



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO**

FACULTAD DE CIENCIAS

**ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS
CARRERA DE INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA
AMBIENTAL**

TEMA

**“ANÁLISIS DE LA CONCENTRACIÓN DE
CONTAMINANTES SO₂, NO₂ Y BTX USANDO SENSORES
PASIVOS.”**

TESIS DE GRADO

**PREVIA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:
INGENIERA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL**

AUTOR:

LAURA SUSANA COCHA TELENCHANA

RIOBAMBA – ECUADOR

2009

AGRADECIMIENTO

Primeramente a Dios por regalarme la vida, por darme la oportunidad de superarme, por ser la luz y guía en mi camino, por llenarme de bendiciones con una familia que han sido mi sostén en los momentos difíciles.

Mi agradecimiento invaluable para mis padres; a mí Mamá pues sin su apoyo constante e incondicional nunca hubiera alcanzado esta meta. A mi Padre por su apoyo. A mis hermanos quienes siempre me han apoyado y me han alentado para seguir adelante compartiendo momentos de triunfos y fracasos.

Expresado y plasmado queda mi agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, noble Institución que me permitió consagrar mis estudios superiores y alcanzar un peldaño más en mi vida estudiantil, al igual que a mis profesores por la responsabilidad y sacrificio de impartir sus mejores conocimientos formándome así intelectual y moralmente.

Paralelamente quisiera expresar un profundo y sincero agradecimiento al Departamento de Gestión Ambiental del Ilustre Municipio de Riobamba, en especial al Ing. Fernando Melena por el apoyo brindado. A la Corporación para el Mejoramiento del Aire de Quito, especialmente a al Ing. Valeria Díaz Jefa de la Red de Monitoreo Pasivo y Activo por compartirme sus conocimientos y experiencias.

Mis sinceros agradecimientos al Dr. Arquímedes Haro que me supo dar las directrices necesarias, al Dr. Robert Cazar, Dr. Celso Recalde quienes me supieron apoyar en la realización de este proyecto.

A mis amigos quienes de una u otra forma me han ayudado y siempre han estado conmigo cuando los he necesitado.

Las palabras son cortas pero la gratitud hacia quienes fueron participes para culminar y alcanzar este triunfo es inmensa siempre los tendré presentes en mi mente y en mi corazón, Gracias.....

DEDICATORIA

Con profundo cariño dedicó este logro alcanzado a mi Madre Luz María y a mi Padre Luis Humberto, pilares fundamentales en mi vida y formación estudiantil pues está reflejado el sacrificio y apoyo incondicional que siempre me brindaron, a mis hermanos Gabriela y Javier de quienes siempre recibí palabras y gestos de aliento, de apoyo y los sinceros deseos de superación y éxito.

NOMBRE	FIRMA	FECHA
Dr. Edmundo Caluña Decano de la Facultad de Ciencias
Dr. José Vanegas Director Escuela de Ingeniería en Biotecnología Ambiental
Dr. Arquímedes Haro Director de Tesis
Dr. Robert Cazar Miembro del Tribunal
Dr. Celso Recalde Miembro del Tribunal
Sr. Carlos Rodríguez Director Centro de Documentación

NOTA DE TESIS ESCRITA:

“Yo, Laura Susana Cocha Telenchana, soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en esta Tesis, y el patrimonio intelectual de la Tesis de Grado pertenecen a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo”

.....

Laura Cocha

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

H2SO4	Acido sulfúrico
EPA:	Agencia de Protección Ambiental de USA
IARC:	Agencia Internacional de Investigación del Cáncer
BTX:	Benceno, Tolueno y Xilenos
COVs:	Compuestos Orgánicos Volátiles
CORPAIRE:	Corporación para el Mejoramiento del Aire de Quito.
SO2:	Dióxido de Azufre
CO2:	Dióxido de Carbono
NO2:	Dióxido de Nitrógeno
°C:	Grados Centígrados
HC:	Hidrocarburos
PAH:	Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos
IG-EPN:	Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional
PM10:	Materia Particulado Suspendido menor a 10 micrómetros
PM 2.5:	Material Particulado Suspendido menor a 2,5 micrómetros.
m/s:	Metros por segundo
m.s.n.m:	Metros sobre el nivel del mar.
ug/m3:	Microgramos por metro cubico
mm:	Milímetros
CO:	Monóxido de Carbono
NO3	Nitrato
PAN	Nitrato de pe-roxiacetilo
PNB	Nitrato de peroxibencilo
OMS:	Organización Mundial de la Salud
OPS:	Organización Panamericana de la Salud
SOX:	Óxidos de Azufre.
NOX:	Óxidos de Nitrógeno
O3:	Ozono
REMPA:	Red de Monitoreo Pasivo
TULAS:	Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTO.....	II
DEDICATORIA	III
FIRMAS RESPONSABLES Y NOTA.....	IV
RESPONSABILIDAD DEL AUTOR	V
ÍNDICE DE ABREVIATURAS	6
ÍNDICE DE TABLAS.....	12
ÍNDICE DE CUADROS.....	13
ÍNDICE DE FIGURAS.....	14
ÍNDICE DE ANEXOS.....	15
INTRODUCCIÓN	16
CAPITULO I.....	19
1. MARCO TEÓRICO	19
1.1. LA ATMÓSFERA.....	19
1.1.1. Composición.....	19
1.1.2. Densidad	20
1.1.3. Color	20
1.1.4. Estructura.....	20
1.1.4.1. Troposfera:.....	21
1.1.4.2. Estratosfera.	21
1.1.4.3. Ionosfera.	22
1.1.4.4. Exosfera.	22
1.1.5. Parámetros Atmosféricos.....	23
1.1.5.1. Temperatura.....	23
1.1.5.2. Presión atmosférica.....	24
1.1.5.3. Humedad.....	25

1.1.5.4.	Vientos.....	25
1.1.5.5.	Precipitaciones.....	25
1.1.6.	Importancia de la Atmósfera.....	26
1.2.	CONTAMINACIÓN DEL AIRE.....	26
1.2.1.	ORIGEN DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA	27
1.2.1.1.	Focos Naturales.....	27
1.2.1.2.	Focos Antropogénicos de Emisión	28
1.2.2.	TIPOS DE CONTAMINANTES.....	29
1.2.2.1.	Contaminantes Primarios.....	29
1.2.2.2.	Contaminantes Secundarios.....	30
1.3.	PRINCIPALES CONTAMINANTES DEL AIRE Y SUS EFECTOS	31
1.3.1.	CARACTERÍSTICAS DE LOS CONTAMINANTES DEL AIRE.....	31
1.3.1.1.	Monóxido de Carbono (CO).....	31
1.3.1.2.	Dióxido de Carbono (CO ₂).....	31
1.3.1.3.	Oxido de Nitrógeno (NO ₂):.....	32
1.3.1.3.1.	Sinergias	32
1.3.1.4.	Dióxido de Azufre (SO ₂):	33
1.3.1.5.	Ozono y otros Oxidantes Fotoquímicos.....	34
1.3.1.6.	Compuestos Aromáticos Benceno, Tolueno y Xilenos (BTX).....	36
1.3.1.6.1.	Características Generales.....	36
1.3.1.7.	Partículas.....	38
1.3.2.	EFECTOS PRODUCIDOS POR LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA	39
1.3.2.1.	Efectos sobre la Salud Humana	39
1.3.2.1.1.	En el Dióxido de Nitrógeno (NO ₂).....	39
1.3.2.1.2.	En el Dióxido de Azufre (SO ₂).....	40
1.3.2.1.3.	Compuestos Aromáticos.....	41
1.3.2.2.	Efectos sobre las Plantas.....	43
1.3.2.3.	Efectos sobre los Materiales	47

1.3.2.4.	Efectos sobre Visibilidad	48
1.4.	LA CALIDAD DEL AIRE	49
1.5.	MONITOREO ATMOSFÉRICO	50
1.5.1.	Sistemas Activos de Monitoreo	51
1.5.2.	Analizadores Automáticos	51
1.5.3.	Sensores Remotos	51
1.5.4.	Bioindicadores	52
1.5.5.	Sistemas Pasivos de Monitoreo	52
1.6.	NORMAS	55
1.6.1.	Norma Ecuatoriana de Calidad del Aire	55
1.6.1.1.	Dióxido de Azufre (SO ₂).	56
1.6.1.2.	Óxidos de Nitrógeno (NO ₂).	56
1.6.2.	Guía para la Calidad del Aire de la Organización Mundial de la Salud.	56
1.6.3.	Norma Europea y Norma del Estado de California	58
	CAPITULO II	59
2.	MATERIALES Y MÉTODOS	59
2.1.	ÁREA DE ESTUDIO	59
2.1.1.	El cantón San Pedro de Riobamba.....	59
2.1.2.	El cantón Penipe	60
2.1.3.	El cantón Guano.....	60
2.2.	MATERIALES	61
2.2.1.	MATERIALES DE CAMPO.....	61
2.2.2.	MATERIALES DE LABORATORIO	61
2.3.	MÉTODO	63
2.3.1.	MEDICIÓN DE LOS CONTAMINANTES EN EL AIRE.....	64
2.3.1.1.	Definición de los Objetivos del Monitoreo.....	64
2.3.1.2.	Parámetros Ambientales a Medir.....	65
2.3.1.3.	Definición del Número y los Sitios de Muestreo.....	66

2.3.1.3.1.	Localización de los Sitios de Muestreo.....	66
2.3.1.3.2.	Densidad o Número de Puntos de Muestreo Requeridos	67
	Mapa 01. Ubicación de Sitios de Monitoreo Pasivo	69
2.3.1.3.3.	Requerimientos del Sitio de Muestreo.....	70
2.3.1.4.	Diseño del Programa de Muestreo.....	71
2.3.1.5.	Selección de la Técnica de Medición.....	71
2.4.	NORMAS Y GUÍAS UTILIZADAS.....	72
2.4.1.	NORMA ECUATORIANA DE CALIDAD DEL AIRE	73
2.4.2.	NORMA EUROPEA Y DEL ESTADO DE CALIFORNIA	74
2.4.3.	GUÍA PARA LA CALIDAD DEL AIRE DE LA ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD.....	74
CAPITULO III.....		77
3.	PARTE EXPERIMENTAL.....	77
3.1.	METODOLOGÍA.....	77
3.1.1.	EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE GASES CONTAMINANTES SO ₂ , NO ₂ Y BTX USANDO SENSORES PASIVOS.....	77
3.1.1.1.	Método de Muestreo para NO ₂ y SO ₂	77
3.1.1.2.	Método de Muestreo para BTX	78
3.2.	PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN DE GASES.....	78
3.2.1.	PREPARACIÓN DEL EQUIPO	78
3.2.2.	EXPOSICIÓN Y RECOLECCIÓN DE TUBOS PASIVOS	79
3.2.2.1.	Exposición de SO ₂ , NO ₂	79
3.2.2.2.	Exposición de BTX.....	79
3.2.2.3.	Recolección de Tubos Pasivos SO ₂ y NO ₂ y BTX.....	80
3.2.2.4.	Conservación y Envío.....	80
3.2.3.	ANÁLISIS EN LABORATORIO DE TUBOS PASIVOS	80
3.3.	CÁLCULOS	81
3.3.1.	Ecuación Concentración Ambiental	81

CAPITULO IV	83
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	83
4.1 ANÁLISIS DESCRIPTIVO DE CONTAMINANTES SO ₂ , NO ₂ Y BTX	83
4.1.1 Análisis descriptivo de Dióxido de Nitrógeno (NO ₂).	83
4.1.2 Análisis descriptivo de Dióxido de Azufre (SO ₂).	85
4.1.3 Análisis descriptivo de Benceno, Tolueno y Xilenos (BTX).	88
4.2 COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE MONITOREO PASIVO CON NORMAS Y GUÍAS NACIONALES E INTERNACIONALES.	91
4.3 ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES DE DIÓXIDO DE AZUFRE Y DIÓXIDO DE NITRÓGENO.	96
CAPITULO V	103
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	103
5.1 CONCLUSIONES	103
5.2. RECOMENDACIONES	105
RESUMEN.....	108
SUMMARY	109
BIBLIOGRAFÍA.....	110
ANEXOS.....	113

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla I. Concentración de Dióxido de Nitrógeno	83
Tabla II. Concentración de Dióxido de Nitrógeno 2008.....	84
Tabla III. Concentración de Dióxido de Azufre.....	85
Tabla IV. Concentración de Dióxido de Azufre 2008.....	87
Tabla V. Concentración de Benceno.....	88
Tabla VI. Concentración de Tolueno	89
Tabla VII. Concentración de Xilenos.....	90
Tabla VIII. Monitoreo Pasivo de NO ₂ vs Normas y Guías Nacionales e Internacionales	91
Tabla IX. Monitoreo Pasivo de SO ₂ vs Normas y Guías Nacionales e Internacionales.....	92
Tabla X. Monitoreo Pasivo de Benceno vs Norma Europea y Norma del Estado de California.	93
Tabla XI. Concentración de Tolueno	94
Tabla XII. Concentración de Xileno	95

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 01. Contaminantes Naturales del Aire.....	28
Cuadro 02. Principales Focos Antropogénicos de Emisiones Primarias.....	28
Cuadro 03. Comparación entre las Técnicas de Monitoreo	54
Cuadro 04. Guías de Calidad del Aire: compuestos con Efectos de Salud no Carcinogénicos .	57
Cuadro 05. Guías de Calidad del Aire: compuestos con Efectos de Salud Carcinogénicos	57
Cuadro 06. Guías de Calidad del Aire: compuestos con Efectos de Salud no Carcinogénicos .	75
Cuadro 07. Guías de Calidad del Aire: compuestos con Efectos de Salud Carcinogénicos	76

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 01. Capas Atmosféricas	21
Figura 02. Concentración de Dióxido de Nitrógeno	84
Figura 03. Concentración de Dióxido de Nitrógeno (2008).....	85
Figura 04. Concentración de Dióxido de Azufre	86
Figura 05. Concentración de Dióxido de Azufre (2008).....	87
Figura 06. Concentración de Benceno	88
Figura 07. Concentración de Tolueno	89
Figura 08. Concentración de Xilenos.....	90
Figura 09. Concentración de NO ₂ vs Normas y Guías Nacionales e Internacionales.....	91
Figura 10 .Concentración de SO ₂ vs Normas y Guías Nacionales e Internacionales.....	92
Figura 12 .Concentración de Tolueno	95
Figura 13. Concentración de Xileno	96
Figura 14. Componentes Principales del Sector Gatazo	97
Figura 15. Componentes Principales del Sector Guano.....	98
Figura 16. Componentes Principales del Sector Penipe.....	99
Figura 17. Componentes Principales del Sector R- Ame.....	100
Figura 18. Componentes Principales del Sector R- Centro.....	101
Figura 19. Componentes Principales del Sector R- Emapar	102

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1. REGISTRO FECHA Y HORA DE COLOCACIÓN DE MUESTREADORES PASIVOS.	¡Error! Marcador no definido.
ANEXO 2. REGISTRO FECHA Y HORA DE RETIRO DE MUESTREADORES PASIVOS.....	¡Error! Marcador no definido.
ANEXO 3. RESULTADOS DE MONITOREO PASIVO DE DIÓXIDO DE AZUFRE (SO ₂).....	¡Error! Marcador no definido.
ANEXO 4. RESULTADOS DE MONITOREO PASIVO DE DIÓXIDO DE NITRÓGENO (NO ₂).	¡Error! Marcador no definido.
ANEXO 5. RESULTADOS DE MONITOREO PASIVO DE BENCENO.....	¡Error! Marcador no definido.
ANEXO 6. RESULTADOS DE MONITOREO PASIVO DE TOLUENO.....	¡Error! Marcador no definido.
ANEXO 7. RESULTADOS DE MONITOREO PASIVO DE ETILBENCENO.	¡Error! Marcador no definido.
ANEXO 8. RESULTADOS DE MONITOREO PASIVO DE XILENOS.	¡Error! Marcador no definido.
ANEXO 9. RESULTADOS DE MONITOREO DE PM ₁₀	¡Error! Marcador no definido.
ANEXO 10. HOJA DE CAMPO PARA MUESTREO PASIVO	¡Error! Marcador no definido.
ANEXO 11. MATERIALES DE CAMPO	¡Error! Marcador no definido.
ANEXO 12. SITIOS DE MONITOREO PASIVO	¡Error! Marcador no definido.

INTRODUCCIÓN

La conservación ambiental, es uno de los aspectos fundamentales para lograr el desarrollo sustentable en las diferentes actividades del hombre, y a pesar de ser un problema muy serio que afecta a las actividades normales del hombre, en los últimos años ha concitado la atención a nivel mundial y particularmente en nuestra ciudad.

La ciudad de Riobamba, empieza a sentir los efectos de las afecciones producidas en la atmósfera a nivel global y/o local ya que en ciertas zonas de alta circulación vehicular y donde se ubican las industrias, presenta ciertos indicios de contaminación atmosférica puntual, lo cual se agravaría debido a procesos contaminantes naturales como los producidos por la erupción del volcán Tungurahua y la progresiva erosión de los suelos que lo rodean, hechos que sin duda alguna afectan la salud de las personas y la calidad ambiental de la ciudad.

Los Ilustres Municipios de Riobamba, Quito y CORPAIRE firmaron un convenio para realizar de manera contingente el monitoreo atmosférico en la Provincia de Chimborazo, orientado a tener datos necesarios para el diseño de una red definitiva y para tener una línea base de calidad aire en la Ciudad de Riobamba.

Para medir la presencia de los contaminantes en el aire ambiente y para su planificación, implementación y operación, se considero un conjunto de cuidados necesarios para proporcionar información de buena calidad que represente objetivamente la realidad bajo análisis. Por ello se abarco esta problemática de una manera integral, tomando en consideración los avances que al respecto se han registrado a nivel Internacional y Nacional, especialmente en Quito.

Para el análisis de la concentración de contaminantes SO₂, NO₂ y BTX se procedió a realizar un plan de muestreo preliminar, orientado a tener datos necesarios para cumplir con los objetivos establecidos, se fijaron el número y sitios de muestreo así como el programa de muestreo, la selección del equipo de muestreo y de técnicas de análisis. El muestreo de los niveles de concentración de contaminantes en estudio, se lo realiza mediante técnicas pasivas de monitoreo de calidad del aire, técnica que puede llevarse a cabo para estudios de base o preliminares, mismas que son utilizadas a nivel nacional principalmente en Quito por la Corpaire. El análisis de las muestras de los tubos de SO₂, NO₂ y BTX, se lo realizó conjuntamente con el Laboratorio Químico de la CORPAIRE. Se comparan los niveles de concentración de estos contaminantes con los reportados en Quito y con los valores de normas y guías de calidad nacional e internacional, para discutir las eventuales desviaciones observadas en los contaminantes SO₂, NO₂ y BTX, a dichas normas y guías.

Se diseñó e instaló una red de seis puntos de monitoreo en la Provincia de Chimborazo, en el cantón Riobamba se ubicaron tres puntos dentro del límite urbano, (R. Norte – Edificio AME, R. Centro – Mercado La Merced y R. Sur – Edificio EMAPAR); un punto en los sectores de Gatazo Zambrano, Guano y Penipe.

Se ha tomado como referencia la Norma Ecuatoriana de Calidad del Aire y los valores establecidos en las Guías de la OMS, para los compuestos dióxido de azufre y dióxido de nitrógeno, los niveles registrados de estos gases no exceden los límites permisibles.

La legislación ambiental del Ecuador aun no contempla norma en aire ambiente para el Benceno, por lo que se ha tomado como referencia la norma Europea y la norma del

estado de California – USA, los niveles registrados de este contaminante exceden los límites permisibles según lo establecido en la Norma Europea. La OMS no recomienda un valor seguro de exposición para éste contaminante al igual que para los contaminantes Tolueno y Xilenos; por lo tanto, en las seis zonas de monitoreo no se está incumpliendo ésta guía mundial para la protección de la salud.

Los resultados presentados muestran la versatilidad y utilidad del monitoreo pasivo para la cuantificación de las concentraciones de contaminantes en este caso, Dióxido de Nitrógeno, Dióxido de Azufre, Benceno, Tolueno, Etilbenceno y Xilenos en las diferentes estaciones de monitoreo. Además de su bajo costo de implementación lo convierte en un método apropiado para ser utilizado permitiendo determinar promedios mensuales y anuales de la concentración en la atmosfera, que son utilizados como información de línea base de la calidad del aire en la ciudad.

Sobre este tema no existen medidas de prevención ni control local, por lo que éste estudio servirá como base para que el Departamento de Gestión Ambiental del Ilustre Municipio de Riobamba tome las acciones pertinentes que regulen este fenómeno, contribuyendo a la reducción de la contaminación ambiental, mejorando la calidad de vida de sus habitantes.

CAPITULO I

1. MARCO TEÓRICO

1.1. LA ATMÓSFERA

La Atmósfera es la envoltura gaseosa, de unos 200 kilómetros de espesor, que rodea la Tierra. Constituye el principal mecanismo de defensa de las distintas formas de vida. Ha necesitado miles de millones de años para alcanzar su actual composición y estructura que la hacen apta para la respiración de los seres vivos que la habitan.

Una de las funciones más importantes que realiza la atmósfera es proteger a los seres vivos de los efectos nocivos de las radiaciones solares ultravioleta. La Tierra recibe todo un amplio espectro de radiaciones procedentes del Sol, que terminarían con toda forma posible de vida sobre su superficie de no ser por el ozono y el oxígeno de la atmósfera, que actúan como un filtro absorbiendo parte de las radiaciones ultravioleta.

1.1.1. Composición

Está formada por una mezcla de gases que varía con la altura. Sobre la superficie terrestre está compuesta por nitrógeno (78%), oxígeno (21%), anhídrido carbónico y gases raros (cerca del 1%), y partículas sólidas en suspensión, por ejemplo, partículas inorgánicas, pequeños organismos o restos de ellos, NaCl del mar, etc. Muchas veces estas partículas pueden servir de núcleos de condensación en la formación de nieblas (smog o neblumo) muy contaminantes. Otros gases de interés presentes en la atmósfera son el vapor de agua, el ozono y diferentes óxidos de nitrógeno, azufre, etc.

A medida que nos alejamos de la superficie baja el nivel de oxígeno y aumenta la cantidad de gases livianos.

Los volcanes y la actividad humana son responsables de la emisión a la atmósfera de diferentes gases y partículas contaminantes que tienen una gran influencia en los cambios climáticos y en el funcionamiento de los ecosistemas

1.1.2. Densidad

Es variable a medida que nos alejamos de la superficie terrestre. Los primeros 5 kilómetros concentran el 50% del aire, los siguientes 25 kilómetros concentran un 40%, pasando los 60 km de altura sólo queda la milésima parte y así sucesivamente hasta llegar al espacio interplanetario.

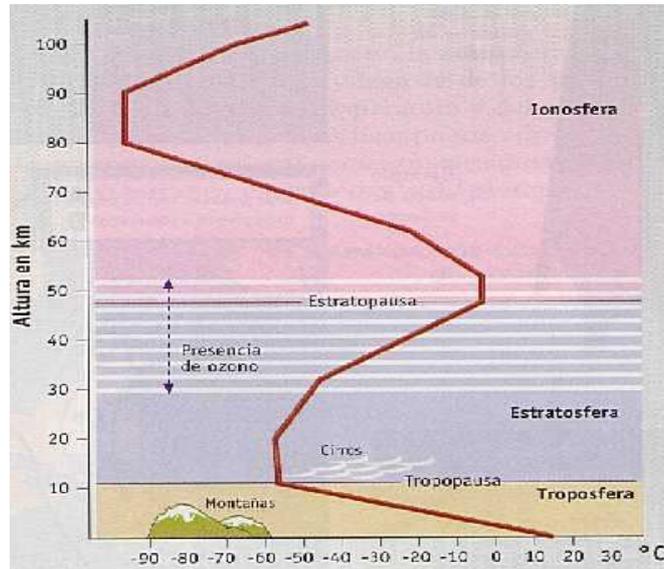
1.1.3. Color

La atmósfera no tiene color, aunque se la ve de tonalidad azulada cuando la luz solar la atraviesa. A medida que aumenta la altura su color se va oscureciendo hasta llegar al negro en espacio exterior.

1.1.4. Estructura

La atmósfera se divide en diferentes capas

Figura 01. Capas Atmosféricas



Fuente: www.tecnun.es/asignaturas/ecologia/hipertexto/03htmHidr/110atmosft.htm.

1.1.4.1. Troposfera:

Es la zona más baja de la atmósfera cuya altura llega aproximadamente a los 12 kilómetros sobre la superficie terrestre. En ella se producen todos los fenómenos meteorológicos, como la formación de las nubes, la lluvia y el viento. Contiene la mayor proporción de vapor de agua que permite mantener el calor procedente de la superficie terrestre. Los seres vivos encuentran en ella el aire compuesto por todos los gases que necesitan para vivir. La temperatura varía a razón de 1° C cada 180 metros a medida que se asciende, hasta llegar a cerca de -56° C en el límite superior.

1.1.4.2. Estratosfera.

Es la capa que se encuentra entre los 12 y los 90 kilómetros de altura. Los gases se encuentran separados formando capas o estratos de acuerdo a su peso. Una de ellas es la capa de ozono que protege a la Tierra del exceso de rayos ultravioletas provenientes del Sol. Las cantidades de oxígeno y anhídrido carbónico son casi nulas y aumenta la

proporción de hidrógeno. Actúa como regulador de la temperatura, siendo en su parte inferior cercana a los -60°C disminuye con la altura hasta los -80°C y vuelve a subir levemente.

1.1.4.3. Ionosfera.

Es la capa que se encuentra entre los 90 y los 1.100 kilómetros de altura. En ella existen capas formadas por átomos cargados eléctricamente, llamados iones. Al ser una capa conductora de electricidad, es la que posibilitan las transmisiones de radio y televisión por su propiedad de reflejar las ondas. El gas predominante es el hidrógeno. Allí se produce la destrucción de los meteoritos que llegan a la Tierra. Su temperatura aumenta desde los -73°C hasta llegar a 800°C .

1.1.4.4. Exosfera.

Es la capa externa de la Tierra que se encuentra por encima de los 1.100 kilómetros de altura. Está compuesta principalmente por hidrógeno y helio y las partículas van disminuyendo hasta desaparecer. Debido a la baja atracción gravitatoria algunas pueden llegar a escapar al espacio interplanetario. Su temperatura diurna alcanza los 2.500°C y la nocturna llega a -273°C correspondientes al cero absoluto.

La troposfera es la capa de la atmósfera que se encuentra sobre la superficie terrestre y en la que se desarrollan los fenómenos meteorológicos, como son: Temperatura, Presión Atmosférica, Vientos, Humedad, Precipitaciones. Estos fenómenos se interrelacionan entre sí y reciben influencias de distintos factores geográficos como latitud, altitud, influencia oceánica, de la vegetación y de las obras del hombre.

1.1.5. Parámetros Atmosféricos

1.1.5.1. Temperatura.

La temperatura es la cantidad de calor que posee el aire. Influye sobre la misma la acción de los rayos solares ya que el Sol es la mayor fuente de calor de la Tierra. La distribución de las temperaturas sobre las distintas zonas de la superficie terrestre depende de una gran cantidad de factores que influyen sobre la misma.

Rotación: El movimiento de rotación del planeta produce un aumento de la temperatura durante el día al enfrentarse la superficie terrestre con el Sol y una disminución en la superficie opuesta por ser de noche.

Inclinación: La inclinación del eje terrestre produce cambios en la intensidad de la luz solar incidente durante el movimiento de traslación del planeta, provocando aumentos de temperatura hacia el verano y disminuciones hacia el invierno.

Latitud: A medida que disminuye la latitud y aumenta la distancia respecto del Ecuador, la temperatura baja a razón de 1°C cada 180 kilómetros debido a la variación del ángulo de incidencia de los rayos solares sobre la superficie terrestre y la consiguiente disminución en la cantidad de luz y calor recibidos por unidad de superficie.

Altitud: A medida que aumenta la altura la temperatura baja 1°C cada 180 metros debido a la disminución de densidad de la capa atmosférica que produce una menor capacidad de retención de calor.

Distancia al mar: La superficie terrestre se calienta y enfría más rápidamente que las aguas, que tienen mayor capacidad de retener el calor. Por ello en zonas cercanas al mar la temperatura es más uniforme que en el interior de los continentes, donde la diferencia de temperaturas entre el día y la noche y las estaciones del año se hace más pronunciada.

Vegetación: Los suelos cubiertos de vegetación se calientan menos que los desprovistos de ella ya que refractan menos calor

1.1.5.2. Presión Atmosférica.

La presión atmosférica es la fuerza que ejerce la atmósfera sobre la superficie terrestre, o sea el peso de la columna de aire que hay sobre una unidad de superficie. La distribución de las presiones sobre las distintas zonas de la superficie terrestre depende de los siguientes de factores:

Altitud: A medida de aumenta la altura, disminuye la densidad del aire con su correspondiente descenso de la presión que ejerce sobre la superficie.

Temperatura: El aire caliente tiende a dilatarse y a ascender, bajando su presión sobre la superficie terrestre. Al enfriarse tiende a comprimirse y a descender, aumentando la presión. Todas las influencias que recibe la temperatura de los diversos factores se trasladan en forma indirecta a la presión atmosférica.

1.1.5.3. Humedad.

Cantidad de vapor de agua contenido en el aire. Una masa de aire no puede contener una cantidad ilimitada de vapor de agua. Hay un límite a partir del cual el exceso de vapor se licúa en gotitas. Este límite depende de la temperatura ya que el aire caliente es capaz de contener mayor cantidad de vapor de agua que el aire frío.

1.1.5.4. Vientos.

Desplazamientos de aire en la atmósfera. Vientos y corrientes marinas: Los vientos y corrientes marinas, cálidos o fríos, aumentan o disminuyen la temperatura del aire de las áreas de influencia.

Velocidad del viento: es la distancia recorrida por una masa de aire en una unidad de tiempo (min, seg, h, etc.) El resultado se expresa en km/h, en m/s, que es la más utilizada. Se mide con el anemómetro y se registra con el anemógrafo.

Dirección del viento: nos indica de donde viene el viento. Es decir, si nos indica el Norte es que el viento va hacia el Sur. Se expresa con diferentes magnitudes según el país. Se mide con la veleta.

1.1.5.5. Precipitaciones.

Es cualquier forma de agua que cae del cielo, esto incluye lluvia, nieve, neblina y rocío. La precipitación es una parte importante del ciclo del agua y es responsable por depositar agua fresca en el planeta. La Precipitación es generada por las nubes cuando alcanzan un punto de saturación; en este punto las gotas de agua creciente (o pedazos de hielo) se forman, que caen en la tierra por gravedad. Las precipitaciones se miden mediante el pluviómetro.

1.1.6. Importancia de la Atmósfera

Se considera el aire como un bien común limitado, indispensable para la vida; por lo tanto, su utilización debe estar sujeta a normas que eviten el deterioro de su calidad por el uso o abuso indebido del mismo, de tal modo que se preserve su pureza como garantía del normal desarrollo de los seres vivos sobre la Tierra y de la conservación del patrimonio natural y artístico de la Humanidad.

La presencia de la atmósfera y de los procesos que en ella ocurren, permite tanto la propagación del calor en todo el ecosistema terrestre cuanto la distribución de la humedad, en un proceso interrelacionado con los océanos y otras masas de agua (hidrosfera), la tierra (litosfera), la biosfera y las actividades antropogénicas.

Hay que clarificar dos conceptos que son utilizados comúnmente como sinónimos, pero que científicamente tienen significados diferentes, el tiempo y el clima. El tiempo expresa los grandes cambios en la atmósfera que ocurren de hora a hora o de día a día, que se describen en función de la temperatura, presión atmosférica, humedad, nubosidad, precipitación o vientos y que se manifiestan como grandes tormentas o cielos claros. Por su parte el clima constituye el estado prevalente del tiempo sobre períodos de varias décadas y una cierta región geográfica, que incluye no solo el tiempo promedio, sino también su variación.

1.2. CONTAMINACIÓN DEL AIRE

Se consideran contaminantes aquellas sustancias que pueden dar lugar a riesgo o daño, para las personas o bienes en determinadas circunstancias.

Un contaminante del aire es cualquier sustancia presente en la atmósfera que haya sido originada por la actividad del hombre o por procesos naturales, que afecte al ser humano o al medio ambiente.

La contaminación del aire es uno de los problemas ambientales más importantes, y es resultado de las actividades del hombre o de fuentes naturales. Las causas que originan esta contaminación son diversas, pero el mayor índice es provocado por las actividades industriales, comerciales, domésticas y agropecuarias.

1.2.1. ORIGEN DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

Los contaminantes presentes en la atmósfera proceden de dos tipos de fuentes emisoras bien diferenciadas: las **naturales** y las **antropogénicas**. En el primer caso la presencia de contaminantes se debe a causas naturales, mientras que en el segundo tiene su origen en las actividades humanas.

1.2.1.1. Focos Naturales

Con frecuencia, los contaminantes naturales ocurren en cantidades mayores que los productos de las actividades humanas, los llamados contaminantes antropogénicos. Sin embargo, los contaminantes antropogénicos presentan la amenaza más significativa a largo plazo para la biosfera.

Cuadro 01. Contaminantes Naturales del Aire

Fuente	Contaminantes
Volcanes	Óxidos de azufre, partículas
Fuegos forestales	Monóxido de carbono, dióxido de carbono, óxidos de nitrógeno, partículas
Vendavales	Polvo
Plantas (vivas)	Hidrocarburos, polen
Plantas (en descomposición)	Metano, sulfuro de hidrógeno
Suelo	Virus, polvo
Mar	Partículas de sal

Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos15/contaminacioaire/contaminacioaire.shtml?monosearch>.

Las emisiones primarias originadas por los focos naturales provienen fundamentalmente de los volcanes, incendios forestales y descomposición de la materia orgánica en el suelo y en los océanos.

1.2.1.2. Focos antropogénicos de emisión

Los principales focos de contaminación atmosférica de origen antropogénicos son las chimeneas de las instalaciones de combustión para generación de calor y energía eléctrica, los tubos de escape de los vehículos automóviles y los procesos industriales.

Los principales focos antropogénicos de emisiones primarias se los podemos clasificar en:

Cuadro 02. Principales focos antropogénicos de emisiones primarias

Focos fijos	Industriales	Procesos industriales Instalaciones fijas de combustión
	Domésticos	Instalaciones de calefacción
Focos móviles	Vehículos automóviles	
	Aeronaves	
	Buques	
Focos compuestos	Aglomeraciones industriales	
	Áreas urbanas	

Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos15/contaminacioaire/contaminacioaire.shtml?monosearch>.

Otra circunstancia a tener en cuenta es que los focos de emisión antropogénicos están concentrados, por lo general, en áreas urbanas e industriales. Este conjunto de circunstancias hacen que la contribución de las emisiones antropogénicas al problema de la contaminación atmosférica a escala regional sea predominante.

1.2.2. TIPOS DE CONTAMINANTES

1.2.2.1. Contaminantes primarios

Entendemos por contaminantes primarios aquellas sustancias contaminantes que son vertidas directamente a la atmósfera. Los contaminantes primarios provienen de muy diversas fuentes dando lugar a la llamada contaminación convencional. Su naturaleza física y su composición química es muy variada, si bien podemos agruparlos atendiendo a su peculiaridad más característica tal como su estado físico (caso de partículas y metales), o elemento químico común (caso de los contaminantes gaseosos).

Entre los contaminantes atmosféricos más frecuentes que causan alteraciones en la atmósfera se encuentran:

- Aerosoles (en los que se incluyen las partículas sedimentables y en suspensión y los humos).
- Óxidos de azufre, SO_x.
- Monóxido de carbono, CO.
- Óxidos de nitrógeno, NO_x.
- Hidrocarburos
- Dióxido de carbono, CO₂

Además de estas sustancias, en la atmósfera se encuentran una serie de contaminantes que se presentan más raramente, pero que pueden producir efectos negativos sobre determinadas zonas por ser su emisión a la atmósfera muy localizada.

Entre otros, se encuentra como más significativos los siguientes:

- Otros derivados del azufre.
- Halógenos y sus derivados.
- Arsénico y sus derivados.
- Componentes orgánicos.
- Partículas de metales pesados y ligeros, como el plomo, mercurio, cobre, zinc.
- Partículas de sustancias minerales, como el amianto y los asbestos.
- Sustancias radiactivas.

1.2.2.2. Contaminantes secundarios

Los contaminantes atmosféricos secundarios no se vierten directamente a la atmósfera desde los focos emisores, sino que se producen como consecuencia de las transformaciones y reacciones químicas y fotoquímicas que sufren los contaminantes primarios en el seno de la misma. Entre otros, se encuentra como más significativos los siguientes:

- Ozono (O₃),
- Sulfatos (SO₄)
- Nitratos (NO₃)
- Acido sulfúrico (H₂SO₄), entre otros.

Las principales alteraciones atmosféricas producidas por los contaminantes secundarios son:

- La contaminación fotoquímica;
- La acidificación del medio; y
- La disminución del espesor de la capa de ozono.

1.3. PRINCIPALES CONTAMINANTES DEL AIRE Y SUS EFECTOS

1.3.1. CARACTERÍSTICAS DE LOS CONTAMINANTES DEL AIRE

1.3.1.1. Monóxido de Carbono (CO).

Es un gas inodoro e incoloro. Cuando se lo inhala, sus moléculas ingresan al torrente sanguíneo, donde inhiben la distribución del oxígeno. En bajas concentraciones produce mareos, jaqueca y fatiga, mientras que en concentraciones mayores puede ser fatal.

El monóxido de carbono se produce como consecuencia de la combustión incompleta de combustibles a base de carbono, tales como la gasolina, el petróleo y la leña, y de la de productos naturales y sintéticos, como por ejemplo el humo de cigarrillos. Se lo halla en altas concentraciones en lugares cerrados, como por ejemplo garajes y túneles con mal ventilados, e incluso en caminos de tránsito congestionado.

1.3.1.2. Dióxido de Carbono (CO₂).

Es el principal gas causante del efecto invernadero. Se origina a partir de la combustión de carbón, petróleo y gas natural. En estado líquido o sólido produce quemaduras,

congelación de tejidos y ceguera. La inhalación es tóxica si se encuentra en altas concentraciones, pudiendo causar incremento del ritmo respiratorio, desvanecimiento e incluso la muerte.

1.3.1.3. Oxido de nitrógeno (NO₂):

El dióxido de nitrógeno (NO₂) es un gas café rojizo y altamente reactivo, que se forma cuando otro contaminante, el óxido nítrico (NO) se combina con el oxígeno del aire.

Una vez que se ha formado, el dióxido de nitrógeno reacciona con los compuestos orgánicos volátiles (COVs) para formar el ozono a nivel del suelo. Las mayores fuentes de este gas son los automóviles y las plantas de generación, así como grandes procesos industriales de combustión.

Desde el punto de vista ambiental los NO_x también son importantes porque son precursores de la formación de ozono y de material Particulado secundario y forman, al igual que los óxidos de azufre, la lluvia acida

1.3.1.3.1. Sinergias

Debe tenerse en cuenta adicionalmente, que existen fenómenos de sinergia y potenciación de los efectos dañinos de los contaminantes, particularmente sobre el aparato respiratorio, y de manera especial, entre los óxidos de azufre, las partículas y el ozono.

Esto obliga a que en determinadas circunstancias deban tomarse precauciones especiales de protección de la población, aun cuando los niveles de cada uno de estos contaminantes no justifiquen por sí solos tales medidas.

1.3.1.4. Dióxido de azufre (SO₂):

El dióxido de azufre (SO₂) es un gas incoloro y reactivo que se produce durante la quema de combustibles que contienen azufre, tales como carbón y ciertos derivados de petróleo, fundición de metales y por otros procesos industriales. Las principales fuentes incluyen las plantas de generación termoeléctrica, así como los calentadores industriales. Generalmente, las mayores concentraciones de SO₂ se encuentran cerca de las zonas industriales.

A nivel mundial también es importante la contribución de las fuentes naturales, especialmente los volcanes, que dan cuenta de entre el 35 y el 65% de total presente en la atmósfera.

La mayor parte de las emisiones de azufre se liberan en forma de SO₂ (dióxido de azufre), que es a su vez oxidado y se transforma en SO₃. Bajo la presencia de humedad, se forma ácido sulfúrico el cual está presente como aerosol o partículas sólidas, es decir, el SO₂ es un precursor en la formación de material Particulado secundario o fino. El SO₂, es un gas incoloro, no inflamable y no explosivo, y es el considerado precisamente como contaminante del aire.

Además los dos óxidos de azufre más abundantes pueden formar ácidos cuando se hidrolizan con el agua presente en la atmósfera y causar el fenómeno de la lluvia acida que afecta a la vegetación y a la duración de los materiales de construcción y obras de arte.

1.3.1.5. Ozono y Otros Oxidantes Fotoquímicos

Los oxidantes fotoquímicos son causados por una compleja red de reacciones químicas que tienen lugar en el ambiente atmosférico; es decir, no son generados directamente por una fuente, sino formados a partir de precursores, por ello se denominan contaminantes secundarios.

Estas reacciones involucran a los hidrocarburos reactivos o compuestos orgánicos volátiles (COVs) y a los óxidos de nitrógeno y son inicializadas por la absorción de energía ultravioleta de la luz solar. Entre los principales productos de estas reacciones están el ozono (O_3), que es un gas muy oxidante y reactivo, el nitrato de peroxiacetilo (PAN), nitrato de peroxibencilo (PNB), ácido nítrico y peróxido de hidrógeno, mayormente los dos primeros, cuya presencia explica los efectos perjudiciales del smog fotoquímica. También resultan de este proceso fotoquímica, aldehídos secundarios, ácidos orgánicos, partículas finas y un conjunto de radicales de vida corta.

La máxima concentración de ozono que se puede alcanzar en un área contaminada depende no solo de las concentraciones absolutas de los precursores (compuestos orgánicos volátiles reactivos y óxidos de nitrógeno), sino también de su relación. A relaciones intermedias, entre 4:1 a 10:1 (COV: NO_x), las condiciones son favorables para la formación de apreciables concentraciones de ozono. Dado que los COVs y los NO_x son producidos en gran cantidad por los vehículos, las oxidantes fotoquímicas son usualmente más prevalentes en grandes áreas urbanas, con fuerte incidencia de la luz solar y con un tráfico pesado. En zonas rurales, la producción de ozono es generalmente limitada por la disponibilidad de óxidos de nitrógeno, aunque no es raro que por acción

del viento, las mayores concentraciones se registren en las zonas suburbanas y rurales, alejadas de las áreas de generación de contaminantes.

La toxicidad del ozono se produce en exposiciones cortas ante concentraciones considerables, afectando la función pulmonar y las vías respiratorias. Los principales efectos asociados a la exposición a ozono en concentraciones normalmente encontradas en medios urbanos son los siguientes:

Irritación del sistema respiratorio, causando tos, irritación de la garganta y una sensación molesta en el pecho

Reducción de la función pulmonar, que hace más difícil respirar profunda y vigorosamente. La respiración se puede volver más agitada y con ello, se restringe la capacidad de hacer ejercicio físico.

Agravamiento del asma, al punto de requerirse atención médica. Esto ocurre en parte porque el ozono vuelve a la gente más sensible a los alérgicos.

Incremento de la susceptibilidad a las infecciones respiratorias.

Inflamación y daño del recubrimiento pulmonar, que si se vuelve repetitivo puede lastimar definitivamente a los pulmones y con ello provocar una pérdida permanente de la función pulmonar, con el consiguiente efecto sobre la calidad de vida del individuo.

1.3.1.6. Compuestos Aromáticos Benceno, Tolueno Y Xilenos (BTX).

1.3.1.6.1. Características generales

Existen dos grandes grupos de hidrocarburos involucrados en la contaminación urbana, los compuestos orgánicos volátiles, VOC, y los hidrocarburos policíclicos aromáticos, PAH. Dentro del grupo de compuestos orgánicos volátiles VOC, se encuentran los hidrocarburos aromáticos principalmente el Benceno, Tolueno, y Xilenos.

El benceno, así como el tolueno y los xilenos son constituyentes del petróleo crudo y de la gasolina. En conjunto se conocen como BTX y son sobre todo contaminantes urbanos.

El benceno es un componente minoritario (1-2%) de la gasolina de automoción desempeña un papel importante en la gasolina sin plomo por sus propiedades antidetonantes. En la actualidad, su principal aplicación es la industria de síntesis química, aunque durante muchos años se ha utilizado como disolvente de uso general.

Se encuentra en la lista de los veinte productos químicos de mayor volumen de producción. Algunas industrias usan el benceno como punto de partida para manufacturar otros productos químicos usados en la fabricación de plásticos, resinas y fibras sintéticas como lo es el kevlar y en ciertos polímeros. El benceno es usado como producto intermedio en la producción de numerosos productos químicos, como son etilbenceno, cumeno, ciclohexano, nitrobenceno, etc. También se usa benceno para hacer ciertos tipos de gomas, lubricantes, tinturas, detergentes, medicamentos y

plaguicidas. Los volcanes y los incendios forestales constituyen fuentes naturales de benceno.

Las principales fuentes de exposición medioambiental al benceno son las emisiones a la atmósfera de vapor de gasolina y de los humos de motores a explosión así como el consumo del tabaco. El benceno es un compuesto muy volátil por lo que la volatilización es el proceso más importante en su distribución medio ambiental.

El tolueno es un componente de la gasolina de automoción de la que representa un 5-7%. Se utiliza extensamente como disolvente en pinturas, lacas, colas como agente de limpieza y en la industria química, como intermediario en la fabricación de tintas y explosivos. También se ha detectado emisiones de tolueno de fuentes naturales, como volcanes e incendios forestales.

Una vez en la atmósfera, este compuesto presenta una reactividad elevada y participa en diferentes mecanismos fotoquímicos, teniendo una influencia notable en los procesos de formación de ozono. Las estrategias de control y reducción de las emisiones de tolueno a la atmósfera implican el uso en proporciones de compuestos oxigenados dentro de la formulación de gasolinas.

Los xilenos o dimetilbencenos, se utilizan en grandes cantidades en múltiples aplicaciones, entre las que se destaca a su uso como disolvente y como componente de las gasolinas y combustible de aviación, formando parte de la fracción denominada BTEX (benceno, tolueno, etilbenceno, xilenos). Otras importantes aplicaciones son la

industria de la goma y caucho, y cada uno de los isómeros por separado constituye la base de obtención de numerosos compuestos orgánicos.

1.3.1.7. Partículas

El material Particulado (MP o PM) es una compleja mezcla de partículas sólidas o líquidas suspendidas en el aire que varían en tamaño y composición. Estudios epidemiológicos recientes han reportado una asociación entre los incrementos a la exposición de corto plazo de PM con incrementos en morbilidad y mortalidad, particularmente entre personas con enfermedades respiratorias o cardiovasculares; por ello, actualmente existe un creciente interés en estudiar más profundamente a este contaminante y regular sus niveles de concentración en el aire ambiente.

Las fuentes de MP son numerosas y entre ellas están procesos que ocurren naturalmente y actividades humanas que contribuyen por igual al PM total en aire. El MP originado por los procesos naturales incluye polvo de la superficie de la tierra (material de la corteza), sal marina en áreas costeras y material biológico en la forma de polen, esporas o desechos de plantas y animales. En algunas áreas rurales, los incendios forestales periódicos producen grandes cantidades de MP. En los ambientes urbanos, las partículas son generadas principalmente como resultado de la combustión de fuentes móviles como carros livianos, buses, camiones y equipo de construcción, pero también de fuentes estacionarias como los hornos de calentamiento, plantas de generación e instalaciones industriales. Igualmente, puede ser importante la contribución que realizan las calles sin pavimentar o los suelos erosionados, como los frentes de las canteras de materiales de construcción.

El material Particulado puede variar grandemente en tamaño, composición y concentración, dependiendo de las fuentes de emisión de partículas y otros factores como la geografía y topografía, las condiciones climáticas y la hora del día.

1.3.2. EFECTOS PRODUCIDOS POR LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

Los efectos producidos por la contaminación atmosférica dependen principalmente de la concentración de contaminantes, del tipo de contaminantes presentes, de tiempo de exposición y de las fluctuaciones temporales en las concentraciones de contaminantes, así como de la sensibilidad de los receptores y los sinergismos entre contaminantes. Hay que tener muy en cuenta la graduación del efecto a medida que aumentan la concentración y el tiempo de exposición.

1.3.2.1. Efectos sobre la salud humana

1.3.2.1.1. En el dióxido de nitrógeno (NO₂)

En el dióxido de nitrógeno (NO₂), Los efectos sobre las saludes generadas por el dióxido de nitrógeno son los siguientes:

- En niños y adultos con enfermedades respiratorias como el asma, el NO₂ puede causar síntomas respiratorios como la tos y la dificultad en respirar. Incluso exposiciones cortas pueden afectar la función pulmonar especialmente en individuos muy sensibles.

- En niños, exposiciones de corto plazo pueden incrementar el riesgo de enfermedades respiratorias.

- Estudios con animales sugieren que exposiciones prolongadas al dióxido de nitrógeno pueden incrementar la susceptibilidad a infecciones pulmonares y puede causar cambios estructurales permanentes en los pulmones.

1.3.2.1.2. En el Dióxido de azufre (SO₂)

En el Dióxido de azufre (SO₂), los principales efectos sobre la salud que resultan de la exposición al SO₂ son los siguientes:

- Los niños y adultos con asma que realizan actividades físicas al aire libre son los más vulnerables a los efectos nocivos del dióxido de azufre. El efecto primario que experimentan, incluso con exposiciones cortas, es el estrechamiento de las vías respiratorias (bronco constricción), lo cual puede causar síntomas tales como opresión del pecho y dificultad para respirar. Estos síntomas se vuelven más graves conforme aumentan las concentraciones del SO₂ y/o la frecuencia respiratoria.
- Cuando la exposición cesa, la función pulmonar generalmente recobra su normalidad dentro de una hora.
- A niveles muy altos, el dióxido de azufre puede causar los mismos síntomas anteriormente descritos incluso para gente que no sufre de asma.

- Exposiciones de largo plazo a dióxido de azufre y material particulado fino pueden causar enfermedades respiratorias, alterar los mecanismos pulmonares de defensa y agravar enfermedades cardiovasculares existentes. Las personas que son más susceptibles a estos efectos incluyen aquellos con enfermedades cardiovasculares o pulmonares crónicas, así como también niños y ancianos.

1.3.2.1.3. Compuestos Aromáticos

Los Hidrocarburos aromáticos, la contaminación del aire es consecuencia de la emisión a la atmósfera de gases, vapores, partículas líquidas sólidas extrañas que afectan a la salud. La emisión de hidrocarburos (HC) a la par con los óxidos de nitrógeno (NO y NO₂) son componentes importantes e la formación de niebla fotoquímica oxidante (smog), la cual incide en las modificaciones del paisaje, reducción del rendimiento laboral, daños de las plantas, a las construcciones y alteración del ambiente general.

El benceno está clasificado como agente cancerígeno del grupo 1 por la IARC (Agencia Internacional de Investigación del Cáncer), la absorción de esta sustancia tiene lugar por inhalación, por ingestión y por vía cutánea. La ruta de exposición más importante es la inhalación, aunque la ingestión también es una vía eficaz de absorción.

Para Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de Norteamérica (EPA), El benceno es un hidrocarburo aromático catalogado por como uno de los 19 principales contaminantes peligrosos del aire causado por fuentes móviles debido a sus altas

propiedades carcinogénicas y tóxicas para la salud de los seres humanos, razón por la cual debe ser cuantificado en aire ambiente.

El principal efecto tóxico del benceno es su actividad cancerígena, como agente causal de leucemia, un porcentaje significativo es producido por la presencia del benceno en las gasolinas.

El benceno además posee efectos depresores sobre el sistema nervioso central, produciendo mareo, debilidad, euforia, náuseas y dolores de cabeza. Al aumentar la dosis, los efectos sobre el sistema nervioso central son visión borrosa, temblores, respiración rápida y entrecortada, parálisis, inconsciencia e incluso la muerte. El benceno también es un agente irritante de la piel.

El tolueno se encuentra en el grupo 3 de la IARC, no clasificable respecto a sus efectos cancerígenos en personas, este compuesto presenta un alto grado de absorción por inhalación e ingestión. Tras su absorción, se distribuye preferentemente al sistema nervioso central, dado su elevado grado de irrigación sanguínea y contenido en lípidos.

Además del sistema nervioso, el tolueno se distribuye a otros tejidos hasta alcanzar su concentración máxima en el tejido adiposo. Los efectos tóxicos del tolueno se producen fundamentalmente por depresión del sistema nervioso central.

La exposición aguda provoca inicialmente excitación, seguida de depresión con fatiga, ataxia, convulsiones y anestesia general, e incluso la muerte por hipoxia arritmia y parada cardíaca. La inhalación crónica provoca debilidad muscular, síndrome

gastrointestinal con dolores, náuseas y vómitos, insuficiencia hepatorrenal y síndrome neuropsiquiátrico.

Los xilenos están clasificados en el grupo 3 por la IARC, esto es, no son clasificables respecto a su comportamiento cancerígeno. En concentraciones de 200 ppm en el aire, los xilenos poseen efectos irritantes, causando conjuntivitis, irritación nasal, y de la garganta. A mayores concentraciones se comportan como potentes agentes irritantes del sistema respiratorio.

La exposición cutánea prolongada elimina los lípidos del estrato córneo de la piel y provoca dermatitis. También se han observado efectos tóxicos, aunque ligeros y transitorios, en el hígado y los riñones de las personas expuestas accidentalmente a dosis elevadas de xilenos.

La exposición crónica en el medio ocupacional se ha asociado a la aparición de efectos permanentes en el sistema nervioso, si bien los datos al respecto no son concluyentes.

1.3.2.2. Efectos sobre las plantas

Las plantas muestran una especial sensibilidad a la mayor parte de los contaminantes del aire, y sufren daños significativos a concentraciones mucho más bajas que las necesarias para causar efectos perjudiciales sobre la salud humana y animal.

Es muy difícil establecer valores límites de la contaminación atmosférica a partir de los cuales los efectos negativos se empiezan a manifestar, ya que estos dependen de la

constitución de la planta y de la especie de que se trate, es decir, hay una especificidad de respuestas.

Por otra parte, los efectos producidos por la contaminación atmosférica se pueden manifestar por la alteración de diversos mecanismos vitales de las plantas. Así, las funciones metabólicas y los tejidos vegetales se pueden ver afectados como consecuencia de la acción de gases como el anhídrido sulfuroso, el monóxido de carbono y los compuestos de flúor. Los daños causados se manifiestan en forma de necrosis foliar en áreas localizadas que presentan un color marrórojizo-blanco, de clorosis, adquiriendo el tejido una coloración verde pálida o amarilla, o por la aparición de manchas puntuales necróticas. Si la acción del contaminante es muy fuerte puede llegar a paralizar el crecimiento de la planta.

Entre los distintos contaminantes que se presentan generalmente en el aire ambiente, el SO_2 es el que tiene mayor importancia debido a la gran toxicidad que tiene para la vegetación.

Los daños producidos por el SO_2 a las plantas obedecen a la exposición a altas concentraciones durante periodos cortos; o por la exposición a concentraciones relativamente bajas durante largos periodos.

Los daños agudos se producen con consecuencia de exposiciones cortas a concentraciones elevadas. Exposiciones medias diarias de 130 microgramos de SO_2 por metro cúbico de aire durante el periodo de crecimiento, pueden causar daños en las

coníferas más sensibles. Estos daños se caracterizan por la aparición de necrosis apicales de color rojo o anaranjado.

La exposición a menores concentraciones durante tipos de exposición más largos ocasiona lesiones crónicas. Exposiciones medias anuales de anhídrido sulfuroso de 50 microgramos por metro cúbico de aire pueden causar daños a especies forestales sensibles. Estas se manifiestan por un gradual amarilleamiento de la hoja que se va extendiendo desde la zona apical a la base de la misma, causada por dificultades en el mecanismo sintetizador de la clorofila. En las plantas dañadas se encuentran grandes cantidades de sulfato en las hojas con síntomas crónicos.

Las brumas de ácido sulfúrico, causadas por la presencia en el aire de los óxidos de azufre, producen daños en las hojas, caracterizados por la aparición de manchas producidas por las gotas de ácido depositadas sobre las hojas humedecidas por el rocío o la niebla. Concentraciones relativamente bajas de SO_2 pueden causar daños importantes en la vegetación sensible, como consecuencia de la acción sinérgica de este contaminante con el ozono y los óxidos de nitrógeno, aunque estos se presenten en bajas concentraciones en el aire.

El flúor y sus derivados son contaminantes del aire que se caracterizan por ser tóxicos en general para las plantas a muy pequeñas concentraciones. La sensibilidad de las plantas a la acción del flúor varía, como en el caso del SO_2 , según las especies y las condiciones del medio, siendo especialmente sensibles a este contaminante las viñas y las plantaciones frutales, especialmente las de frutos con hueso (como el melocotón o durazno). En el medio forestal, las resinosas son las especies más sensibles al flúor, ya

que al tener hojas perennes y tener el flúor un efecto acumulativo sobre los tejidos, se va almacenando hasta sobrepasar los umbrales de toxicidad, lo que da lugar a la aparición de necrosis que pueden llegar a producir la muerte de grandes masas forestales.

Un aspecto importante del efecto acumulativo del flúor es su transmisión a través de las cadenas alimentarias. El mecanismo es el siguiente: el flúor presente en el aire se acumula en los pastos y de éstos pasa a los animales, siendo los bovinos los más afectados. La acumulación del flúor en los tejidos puede causar la aparición de la fluorosis, enfermedad que se presenta sobre todo en el ganado vacuno. Observaciones realizadas muestran que la ingestión de pastos puede ser tolerada sin efectos negativos, cuando su concentración en flúor no supera los 40 ppm como media durante todo el año.

Entre los óxidos de nitrógeno solo el NO_2 es tóxico para las plantas, a pequeñas concentraciones y largo tiempo de exposición. Los daños se manifiestan por la aparición de necrosis y clorosis de color negro o marrón rojizo en las hojas. Los sinergismos de NO_2 y SO_2 provocan a bajas concentraciones alteraciones en la vegetación. Este hecho se ha observado en las zonas urbanas.

La radiación gamma produce numerosos efectos biológicos sobre las plantas, incluyendo daños a los ácidos nucleicos, citocromos, mitocondria y membranas celulares. Una irradiación crónica en una amplia zona produce una disminución gradual de la diversidad de plantas. Poco a poco los bosques van muriendo, empezando por los árboles más sensibles como los pinos.

1.3.2.3. Efectos sobre los materiales

Cada vez se está prestando más atención, tanto por sus repercusiones económicas como por los daños irreparables que causa sobre los objetos y los monumentos de alto valor histórico-artístico, a los efectos que la contaminación atmosférica produce sobre los materiales.

La acción de los contaminantes atmosféricos sobre los materiales puede manifestarse por la sedimentación de partículas sobre la superficie de los mismos, afeando su aspecto externo, o por ataque químico al reaccionar el contaminante con el material. Los SOx causan daños a muchos tipos de materiales, bien directa o indirectamente. Un alto contenido de SOx en el aire produce la aceleración de la corrosión de los metales tales como el acero al carbono, zinc, acero galvanizado, compuestos del cobre, níquel y aluminio. Esta aceleración se ve favorecida por la presencia de partículas depositadas por la humedad y por la temperatura.

En general, puede señalarse que la corrosividad de una atmósfera depende de condiciones meteorológicas y factores de contaminación. Se han observado correlaciones entre tasas de corrosión en metales y concentraciones de SO₂ en la atmósfera, dándose las tasas altas de corrosión más altas en zonas industrializadas. Las nieblas de ácido sulfúrico procedentes de la conversión catalítica del SO₂ a SO₃ en la atmósfera, atacan a los materiales de construcción como el mármol, la caliza y la argamasa, convirtiendo los carbonatos en sulfatos solubles en el agua de lluvia. Esto unido a que el volumen específico de los sulfatos es mayor que el de los carbonatos, hace que en la piedra aparezcan escamas y se debilite mecánicamente.

Los compuestos de azufre pueden producir daños en pinturas plásticas, papel, fibras textiles y sobre los contactos eléctricos de los sistemas electrónicos, dando lugar a deficiencias en su funcionamiento. La acción de los oxidantes fotoquímicas se produce sobre todo en los cauchos y elastómeros en los que causan un rápido envejecimiento y agrietamiento. Los óxidos de nitrógeno decoloran y estropean las fibras textiles y los nitratos producen la corrosión de las aleaciones de cupro - níquel.

1.3.2.4. Efectos sobre visibilidad

La presencia de contaminantes en la atmósfera produce la absorción y dispersión de la luz solar, acompañados de una notable reducción de la visibilidad. Los aerosoles de tamaños comprendidos entre 1.4 y 0.8 micras son los que tienen una mayor influencia en la dispersión de la luz solar, debido a la proximidad de su tamaño a la longitud de onda de la luz visible.

Se ha observado una estrecha relación entre la disminución de la visibilidad y la presencia de sulfatos en la atmósfera. Una experiencia realizada en Suecia, ha demostrado que los periodos de mínima visibilidad se corresponden con concentraciones máximas de sulfatos y nitratos presentes en la atmósfera.

Los gases presentes normalmente en la atmósfera no absorben la luz visible. El NO_2 en concentraciones altas puede tener un efecto significativo ya que absorbe la franja azul-verde del espectro visible de la radiación solar. Consecuencia de esta absorción es el que la atmósfera de las grandes ciudades adquiera una coloración amarilla-parduzca-rojiza cuando se presentan concentraciones de NO_2 elevadas.

1.4. La Calidad del Aire

La atmósfera terrestre es finita y su capacidad de autodepuración, aunque todavía no es muy conocida, también parece tener sus límites. La emisión a la atmósfera de sustancias contaminantes en cantidades crecientes como consecuencia de la expansión demográfica mundial y el progreso de la industria, han provocado ya concentraciones de estas sustancias a nivel del suelo que han ido acompañadas de aumentos espectaculares de la mortalidad y morbilidad, existiendo pruebas abundantes de que, en general, las concentraciones elevadas de contaminantes en el aire atentan contra la salud de los seres humanos.

En la mayoría de los países industrializados se han establecido valores máximos de concentración admisible, para los contaminantes atmosféricos más característicos. Estos valores se han fijado a partir de estudios teóricos y prácticos de los efectos que sobre la salud tiene la contaminación al nivel actual y los que puede alcanzar en el futuro. Los efectos se basan principalmente en el examen de factores epidemiológicos.

Para la definición de criterios y pautas de salubridad del aire, se pueden utilizar varios procedimientos. Las técnicas experimentales se basan en el ensayo con animales o en el empleo de muestras de voluntarios en atmósferas controladas. Son muy útiles para el estudio de los efectos fisiológicos, bioquímicos y sobre el comportamiento, producidos por supuestos contaminantes. Los estudios epidemiológicos permiten investigar los efectos producidos por las fluctuaciones de la contaminación atmosférica sobre la totalidad de la población, o sobre grupos seleccionados y definidos.

Generalmente, la calidad del aire se evalúa por medio de los denominados niveles de inmisión, que vienen definidos como la concentración media de un contaminante presente en el aire durante un periodo de tiempo determinado. La unidad en que se expresan normalmente estos niveles son microgramos de contaminante por metro cúbico de aire, medidos durante un periodo de tiempo determinado.

1.5. Monitoreo Atmosférico

Se define como monitoreo atmosférico a todas 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. Su importancia radica en que para formular los estándares de calidad de aire, llevar a cabo estudios epidemiológicos que relacionen los efectos de las concentraciones de los contaminantes con los daños en la salud, especificar tipos y fuentes emisoras, ejecutar estrategias de control y políticas de desarrollo acordes con los ecosistemas locales y desarrollar programas racionales para el manejo de la calidad del aire, se requiere de una base de datos que aporte información para la realización de todos estos estudios la cual se genera a partir del monitoreo atmosférico.

El conocimiento de las concentraciones de gases contaminantes en la atmósfera es de significativa importancia en la evaluación del estado de la calidad del aire de una comunidad.

Existen diversas metodologías para la medición de una sustancia gaseosa en aire, entre ellas, las más importantes son las siguientes; Sistemas Activos de Monitoreo,

Analizadores Automático, Sensores Remotos, Bioindicadores, Sistemas Pasivos de Monitoreo.

1.5.1. Sistemas Activos de Monitoreo

Los sistemas activos de monitoreo se basan en el pasaje forzado del aire, mediante una bomba de aspiración, a través de un reactivo químico específico o de un medio físico de colección.

La muestra así obtenida es llevada luego a un laboratorio donde se realiza el análisis cuantitativo de la misma. El volumen de aire muestra es superior al de los sistemas pasivos, por tanto la sensibilidad del método es mayor, pudiéndose obtener promedios diarios de concentraciones de contaminantes.

1.5.2. Analizadores Automáticos

Los sistemas automáticos de análisis de aire utilizan alguna propiedad física o química del contaminante, que puede ser detectado y cuantificado en forma continua, generalmente por métodos óptico-electrónicos. La muestra de aire entra a una cámara de reacción donde alguna propiedad óptica del contaminante puede ser medida en forma directa o puede producirse una reacción química que produzca luz fluorescente o quimiluminiscente. Una fotocélula detecta luego la luz que le llega, produciendo una señal electrónica que es proporcional a la concentración del contaminante.

1.5.3. Sensores Remotos

Los equipos de análisis automático proveen mediciones de un contaminante específico en un punto determinado del espacio. Los Sensores Remotos pueden proveer una

medición integrada de multicomponentes a lo largo de un espacio especificado (normalmente superior a 100 metros).

1.5.4. Bioindicadores

El término "Biomonitoreo" (que para aire generalmente implica el uso de plantas) cubre un extenso rango de sistemas de muestreo y análisis con muy diferente grado de sofisticación y desarrollo. Los métodos de biomonitoreo se basan en la acción que produce el contaminante a estudiar sobre algún ser vivo susceptible al mismo.

1.5.5. Sistemas Pasivos de Monitoreo

El monitoreo pasivo de la calidad del aire se basa en el principio de la difusión de contaminantes del aire hacia un medio de absorción. La fuerza principal es el gradiente de concentración entre el aire circundante y la superficie de absorción (sustancia química específica para cada contaminante), donde la concentración inicial del contaminante es cero.

El método permite realizar muestreos que pueden ir desde algunas horas hasta varias semanas, dependiendo de la concentración media del contaminante medido y la sensibilidad del muestreado. Debido a sus características físicas, puede aplicarse en lugares donde no se cuente con energía eléctrica. Estas características permiten además el muestreo simultáneo de un gran número de puntos, lo que posibilita disponer de información sobre la distribución espacial de la contaminación del aire. Los valores pueden verse afectados por la velocidad del viento, temperatura, presión atmosférica y humedad relativa, lo que influirá en el tiempo que se deberán exponer los mismos. Sin embargo, el tiempo de resolución de esta técnica es limitado, por lo que sólo puede

proveer información de concentraciones promedio de contaminantes y no sirve para la detección de valores pico o cuando se requieran valores a tiempo real.

Con esta técnica se pueden cuantificar contaminantes urbanos entre las que se incluyen los óxidos de nitrógeno, dióxido de azufre, amonio, ozono y benceno tolueno y xilenos (BTX).

Entre los muestreadores pasivos hay que diferenciar los que específicamente se utilizan en puntos fijos de muestreo, para monitorear calidad de aire, especialmente para estudios de fondo y muestreos de amplia cobertura espacial; y los pasivos personales que la gente puede llevar puestos y se utilizan principalmente en estudios epidemiológicos, donde se puede determinar por ejemplo la exposición personal durante una jornada de 8 horas de trabajo a un determinado contaminante.

De las metodologías mencionadas, las que requieren de menores costos, tanto de instalación como de operatividad, mantenimiento y análisis, son las técnicas "pasivas". Dichas técnicas no requieren de suministro energético ya que actúan por difusión natural de los gases investigados; el equipamiento está constituido por simples tubos de acrílico cerrados en uno de sus extremos, por lo que su costo es bajo. La rutina de recambio de muestras y análisis de las mismas en laboratorio es más espaciada en el tiempo que la correspondiente a los sistemas de tipo activo, ya que los primeros requieren períodos más largos de toma de muestra a los efectos de recoger cantidades detectables del gas que se desea medir, por lo tanto el costo de personal y drogas analíticas para estos trabajos disminuye considerablemente respecto a los otros sistemas.

En estudios de Calidad del Aire, también pueden ser útiles, usados en combinación con muestreadores activos o monitores automáticos. En este tipo de estudios híbridos, el muestreador pasivo provee los datos de de calidad del aire de resolución geográfica, mientras que los otros instrumentos ofrecen información relacionada con el tiempo, como variaciones diurnas de la concentración y sus picos. Estudio de este tipo pueden ser económicamente muy convenientes y un ejemplo de ello es el uso de muestreadores de tubo de difusión para colectar NO₂, en el barrido de aéreas y selección de sitios de monitoreo en varios países europeos.

Cuadro 03. Comparación entre las técnicas de monitoreo

Técnica	Ventajas	Desventajas	Inversión(USD)
Muestreadores pasivos	Muy bajo, muy simples, útiles para estudios de base	No probado para algunos contaminantes, genera promedios semanales, mensuales, requiere análisis	30-40 x muestra (Incluye análisis).
Muestreadores Activos	Bajo costo, fáciles de operar, confiables en operación y funcionamiento, datos históricos.	No concentraciones picos, trabajo intenso, requiere análisis.	2000 – 4000 x unidad (no incluye análisis)
Muestreadores Automatizados	Alto funcionamiento, datos online, datos horarios.	Complejos y caros, técnicos calificados, alto costo operación.	10000 – 20000 x analizador
Sensores Remotos	Resolución amplia, útiles cerca de fuentes, medición multicomponentes.	Muy Complejos y caros, difíciles de manejar, no son siempre comparables con analizadores convencionales.	> 200000 x sensor
Bioindicadores	Baratos, útiles para identificar fuentes de contaminación	Difícil estandarización, algunos requieren análisis.	Costo Variable

Fuente: Texto Gestión de la Calidad del Aire

1.6. Normas

1.6.1. Norma Ecuatoriana De Calidad Del Aire

Haciendo una revisión histórica del aspecto normativo, puede decirse que la gestión ambiental inició en el país en 1976 con la aprobación de la Ley de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental y debieron pasar 15 años para que el Ecuador cuente con una norma de calidad del aire, aprobada mediante reglamento a la ley referida en julio de 1991. Este instrumento fue modificado junto con otras normas de calidad ambiental, con la promulgación del Texto Unificado de la Legislación Ambiental Secundaria o TULAS (Registro Oficial No. 3516 del 31 de marzo del 2003), en donde el Anexo IV del Libro VI establece la Norma de Calidad del Aire Ambiente.

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

La Norma Ecuatoriana de Calidad del Aire Ambiente, establecida en el Libro VI, Anexo 4 del Texto Unificado de la Legislación Ambiental Secundaria (Ministerio del Ambiente, 2003) define los siguientes niveles de concentración máxima permitida para los contaminantes comunes del aire ambiente:

1.6.1.1. Dióxido de azufre (SO₂).

El promedio aritmético de la concentración de SO₂ determinada en todas las muestras en un año no deberá exceder de ochenta microgramos por metro cúbico (80 ug/m³). La concentración máxima en 24 horas no deberá exceder trescientos cincuenta microgramos por metro cúbico (350 ug/m³), más de una vez en un año.

1.6.1.2. Óxidos de nitrógeno (NO₂).

Expresados como dióxido de nitrógeno (NO₂).- El promedio aritmético de la concentración de óxidos de nitrógeno, expresada como NO₂, y determinada en todas las muestras en un año, no deberá exceder de cien microgramos por metro cúbico (100 ug/m³). La concentración máxima en 24 horas no deberá exceder ciento cincuenta microgramos por metro cúbico (150 ug/m³) más de dos (2) veces en un año.

1.6.2. Guía para la calidad del aire de la Organización Mundial de la Salud.

Dentro de los estándares de Calidad del Aire se encuentran las guías que son recomendaciones para establecer niveles de exposición. Sirven para reducir riesgos o evitar efectos nocivos.

Cuadro 04. Guías de calidad del aire: Compuestos con efectos de salud no carcinogénicos

Compuesto	Efecto de salud
Acetaldehído	Irritante. Relacionado con carcinogenicidad en ratas
Acetona	Malos olores
Acroleína	Irritación de los ojos en humanos. Malos olores
Cadmio	Efectos renales en la población
Disulfuro de carbono	Cambios funcionales del sistema nerviosos central en los Trabajadores. Malos olores
Tetracloruro carbono	Hepatotoxicidad en ratas
1,4 Diclorobenceno	Aumento en el peso renal y proteínas urinarias
Mercurio	Efectos tubulares renales en humanos
Bromuro de metilo	Reducción del índice de fertilidad en ratas
Tolueno	Efectos en el sistema nervioso central de trabajadores. Malos Olores
Vanadio	Efectos respiratorios en trabajadores
Xilenos	Efectos en el sistema nervioso central en humanos voluntarios. Neurotoxicidad en ratas. Malos olores
Compuestos similares a la dioxina	Efectos neuroconductuales/endometriosis en crías de monos. Recuento menor de espermatozoides/ supresión inmunológica/ aumento de malformaciones genitales en crías de ratas

Fuente: GUÍAS OMS. Curso y seminario internacional “Gestión local de la calidad del aire”.

Cuadro 05. Guías de calidad del aire: Compuestos con efectos de salud 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
HAP (BaP)	Cáncer al pulmón en humanos expuestos
Cloruro de vinilo	Cáncer de hígado en trabajadores expuestos

Fuente: GUÍAS OMS. Curso y seminario internacional “Gestión local de la calidad del aire”.

1.6.3. Norma Europea y Norma del Estado de California

La EPA ha clasificado al benceno como un Grupo A, es decir, cancerígeno humano. Y Aunque la legislación ambiental del Ecuador aun no contempla norma en aire ambiente para el benceno, se ha tomado como referencia la Norma Europea (7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) y la norma del estado de California-USA (14.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

CAPITULO II

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. ÁREA DE ESTUDIO

El Área de estudio es la Zona Urbana de la Ciudad de Riobamba, y sus áreas de influencia Penipe, Guano, Gatazo.

2.1.1. El Cantón San Pedro de Riobamba

Se encuentra ubicado en la zona sierra centro, al sur de la Capital de la República. En las coordenadas a una altitud de 2754 m.s.n.m. con una superficie de 2900 hectáreas de área urbana. Latitud: -1.66667, Longitud: -78.6333, Zona Horaria: América/Thule.

El clima del cantón es templado seco con variaciones hacia el frío en las noches, la temperatura media anual es de 13,4 °C, posee una precipitación promedio de 200 – 500 mm. Los vientos soplan en las direcciones de Norte a Sur, siendo los vientos de mayor intensidad los provenientes del Norte y Noreste, con velocidades medias anuales 2.8; 1,9; y 1,4 m/s. Apareciéndose una intensidad en periodo de verano entre los meses de Julio a Septiembre, presenta un aparente calma durante el resto del año, misma que fluctúa entre el 60% y 73% con una media anual de 66%, los vientos provenientes oeste presentan una velocidad media anual de 0,1 m/s y los del sur una media anual de 1,1 m/s.

La topografía de la ciudad de Riobamba en su totalidad es plana presenta condiciones adecuadas para la expansión urbana de la ciudad y facilita el diseño y construcción de

los sistemas de alcantarillado. Las calles son rectas con un porcentaje mínimo de curvas y redondeles.

2.1.2. El Cantón Penipe

Se encuentra ubicado en el noreste de la Provincia de Chimborazo, entre las coordenadas 01° 27' S y 078° 21' W, su temperatura promedio es de 15°C., con variaciones debido a que su altitud va desde los 2500 a 5424 m.s.n.m. En el nevado Los Altares, con una precipitación anual de 500 a 1000mm.

2.1.3. El Cantón Guano

Se encuentra ubicado en la Provincia de Chimborazo en la zona Sierra Centro, en las coordenadas S 01° 36`16", W 078° 33`46", a una altitud de 2728 m.s.n.m, altitud de 2713 m.s.n.m, una superficie de 470 Km cuadrados, población: 37.000 habitantes, parroquias urbanas: Guano Central y El Rosario. El clima del cantón es templado y varía ya que va desde altitudes de 2500 m.s.n.m hasta los 6310 m.s.n.m correspondiente al nevado Chimborazo, la temperatura varía de los 6 a los 18°C, posee una precipitación promedio anual de 31,15mm.

2.1.4. Gatazo Zambrano

El cantón Colta se halla ubicado al sur de la ciudad de Riobamba, ocupa la parte nor-occidental de la Provincia del Chimborazo, posee una superficie de 840 Km². pequeños valles, mesetas, cerros y depresiones forman su territorio irregular.

Una de las parroquias del cantón Colta es Cajabamba, donde se encuentra la Zona de Gatazo Zambrano, (altitud 3090 msnm, temperatura media 13 °C, precipitación 526.70 mm), y una extensión aproximada de 17000 ha.

2.2. MATERIALES

2.2.1. MATERIALES DE CAMPO

- Tubos Pasivos de SO₂, NO₂ y BTX: Son dispositivos que se basa en la difusión de contaminantes del aire hacia un medio de adsorción. Los tubos son fabricados y analizados por el personal capacitado de la Corpaire.
- Contenedores de dispositivos de muestreo: Los contenedores sirven para instalar en su interior los tubos de monitoreo pasivo, son fabricados en el país.
- Soporte de monitores: Son brazos metálicos que sostienen a los contenedores, son fabricados en el País.

2.2.2. MATERIALES DE LABORATORIO

EQUIPOS

- Cromatógrafo Iónico (Líquida). Metrohm/Advances. Compact IC861, en el cual la separación y determinación de iones, es basado en el uso de resinas de intercambio iónico. Cuando una muestra iónica atraviesa estas columnas, los iones presentes sufren una separación debido a las

diferentes retenciones que sufren al interactuar con la fase fija de las columnas analíticas. El resultado son unos cromatogramas donde la posición de los máximos nos indica el ión presente (carácter Cualitativo) y su área nos indica que cantidad existente de dicho ión (carácter Cuantitativo).

- Cromatógrafo de gases FID Shimadzu GC-17^a equipado con detector FID (Detector de Ionización de llama). El detector FID permite que los compuestos orgánicos se pirolizen en llama de hidrogeno/aire, produciendo iones y electrones que conduce la electricidad a través de la llama. La señal depende el número de C que entra por unidad de tiempo. Este detector es sensible a la masa y solo se aplica a compuestos orgánicos como el Benceno. Además tiene un Procesador de Datos Shimadzu CROMATOPAC C-R7A plus.

- Balanza Analítica: que sirve para medir la masa. Sartorius xx de plato grande específica para pesar filtros de esta naturaleza precisión 10 µg.

SUSTANCIAS Y REACTIVOS

- Disulfuro de carbono (Merck; Pureza>99.9%; Agua<0.01%)
- Butil acetato (Merck; Pureza>98.0%; Agua<0.01%)
- Benceno para cromatografía de gases. (Merck; Pureza>99.8%
- Tolueno para cromatografía de gases. (Merck; Pureza>99.9%.
- m-xileno para cromatografía de gases. (Merck; Pureza>99.8%.
- p-xileno para cromatografía de gases. (Merck; Pureza>99.9%.

- o-xileno para cromatografía de gases. (Merck; Pureza>99.9%.
- Helio
- Bicarbonato de Sodio
- Carbonato de Sodio
- Trietanolamina
- Acetona
- Agua Deionizada.

2.3. MÉTODO

El método utilizado para la determinación de la concentración de gases contaminantes en la ciudad de Riobamba y sus áreas de influencia es experimental y son basados en técnicas pasivas, las mismas que se utilizan en la Red de Monitoreo Pasivo del Aire de Quito (REMPA) de la Corpaire.

Estudios comparativos realizados en otros países entre estos monitores pasivos y métodos activos más sensibles y con mejor definición temporal, validan la utilización de esta metodología. Los resultados presentados muestran la versatilidad y utilidad del monitoreo pasivo, que permite cuantificar tanto las concentraciones en zonas puntuales como obtener información promedio de la calidad de aire ambiente, convirtiéndose así en una técnica muy apropiada para ser utilizada en estudios preliminares sobre la calidad del aire, en prevención de potenciales peligros para con la salud de sus habitantes. Esta técnica fue desarrollada en Europa, no está muy difundida en América pese a sus ventajas económicas. En Sudamérica existen redes de este tipo en Brasil Bolivia, la más grande y con mayor cantidad de contaminantes que reporta es la red de Quito que existe desde el 2004.

2.3.1. MEDICIÓN DE LOS CONTAMINANTES EN EL AIRE

Debido a la distribución de las fuentes de emisión dentro del área de interés, así como a la influencia de las variables meteorológicas y los procesos foto químicos en la concentración de los contaminantes en la atmósfera, se fijo una estrategia de monitoreo o plan de muestreo preliminar, para generar información objetiva y confiable sobre la calidad del aire en la Ciudad de Riobamba y áreas de influencia Penipe, Guano y Gatazo. El Plan de muestreo preliminar implica las siguientes consideraciones:

- Definición de los objetivos del monitoreo, incluyendo los parámetros a medir
- Definición de número y sitios de muestreo
- Diseño del programa de muestreo
- Selección de equipo de muestreo y de técnicas de análisis

2.3.1.1. Definición de los Objetivos del Monitoreo

Los objetivos específicos del Monitoreo de la Calidad Del Aire en la Ciudad de Riobamba y de las zonas de influencia son los siguientes:

- Proporcionar información pública de la calidad de aire, de manera clara y oportuna.
- Vigilar el cumplimiento de las normas nacionales y guías internacionales de calidad de aire y el desarrollo de las estrategias de abatimiento y control de las principales fuentes de emisiones que adopte la ciudad.

- Establecer bases científicas para políticas de desarrollo
- Proporcionar información de fuentes y riesgos de contaminación
- Adicionalmente, permitirá medir las concentraciones de fondo y disponer de una herramienta técnica para identificar sitios críticos y atender las denuncias ciudadanas respecto de sitios percibidos como tales por la población.

El Monitoreo Atmosférico, está enfocado principalmente en establecer el nivel de contaminación en la Ciudad De Riobamba y en otras localidades determinadas por influencia directa de la Erupción del Volcán. El nivel de contaminación permitirá conocer la exposición de la población, vegetación, materiales y propiedades de la misma. Es decir, servirá para dar información de la calidad del aire de la región determinada y así poder evaluar sus tendencias o para correlacionar estos datos con otros estudios.

2.3.1.2. Parámetros Ambientales A Medir

Una vez establecidos los objetivos del estudio que se pretende realizar, fue necesario establecer los parámetros ambientales que se necesitan medir para llevar a cabo este estudio. Entre los parámetros a medir están los contaminantes atmosféricos, sustancias precursoras para la formación de contaminantes comunes, principalmente el ozono, las sustancia de interés específico son SO₂, NO₂ y BTX.

Además otros parámetros a medir serán Material Particulado Sedimentable, Material Particulado No Sedimentable (PM₁₀), identificados en la norma de calidad del aire.

2.3.1.3. Definición del Número y los Sitios de Muestreo

La definición del número y los sitios de muestreo lo realizó el personal técnico capacitado de la Corpaire.

Ya definidos los objetivos de monitoreo, delimitadas las localidades o áreas de estudio y los parámetros que se necesitan monitorear se tomó como meta la organización temporal y distribución espacial de los puntos de monitoreo o de colección de muestras dentro del área de estudio, de manera que sean representativos de la calidad del aire del lugar determinado para poder compararlos con estándares de calidad del aire, valores límites, guías, normas. Por lo que el siguiente paso dentro de la estrategia de monitoreo es definir la localización y determinación del número de estaciones de monitoreo o sitios de muestreo que se requieran para cumplir con los objetivos.

2.3.1.3.1. Localización de los sitios de Muestreo.

La ubicación de los puntos de medición de contaminantes atmosféricos, está en función de los objetivos que se pretenden alcanzar y del área que se pretende cubrir.

La ubicación de los puntos de medición en la ciudad de Riobamba, Penipe, Guano, Y Gatazo se llevó a cabo en sitios seleccionados, ubicando los puntos por medio de una cuadrícula, con base en la experiencia y en la información con que se cuenta para el estudio, siendo estos sitios representativos del área que se pretende monitorear, es decir se instalaron estaciones que cubren zonas del centro de la ciudad, de los sectores

industriales, comerciales, zonas de gran densidad de tráfico , zonas residenciales y zonas afectadas directamente por actividad del Volcán Tungurahua.

Para elegir estas localizaciones se tomo en cuenta una variedad de consideraciones como tipo de emisiones, fuentes de emisión (Erupción del Volcán Tungurahua), los factores topográficos y meteorológicos, y otros factores como, distribución de población y de uso vehicular, información de la calidad del aire puesto que el monitoreo atmosférico ya se lleva a cabo en otras ciudades como, Cuenca y Quito principalmente.

Todo está en función de los objetivos determinados, es decir, el estudio está enfocado a un área e intenta dar información de la calidad del aire de la misma a la población, se localizan las estaciones de monitoreo en sitios que representan la calidad del aire de las zonas que conforman esta área, tomando en cuenta los puntos críticos que existan en ella y su influencia.

2.3.1.3.2. Densidad o Número de Puntos de Muestreo Requeridos

En el número final de estaciones seleccionado se eligió en función de, la población que habita en el área que se pretende vigilar, la problemática existente en el área que se define con base al tipo de zonas que conforma esa área y de los resultados obtenidos de tomar en cuenta los factores y consideraciones para elegir localizaciones de zonas de muestreo, los recursos económicos, humanos y tecnológicos disponibles.

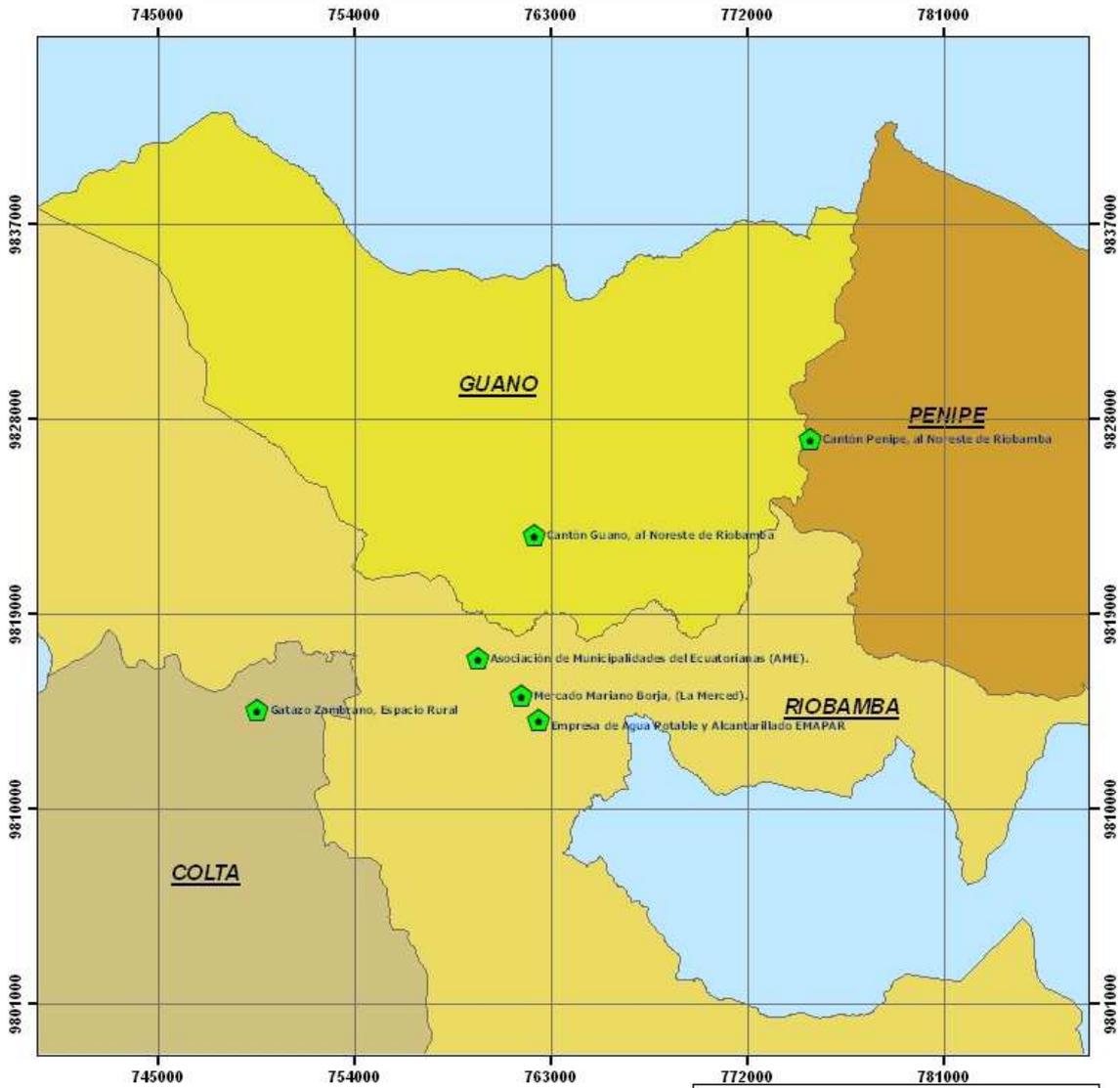
Se instalo estaciones o sensores pasivos para conocer la concentración de contaminantes y para llevar a cabo un sondeo de cuáles son las condiciones del lugar a muestrear. Este monitoreo atmosférico permitirá definir la ubicación final de las estaciones.

Tomando en cuenta estos criterios se ubicaron seis puntos de monitoreo; cuatro puntos en el cantón Riobamba, tres dentro del límite urbano, al Norte (Edificio AME); en el Centro (Mercado La Merced) y al Sur (Edificio EMAPAR); en el sector Gatazo Zambrano, Penipe y en Guano se ubico un punto de monitoreo.

La ubicación de los seis puntos de monitoreo se observan en el Mapa 1.

Mapa 01. Ubicación de Sitios de Monitoreo Pasivo

Ubicación de sitios de muestreo



Leyenda

- Ubicacion_Sitios
- Monitoreo_atmosferico_canton
- HOM_CANT_1
 - COLTA
 - GUANO
 - PENIPE
 - RIOBAMBA

2,400,200 0 2,400 Meters

1:250,000



Ubicación Geografica del área de estudio

2.3.1.3.3. Requerimientos del Sitio de Muestreo

Para la ubicación específica del sitio de muestreo dentro del área definida se tomo en cuenta algunas consideraciones prácticas que necesitan tener estos sitios, como son las siguientes:

- Fácil acceso
- Seguridad contra vandalismo
- Infraestructura
- Libre de obstáculos

Fácil acceso debido a que se tienen que realizar visitas regulares al mismo para recolectar muestras o inspeccionarlo, Pero a su vez debe estar protegido de posibles actos de vandalismo u otros que alteren la toma de muestras.

Los sitios donde se llevan a cabo las mediciones de la calidad del aire son representativos de la zona que está sujeta a investigación, por tal razón no hay obstáculos que afecten el movimiento del aire en el sitio. Es decir, el movimiento del aire alrededor de la entrada de la toma de muestra estar libre de restricciones que afectan el flujo del aire en las cercanías del muestreador, por lo que se ubico algunos metros alejado de edificios, balcones, árboles y otros obstáculos similares.

Las recomendaciones tomadas en cuenta se presentan a continuación:

Para asegurar un flujo lo más libre posible, se evito árboles y edificios en un área de 10 m alrededor del sitio de muestreo.

La entrada al muestreador está entre 1.5 y 4 m sobre el nivel del piso.

La entrada al muestreador no debe localizarse cerca de fuentes de contaminación, para evitar arrastres de plumas de chimeneas domésticas o industriales.

2.3.1.4. Diseño del Programa de Muestreo

Lo primero que se toma en cuenta para definir el programa de monitoreo, es la duración, la cual será de doce meses que abarca un año completo del periodo de evaluación, el tipo de muestreo será continuo, porque de esta manera se toma en cuenta la injerencia de los cambios estacionales y es necesario para mediciones permanentes de Calidad del Aire.

La frecuencia de muestreo es de una vez por mes y el tiempo de toma de muestra es de 30 días (+-1). Este tiempo se determino tomando en cuenta los criterios recomendados de efectos en la salud o factores de inmisión de los contaminantes a determinar, por medio de los limites de detección del método de muestreo que se utiliza y por medio de los criterios establecidos en las normas oficiales de calidad del aire

2.3.1.5. Selección de la Técnica de Medición

Acordes con los objetivos que previamente se fijaron y la calidad de los datos que se requieren para cumplirlos, junto con la capacidad económica local y la disponibilidad de personal capacitado, y debido a que las tecnologías que se ofrecen en el mercado cubre una gran gama de costos en capital y operación, se ha seleccionado la tecnología disponible más simple y barata pues cumple con los objetivos de monitoreo

especificados, además de que se utilizan en otros países y ciudades Del País. Y ha sido aprobada como adecuada en este campo, para estudios de base o preliminares, investigaciones espaciales y funciones para selección de sitios.

El método de muestreo pasivo permite realizar muestreos que pueden ir desde algunas horas hasta varias semanas, dependiendo de la concentración media del contaminante medido y la sensibilidad del muestreador. Debido a sus características físicas, puede aplicarse en lugares donde no se cuente con energía eléctrica. Estas características permiten además el muestreo simultáneo de un gran número de puntos, lo que posibilita disponer de información sobre la distribución espacial de la contaminación del aire.

Con esta técnica se pueden cuantificar contaminantes urbanos entre las que se incluyen los óxidos de nitrógeno, dióxido de azufre, amonio, ozono y benceno tolueno y xilenos (BTX).

2.4. NORMAS Y GUÍAS UTILIZADAS

Se discutirán las eventuales desviaciones observadas en los contaminantes SO_2 , NO_2 con los valores de normas y guías de calidad nacional e internacional, esto es según La Sección 4.1.2.1 de la Norma Ecuatoriana de Calidad del Aire Ambiente, establecida en el Libro VI, Anexo 4 del Texto Unificado de la Legislación Ambiental Secundaria y según las Guías de la Calidad del Aire de Organización Mundial de la Salud (OMS).

Para el caso de los contaminantes BTX, la legislación ambiental del Ecuador aun no contempla norma en aire ambiente para estos contaminantes por lo que se toma como referencia normas internacionales y estándares de calidad para aire ambiente según las

Guías de la Calidad del Aire de Organización Mundial de la Salud (OMS). La cual indica que toda concentración presente de estos compuestos en el ambiente causa efectos cancerígenos en el caso del benceno, y efectos en la salud tóxicos

2.4.1. NORMA ECUATORIANA DE CALIDAD DEL AIRE

La Norma Ecuatoriana de Calidad del Aire Ambiente, establecida en el Libro VI, Anexo 4 del Texto Unificado de la Legislación Ambiental Secundaria (Ministerio del Ambiente, 2003) define los siguientes niveles de concentración máxima permitida para los contaminantes comunes del aire ambiente

Dióxido de azufre (SO₂).- El promedio aritmético de la concentración de SO₂ determinada en todas las muestras en un año no deberá exceder de ochenta microgramos por metro cúbico (80 ug/m³). La concentración máxima en 24 horas no deberá exceder trescientos cincuenta microgramos por metro cúbico (350 ug/m³), más de una vez en un año.

Óxidos de nitrógeno, expresados como dióxido de nitrógeno (NO₂).- El promedio aritmético de la concentración de óxidos de nitrógeno, expresada como NO₂, y determinada en todas las muestras en un año, no deberá exceder de cien microgramos por metro cúbico (100 ug/m³). La concentración máxima en 24 horas no deberá exceder ciento cincuenta microgramos por metro cúbico (150 ug/m³) más de dos (2) veces en un año.

2.4.2. NORMA EUROPEA Y DEL ESTADO DE CALIFORNIA

La legislación ambiental del Ecuador aun no contempla norma en aire ambiente para el benceno, por lo que se ha tomado como referencia la norma Europea ($7 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y la norma del estado de California-USA ($14.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

2.4.3. GUÍA PARA LA CALIDAD DEL AIRE DE LA ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD.

Dentro de los estándares de Calidad del Aire se encuentran las guías que son recomendaciones para establecer niveles de exposición. Sirven para reducir riesgos o evitar efectos nocivos.

Cuadro 06. Guías de calidad del aire: Compuestos con efectos de salud no carcinogénicos

Compuesto	Efecto de salud
Acetaldehído	Irritante. Relacionado con arcinogenicidad en ratas
Acetona	Malos olores
Acroleína	Irritación de los ojos en humanos. Malos olores
Cadmio	Efectos renales en la población
Disulfuro de carbono	Cambios funcionales del sistema nerviosos central en los Trabajadores. Malos olores
Tetracloruro carbono	Hepatotoxicidad en ratas
1,4 Diclorobenceno	Aumento en el peso renal y proteínas urinarias
Mercurio	Efectos tubulares renales en humano
Bromuro de metilo*	Reducción del índice de fertilidad en ratas
Tolueno	Efectos en el sistema nervioso central de trabajadores. Malos Olores
Vanadio	Efectos respiratorios en trabajadores
Xilenos	Efectos en el sistema nervioso central en humanos voluntarios. Neurotoxicidad en ratas. Malos olores
Compuestos similares a la dioxina	Efectos neuroconductuales / endometriosis en crías de monos. Recuento menor de espermatozoides/ supresión inmunológica/ aumento de malformaciones genitales en crías de ratas

Fuente: GUÍAS OMS. Curso y seminario internacional “Gestión local de la calidad del aire”

**Cuadro 07. Guías de calidad del aire: Compuestos con efectos de salud
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
HAP (BaP)	Cáncer al pulmón en humanos expuestos
Cloruro de vinilo	Hemangiosarcoma en trabajadores expuestos. Cáncer de hígado en trabajadores expuestos

Fuente: GUÍAS OMS. Curso y seminario internacional “Gestión local de la calidad del aire”

CAPITULO III

3. PARTE EXPERIMENTAL

3.1. METODOLOGÍA

3.1.1. EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE GASES CONTAMINANTES SO₂, NO₂ Y BTX USANDO SENSORES PASIVOS.

Para la medición de los contaminantes en la ciudad de Riobamba, Penipe, Guano y Gatazo – Zambrano se utilizó el método referencial indicado en manuales de la CORPAIRE para monitoreo pasivo del aire, el cual es utilizado en otros países y a nivel nacional principalmente en Quito.

El monitoreo pasivo de la calidad del aire se basa en el principio de la difusión de contaminantes del aire hacia un medio de absorción. La fuerza principal es el gradiente de concentración entre el aire circundante y la superficie de absorción (sustancia química específica para cada contaminante), donde la concentración inicial del contaminante es cero.

3.1.1.1. Método de muestreo para NO₂ Y SO₂

Los monitores utilizados son del tipo monitor corto, los mismos que consisten en un tubo de plástico tipo, consta de un filtro membrana (entrada del aire para muestrear) y un filtro absorbente (fibra de vidrio). Las sustancias adsorbentes de los contaminantes son impregnadas en filtros de fibra de vidrio o rejillas de acero inoxidable. El proceso de impregnación para los tubos detectores de NO₂, se sumergen los filtros en

trietanolamina y luego de secas se los ubica en el tubo. Para luego analizarlos por cromatografía iónica. La incertidumbre de la medida es del 15%.

3.1.1.2. Método de muestreo para BTX

Los monitores utilizados son del tipo “DRÄGER”, los mismos que consisten en un tubo de vidrio de 15 mm de longitud por 5 mm de diámetro, empacado con carbón activado.

Los hidrocarburos son colectados en carbón activado mediante adsorción y posteriormente extraídos por solventes orgánicos para su posterior cuantificación. La cuantificación se la realiza mediante cromatografía de gases con detector de ionización de llama (FID). La tasa de muestreo es independiente de la duración del muestreo hasta un mes de exposición de los tubos, sin embargo las bajas concentraciones de los hidrocarburos en algunos casos caen dentro del rango no cuantificable. La incertidumbre de la medida es del 20%.

3.2. PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN DE GASES

El Monitoreo Pasivo de SO₂, NO₂ y BTX, se lo puede desarrollar en tres pasos.

- Preparación de Tubos de SO₂, NO₂ y BTX.
- Exposición y Recolección de tubos pasivos.
- Análisis de Tubos Pasivos.

3.2.1. PREPARACIÓN DEL EQUIPO

La preparación de los tubos de SO₂, NO₂ Y BTX, se lo realiza el Laboratorio químico de la Corpaire con el personal técnico de la Red de Monitoreo Pasivo REMPA de la

CORPAIRE, es el encargado de la preparación química de los tubos pasivos, los cuales son refrigerados a temperaturas de (6 - 7 °C), en el laboratorio, hasta su exposición.

Para la instalación de los monitores pasivos se utilizaron brazos metálicos y cobertores o contenedores, diseñados específicamente para este fin.

3.2.2. EXPOSICIÓN Y RECOLECCIÓN DE TUBOS PASIVOS

Los monitores se ubicaron a una altura mínima de dos metros de altura cuidando de que no exista restricción en el flujo normal de aire. Los lugares más indicados para la ubicación fueron terrazas y balcones de casa particulares y de instituciones públicas.

Los tubos pasivos de NO₂, SO₂, Y BTX, fueron debidamente etiquetados y transportados en un recipiente térmico cerrado.

Se dispuso de una hoja de campo, que es el documento concerniente al periodo de muestreo, en el cual consta la fecha, hora, el nombre de la estación, técnico responsable.

3.2.2.1. Exposición De SO₂, NO₂

Para activar el sistema de muestreo, se retira la tapa transparente de cada tubo de SO₂ Y NO₂ y se los sujeta con una cinta doble faz en el interior del contenedor.

3.2.2.2. Exposición De BTX

Para activar el sistema de muestreo, se sacan los tubos del envase y se sujetan horizontalmente con una cinta doble faz en la caja de protección.

3.2.2.3. Recolección De Tubos Pasivos SO₂ Y NO₂ y BTX

Se retira la tapa inferior del contenedor de tubos pasivos ubicados en cada estación, se procede a retirar los tubos de SO₂ Y NO₂ del contenedor, inmediatamente se les coloca las tapas transparentes y se los deposita en una funda Ziploc. Los BTX deben ser colocados de vuelta en el embase de transporte y cerrados herméticamente y guardarlos dentro de la funda.

3.2.2.4. Conservación Y Envío

Se dispone de un blanco por cada mes y para cada contaminante que se muestrea. Cada tubo es etiquetado con el nombre de la estación correspondiente. Son enviados a analizar inmediatamente al Lab. De la CORPAIRE cada mes.

3.2.3. ANÁLISIS EN LABORATORIO DE TUBOS PASIVOS

Los procedimientos para el análisis de los tubos pasivos son técnicas validadas por la CORPAIRE. Los resultados presentados en el distrito metropolitano de Quito muestran la versatilidad y utilidad del monitoreo pasivo para la cuantificación de las concentraciones de contaminantes en las diferentes estaciones de monitoreo.

La determinación de la concentración de los gases SO₂, NO₂, se lo realiza por medio de cromatografía de iones y la concentración de BTX se lo determina mediante cromatografía de gases.

➤ ANÁLISIS DE MUESTRAS SO₂, NO₂

Para el análisis de de los gases contaminantes SO₂ y NO₂, se requiere de un cromatógrafo iónico la que determina aniones y cationes, es una técnica

cromatográfica líquida, basada en un mecanismo de intercambio iónico y una detección conductométrica para la separación y cuantificación de aniones y cationes.

➤ **ANÁLISIS DE MUESTRAS BTX**

El análisis de los BTX, se realiza por medio de cromatografía de gases. Permite que los compuestos orgánicos se pirolizen en llama de hidrogeno/aire, produciendo iones y electrones que conduce la electricidad a través de la llama. La señal depende del número de compuestos que entra por unidad de tiempo. Este detector es sensible a la masa y solo se aplica a compuestos orgánicos como el Benceno, Tolueno, Etilbenceno, Xilenos.

3.3. CÁLCULOS

El movimiento de partículas puede expresarse a través de la ley de Flick. Luego de integrarla y reordenarla, la siguiente ecuación puede utilizarse para calcular la concentración ambiente.

La concentración ambiental se calcula de la siguiente manera

3.3.1. Ecuación Concentración ambiental

$$C_u = \frac{md - mb}{SR \cdot T}$$

Cu: concentración ambiental [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]

md: cantidad absorbida [μg]

mb: blanco [μg]

SR: tasa de muestreo [ml/min]

t: tiempo de exposición [min].

CAPITULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 ANÁLISIS DESCRIPTIVO DE CONTAMINANTES SO₂, NO₂ Y BTX

4.1.1 Análisis Descriptivo de Dióxido de Nitrógeno (NO₂).

El promedio de NO₂ para el periodo monitoreado, para todas las estaciones es de 12,75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Los valores máximos corresponden a sectores como; el Centro de Riobamba, Gatazo, y el norte de Riobamba (R-AME), sectores de alto tráfico vehicular. (Ver Figura 02).

Tabla I. Concentración de Dióxido de Nitrógeno

ESTACIONES	PROMEDIO
	NO ₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
GUANO	10,93
PENIPE	12,45
R_GATAZO-CEM	14,25
R_NORTE-AME	13,67
R-CENTRO	14,65
R_SUR-EMAPAR	10,67
PROMEDIO	12,75

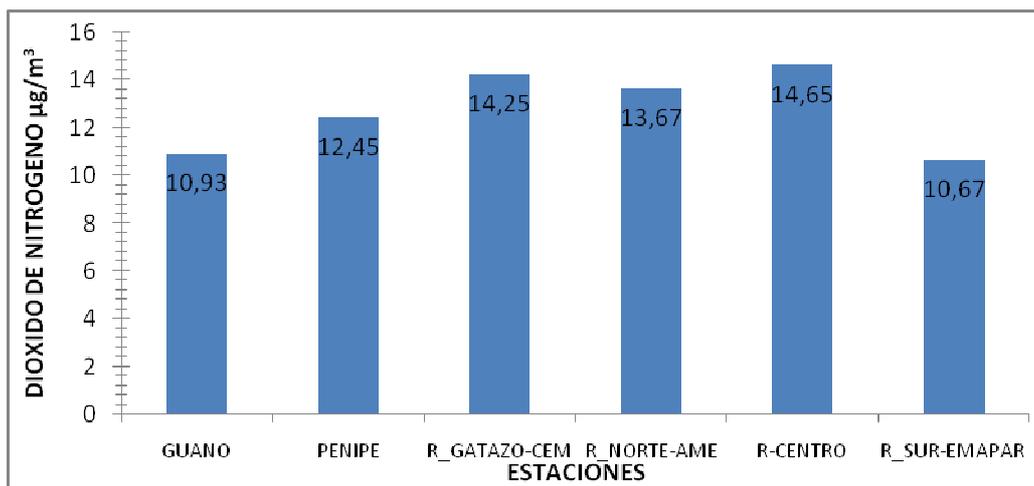


Figura 02. Concentración de Dióxido de Nitrógeno

Los meses que registran un alto nivel de contaminante NO₂ son los meses de Marzo (2008), con una concentración de 23,44 µg/m³ y el mes de Mayo (2009), con una concentración de 20,49 µg/m³.

La concentración de este contaminante registrado en el 2008 es de 11,76 µg/m³. Los datos más altos registrados en el año 2008, se observan en la Estación de Gatazo, R-AME y en la estación del Centro de Riobamba (Ver Figura 03).

Tabla II. Concentración de Dióxido de Nitrógeno 2008

NO ₂	PROMEDIO 2008
	NO ₂ (µg/m ³)
GUANO	9,08
PENIPE	9,89
R_GATAZO-CEM	15,09
R_NORTE-AME	12,94
R-CENTRO	14,28
R_SUR-EMAPAR	9,30
PROMEDIO	11,76

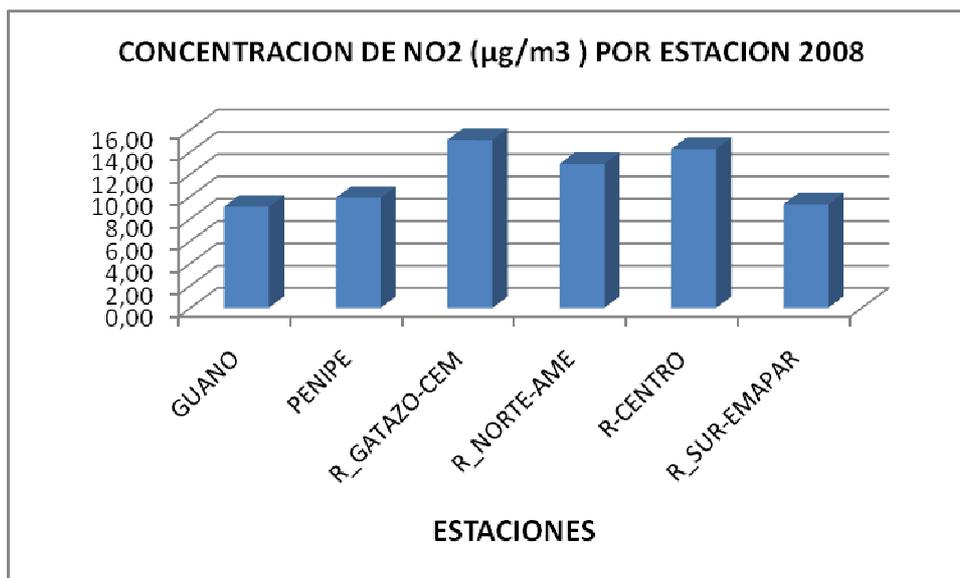


Figura 03. Concentración de Dióxido de Nitrógeno (2008)

4.1.2 Análisis Descriptivo de Dióxido de Azufre (SO₂).

El promedio registrado en el periodo de muestreo para el contaminante SO₂ en todas las estaciones es de (7,18 µg/m³), observándose que los datos máximos corresponden al sector norte de Riobamba y al sector de Guano (Ver figura 04).

Tabla III. Concentración de Dióxido de Azufre

S ₀ ₂	PROMEDIO
	(µg/m ³)
GUANO	7,29
PENIPE	6,64
R_GATAZO-CEM	5,81
R_NORTE-AME	10,78
R-CENTRO	5,83
R_SUR-EMAPAR	6,64
PROMEDIO	7,18

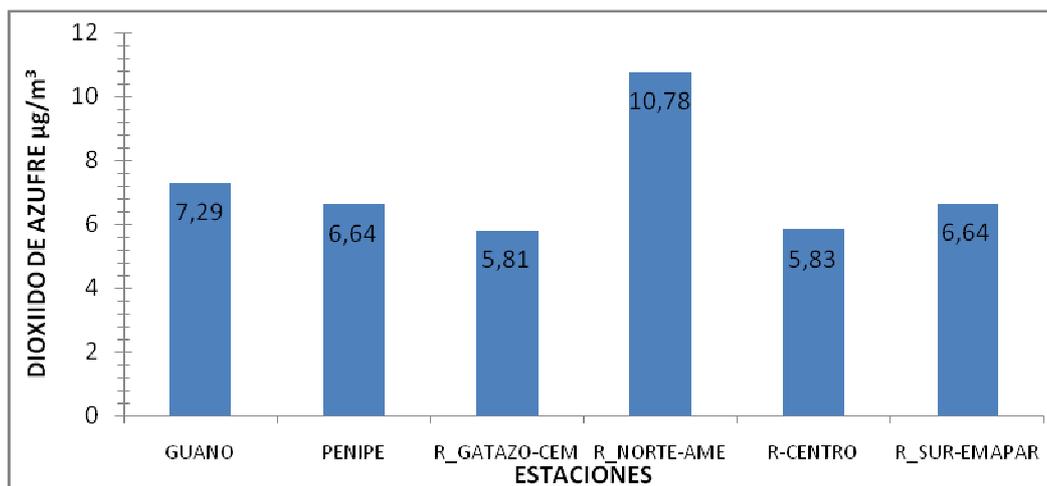


Figura 04. Concentración de Dióxido de Azufre

El sector del Norte de Riobamba registra la concentración más alta en comparación a las demás estaciones., esto podría ser acusa del tráfico vehicular en la zona y además a que esta zona esta influenciada por gases provenientes del Volcán Tungurahua.

Los meses con mayores concentraciones de SO_2 son febrero y mayo del 2008 para los sitio AME ($18 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y Penipe ($17 \mu\text{g}/\text{m}^3$), respectivamente. La elevada concentración de SO_2 en el mes de mayo en Penipe, concuerda con el Resumen Mensual de la Actividad del Tungurahua generado por el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional (IG-EPN), que registra valores altos de SO_2 emitidos por dicho volcán. De igual, según los resultados obtenidos el mes de Julio tiene concentración estadísticamente mayor de SO_2 en todas las estaciones, que concuerda con el Boletín Especial del Volcán Tungurahua No. 16 realizado por el IG-EPN, donde registran caída de ceniza en la ciudad de Guaranda.

De igual manera otro mes que registra altos niveles de SO_2 es Enero, que concuerda con Boletín Especial del Volcán Tungurahua 21, realizado por el IG-EPN, el que manifiesta

que la actividad ha permanecido constante en un nivel considerado como alto, caracterizada principalmente por la emisión casi constante de vapor, gases y ceniza y que han sido transportadas por los vientos principalmente en dirección al Occidente

Tabla IV. Concentración de Dióxido de Azufre 2008

SO ₂	PROMEDIO 2008
	(µg/m ³)
GUANO	6,04
PENIPE	7,27
R_GATAZO-CEM	6,09
R_NORTE-AME	7,93
R-CENTRO	5,95
R_SUR-EMAPAR	6,03
PROMEDIO	6,55

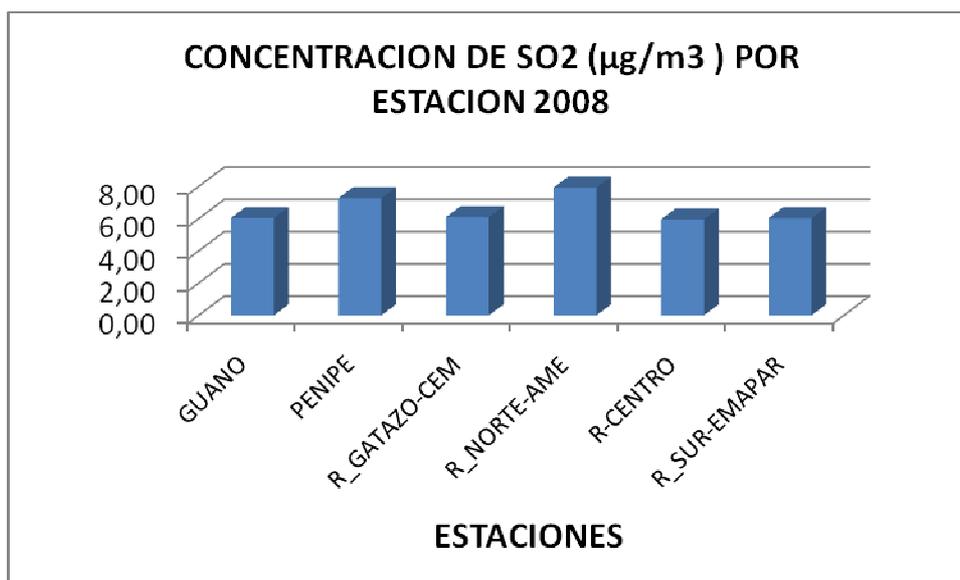


Figura 05. Concentración de Dióxido de Azufre (2008)

El valor promedio de este contaminante en el 2008 en todas las estaciones es de 6,55 µg/m³. La estación que registra el mayor nivel de SO₂ es R-AME con un promedio de 7,93 µg/m³, para el 2008.

4.1.3 Análisis Descriptivo de Benceno, Tolueno y Xilenos (BTX).

El promedio de Benceno para el periodo monitoreado, para todas las estaciones es de $7,93 \mu\text{g}/\text{m}^3$. La mayor concentración se registra en el sector de Guano con un promedio de $10,76 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Ver Figura 06). La concentración más alta corresponde a un sector que es afectado directamente por gases y ceniza proveniente del Volcán Tungurahua.

Tabla V. Concentración de Benceno

BENCENO	PROMEDIO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
GATAZO	8,34
GUANO	10,76
PENIPE	5,27
R-AME	8,09
R-CENTRO	6,41
R-EMAPAR	8,93
PROMEDIO	7,93

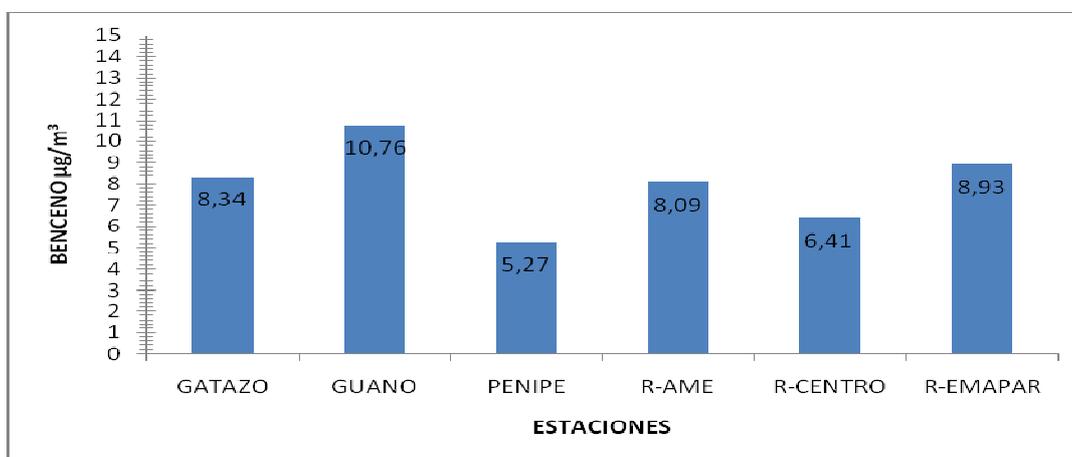


Figura 06. Concentración de Benceno

El mes que registra un alto nivel de este contaminante es el mes de Mayo (2008), con una concentración de $20,44 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

El valor promedio de este contaminante en el 2008 en todas las estaciones es de $7,34 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Tabla VI. Concentración de Tolueno

TOLUENO	PROMEDIO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
PENIPE	9,21
GATAZO	11,14
GUANO	11,60
R-CENTRO	12,77
R-AME	15,54
R-EMAPAR	11,51
PROMEDIO	12,01

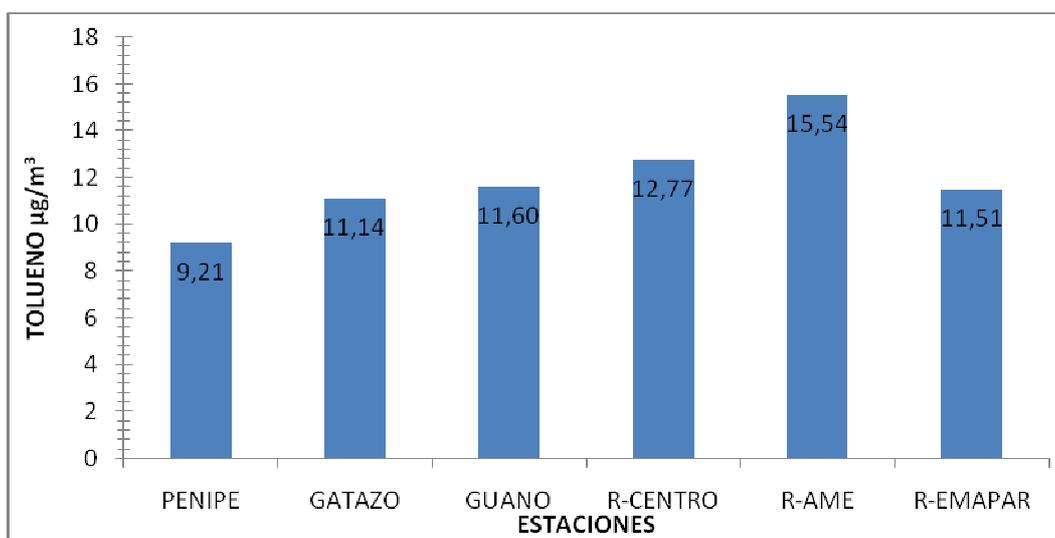


Figura 07. Concentración de Tolueno

El promedio de Tolueno para el periodo monitoreado, para todas las estaciones es de $12,01 \mu\text{g}/\text{m}^3$. La mayor concentración se registra en el sector de R- AME, al Norte de Riobamba. (Ver Figura 07). La concentración más alta corresponde a un sector de alto tráfico vehicular.

El valor promedio de este contaminante en el 2008 en todas las estaciones es de $11,61 \mu\text{g}/\text{m}^3$. La estación que registra el mayor nivel es R-AME con un promedio de $14,80 \mu\text{g}/\text{m}^3$, para el 2008.

Tabla VII. Concentración de Xilenos

XILENOS	PROMEDIO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
GATAZO	0,85
GUANO	1,52
PENIPE	1,82
R-AME	0,88
R-CENTRO	1,91
R-EMAPAR	1,24
PROMEDIO	1,35

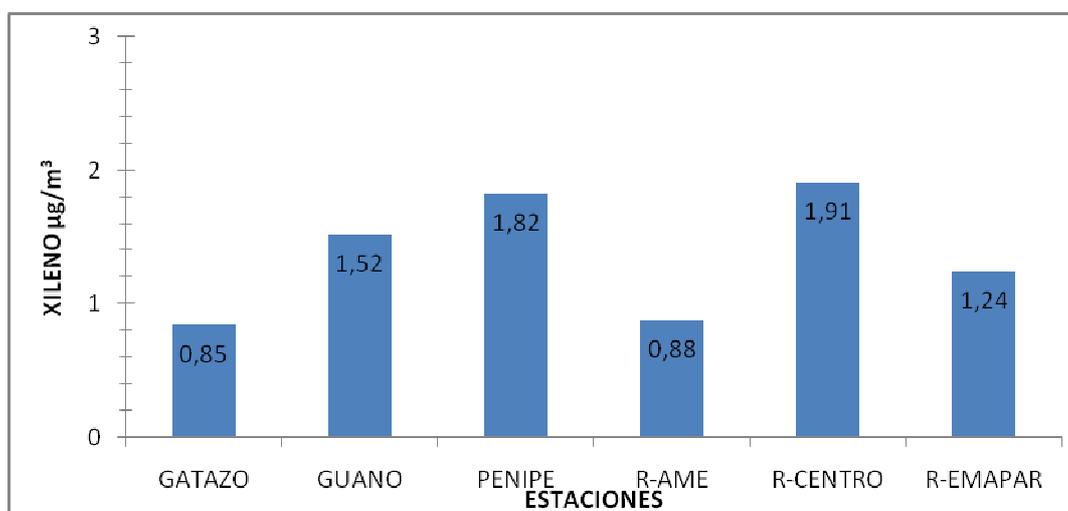


Figura 08. Concentración de Xilenos

El promedio de Xilenos para el periodo monitoreado, para todas las estaciones es de $1,35 \mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente. La concentración más alta de Xileno se registra en el Centro de Riobamba.

El valor promedio de este contaminante en el 2008 en todas las estaciones para Xilenos es de ($0,54 \mu\text{g}/\text{m}^3$), la estación que registra el mayor nivel para los dos contaminantes es el Centro con un promedio de $0,87 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

4.2 COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE MONITOREO PASIVO CON NORMAS Y GUÍAS NACIONALES E INTERNACIONALES.

Tabla VIII. Monitoreo Pasivo de NO₂ Vs Normas y Guías Nacionales e Internacionales

CÓDIGO ESTACIÓN	PROMEDIO (µg/m ³)	NORMA ECUATORIANA DE CALIDAD DEL AIRE (µg/m ³)	GUÍA PARA LA CALIDAD DEL AIRE OMS (µg/m ³)	EXCEDE EL LIMITE
GUANO	10,93	100	40	NO
PENIPE	12,45	100	40	NO
R_GATAZO-CEM	14,25	100	40	NO
R_NORTE-AME	13,67	100	40	NO
R-CENTRO	14,65	100	40	NO
R_SUR-EMAPAR	10,67	100	40	NO
PROMEDIO	12,75	100	40	NO

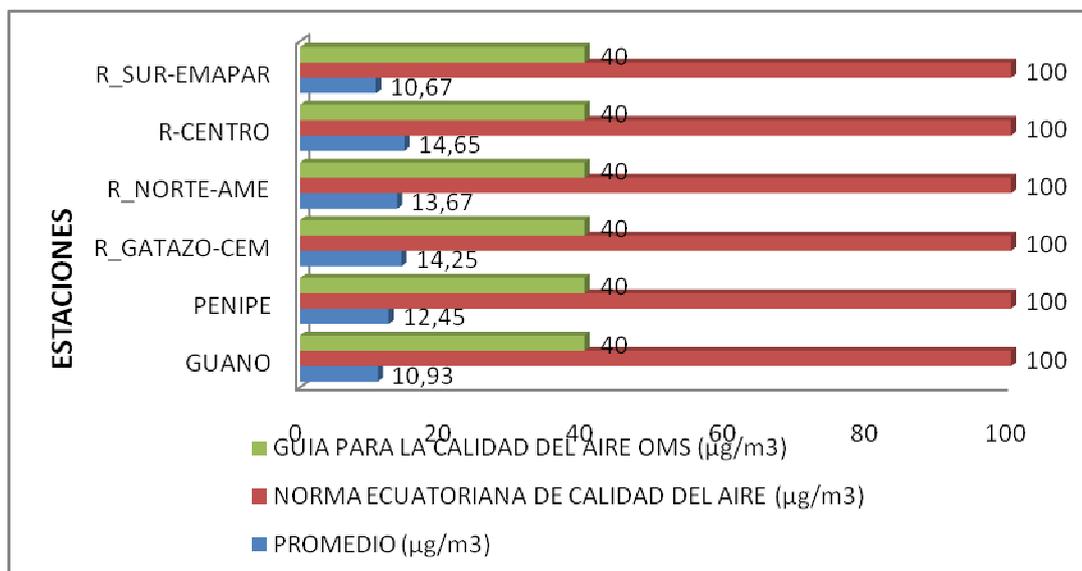


Figura 09. Concentración de NO₂ Vs Normas y Guías Nacionales e Internacionales

Tabla IX. Monitoreo Pasivo de SO₂ Vs Normas y Guías Nacionales e Internacionales

CÓDIGO ESTACIÓN	PROMEDIO (µg/m ³)	NORMA ECUATORIANA DE CALIDAD DEL AIRE (µg/m ³)	GUÍA PARA LA CALIDAD DEL AIRE OMS (µg/m ³)	EXCEDE EL LIMITE
GUANO	7,29	80	50	NO
PENIPE	6,64	80	50	NO
R_GATAZO-CEM	5,81	80	50	NO
R_NORTE-AME	10,78	80	50	NO
R-CENTRO	5,83	80	50	NO
R_SUR-EMAPAR	6,64	80	50	NO
PROMEDIO	7,18	80	50	NO

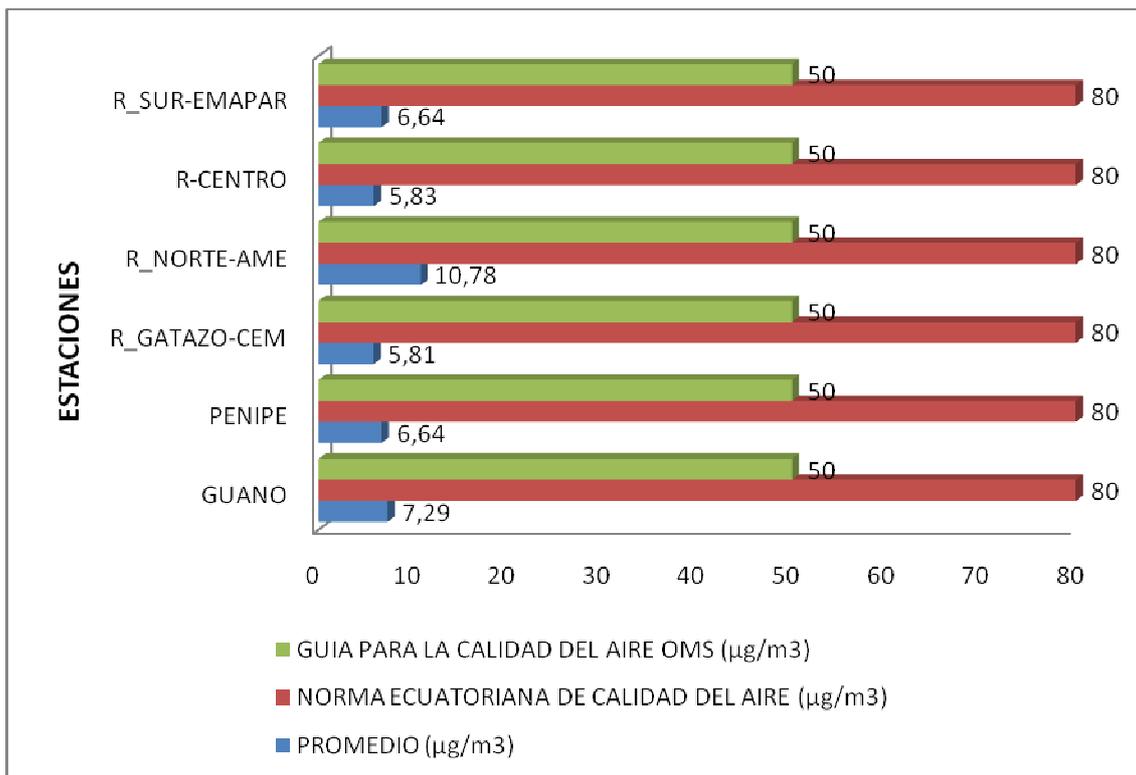


Figura 10 .Concentración de SO₂ Vs Normas y Guías Nacionales e Internacionales

De los resultados obtenidos ninguno de los sectores monitoreados superan la Norma Ecuatoriana De Calidad del Aire y las Guías para la Calidad del Aire (OMS), para los contaminantes SO₂ y NO₂.

Tabla X. Monitoreo Pasivo de Benceno Vs Norma Europea y Norma del Estado de California.

CÓDIGO ESTACIÓN	PROMEDIO (µg/m ³)	NORMA EUROPEA (µg/m ³)	NORMA ESTADO DE CALIFORNIA (µg/m ³)	EXCEDE EL LIMITE DE LA NORMA EUROPEA	EXCEDE EL LIMITE DE LA NORMA CALIFORNIA
GATAZO	8,34	7	14,6	SI	NO
GUANO	10,76	7	14,6	SI	NO
PENIPE	5,27	7	14,6	NO	NO
R-AME	8,09	7	14,6	SI	NO
R-CENTRO	6,41	7	14,6	NO	NO
R-EMAPAR	8,93	7	14,6	SI	NO
Total General	7,93	7	14,6	SI	NO

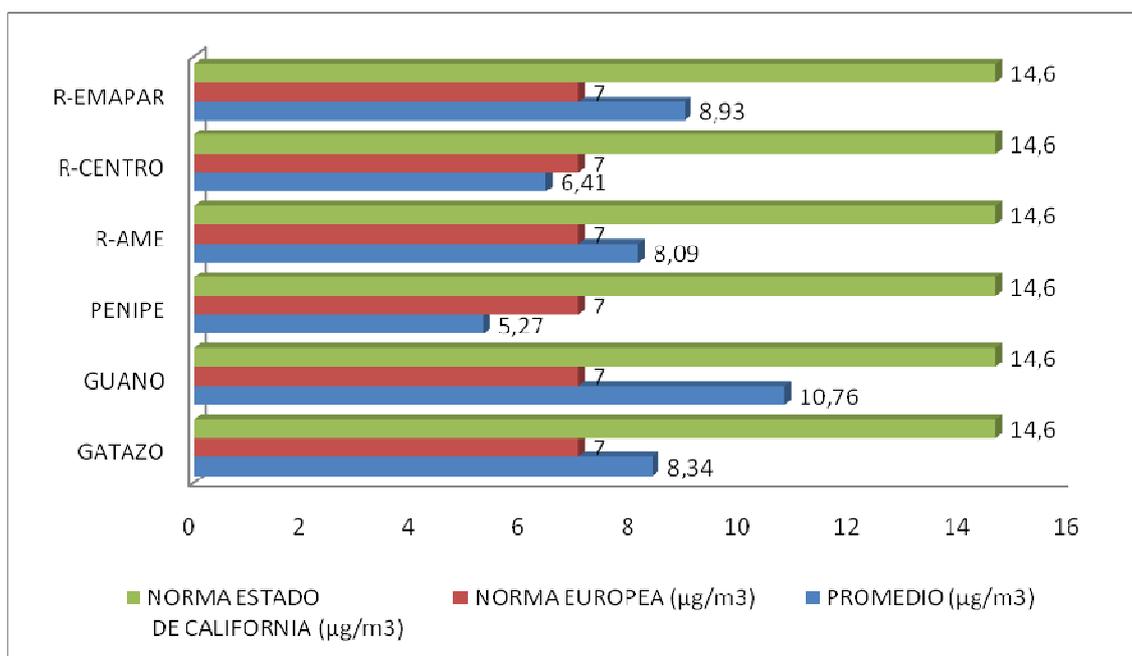


Figura 11 .Concentración de Benceno Vs Norma Europea y Norma del Estado de California.

Como se puede observar resultados obtenidos de Benceno en los sectores del Centro Riobamba, R-ME, Guano y Gatazo se supera la Norma Europea.

A la fecha no existen normas oficiales que regulen las concentraciones ambientales de Benceno, Tolueno y Xilenos a fin de reducir la exposición de los habitantes en espacios abiertos.

Estos contaminantes han comenzado a ser estudiados recientemente, por ello, no existe información tan amplia como para los contaminantes tradicionales en cuanto a fuentes de emisión, niveles en el ambiente e impacto en la salud.

Se toma como referencia los niveles del contaminante por encima de los cuales se han observado efectos en la salud, el factor de incertidumbre calculado por consenso científico y los valores guía para los diferentes tiempos promedio de exposición. Se toma como referencia valores experimentales para el caso del Tolueno, de 260 mg/m³ para un tiempo de exposición de una semana, para el caso del Xileno se toma como referencia el valor de 870 mg/m³ para un tiempo de exposición de 1 año.

Tabla XI. Concentración de Tolueno

CÓDIGO ESTACIÓN	PROMEDIO (µg/m³)	VALOR GUÍA O CONCENTRACIÓN TOLERABLE (mg/m³)	AFECTA LA SALUD
PENIPE	9,21	260	NO
GATAZO	11,14	260	NO
GUANO	11,60	260	NO
R-CENTRO	12,77	260	NO
R-AME	15,54	260	NO
R-EMAPAR	11,51	260	NO
PROMEDIO	12,01	260	NO

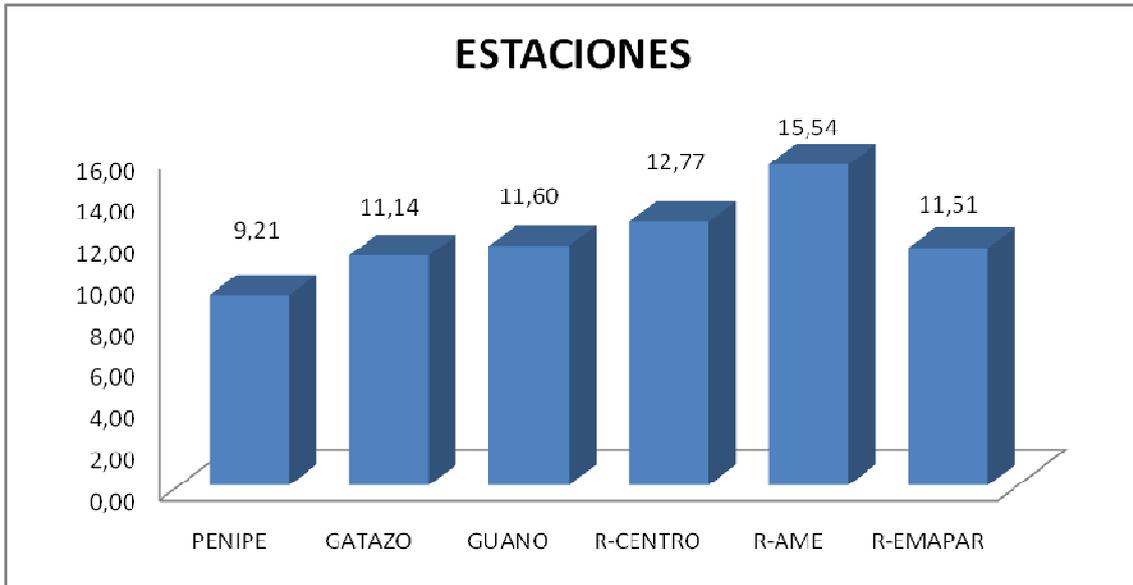


Figura 12 .Concentración de Tolueno

Tabla XII. Concentración de Xileno

CÓDIGO ESTACIÓN	PROMEDIO (µg/m³)	CONCENTRACIÓN PROMEDIO EN EL AIRE AMBIENTAL (mg/m³)	AFECTA LA SALUD
GATAZO	0,85	870	NO
GUANO	1,52	870	NO
PENIPE	1,82	870	NO
R-AME	0,88	870	NO
R-CENTRO	1,91	870	NO
R-EMAPAR	1,24	870	NO
PROMEDIO	1,35	870	NO

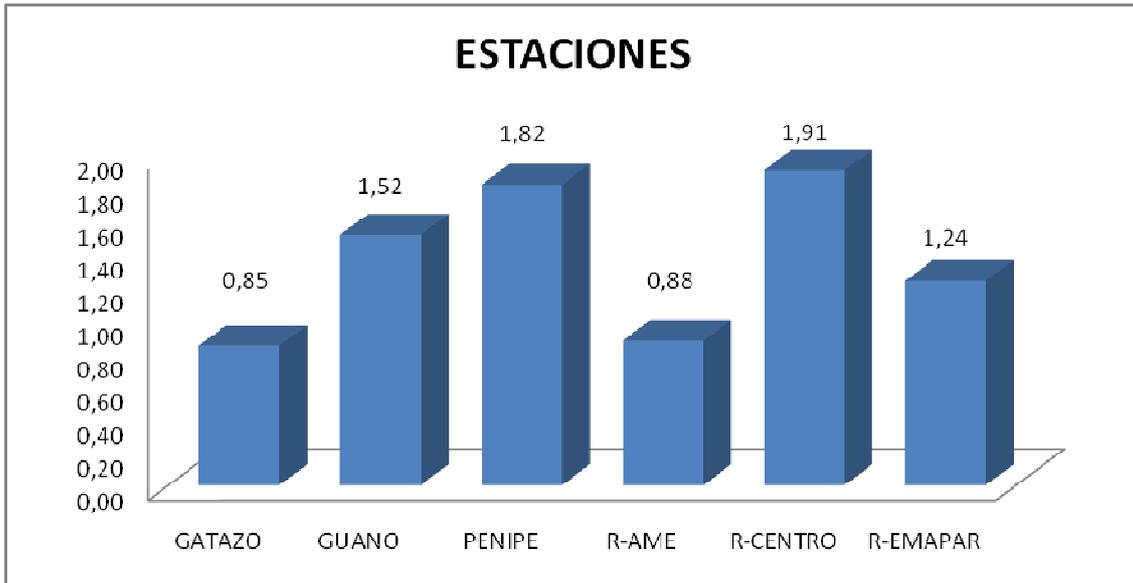


Figura 13. Concentración de Xileno

Debido a que la OMS no recomienda un valor seguro de exposición para los contaminantes Tolueno y Xilenos; en todas las estaciones no se estaría incumpliendo ésta guía mundial para la protección de la salud pública.

4.3 ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES DE DIÓXIDO DE AZUFRE Y DIÓXIDO DE NITRÓGENO.

Se realizó un análisis de componentes principales por estación para los contaminantes material sedimentable (PMS), dióxido de nitrógeno (NO₂), dióxido de azufre (SO₂), y PM₁₀ para ubicar las posibles fuentes de dichos contaminantes por sector, de manera de identificar los contaminantes que deben ser abatidos y los niveles en los que se requieren la intervención, para así poder diseñar un plan acorde con ellos.

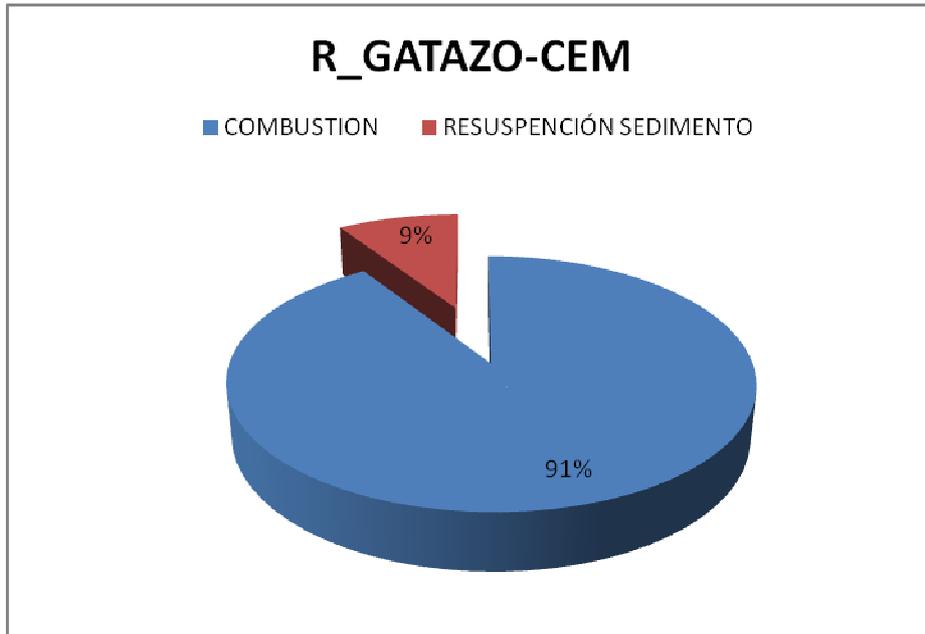


Figura 14. Componentes Principales del Sector Gatazo

Para el sector de Gatazo, según el análisis realizado las fuentes de NO_2 y SO_2 , son las mismas y diferentes de la fuente de sedimentables. Esto nos permite afirmar que la contaminación del sector de Gatazo proviene principalmente de la combustión de fuentes móviles, las concentraciones de NO_2 y SO_2 nos indican que es una zona de alto tráfico vehicular.

El promedio de las concentraciones de NO_2 , SO_2 se encuentran muy por debajo de la norma anual para cada uno de los contaminantes.

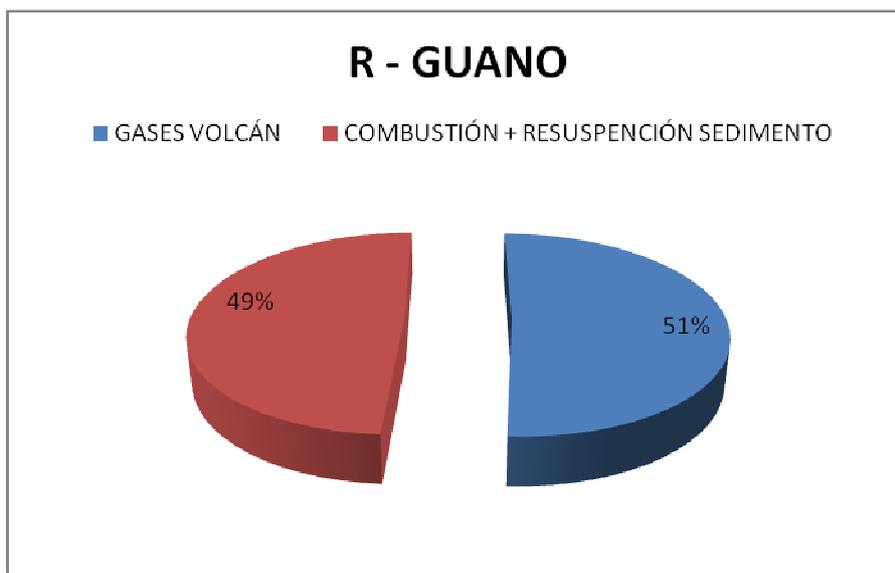


Figura 15. Componentes Principales del Sector Guano

Para el sector de Guano, el análisis nos muestra que las fuentes de NO_2 y SO_2 provienen de distintas fuentes. La fuente principal de SO_2 son las emisiones de gases del Volcán. Adicionalmente las concentraciones observadas de NO_2 , y la gran cantidad de material particulado sedimentable permite afirmar que la contaminación del sector de Guano proviene en un 49% de la combustión y resuspensión de sedimentos a causa del paso de vehículos, pero principalmente el sector se ve afectado por gases del Volcán Tungurahua. El promedio de las concentraciones de NO_2 y SO_2 se encuentran muy por debajo de la norma anual para cada uno de los dos contaminantes.

El promedio de las concentraciones de NO_2 y SO_2 se encuentran muy por debajo de la norma anual para cada uno de los dos contaminantes.

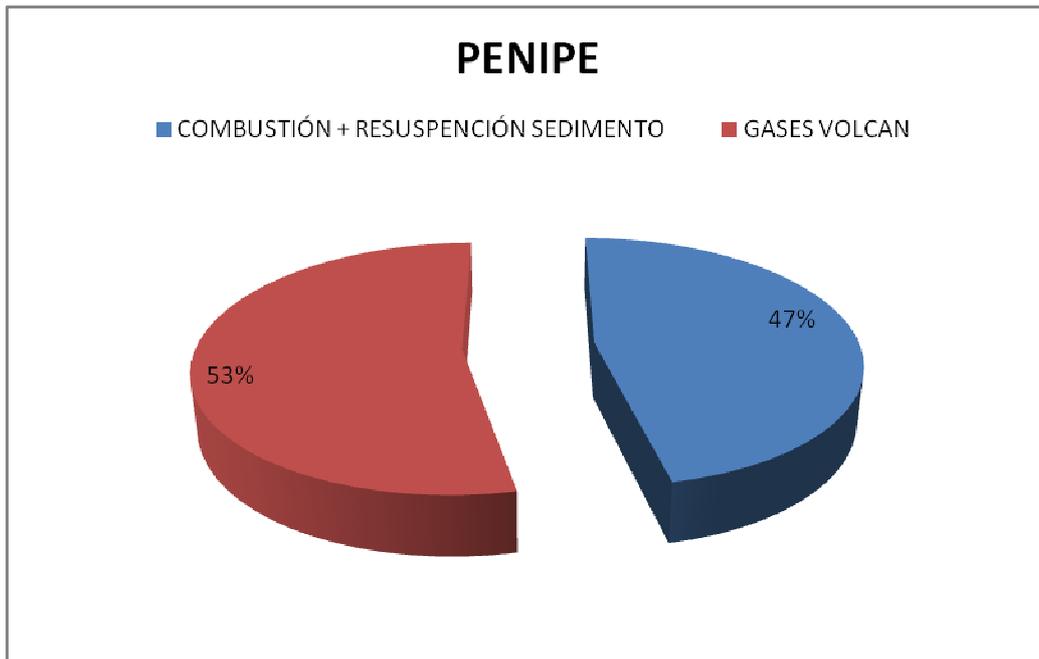


Figura 16. Componentes Principales del Sector Penipe

Para el sector de Penipe, las fuentes de NO_2 y SO_2 provienen de distintas fuentes. Adicionalmente se observa que la fuente emisora de SO_2 es la responsable del material particulado. Esto nos permite afirmar que la contaminación de SO_2 del sector se debe principalmente a las emisiones de gases y ceniza provenientes del volcán Tungurahua. Sin embargo, el promedio de las concentraciones de NO_2 y SO_2 se encuentran muy por debajo de la norma anual para cada uno de los dos contaminantes.

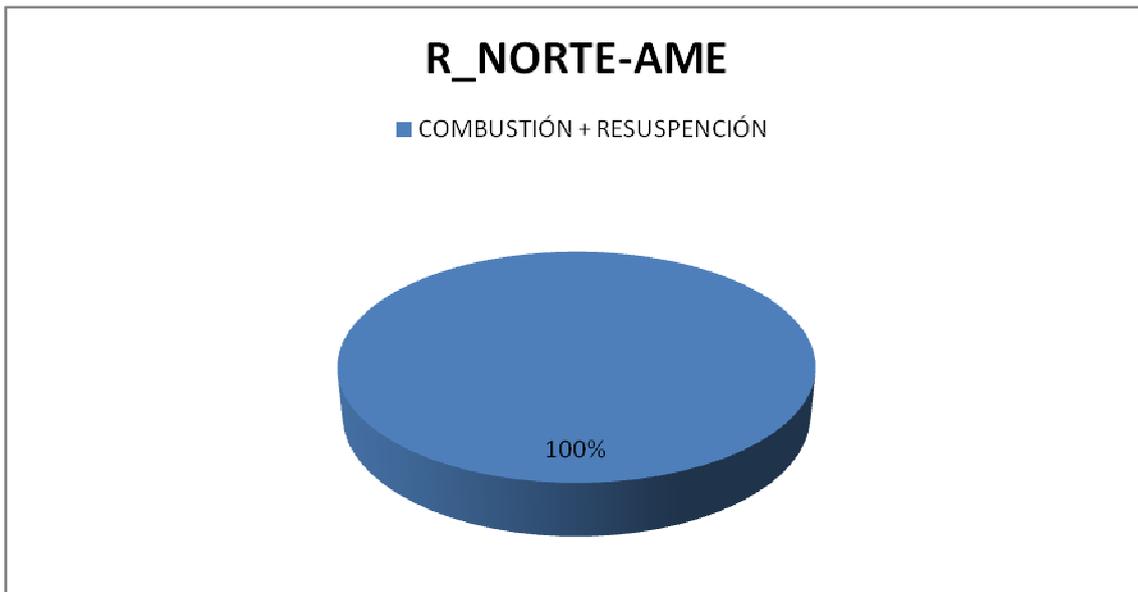


Figura 17. Componentes Principales del Sector R- AME

Para el sector de AME, la contaminación de SO_2 es causada por fuentes de combustión. Las concentraciones de NO_2 nos indican que es una zona donde existe alto tráfico vehicular y con velocidades elevadas, lo que provocaría la resuspensión del material particulado, esto nos permite afirmar que la contaminación en este sector es a causa del Tráfico Vehicular.

El promedio de las concentraciones de NO_2 y SO_2 se encuentran muy por debajo de la norma anual para cada uno de los dos contaminantes.

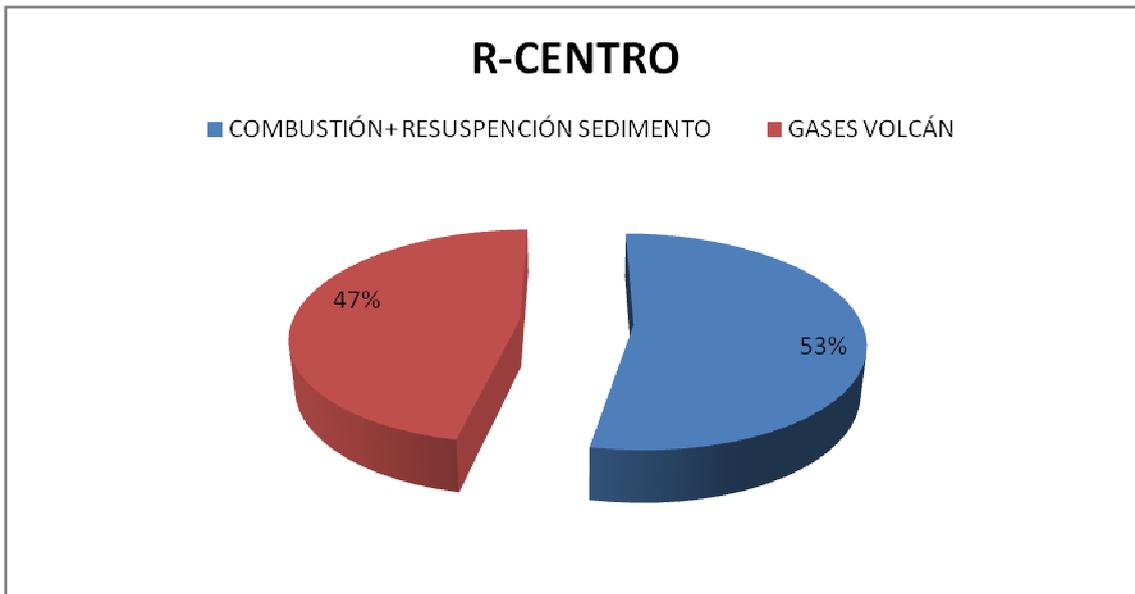


Figura 18. Componentes Principales del Sector R- CENTRO

Para el centro el análisis nos muestra que la concentración de SO_2 y NO_2 provienen de distinta fuente, se observa que el NO_2 y los sedimentos están relacionados lo que permite afirmar que la contaminación en este sector se debe principalmente al tránsito vehicular causante de la resuspensión del sedimento. Esto nos permite concluir que las emisiones de gases en este sector provienen en un 53% de fuentes de combustión, Adicionalmente, el sector se ve afectado por fases del Volcán. Sin embargo, no se supera las normas.

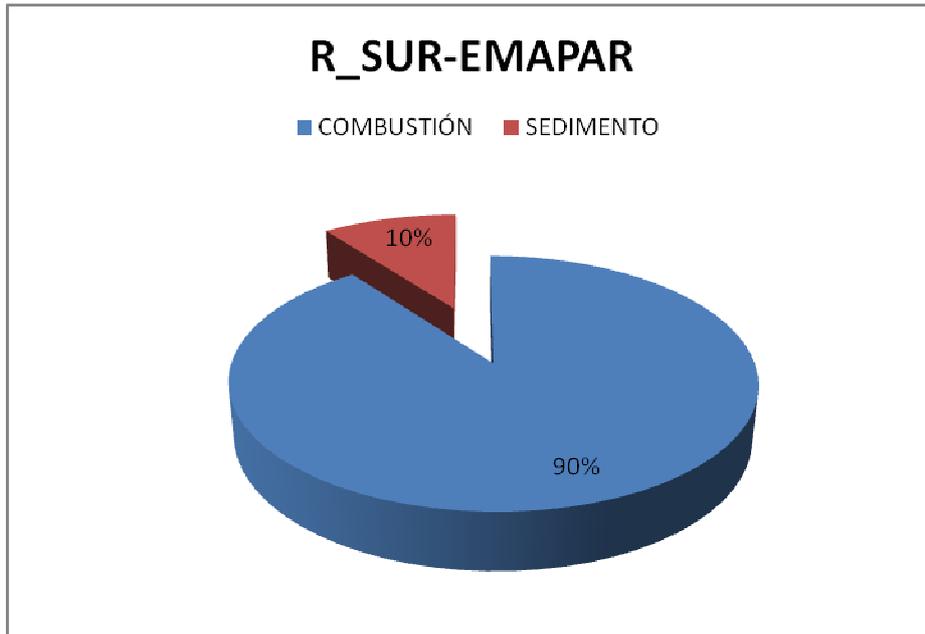


Figura 19. Componentes Principales del Sector R- EMAPAR

Para el sector de EMAPAR, las emisiones de gases provienen de las mismas fuentes, existe una fuente adicional de SO_2 en el sector que no es el Tungurahua. Esta fuente adicional de gases de azufre podrían ser los vehículos a diesel que circulan por el sector o motores generadores utilizados en el Hospital del Policlínico o por fuentes puntuales de contaminación, que podrían ser gases procedentes del parque industrial y por gases procedentes de la combustión de motores de vehículos. El promedio de las concentraciones de NO_2 y SO_2 se encuentran muy por debajo de la norma anual para cada uno de los dos contaminantes.

CAPITULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

1. Los resultados presentados muestran la versatilidad y utilidad del monitoreo pasivo para la cuantificación de las concentraciones de contaminantes en este caso, Dióxido de Nitrógeno, Dióxido de Azufre, Benceno, Tolueno, Etilbenceno y Xilenos en las diferentes estaciones de monitoreo. Además de su bajo costo de implementación lo convierte en un método apropiado para ser utilizado.
2. De los datos obtenidos en la cuantificación del contaminante Dióxido de Nitrógeno, se puede observar que los datos más altos corresponden a sectores de alto tráfico vehicular, debido a las emisiones de los vehículos. Los valores máximos corresponden a sectores como R- Gatazo, R-AME y R- Centro. La estación con mayor concentración es R-Centro ($14,65 \mu\text{g}/\text{m}^3$) zona de alto tráfico vehicular.
3. Los sectores como R- Guano, R- Penipe y R- AME, presentan los valores máximos del contaminante SO_2 . La estación con mayores concentraciones es R-AME ($10,78 \mu\text{g}/\text{m}^3$) zona de alto tráfico vehicular.

4. Las concentraciones de los gases SO_2 y NO_2 en todas las estaciones establecidas para el estudio no superan los límites establecidos tanto en la Norma Ecuatoriana de Calidad del Aire como de las Guías de Calidad del Aire Ambiente de la OMS.

5. El nivel de concentración promedio de Benceno supera la Norma Europea Anual de Calidad del Aire de $7\mu\text{g}/\text{m}^3$, Sin embargo, no se supera en ninguna de las estaciones la norma anual del estado de California-Estados Unidos. La OMS no recomienda un valor seguro de exposición para éste contaminante al igual para los contaminantes Tolueno y Xilenos; por lo tanto, en las seis zonas de monitoreo no se está incumpliendo ésta guía mundial para la protección de la salud.

6. Las concentraciones para los contaminantes dióxido de azufre y dióxido de nitrógeno, registradas son del 39% y 38%, y para Benceno, Tolueno, y Xileno del, 54%, 52% 27% de las encontradas en el Distrito Metropolitano de Quito referente al mismo período de estudio a pesar de que Riobamba es una ciudad con un parque automotor, densidad poblacional y actividad industrial inferior que la ciudad de Quito.

5.2. RECOMENDACIONES

- Debido a la importancia que tiene la salud de los ciudadanos, la actividad volcánica a la que esta expuesta la población y por que la normativa ambiental exige mantener el monitoreo del aire de todas las ciudades del país, es ineludible que se continúe con los estudios y análisis de contaminación atmosférica de Riobamba, para poder así evaluar la calidad del mismo y para de prevenir potenciales peligros para con la salud de sus habitantes a causa de la exposición a los contaminantes atmosféricos.
- En vista a los valores de concentración recopilados en el estudio se ha podido constatar un alto índice de Benceno como contaminante el mismo que supera la norma Europea, para la cual se cree necesario efectuar el muestreo de ozono (O_3), en vista que Benceno es uno de los precursores para la formación de este contaminante en la atmosfera.
- De acuerdo a los resultados obtenidos del monitoreo de material particulado sedimentable en el Sector Ecu cerámica que presenta violación según la Norma se recomienda ubicar una estación de monitoreo pasivo para SO_2 , NO_2 , BTX, O_3 , en este sector.
- Los Resultados recabados según el análisis de concentración de gases NO_2 , SO_2 y BTEX, proponen la importancia de Implementar una Estación Automática para registrar los niveles de contaminantes incluidos en los estándares

nacionales de calidad ambiental del Aire. De tal modo que estos sean cuantificados en forma continúa.

- La Instalación de un Estación Meteorológica, que permita estudiar el comportamiento local del viento, radiación solar, temperatura, humedad y precipitación que son parámetros fundamentales a la hora de discernir el fenómeno de la contaminación en la Ciudad de Riobamba.
- En la atmósfera se produce reacciones químicas de, óxidos de nitrógeno, dióxido de azufre y compuestos orgánicos reaccionan con ozono y otras moléculas reactivas para formar nitratos, sulfatos y otras partículas, las cuales constituyen fracciones superiores al 50% de PM, por lo que se recomienda la Instalación del Equipo registrador de PM_{2,5} para que trabaje conjuntamente con el Equipo ya instalado de PM₁₀ en el Centro de Riobamba.
- De acuerdo a los resultados registrados se debe tomar medidas que regulen y controlen la emisión de gases provenientes de la combustión de motores de vehículos que circulan en la Ciudad. Como por ejemplo un centro de revisión vehicular.
- Lograr consensos donde debe reflejarse un plan de acción integral que permita optimizar los recursos existentes, y garantice, los resultados buscados, de manera que no ocurran escenarios de descoordinación. Con estos antecedentes la formulación de elementos para establecer o fortalecer programas de vigilancia, medidas orientadas a mejorar la calidad del aire y prevenir su deterioro y

medidas destinadas a disminuir el impacto de la contaminación del aire sobre la salud y sociedad se deberán manifestar en la elaboración de un Plan de Manejo de la Calidad del Aire.

RESUMEN

Se analizaron los contaminantes SO₂, NO₂ y BTX, empleando sensores pasivos con el afán de conocer los niveles de contaminación del aire y obtener datos necesarios para la implementación definitiva de una red de monitoreo atmosférico, la cual servirá al Ilustre Municipio de Riobamba para tomar las acciones pertinentes y buscar reducir la contaminación ambiental. Las mediciones se efectuó en el período Febrero 2008 – Abril 2009. Se instalaron seis puntos estratégicos como estaciones en los sectores de (AME) Norte, (La Merced) Centro, (EMAPAR) Sur de la Ciudad de Riobamba, Gatazo, Guano y Penipe, cubriendo el centro de la ciudad, sectores industriales, comerciales, de gran densidad de tráfico y sectores afectados directamente por actividad volcánica del Tungurahua. El Método es experimental y la técnica pasiva de monitoreo de calidad de aire. El registro de concentración de contaminantes fueron analizados cualitativa y cuantitativamente. Registrando una concentración de NO₂ (12,75µg/m³), SO₂ (7,18µg/m³), benceno (7,93µg/m³), tolueno (12,01µg/m³) y xilenos (1,35µg/m³), valores que no superan los límites establecidos en la Norma Ecuatoriana ni en las Guías de Calidad del Aire de la OMS, en el caso de Benceno no supera la norma anual del estado de California – Estados Unidos, pero supera la Norma Europea. El análisis realizado con sensores pasivos, permitió conocer los niveles de concentración de contaminación de SO₂, NO₂ y BTX, valores significativos comparados con los reportados en el Distrito Metropolitano de Quito, a pesar de que Riobamba tiene un parque automotor, densidad poblacional y actividad industrial inferior que Quito, por lo que se recomienda al Ilustre Municipio de Riobamba continúe con estudios y análisis de contaminación atmosférica para prevenir potenciales peligros para la salud de sus habitantes.

SUMMARY

The pollutants SO₂, NO₂, and BTX were analysed using passive sensors with the aim of identifying levels of air pollution and of obtaining the data required for the implementation of an atmospheric monitoring network for use by the illustrious Riobamba Council in taking appropriate action in the search to reduce environmental pollution. Measurements were taken in the period February- April 2009. The sensors were installed in six strategic locations: (AME) in the North, (La Merced) in the Center, and (EMAPAR) in the South of the City of Riobamba, Gatazo, Guano and Penipe, thereby covering the city center, industrial and commercial areas, areas of high-traffic density, and areas directly affected by the volcanic activity of Tungurahua. The method is experimental and the technique is passive monitoring of air quality. The concentration log of pollutants was analysed qualitatively and quantitatively. Concentrations of NO₂ (12.75 µg /m³), SO₂ (7.18 µg /m³), benzene (7.93 µg /m³), toluene (12.01 µg /m³) and xylenes (1.35 µg /m³) were registered, values that do not exceed the limits established by the Ecuadorian Norm nor those of the WHO Air Quality

Guidelines. The concentration of benzene is also with the annual limit laid down by the State of California - United States, but exceeds the European Norm. The analysis produced with the passive sensors revealed levels of pollution concentration for SO₂, NO₂, and BTX that are significantly higher than those reported for the Metropolitan District of Quito, even though Riobamba has a lower number of vehicles, a lower population density and less industrial activity than Quito. It is therefore recommended that the illustrious Riobamba Council continues to support studies and analyse atmospheric pollution for the prevention of potential health dangers to its inhabitants.

BIBLIOGRAFÍA

ESPECIFICA:

- ALLEY E., Roberts. Manual de Control de la Calidad Del Aire. Washington, 2001. 450 p.
- CORPORACIÓN PARA EL MEJORAMIENTO DEL AIRE DE QUITO. Diagnostico de la Calidad del Are En La Provincia De Chimborazo, Cantones Riobamba, Guano y Penipe: Informe técnico, 2008. 12 p.
- CORPORACIÓN PARA EL MEJORAMIENTO DEL AIRE DE QUITO. Aire Puro 2006: Informativo. CORPAIRE, 2006. 45 p.
- CORPORACIÓN PARA EL MEJORAMIENTO DEL AIRE DE QUITO. La Calidad del Aire en Quito: Informe Anual 2007. CORPAIRE, 2008. 53 p.
- CORPORACIÓN PARA EL MEJORAMIENTO DEL AIRE DE QUITO. Curso –Taller de Monitoreo Ambiental de la Calidad del Aire. Quito 3 a 4 Marzo 2008. Memoria. Quito. CORPAIRE, 2008.
- DÍAZ, V. Tubos Pasivos: una alternativa para monitorear la calidad del aire. CORPAIRE, 2006.
- DÍAZ, V. y otros. Distribución Espacial y Temporal de Ozono y Dióxido De Nitrógeno en Quito, Usando Sensores Pasivos. I Congreso Ecuatoriano sobre Gestión de la Calidad del Aire. Memorias. Quito, 2006.
- ECUADOR. Ministerio del Ambiente, CORPAIRE. Curso de Gestión Local de la Calidad del Aire. Quito 27 a 28 Noviembre 2008. Memoria. Quito: CORPAIRE, 2008.
- HANGARTNER M. Muestreo Difusivo Visto como una Alternativa para los

Países en Desarrollo. Swiss Federal Institute of Technology. Congreso Mundial Sobre Contaminación del Aire en Países en Desarrollo. Costa Rica, 1996. 9 p.

- LANG, B. Monitoreo de la Calidad del Aire con Tecnología Pasiva. El Salvador. Centroamérica.
- NEVERS, Noel. Ingeniería de Control de la Contaminación del Aire. s.l.: McGraw-Hill, 1997.
- PÁEZ, C. Gestión de la Calidad Del Aire. Quito: MAE. 2008. 237 p.

GENERAL:

- CORPORACIÓN PARA EL MEJORAMIENTO DEL AIRE DE QUITO. Aire Puro 2007: Informativo. CORPAIRE, 2007. 56 P.
- CORPORACIÓN PARA EL MEJORAMIENTO DEL AIRE DE QUITO. Aire Puro.2008: Informativo. CORPAIRE, 2008. 55 P.
- HENRRY, J., GLYN, Gary, Ingeniería Ambiental, 2 da. ed. s.l.: Prentice Hall. 1999. 250 p.
- SEINFELD, John H., Contaminación Atmosférica: fundamentos físicos y químicos. 1978. (documento).

INTERNET:

- ANÁLISIS Y REVISIÓN DE INFORMACIÓN QUE SUSTENTE LA ELABORACIÓN DE UNA NORMA SOBRE BENCENO, TOLUENO Y XILENOS. México.
<http://www.13906292gov/ttn/atw/hlthef/informefinal.20080908>.
- ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, (S/A). AIR MONITORING. EE-UU. <http://www.epa.gov/region8/air/monitoring/>.
2009031.
- USEPA. Environmental Protection Agency, (s/a). Technology Transfer Network. Air Toxics Web Site Benzene. EE-UU.
<Http://www.epa.gov/ttn/atw/hlthef/benzene.html>.
20080402.
- CONTAMINACIÓN DEL AIRE. Vladimir Mendoza Tabango. QUITO
<http://www.monografias.com/trabajos15/contaminacion-aire/contaminacion.aire.shtml?monosearch>.
20080604
- IMPORTANCIA DE LA COMBINACIÓN DE EQUIPOS ACTIVOS Y PASIVOS DE MONITOREO DE CONTAMINACIÓN.
<http://atmosfercaurbana.http://www.frro.utn.edu.a>
20080605

ANEXOS

**ANEXO 1. REGISTRO FECHA Y HORA DE COLOCACIÓN DE
MUESTREADORES PASIVOS.**

FECHAS Y HORAS DE COLOCACIÓN DE MUESTREADORES PASIVOS PERIODO FEBRERO 2008-MAYO 2009.						
FECHAS	R-EMAPAR	R-AME	R-CENTRO	R-GUANO	R-PENIPE	R-GATAZO
12-Feb	12-feb-08	12-feb-08	12-feb-08	12-feb-08	12-feb-08	12-feb-08
12-Mar	10H40	15H30	10H10	15H00	12H25	12H09
31-Mar	15H05	11H50	14H35	10H00	8H45	11H15
28-Abr	11H35	10h30	10h55	09h15	8h20	10h05
31-May	9h35	10h37	10h05	9h00	8h15	11h00
27-Jun	7H43	14h50	12h40	10h50	14h10	09h30
28-Jul	11H48	10H35	11H12	9H00	8H15	9H58
29-Ago	7H20	10H55	11H15	10H10	9H20	10H35
01-Oct	7H35	10H05	11H20	9H25	8H23	10H35
30-Oct	7H35	9H50	11H15	9H05	8H30	10H15
01-Dic	8H07	10H10	11H20	9H00	9H40	10H40
29-Dic	13H15	11H50	8H45	10H17	11H13	12H22
29-Ene	8H20	13H00	13H25	10H14	11H14	12H25
28-Feb	9H13	12H15	13H20	11H15	10H35	12H40
30-Mar	7H35	10H25	11H15	13H45	12H55	9H50
04-May	7H35	9H30	13H35	12H05	10H45	13H05

ANEXO 2. REGISTRO FECHA Y HORA DE RETIRO DE MUESTREADORES PASIVOS.

FECHAS Y HORAS DE RETIRO DE MUESTREADORES PASIVOS PERIODO FEBRERO 2008-MAYO 2009.						
FECHA	R-EMAPAR	R-AME	R-CENTRO	R-GUANO	R-PENIPE	R-GATAZO
01-Mar	01-mar-08	01-mar-08	01-mar-08	01-mar-08	01-mar-08	01-mar-08
31-Mar	15H00	11H45	14H30	9H53	8H40	11H10
28-Abr	11H30	10H25	10H50	9H10	8H15	10H00
31-May	9H30	10H30	9H55	8H55	8H10	10H55
27-Jun	7H35	14H45	12H30	10H40	14H00	9H25
28-Jul	11H42	10H29	11H07	8H55	8H10	10H03
29-Ago	7H15	10H53	11H05	10H05	9H15	10H30
01-Oct	7H30	10H00	11H15	9H20	8H20	10H30
30-Oct	7H30	9H45	11H45	8H35	10H10	11H05
01-Dic	8H00	10H05	11H15	8H55	9H35	10H35
29-Dic	13H05	11H45	8H35	10H10	11H05	12H15
29-Ene	8H25	12H55	13H30	10H07	11H07	12H15
28-Feb	9H08	12H10	13H15	11H10	10H30	12H35
30-Mar	7H30	10H20	11H10	13H40	12H50	9H45
04-May	7H30	9H35	13H00	12H00	10H40	13H00
29-May	7H30	8H15	8H00	13H15	12H20	10H30

ANEXO 3. RESULTADOS DE MONITOREO PASIVO DE DIÓXIDO DE AZUFRE (SO₂).

ESTACIONES	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	PROMEDIO (µg/m³)
GUANO	5,13	8,13	2,9	4,53	3,9	15,1	7,4	3,7	6	8	1,7	12,6	10	3,5	3,9	20,2	7,29
PENIPE	4,38	9,26	2,7	17,5	4	11,7	5,9	4,2	7,4	9	4	3,25	4,4	3,2	3,9	11,4	6,64
R_GATAZO-CEM	3,01	12	3,3	4,66	6,1	11	3,9	4,4	6,8	9,4	2,5	0,85	7,8		3,6	7,88	5,81
R_NORTE-AME	18	9,64	4,1	5,14	8,6	10,2	8,3	4,2	7	9,5	2,7	63,2	7,6	4,3	5	5,04	10,78
R-CENTRO	4,23	9,17	1,7	4,67	9,9	12,3	4,1	3,2	6,2	7,7	2,4	7,8	5,7	5,4	3,4	5,5	5,83
R_SUR-EMAPAR	5,25	10,7	4,1	5,16	7,9	8,92	5,1	3,6	4,8	8,6	2,2	17	5,7	7,3	4	5,89	6,64
PROMEDIO	6,66	9,82	3,1	6,94	6,7	11,5	5,8	3,9	6,4	8,7	2,6	17,4	6,9	4,7	4	9,33	7,18

ANEXO 4. RESULTADOS DE MONITOREO PASIVO DE DIÓXIDO DE NITRÓGENO (NO2).

ESTACIONES	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	PROMEDIO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
GUANO	9,43	15,50	4,24	0,59	8,26	20,99	10,26	9,71	9,33	5,95	5,62	12,39	12,39	9,50	9,41	31,22	10,93
PENIPE	7,03	8,75	16,22	6,70	8,45	13,95	15,70	12,20	9,75	4,34	5,66	18,15	27,72	10,28	11,21	23,09	12,45
R_GATAZO-CEM	11,00	56,55	3,91	8,49	12,93	15,22	10,10	11,64	27,27	1,48	7,37	6,53	13,23		11,52	16,56	14,25
R_NORTE-AME	20,41	25,70	8,01	14,85	10,16	21,12	9,94	8,24	11,87	4,14	7,84	13,38	12,34	10,34	17,57	22,75	13,67
R-CENTRO	20,23	22,53	3,12	0,34	24,92	16,83	12,90	29,03	8,38	8,20	10,57	10,01	24,44	17,37	10,69	14,77	14,65
R_SUR-EMAPAR	11,78	11,60	7,41	14,89	9,60	11,27	12,58	8,61	7,91	2,24	4,43	12,96	15,65	14,12	11,12	14,54	10,67
PROMEDIO	13,31	23,44	7,15	7,64	12,39	16,56	11,91	13,24	12,42	4,39	6,91	12,24	17,63	12,32	11,92	20,49	12,75

ANEXO 5. RESULTADOS DE MONITOREO PASIVO DE BENCENO.

BENCENO	2	3	5	7	9	10	11	12	1	2	3	4	PROMEDIO (µg/m³)
GATAZO	3,28	0,46		4,32	4,06	4,62	5,09	6,17	19,63		20,61	15,15	8,34
GUANO	4,63		20,34	12,09	11,34	12,90	11,69	13,36	8,20	0,43	8,59	14,81	10,76
PENIPE	1,09	0,28	20,26	5,51	5,15	5,85	5,30	6,07	4,86	3,70	5,08	0,04	5,27
R-AME	4,72	3,23		15,11	1,98	7,77	2,88	9,00	27,99		7,65	0,60	8,09
R-CENTRO	3,77	2,54	20,60	13,56	2,35		14,37	2,31	2,08	2,58	5,76	0,57	6,41
R-EMAPAR	7,12	0,16	20,57	2,97	2,80	4,10	13,33	3,78	13,87	28,17	7,65	2,69	8,93
Total general	4,10	1,34	20,44	8,93	4,61	7,05	8,78	6,78	12,77	8,72	9,22	5,64	7,93

ANEXO 6. RESULTADOS DE MONITOREO PASIVO DE TOLUENO.

TOLUENO	2	3	5	7	9	10	11	12	1	2	3	4	PROMEDIO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
PENIPE			0,85	11,64	10,86	12,35	11,19	12,82	11,60	11,26	8,48	1,07	9,21
GATAZO	1,38	0,03		14,16	13,31	15,14	13,72	15,68	14,20	7,77	25,01	2,13	11,14
GUANO	1,26		0,91	15,11	14,17	16,12	14,60	16,69	15,10	11,55	19,60	2,43	11,60
R-CENTRO	2,85	0,95	1,44	17,80	16,68	19,03	17,24	19,71	17,73	7,84	28,44	3,49	12,77
R-AME	1,37	0,36		20,13	18,82	21,38	19,37	22,14	20,04	6,63	36,10	4,56	15,54
R-EMAPAR	0,60		0,95	14,67	13,85	15,72	14,25	16,30	14,82	14,05	19,07	2,29	11,51
Total general	1,49	0,45	1,04	15,58	14,62	16,62	15,06	17,22	15,58	9,85	22,78	2,66	12,01

ANEXO 7. RESULTADOS DE MONITOREO PASIVO DE ETILBENCENO.

ETILBENCENO	2	3	5	7	9	10	11	12	1	2	3	4	PROMEDIO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
GATAZO	1,16	0,10								3,30	2,97	0,23	1,55
GUANO	1,22	0,13	0,54	0,34	0,32	0,36	0,33	0,38	0,34	1,94	2,76	0,31	0,75
PENIPE	0,57	0,12	0,60							2,77	1,40	0,16	0,94
R-AME	1,25	0,40		0,44	0,41	0,47	0,42	0,48	0,44	1,76	3,02	0,35	0,86
R-CENTRO	1,89	1,00	0,56	0,54	0,51	0,58	0,53	0,60	0,54	3,18	3,20	0,36	1,12
R-EMAPAR	0,40		0,74	0,38	0,36	0,41	0,37	0,42	0,39	2,56	2,92	0,32	0,84
Total general	1,08	0,35	0,61	0,43	0,40	0,46	0,41	0,47	0,43	2,58	2,71	0,29	0,96

ANEXO 8. RESULTADOS DE MONITOREO PASIVO DE XILENOS.

XILENOS	2	3	5	7	9	10	11	12	1	2	3	4	PROMEDIO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
GATAZO	0,65			0,11	0,11	0,12	0,11	0,12	0,11	4,97	1,95	0,21	0,85
GUANO	1,08	0,29	0,69	0,44	0,41	0,47	0,43	0,49	0,44	11,38	1,92	0,21	1,52
PENIPE	1,15	0,13	0,85							7,65	1,04	0,11	1,82
R-AME	0,79	0,07		0,46	0,43	0,49	0,44	0,51	0,46	3,78	2,00	0,21	0,88
R-CENTRO	1,62	0,55	0,91	0,77	0,72	0,82	0,74	0,85	0,77	12,32	2,56	0,27	1,91
R-EMAPAR	0,18	0,21	0,90	0,50	0,48	0,54	0,49	0,56	0,51	8,18	2,10	0,23	1,24
Total general	0,91	0,25	0,84	0,46	0,43	0,49	0,44	0,51	0,46	8,05	1,93	0,21	1,35

ANEXO 9. RESULTADOS DE MONITOREO DE PM10

PM10 CENTRO DE RIOBAMBA												
NORMA 24h			NORMA ANUAL									
Norma Ecuatoriana 24h =			Norma Ecuatoriana anual= 50 µg/m3									
Guía OMS 24h= 50 µg/m3			Guía OMS anual= 20 µg/m3									
PM10, µg/m3	AÑO	MES										
	2008				Total 2008	2009						Total 2009
DIA	9	10	11	12		1	2	3	4	5	6	
1							5,31				49,45	27,38
2						16,57		22,14	81,33	52,55		43,15
3			27,70	42,40	35,05							
4		71,18			71,18							
7							50,31				11,88	31,10
8						18,27			36,73	54,24		36,41
9			48,03	37,75	42,89			86,17				86,17
10	31,68	30,31			30,99							
13							25,40				16,55	20,97
14						15,88			3,88	30,03		16,60
15			73,64	32,94	53,29							
16	38,00	37,90			37,95							
18				44,45	44,45							
19							54,68					54,68
20						38,46			39,21	31,09		36,26
21			36,39	36,09	36,24			32,98				32,98
22	24,74	34,57			29,66							
25							82,69					82,69
26						29,11	72,24		22,00	35,39		39,68
27			45,69	32,04	38,86			38,11				38,11
28	38,57	30,72			34,65							
PROMEDIO	33,25	40,94	46,29	37,61	39,74	23,66	48,44	44,85	36,63	40,66	25,96	37,59

ANEXO 10. HOJA DE CAMPO PARA MUESTREO PASIVO



HOJA DE CAMPO DE MUESTREADORES PASIVOS

ÁREA DE RESPONSABILIDAD CORPAIRE TELÉFONO 2253271 EXT. 305

ESTACIÓN: _____

FECHA DE INSTALACIÓN	HORA DE INSTALACIÓN	FECHA DE RETIRO	HORA DE RETIRO	OBSERVACIONES
___/___/___	____: ____	___/___/___	____: ____	

COLOCACIÓN:

1. Retire la tapa superior del contenedor de tubos pasivos ubicados en cada estación.
2. Retirar la tapa de cada tubo y guardarlas en cada funda.
3. Colocar los tubos dentro del contendor.

RETIRO:

1. Retire la tapa superior del contenedor de tubos pasivos ubicados en cada estación
2. Retire los tubos y coloque inmediatamente las tapas transparentes en cada uno de ellos.
3. Guárdelos dentro de la funda.

TÉCNICO RESPONSABLE: _____

ANEXO 11. MATERIALES DE CAMPO



Contenedor de Tubos Pasivos



Tubo de BTX



Tubos de SO₂, NO₂ Y BTX



Equipo de Monitoreo Pasivo

ANEXO 12. SITIOS DE MONITOREO PASIVO

ESTACIÓN R-AME (Norte de la ciudad).

Edificio de la Asociación de Municipalidades del Ecuatorianas Regional 3-Riobamba, terraza del Edificio. Avda. Canónigo Ramos y Avda. Saind Amand Montroe.

Ubicación Geográfica: 17-759711E; 9816958 N;

Altura: 2822 msnm.

Tipo de estación: de Exposición de la población en área densamente poblada, alto tráfico vehicular.

Condiciones del sitio: fácil acceso, infraestructura, protección contra vandalismo...

Parámetros que se miden: NO₂, SO₂, BTX,

Otros: Material Particulado Sedimentable.





ESTACIÓN R-CENTRO (Centro de la ciudad).

Edificio del Mercado Mariano Borja, (La Merced). Centro de Riobamba, terraza del Mercado Mariano Borja (La Merced) Calles; Guayaquil entre Eugenio Espejo-Cristóbal Colon.

Ubicación Geográfica: 17-761710 E; 9815217 N;

Altura: 2784 msnm.

Tipo de estación: de Exposición de la población en área densamente poblada, actividad comercial, tráfico vehicular.

Condiciones del sitio: fácil acceso, infraestructura, protección contra vandalismo.

Parámetros que se miden: NO₂, SO₂, BTX,

Otros: Material Particulado Sedimentable, PM₁₀ (alto volumen).



ESTACIÓN R-EMAPAR (Sur de la ciudad).

Edificio de la Empresa de Agua Potable y Alcantarillado. Sur de Riobamba, terraza de la Empresa De Agua Potable y Alcantarillado (EMAPAR); Avda. Juan Félix Proaño y Londres.

Ubicación Geográfica: 17-762511 E; 9814100 N;

Altura: 2776 msnm.

Tipo de estación: de Exposición de la población en área densamente poblada, alto tráfico vehicular.

Condiciones del sitio: fácil acceso, infraestructura, protección contra vandalismo.

Parámetros que se miden: NO₂, SO₂, BTX,

Otros: Material Particulado Sedimentable.



ESTACIÓN R- Gatazo

Gatazo Elena Zambrano, (Espacio Rural). Cantón Colta, terraza, Escuela Comunitaria;
Avda. Panamericana Sur

Ubicación Geográfica: 17-749611 E; 9814587 N;

Altura: 3146 msnm

Tipo de estación: de alto tráfico vehicular.

Condiciones del sitio: fácil acceso, infraestructura, protección contra vandalismo, zona influenciada por una fuente puntual de Combustión.

Parámetros que se miden: NO₂, SO₂, BTX,

Otros: Material Particulado Sedimentable.



ESTACIÓN R-GUANO

Cantón Guano, al Noreste de Riobamba. Terraza casa particular, centro de Guano,
Calles. Colon y García Moreno

Ubicación Geográfica: 17-762285 E; 9822634 N;

Altura: 2660 msnm.

Tipo de estación: Zona de influencia del Volcán Tungurahua.

Condiciones del sitio: fácil acceso, infraestructura, protección contra vandalismo.

Sector influenciado por el Volcán Tungurahua.

Parámetros que se miden: NO₂, SO₂, BTX,

Otros: Material Particulado Sedimentable.



ESTACIÓN R-PENIPE

Cantón Penipe, (sur este de Riobamba). Terraza, casa particular, centro de Penipe; Calles. Amazonas y Mons. S. Haro.

Ubicación Geográfica: 17-774932 E; 9827050 N;

Altura: 2483 msnm.

Tipo de estación: de influencia por Erupción del Volcán Tungurahua.

Condiciones del sitio: fácil acceso, infraestructura, protección contra vandalismo, zona influenciada por emisiones del Volcán Tungurahua.

Parámetros que se miden: NO₂, SO₂, BTX,

Otros: Material Particulado Sedimentable.

