Ambato>
- Ambato Ecuador. (s.f.). Recuperado el 11 de febrero de 2014, de Ambato Ecuador:
<http://www.ecostravel.com/ecuador/ciudades-destinos/ambato.php>
- Sabino, C. (1992). *El proceso de investigación*. Caracas: Panapo.
- Senplades. (2013). *Plan nacional de desarrollo: Plan Nacional para el buen vivir 2013 - 2017*. Quito.
- Strauss, W., & Mainwaring, S. J. (2012). *Contaminación del aire causas, efectos y soluciones*. México: Trillas.
- Strauss, W., & Mainwaring, S. J. (2012). *Contaminación del aire: Causas, efectos y soluciones*. México: Trillas.
- Tamayo, & Tamayo, M. (1997). *El proceso de la investigación científica*. México: Limusa S.A.
- Unidad de Procesamiento de Dirección de Estudios Analíticos Estadísticos - Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2010). *Censo de Población y Vivienda*.
- Venegas, L., & Marín, P. (2004). *Concentración de material particulado en aire en la Ciudad de Buenos Aires*. Buenos Aires, Argentina.
- Wang, G., Huang, L., GAO, S., & Wang, I. (2002). *Measurements of PM₁₀ and PM_{2.5} in urban area of Nanjing, China and the assessment of pulmonary deposition of particle mass*.
- WHO/SDE/OEH. (2000).
<http://cdam.minam.gob.pe:8080/bitstream/123456789/114/1/CDAM0000017.pdf>. (O. M. Salud, Productor) Recuperado el 15 de octubre de 2014
- Wigodsky, J. (14 de junio de 2010). *Metodología de la investigación*. Recuperado el 24 de octubre de 2014, de <http://metodologiaeninvestigacion.blogspot.com/2010/07/poblacion-y-muestra.html>

ANEXOS

ANEXO A

REGISTRO DE COLOCACIÓN Y RETIRO DE MONITORES

En las tablas 29 y 30, se muestra las fechas y horas de colocación y retiro de los monitores de ozono.

Tabla 29. Registro de exposición de los monitores de ozono en las estaciones: San Francisco (FRA), Huachi Chico (HUA) y Pishilata (PIS)

	Estación			San Francisco		Huachi Chico		Pishilata	
	Código			FRA		HUA		PIS	
	Fechas		Exp.	Horas					
No	C	R	Días	C	R	C	R	C	R
1	2013-10-31	2013-11-15	15	11h20	13h10	13h45	11h45	15h35	11h24
2	2013-11-15	2013-12-02	17	13h10	9h00	11h45	9h35	11h24	12h40
3	2013-12-02	2013-12-16	14	9h00	16h00	9h35	15h00	12h40	15h30
4	2013-12-16	2014-01-03	18	16h00	9h45	15h00	10h55	15h30	10h25
5	2014-01-03	2014-01-17	14	9h45	8h45	10h55	9h35	10h25	9h10
6	2014-01-17	2014-02-03	17	8h45	9h20	9h35	10h40	9h10	9h55
7	2014-02-03	2014-02-17	14	9h20	9h20	10h40	10h10	9h55	9h45
8	2014-02-17	2014-02-28	11	9h20	14h00	10h10	15h00	9h45	14h30
9	2014-02-28	2014-03-19	19	14h00	11h35	15h00	8h55	14h30	12h00
10	2014-03-19	2014-04-01	13	11h35	9h10	8h55	10h10	12h00	9h40

C: Colocación; R: Retiro; Exp.: Tiempo de exposición

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 29. (cont.)

	Estación			San Francisco		Huachi Chico		Pishilata	
	Código			FRA		HUA		PIS	
	Fechas		Exp.	Horas					
No	C	R	Días	C	R	C	R	C	R
11	2014-04-01	2014-04-15	14	9h10	8h49	10h10	9h40	9h40	9h05
12	2014-04-15	2014-05-02	17	8h49	10h37	9h40	9h40	9h05	11h28
13	2014-05-02	2014-05-16	14	10h37	11h30	9h40	13h00	11h28	12h05
14	2014-05-16	2014-05-30	14	11h30	13h25	13h00	17h35	12h05	14h35
15	2014-05-30	2014-06-13	14	13h25	13h40	17h35	14h10	14h35	15h12
16	2014-06-13	2014-07-01	18	13h40	10h15	14h10	11h34	15h12	11h00
17	2014-07-01	2014-07-15	14	10h15	9h12	11h34	10h11	11h00	9h36
18	2014-07-15	2014-08-01	17	9h12	9h43	10h11	13h00	9h36	10h32
19	2014-08-01	2014-08-18	17	9h43	13h44	13h00	15h59	10h32	12h56
20	2014-08-18	2014-08-29	11	13h44	9h43	15h59	11h00	12h56	10h20
21	2014-08-29	2014-09-12	14	9h43	9h17	11h00	11h37	10h20	8h48
22	2014-09-12	2014-10-01	19	9h17	9h15	11h37	12h02	8h48	9h50
23	2014-10-01	2014-10-17	16	9h15	9h42	12h02	12h16	9h50	10h14
24	2014-10-17	2014-11-04	18	9h42	10h46	12h16	13h15	10h14	11h30

C: Colocación; R: Retiro; Exp.: Tiempo de exposición

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 30. Registro de exposición de los monitores de ozono en las estaciones:

Ambatillo (AMB), Izamba (IZA), Parque Industrial Ambato (PIA)

	Estación			Ambatillo		Izamba		Parque Ind.	
	Código			AMB		IZA		PIA	
	Fechas		Exp.	Horas					
No	C	R	Días	C	R	C	R	C	R
1	2013-10-31	2013-11-15	15	12h10	9h14	17h20	10h57	16h20	10h20
2	2013-11-15	2013-12-02	17	9h14	10h35	10h57	12h05	10h20	14h55
3	2013-12-02	2013-12-16	14	10h35	13h45	12h05	16h50	14h55	17h00
4	2013-12-16	2014-01-03	18	13h45	11h55	16h50	13h40	17h00	14h05
5	2014-01-03	2014-01-17	14	11h55	10h00	13h40	10h40	14h05	14h30
6	2014-01-17	2014-02-03	17	10h00	11h20	10h40	12h08	14h30	14h50
7	2014-02-03	2014-02-17	14	11h20	11h05	12h08	11h53	14h50	15h25
8	2014-02-17	2014-02-28	11	11h05	16h45	11h53	15h45	15h25	15h30
9	2014-02-28	2014-03-19	19	16h45	10h55	15h45	12h33	15h30	15h15
10	2014-03-19	2014-04-01	13	10h55	11h20	12h33	12h20	15h15	14h50
11	2014-04-01	2014-04-15	14	11h20	11h05	12h20	11h55	14h50	14h50
12	2014-04-15	2014-05-02	17	11h05	12h18	11h55	16h08	14h50	16h30
13	2014-05-02	2014-05-16	14	12h18	13h30	16h08	14h00	16h30	15h45
14	2014-05-16	2014-05-30	14	13h30	16h45	14h00	16h05	15h45	15h32
15	2014-05-30	2014-06-13	14	16h45	16h25	16h05	15h58	15h32	15h41
16	2014-06-13	2014-07-01	18	16h25	12h28	15h58	13h25	15h41	14h10

C: Colocación; R: Retiro; Exp.: Tiempo de exposición

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 30. (cont.)

	Estación			Ambatillo		Izamba		Parque Ind.	
	Código			AMB		IZA		PIA	
	Fechas		Exp.	Horas					
No	C	R	Días	C	R	C	R	C	R
17	2014-07-01	2014-07-15	14	12h28	10h51	13h25	11h21	14h10	11h32
18	2014-07-15	2014-08-01	17	10h51	12h02	11h21	11h33	11h32	11h13
19	2014-08-01	2014-08-18	17	12h02	14h25	11h33	14h50	11h13	15h06
20	2014-08-18	2014-08-29	11	14h25	11h30	14h50	12h00	15h06	14h20
21	2014-08-29	2014-09-12	14	11h30	10h10	12h00	9h44	14h20	14h17
22	2014-09-12	2014-10-01	19	10h10	11h17	9h44	10h59	14h17	14h32
23	2014-10-01	2014-10-17	16	11h17	11h35	10h59	11h00	14h32	14h39
24	2014-10-17	2014-11-04	18	11h35	15h20	11h00	14h30	14h39	14h10

C: Colocación; R: Retiro; Exp.: Tiempo de exposición

Fuente: Elaboración Propia

En las tablas 31 y 32, se presenta las fechas y horas de colocación y retiro de los monitores de BTX, dióxido de azufre y dióxido de nitrógeno.

Tabla 31. Registro de exposición de los monitores de BTX, SO₂ y NO₂ en las estaciones: San Francisco (FRA), Huachi Chico (HUA) y Pishilata (PIS)

	Estación			San Francisco		Huachi Chico		Pishilata	
	Código			FRA		HUA		PIS	
	Fechas		Exp.	Horas					
No	C	R	Días	C	R	C	R	C	R
1	2013-10-31	2013-12-02	32	11h20	9h00	13h45	9h35	15h35	12h40
2	2013-12-02	2014-01-03	32	9h00	9h45	9h35	10h55	12h40	10h25
3	2014-01-03	2014-02-03	31	9h45	9h20	10h55	10h40	10h25	9h55
4	2014-02-03	2014-02-28	25	9h20	14h00	10h40	15h00	9h55	14h30
5	2014-02-28	2014-04-01	32	14h00	9h10	15h00	10h10	14h30	9h40
6	2014-04-01	2014-05-02	31	9h10	10h37	10h10	9h40	9h40	11h28
7	2014-05-02	2014-05-30	28	10h37	13h25	9h40	17h35	11h28	14h35
8	2014-05-30	2014-07-01	32	13h25	10h15	17h35	11h34	14h35	11h00
9	2014-07-01	2014-08-01	31	10h15	9h43	11h34	13h00	11h00	10h32
10	2014-08-01	2014-08-29	28	9h43	9h43	13h00	11h00	10h32	10h20
11	2014-08-29	2014-10-01	33	9h43	9h15	11h00	12h02	10h20	9h50
12	2014-10-01	2014-11-04	34	9h15	10h46	12h02	13h15	9h50	11h30

C: Colocación; R: Retiro; Exp.: Tiempo de exposición

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 32. Registro de exposición de los monitores de BTX, SO₂ y NO₂ en las estaciones: Ambatillo (AMB), Izamba (IZA), Parque Industrial Ambato (PIA)

	Estación			Ambatillo		Izamba		Parque Ind.	
	Código			AMB		IZA		PIA	
	Fechas		Exp.	Horas					
No	C	R	Días	C	R	C	R	C	R
1	2013-10-31	2013-12-02	32	12h10	10h35	17h20	12h05	16h20	14h55
2	2013-12-02	2014-01-03	32	10h35	11h55	12h05	13h40	14h55	14h05
3	2014-01-03	2014-02-03	31	11h55	11h20	13h40	12h08	14h05	14h50
4	2014-02-03	2014-02-28	25	11h20	16h45	12h08	15h45	14h50	15h30
5	2014-02-28	2014-04-01	32	16h45	11h20	15h45	12h20	15h30	14h50
6	2014-04-01	2014-05-02	31	11h20	12h18	12h20	16h08	14h50	16h30
7	2014-05-02	2014-05-30	28	12h18	16h45	16h08	16h05	16h30	15h32
8	2014-05-30	2014-07-01	32	16h45	12h28	16h05	13h25	15h32	14h10
9	2014-07-01	2014-08-01	31	12h28	12h02	13h25	11h33	14h10	11h13
10	2014-08-01	2014-08-29	28	12h02	11h30	11h33	12h00	11h13	14h20
11	2014-08-29	2014-10-01	33	11h30	11h17	12h00	10h59	14h20	14h32
12	2014-10-01	2014-11-04	34	11h17	15h20	10h59	14h30	14h32	14h10

C: Colocación; R: Retiro; Exp.: Tiempo de exposición

Fuente: Elaboración Propia

ANEXO B

CAPÍTULO I DEL TÍTULO SEGUNDO DE LAS NORMAS GENERALES DE APLICACIÓN DEL PLAN DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL DEL CANTÓN AMBATO

DEL SUELO Y SU CLASIFICACIÓN GENERAL

Art. 12. Del Suelo. Se considera suelo al soporte físico territorial donde se implantan los usos y actividades previstos en el POT; la habilitación del suelo se establecerá conforme a lo que dispone el POT y esta ordenanza.

Art. 13. De la Clasificación del Suelo. Para efectos de aplicación del POT y de esta ordenanza, se han definido para el cantón Ambato tres clases de suelo:

- Suelo Urbano.
- Suelo Urbanizable.
- Suelo No Urbanizable.

Art. 14. Suelo Urbano. Corresponde a los asentamientos consolidados en la ciudad y en las cabeceras parroquiales, que está destinado a la implantación densa de la habitación, acompañada de diversas actividades y usos, dotadas de redes, servicios e infraestructura, y una traza urbana definida.

También se considera suelo urbano, los asentamientos de población y de actividades productivas en proceso de consolidación en las parroquias rurales a los caseríos y comunidades, destinados principalmente a vivienda y actividades complementarias de la agricultura y vivienda.

Los Suelos Urbanos comprenden: el área de la cabecera cantonal de Ambato que cuenta con todos los servicios e infraestructura, y los centros poblados de las 18 parroquias rurales: Izamba, Atahualpa, Augusto Martínez, Pinllo, Picaihua, Huachi Grande, Cunchibamba, Unamuncho, Constantino Fernández, Ambatillo, Quisapincha, Pasa, San Fernando, Pilahuín, Juan B. Vela, Santa Rosa, Totoras, Montalvo, reconociendo los procesos de conurbación desarrollados en los últimos 20 años.

Art. 15. Suelo urbanizable. Son las áreas de reserva y manejo estratégico que garantiza la incorporación paulatina y adecuada a los requerimientos de nuevos desarrollos urbanos. Busca la integración y complementación con las dinámicas de la ciudad existente.

Estos nuevos desarrollos deberán ejecutarse bajo la planificación concertada y utilizando patrones que garanticen la comunicación y movilidad, la dotación de infraestructura, equipamiento, servicios y la asunción de roles protagónicos predeterminados de acuerdo al Plan.

Art. 16. Suelo no urbanizable. Son las áreas de protección y reserva estratégica que garantizan el equilibrio ecológico, la sostenibilidad y la vida, constituyen el soporte básico de los recursos naturales, la biodiversidad, la producción agrícola, los páramos, los recursos forestales, las reservas hídricas y los procesos ecológicos que deben ser preservados. Incluye además las áreas de riesgo que se suscitan por causas naturales.

Las definiciones de los usos de suelo y la delimitación de los mismos deberán estar a cargo de la Municipalidad, y con la participación de las Juntas Parroquiales y/o comunidades. (Municipalidad del Cantón Ambato, 2009)