



## UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

### FACULTAD DE CIENCIA E INGENIERÍA EN ALIMENTOS

#### CARRERA: INGENIERÍA BIOQUÍMICA

---

**“SIMULACIÓN DE LA DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES EN EL AIRE DE LA CIUDAD DE AMBATO EMITIDOS POR FUENTES FIJAS Y POR LA ACTIVIDAD DEL VOLCÁN TUNGURAHUA, MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE LOS SOFTWARES AMBIENTALES ESPECIALIZADOS DISPERSIÓN 5.2 Y SCREEN VIEW”**

---

Trabajo de Investigación (Graduación). Modalidad: Trabajo Estructurado de Manera Independiente (TEMI). Presentado para la obtención del Título de Ingeniero Bioquímico, otorgado por la Universidad Técnica de Ambato a través de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos.

**Autor:** Alcides Alberto Bustillos Ortiz

**Tutor:** Ramiro Velasteguí Sánchez, Ing. Agr., MSc, PhD

AMBATO – ECUADOR

2011

## **APROBACIÓN DEL TUTOR**

En mi calidad de tutor del trabajo estructurado de manera independiente (TEMI) sobre el tema: “Simulación de la dispersión de contaminantes en el aire de la ciudad de Ambato emitidos por fuentes fijas y por la actividad del volcán Tungurahua, mediante la utilización de los softwares ambientales especializados Screen View y Disper versión 5.2”, desarrollado por el señor Alcides Alberto Bustillos Ortiz, egresado de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos. Considero que el mencionado trabajo de investigación reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la evaluación del jurado examinador que el H. Consejo Directivo designe.

Ambato, Septiembre 2011

**TUTOR**

Ramiro Velasteguí Sánchez, Ing. Agr., MSc, PhD

**PROFESOR DE LA FCIAL**

## **AUTORÍA**

El presente trabajo de investigación: “Simulación de la dispersión de contaminantes en el aire de la ciudad de Ambato emitidos por fuentes fijas y por la actividad del volcán Tungurahua, mediante la utilización de los softwares ambientales especializados Screen View y Disper versión 5.2”, es absolutamente original, auténtico y personal, en tal virtud, el contenido, efectos legales o académicos que se desprenden del mismo son responsabilidad del autor.

Ambato, Septiembre del 2011

Alcides Bustillos

CI: 180400106-1

**APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO**  
**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE CIENCIA E INGENIERÍA EN ALIMENTOS**  
**CARRERA DE INGENIERÍA BIOQUÍMICA**

Los miembros del tribunal de Grado aprueban el presente trabajo de graduación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias por la Universidad Técnica de Ambato.

Para constancia firma

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

MIEMBRO DE TRIBUNAL

MIEMBRO DE TRIBUNAL

## **DEDICATORIA**

*A mi padre, Dr. Alcides Bustillos Custode por nunca haber juzgado mis decisiones lo cual me ha permitido acertar así como equivocarme y aprender, a mi madre Lcda. Nely Ortiz por su cariño y ser la persona que me ha puesto límites cuando ha sido necesario, a mi hermana Diana Bustillos por la paciencia y bromas mientras realizaba mi tesis.*

*A mi amor Cristina Arteaga por ser la persona que más confía en mí, que sabe recordarme con su amor y dulzura cuales son nuestros sueños y objetivos.*

*A la familia de mi querida esposa, Yolanda, Silvio, Majo, Jorgen por su amistad, apoyo y cariño.*

*A mis amigos/as Juan Carlos Cáceres, David Luna, Roman Rodríguez, Kary Tapia y Vale Criollo que han sido mis hermanos/as, cómplices, panas de mucho de lo que he realizado y que se han convertido en lindas experiencias de vida.*

*A las personas que han sido importantes para mí, para bien o para mal... Gracias totales.*

*Alcides*

## **AGRADECIMIENTO**

*A la Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos, Carrera de Ingeniería Bioquímica y por ende a todos mis maestros quienes con su labor diario supieron ser guías y contribuyeron en mi formación humana y académica.*

*Al Ing. Ramiro Velasteguí, PhD por su amistad y confianza al haberme seleccionado como parte de su grupo de trabajo en la ejecución del proyecto que dirige en la Universidad Técnica de Ambato en alianza con el Municipio de Ambato denominado “Diagnóstico de las emisiones por fuentes fijas y diseño de un programa de monitoreo para el control de la calidad del aire en la ciudad de Ambato” y por su apoyo y asesoría para la realización de la presente Tesis de Grado.*

*A la Unidad de Gestión Ambiental de Ilustre Municipio de Ambato, en la persona de su directora, la Dra. María de Lourdes Llerena, por su apoyo en la ejecución de esta investigación, así como al Dr. Julio Núñez e Ing. Xavier Acurio, técnicos de la mencionada unidad.*

*A Plásticaucho Industrial S.A empresa que a través de su gerente general el señor Xavier Cuesta y gracias a la gestión del Ing. Ramiro Velasteguí, contribuyeron con el valor económico para la compra del software DISPER 5.2 utilizado en esta investigación.*

*Alcides*

## INDICE GENERAL DE CONTENIDOS

<b>RESUMEN EJECUTIVO.....</b>	<b>17</b>
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>18</b>

### CAPITULO I

1.1 Tema de investigación.....	20
1.2 Planteamiento del problema.....	20
1.2.1 Contextualización.....	22
1.2.2 Análisis crítico.....	28
1.2.3 Prognosis.....	29
1.2.4 Formulación del problema.....	29
1.2.5 Preguntas directrices.....	30
1.2.6 Delimitación del problema.....	30
1.3 Justificación.....	30
1.4 Objetivos.....	31
1.4.1 Objetivo general.....	31
1.4.2 Objetivos específicos.....	32

### CAPÍTULO II

2.1 Antecedentes investigativos.....	33
Características del recurso aire.....	38
Composición y estado físico del aire limpio.....	38
Viento.....	39
Estabilidad Atmosférica.....	40
Clasificación de la estabilidad de la atmósfera.....	42
Capa límite atmosférica.....	43
Contaminación del aire.....	44
Contaminantes del aire.....	45
Sustancias Químicas.....	45

Contaminantes atmosféricos primarios .....	45
Contaminantes atmosféricos secundarios.....	46
Formas de energía.....	48
Propiedades de los principales contaminantes .....	49
Episodio crítico de contaminación del aire .....	53
Fuentes de los contaminantes del aire.....	53
Fuentes naturales de contaminación del aire.....	54
Volcanes como fuente natural fija de contaminación del aire.....	55
Emisiones volcánicas .....	55
Lluvia ácida de origen volcánico .....	56
Volcanismo en el Ecuador.....	56
Coordillera Occidental .....	57
El valle interandino.....	57
La cordillera real.....	58
El Oriente .....	58
Volcán Tungurahua .....	58
Análisis de la ceniza del volcán Tungurahua .....	59
Situación actual del volcán Tungurahua.....	60
Monitoreo de emisiones de gases volcánicos .....	60
Monitoreo y análisis de la dispersión de las emisiones de gases del volcán Tungurahua.....	61
Fuentes antropogénicas de contaminación del aire .....	62
Fuente fija de contaminación .....	62
Combustión .....	63
Tipos de combustión .....	63
Combustión perfecta .....	63
Combustión completa.....	64
Combustión incompleta.....	65
Combustión imperfecta .....	65
Tipos de combustibles.....	66
Contaminantes producidos durante la combustión .....	66

Emisiones asociadas a la combustión de algunos combustibles .....	67
Monitoreo de emisiones de fuentes fijas de combustión .....	68
Equipos para el Monitoreo .....	68
Comportamiento de la pluma o penacho de una fuente fija de contaminación .....	70
Chimenea con pluma en espiral.....	70
Chimenea con pluma de abanico.....	70
Chimenea con pluma de cono.....	71
Indicador del impacto e índice de la calidad del aire.....	71
Índice de Calidad del Aire, ICAIRE .....	72
Escala del índice de la calidad del aire, ICAIRE .....	73
Simulación matemática de la dispersión de los contaminantes en el aire...75	
Simulación de la dispersión de contaminantes del aire.....	75
Tipos de modelos de dispersión de contaminantes del aire.....	77
Modelo Gaussiano .....	77
Requisitos para modelos de dispersión tipo Gaussiano.....	80
Datos meteorológicos.....	80
Software de simulación de la dispersión de contaminantes del aire .....	82
Software DISPER Versión 5.2.....	82
Software Screen View .....	86
Costo del software Screen View .....	89
2.2 Fundamentación filosófica .....	89
2.3 Fundamentación legal .....	89
2.4 Categorías fundamentales .....	90
2.5 Hipótesis.....	91
2.6 Señalamiento de variables .....	91
2.6.1 Variables independientes:.....	91
2.6.2 Variables dependientes:.....	91

### **CAPÍTULO III**

3.1 Modalidad básica de investigación.....	93
3.2 Nivel o tipo de investigación.....	93
3.3 Población y muestra.....	93
3.4 Operacionalización de variables.....	94
3.5 Plan de recolección de información.....	95
3.8 Procesamiento y análisis.....	96

### **CAPÍTULO IV**

4.1 Análisis de resultados.....	97
4.2 Interpretación de datos.....	98
Empresas seleccionadas.....	98
Análisis de los gases de combustión.....	99
Material Particulado PM <sub>10</sub> .....	99
Óxidos de nitrógeno NO <sub>x</sub> .....	101
Monóxido de carbono CO.....	104
Dióxido de carbono.....	105
Porcentaje de oxígeno.....	107
Número de humo Bacharach.....	108
Eficiencia global.....	110
Simulación con Disper 5.2 y Screen View, de la dispersión de los contaminantes de las fuentes fijas seleccionadas.....	111
Simulación de la dispersión de material particulado PM <sub>10</sub> .....	111
Simulación de la dispersión de óxidos de nitrógeno NO <sub>x</sub> .....	113
Simulación de la dispersión de dióxido de azufre SO <sub>2</sub> .....	114
Simulación de la dispersión de monóxido de carbono CO.....	114
Simulación de la dispersión de ceniza.....	115
Material particulado PM <sub>10</sub> , medido en la estación de monitoreo de la calidad del aire en la ciudad de Ambato.....	116

Índice de calidad del aire ICAIRE.....	117
4.3 VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS .....	118
<b>CAPÍTULO V</b>	
5.1 CONCLUSIONES.....	119
5.2 RECOMENDACIONES .....	122
<b>CAPÍTULO VI</b>	
6.1 DATOS INFORMATIVOS.....	124
6.2 ANTECEDENTES DE LA PROPUESTA .....	124
6.3 JUSTIFICACIÓN .....	125
6.4 OBJETIVOS .....	126
6.5 FUNDAMENTACIÓN.....	127
6.6 METODOLOGÍA.....	128
6.7 ADMINISTRACIÓN .....	128
<b>CAPITULO VII</b>	
7.1 BIBLIOGRAFÍA.....	130
7.2 ANEXOS.....	139

## INDICE DE TABLAS Y GRÁFICOS

<b>Tabla 1.</b> Reglamentaciones sobre fuentes fijas en Europa, Estados Unidos y Japón.....	23
<b>Tabla 2.</b> Composición porcentual y en peso del aire limpio.....	39
<b>Tabla 3.</b> Categorías de estabilidad atmosférica definidas por Pasquill.....	42
<b>Tabla 4.</b> Clases de estabilidad Pasquill – Gifford para el día y para la noche. ....	43
<b>Tabla 5.</b> Principales contaminantes atmosféricos y algunas de sus propiedades fisicoquímicas. ....	49
<b>Tabla 6.</b> Definición, ejemplos, fuentes de emisión y efectos de los principales contaminantes atmosféricos. ....	50
<b>Tabla 7.</b> Fuentes naturales de contaminación.....	54
<b>Tabla 8.</b> Focos de emisión de contaminantes.....	54
<b>Tabla 9.</b> Análisis químico expresado en WT% de la ceniza volcánica del Tungurahua.....	59
<b>Tabla 10.</b> Emisiones asociadas a los combustibles utilizados.....	67
<b>Tabla 11.</b> Parámetros de monitoreo en fuentes fijas de combustión.....	68
<b>Tabla 12.</b> Rangos y resoluciones del equipo testo 350 m/xl.....	69
<b>Tabla 13.</b> Rangos y resoluciones de los muestreadores isocinéticos Thermoandersen y Apex.....	69
<b>Tabla 14.</b> Escala para la evaluación de la calidad del aire ICAIRE. ....	73
<b>Tabla 15.</b> Valores porcentuales y de concentración de referencia para el cálculo de los índices ICAIRE y ORAQI.....	74

## ANEXO A

### RESPUESTAS EXPERIMENTALES

**Tabla A-1.** Empresas analizadas, dirección, laboratorio encargado del análisis de gases de combustión y fecha de análisis.

**Tabla A-2.** Simbología utilizada en el diseño experimental unifactorial.

**Tabla A-3.** Características técnicas de los equipos monitoreados.

**Tabla A-4.** Resultados reportados por los laboratorios de los análisis de gases de combustión.

**Tabla A-5.** Resultados de concentración de los gases de combustión corregidos bajo los parámetros de la norma ecuatoriana.

**Tabla A-6.** Temperatura del aire de la ciudad de Ambato en °C.

**Tabla A-7.** Condiciones atmosféricas reportadas en la ciudad de Ambato.

**Tabla A-8.** Resultados obtenidos de la dispersión de material particulado PM<sub>10</sub>, con el software ambiental Screen View y Disper 5.2.

**Tabla A-9.** Resultados obtenidos de la dispersión de óxidos de nitrógeno NO<sub>x</sub>, con el software ambiental Screen View y Disper 5.2.

**Tabla A-10.** Resultados obtenidos de la dispersión de dióxido de azufre SO<sub>2</sub>, con el software ambiental Screen View y Disper 5.2.

**Tabla A-11.** Resultados obtenidos de la dispersión de monóxido de carbono CO, con el software ambiental Screen View.

**Tabla A-12.** Concentración de material particulado PM10 reportado por la estación de monitoreo de particulados del Municipio.

**Tabla A-13.** Valores calculados del Índice de Calidad del Aire ICAIRE.

**Tabla A-14.** Resumen del diagnóstico de las fuentes fijas analizadas.

**Tabla A-15.** Límites máximos permisibles de emisiones al aire para fuentes fijas de combustión. Norma TULAS para fuentes en operación a partir de Enero de 2003.

**Tabla A-16.** Valores máximos permisibles de emisión al aire por fuentes fijas de combustión.

## **ANEXO B**

### **ANÁLISIS ESTADÍSTICO**

**Tabla B-1.** Análisis de Varianza (ANOVA): Concentración de Material Particulado PM<sub>10</sub> en mg/m<sup>3</sup> de gas seco a condiciones normales, 760 mmHg de presión, temperatura de 0 °C y corregidos a 7% de oxígeno.

**Tabla B-2.** Comparación múltiple Tukey para la concentración de material particulado  $PM_{10}$  en  $mg/m^3$  de gas seco y diagnóstico bajo referencia 150  $*mg/m^3$ , límite TULAS libro VI Anexo 3.

**Tabla B-3.** Análisis de Varianza (ANOVA): Concentración de óxidos de nitrógeno  $NO_x$  en  $mg/m^3$  de gas seco a condiciones normales, 760 mmHg de presión, temperatura de 0 °C y corregidos a 7% de oxígeno.

**Tabla B-4.** Comparación múltiple Tukey para la concentración de óxidos de nitrógeno en  $mg/m^3$  de gas seco.

**Tabla B-5.** Análisis de Varianza (ANOVA): Concentración de dióxido de azufre  $SO_2$  en  $mg/m^3$  de gas seco a condiciones normales, 760 mmHg de presión, temperatura de 0 °C y corregidos a 7% de oxígeno.

**Tabla B-6.** Comparación múltiple Tukey para la concentración de dióxido de azufre en  $mg/m^3$  de gas seco.

**Tabla B-7.** Análisis de Varianza (ANOVA): Concentración de monóxido de carbono en  $mg/m^3$ .

**Tabla B-8.** Comparación múltiple Tukey para la concentración de monóxido de carbono en  $mg/m^3$  de gas seco.

**Tabla B-9.** Análisis de Varianza (ANOVA): Porcentaje de dióxido de carbono.

**Tabla B-10.** Comparación múltiple Tukey para el porcentaje de dióxido de carbono.

**Tabla B-11.** Análisis de Varianza (ANOVA): Porcentaje de oxígeno.

**Tabla B-12.** Comparación múltiple Tukey para el porcentaje de dióxido de carbono.

**Tabla B-13.** Análisis de Varianza (ANOVA): Número de humo.

**Tabla B-14.** Comparación múltiple Tukey para el número de humo.

**Tabla B-15.** Análisis de Varianza (ANOVA): Porcentaje de eficiencia global.

**Tabla B-16.** Comparación múltiple Tukey para la eficiencia global en %.

**Tabla B-17.** Comparación múltiple Tukey para los datos reportados por la estación de monitoreo de particulados  $PM_{10}$  del Municipio de Ambato.

## ANEXO C CÁLCULOS

Determinación del tamaño muestral

## ANEXO D GRÁFICOS

**Gráfico D-1.** Distancia máxima entre la ubicación de dos empresas analizadas.

**Gráfico D-2.** Velocidades y direcciones de viento predominantes correspondientes al mes de noviembre del 2010.

**Gráfico D-3.** Velocidades y direcciones de viento predominantes correspondientes al mes de diciembre del 2010.

**Gráfico D-4.** Velocidades y direcciones de viento predominantes correspondientes al mes de enero del 2011.

**Gráfico D-5.** Velocidades y direcciones de viento predominantes correspondientes al mes de febrero del 2011.

**Gráfico D-6.** Velocidades y direcciones de viento predominantes correspondientes al mes de marzo del 2011.

**Gráfico D-7.** Velocidades y direcciones de viento predominantes correspondientes al mes de abril del 2011.

**Gráfico D-8.** Velocidades y direcciones de viento predominantes correspondientes al mes de mayo del 2011.

**Gráfico D-9.** Velocidades y direcciones de viento predominantes correspondientes al mes de junio del 2011.

**Gráfico D-10.** Simulación de la dispersión de material particulado  $PM_{10}$  con el software DISPER 5.2 de la empresa Pollo Listo 1.

**Gráfico D-11.** Simulación de la dispersión de material particulado  $PM_{10}$  con el software DISPER 5.2 de la empresa Pollo Listo 2.

**Gráfico D-12.** Simulación de la dispersión de material particulado  $PM_{10}$  con el software DISPER 5.2 de la empresa Pollos de Campo.

**Gráfico D-13.** Simulación de la dispersión de material particulado  $PM_{10}$  con el software DISPER 5.2 de la empresa Asadero Tungurahua.

**Gráfico D-14.** Simulación de la dispersión de óxidos de nitrógeno con el software DISPER 5.2 de la empresa Pastelería El Manjar.

**Gráfico D-15.** Simulación de la dispersión de dióxido de azufre con el software DISPER 5.2 de la empresa Hotel Ambato.

**Gráfico D-16.** Dispersión de la ceniza del volcán Tungurahua reportado el 27 de abril del 2011.

**Gráfico D-17.** Dispersión de la ceniza del volcán Tungurahua reportado el 28 de abril del 2011.

## RESUMEN EJECUTIVO

La contaminación atmosférica en los últimos años se ha convertido en uno de los principales problemas ambientales, debido entre otros muchos factores a desastres naturales y al impacto de las actividades antropogénicas. Aspectos que han producido un efecto perjudicial en la calidad del aire y que han provocado la preocupación de la sociedad y de sus autoridades. La ciudad de Ambato a través de la Universidad Técnica de Ambato y la administración del Municipio de Ambato dentro de su plan de gestión ambiental de su ciudad, han considerado importante la investigación de la contaminación causada por las chimeneas de las industrias existentes en la región clasificadas como fuentes fijas, así como el estudio del efecto causado por la reciente actividad del volcán Tungurahua que incide en la calidad del aire de la ciudad.

Como parte del proyecto “Diagnóstico de las emisiones por fuentes fijas y diseño de un programa de monitoreo para el control de la calidad del aire en la ciudad de Ambato”, se seleccionó del catastro de la ciudad de Ambato las empresas industriales y de servicios consideradas fuentes fijas de contaminación del aire, para lo cual se calculó el tamaño muestral y se determinó una muestra final de 42 empresas, las mismas que se encuentra detallada en el Anexo A, Tabla A-1.

De las empresas seleccionadas se realizó el estudio sobre la simulación de la dispersión de contaminantes en el aire de la ciudad de Ambato, emitidos por fuentes fijas y por la actividad del volcán Tungurahua, mediante la utilización de los softwares ambientales especializados Screen View y Disper 5.2, mediante el cual se obtuvo un diagnóstico general del cumplimiento de los parámetros del Texto de Legislación Ambiental Secundario TULAS, así como de otros indicadores adicionales evidenciado en la Tabla A-14. Se estableció los valores de la concentración por la dispersión y alcance de los contaminantes a nivel del

suelo mediante simulación con Screen View y se profundizó el análisis de la simulación para las empresas que reportaban emisiones significativas de contaminantes mediante el uso del software Disper 5.2, evidenciados en la Tabla A-8 a la A-11, así como en el Gráfico D-10 al D-15.

Al no ser Disper 5.2 un modelo diseñado para la evaluación de penachos volcánicos, se realizaron dos pruebas del modelo gaussiano para simular la dispersión de las emisiones del volcán Tungurahua. Mediante ejercicios comparativos con imágenes satelitales de los flujos de ceniza reportados en el Gráfico D-16 y D-17, se estableció la existencia de la relación con las emisiones del volcán Tungurahua de los datos de material particulado medidos en la estación de control de la calidad del aire de la Dirección de Higiene y Ambiente del Municipio de Ambato señalado en la Tabla B-17 y se caracterizó la calidad del aire de acuerdo al índice ICAIRE de las zonas de influencia de las empresas estudiadas y evaluadas en la Tabla A-13.

## **INTRODUCCIÓN**

Los contaminantes del aire son sustancias que, cuando están presentes en la atmósfera, afectan de manera adversa la salud de humanos, animales, plantas o vida microbiana; dañan materiales, o interfieren con el disfrute de la vida y el uso de sus propiedades. En todo el mundo, se ha puesto énfasis en el control de las concentraciones atmosféricas ambientales de contaminantes a niveles en los cuales no se observan efectos en la salud (Glynn y Heinke, 1999).

La ciudad de Ambato al ser una ciudad industrializada e influenciada por la actividad del volcán Tungurahua, muestra la necesidad de un programa integral de monitoreo y control del aire. El I. Municipio de Ambato (IMA) y su Departamento de Higiene y Ambiente cuentan con un estudio de diagnóstico relacionado a las emisiones de contaminantes por fuentes móviles ejecutado en el 2008 (Medina et al., 2008). Sin embargo, no existe aún un estudio de las emisiones causadas por fuentes fijas (Velasteguí, 2009) el mismo que se encuentra actualmente en ejecución en base a un trabajo conjunto de la Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos, Carrera de Ingeniería Bioquímica y el IMA.

El presente trabajo que fue la simulación de la dispersión de contaminantes en la atmósfera emitidos por fuentes fijas y por la actividad del volcán Tungurahua, fue una investigación paralela que es complementaria a la mencionada anteriormente.

## **CAPITULO I**

### **EL PROBLEMA**

## 1.1 Tema de investigación

---

**“SIMULACIÓN DE LA DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES EN EL AIRE DE LA CIUDAD DE AMBATO EMITIDOS POR FUENTES FIJAS Y POR LA ACTIVIDAD DEL VOLCÁN TUNGURAHUA, MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE LOS SOFTWARES AMBIENTALES ESPECIALIZADOS DISPER VERSIÓN 5.2 Y SCREEN VIEW”**

---

La contaminación atmosférica en los últimos años se ha convertido en uno de los principales problemas ambientales, debido entre otros muchos factores a desastres naturales y al impacto de las actividades antropogénicas. Aspectos que han producido un efecto perjudicial en la calidad del aire y que han provocado la preocupación de la sociedad y de sus autoridades. La ciudad de Ambato a través de la Universidad Técnica de Ambato y la administración del Municipio de Ambato dentro de su plan de gestión ambiental, han considerado importante la investigación de la contaminación causada por las chimeneas de las industrias existentes en la región clasificadas como fuentes fijas, así como el estudio del efecto causado por la reciente actividad del volcán Tungurahua que incide en la calidad del aire de la ciudad.

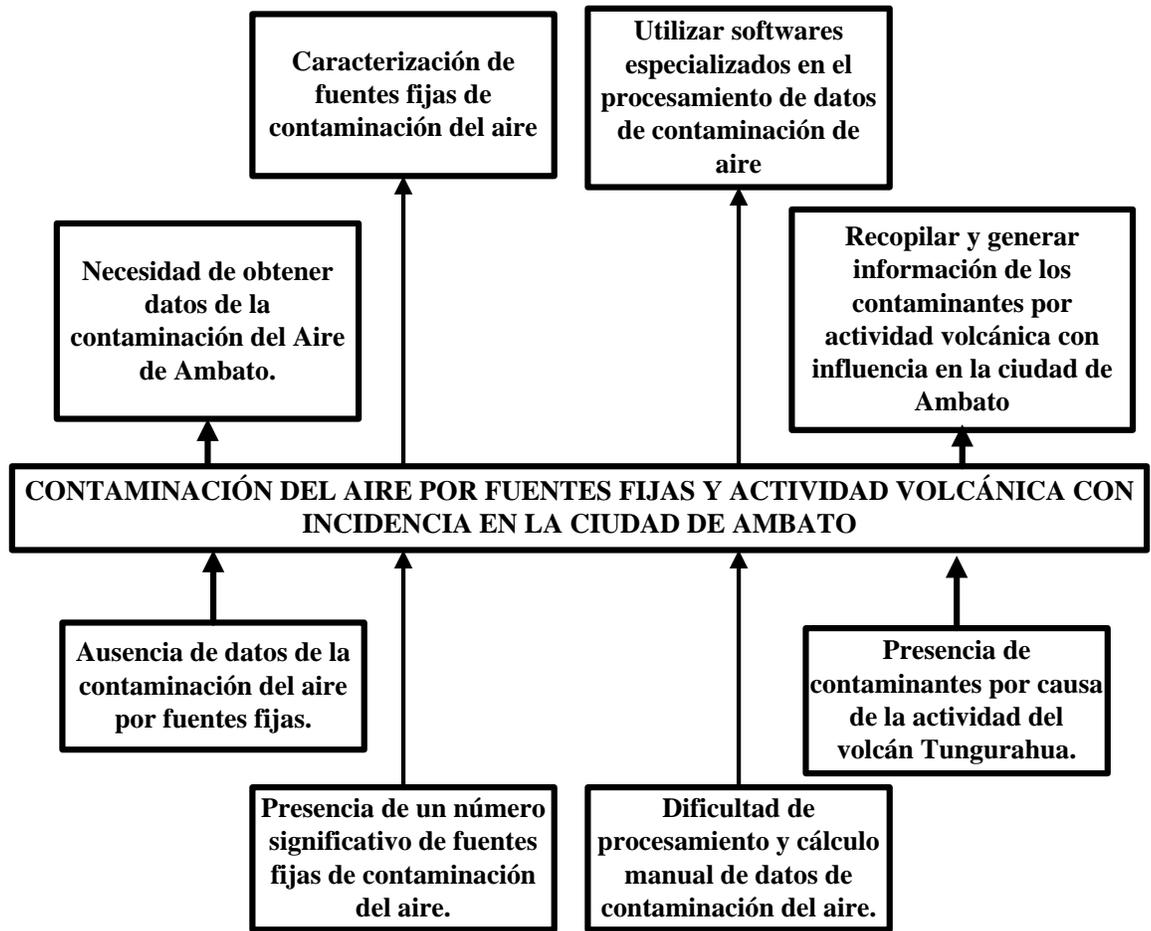
Esto motivó también a realizar la simulación de la dispersión de contaminantes utilizando herramientas informáticas, tales como los softwares ambientales especializados Screen View y Disper 5.2 para diseñar y cuantificar la distribución espacial de los contaminantes emitidos a partir de fuentes fijas y por la actividad del volcán Tungurahua.

## 1.2 Planteamiento del problema

Los contaminantes del aire son sustancias que, cuando están presentes en la atmósfera, afectan de manera adversa la salud de humanos, animales, plantas o vida microbiana; dañan materiales, o interfieren con el disfrute de la vida y el uso de sus propiedades. En todo el mundo, se ha puesto énfasis en el control de las concentraciones atmosféricas ambientales de contaminantes a niveles en los cuales no se observan efectos en la salud (Glynn y Heinke, 1999).

En la ciudad de Ambato existe un estudio de la calidad del aire (Medina et al., 2008) realizado por la Universidad Central para el Municipio de Ambato, con el financiamiento de Petroecuador, proyecto en el cual se establece la calidad del aire de la ciudad de manera sectorizada utilizando el índice Oraqui. Se realizó entonces un diagnóstico de las Fuentes Móviles, tomando como referencia el análisis de 695 vehículos con motor de ciclo Otto y 183 vehículos con motor de ciclo diesel. Sin embargo, no existen diagnósticos sobre la contaminación del aire por emisiones por “Fuentes Fijas” provenientes de combustiones pertenecientes a la industria y servicios (fábricas, mecánicas, lavadoras, hospitales, clínicas, hoteles, restaurantes, edificios altos, etc.) ni tampoco por emisiones por “Fuentes Naturales” provocadas por la actividad del volcán Tungurahua, única fuente natural de estudio en la presente investigación (Velasteguí, 2009).

La ausencia de datos y análisis de la contaminación del aire en la ciudad de Ambato causadas por fuentes fijas y por la actividad volcánica, indica la necesidad de estudiar, recolectar datos y analizar los efectos de estos tipos de contaminación, lo cual se encuentra en sus fases finales. Como parte del diagnóstico se planificó la presente tesis de grado, estudie la simulación computarizada de la dispersión de los contaminantes con la ayuda de softwares ambientales especializados Screen View y Disper 5.2.



### 1.2.1 Contextualización

En todo el mundo se ha puesto énfasis en el control de las concentraciones atmosféricas ambientales de contaminantes a niveles en los cuales no se observan efectos en la salud (Glynn y Heinke, 1999).

En la Tabla 1 se presenta un historial de las reglamentaciones sobre fuentes fijas de Estados Unidos a través de US-EPA, la Unión Europea (UE) y Japón.

**Tabla 1. Reglamentaciones sobre fuentes fijas en Europa, Estados Unidos y Japón.**

Europa	Estados Unidos	Japón
2003.- Directiva asigna valores para los Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (PAH).	2000.- Límite para Bióxido de Azufre y sistema de mercadeo (Fase II).	1999.- Ley sobre liberación de sustancias químicas específicas y la mejora de sus manejos.
2002.- Directiva asigna valores objetivos para el ozono.	1997.- Revisión del acta de aire limpio en particular normas de calidad del aire para: ozono, CO y material particulado.	1999.- Ley de medidas especiales relacionadas con las dioxinas.
2001.- Se asignan valores límites techo para: SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , Compuestos Orgánicos volátiles (COV <sub>s</sub> ) y NH <sub>3</sub> .	1995.- Se introduce el límite para Bióxido de azufre y el sistema de mercadeo (Fase I).	1998.- Medidas normativas contra contaminantes del aire emitidos por industrias e instalaciones comerciales.
2000.- Se definen límites para la incineración de basura.	1990.- Revisión del acta del aire limpio, para tratar problemas de lluvia ácida, ozono troposférico a nivel del suelo y tóxicos del aire.	1997.- Objetivo reducir la emisión de dioxinas para el 2002, al 10% de la emisión total calculada en 1997.
2000.- Control de sustancias que agotan el ozono.	1970.- Acta del aire limpio, normas	1996.- Enmienda Ley de control de contaminación del aire.
1999.- Límites de calidad		1974.- Ley de control de contaminación del aire,

<p>del aire para: SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, PM10 y Plomo.</p> <p>1988.- Para grandes plantas de combustión Directiva define límites para SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> y material particulado.</p>	<p>nacionales de la calidad del aire.</p>	<p>introducido a un sistema de control de emisión total de SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> y CO.</p> <p>1968.- Ley de control de la contaminación del aire.</p> <p>Normas de emisión para instalaciones industriales (SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, hollín).</p>
---	---	--

Fuente: Secretaría distrital de Ambiente (2006)

En Estados Unidos se han elaborado inventarios de emisiones por fuentes fijas para los 50 estados, para aproximadamente 250 regiones con control de la contaminación atmosférica dentro y entre los estados y para varios miles de condados y municipios dentro de estas regiones. La primera fuente de información para estos inventarios es el Sistema Nacional de Datos de Emisiones o NEDS (Canter, 1997). Estos datos se presentan para la nación completa, para estados individuales y para regiones (EPA, 1992).

El National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) a través del Office of satellite data process proporciona información satelital y modelos de simulación para eventos relacionados a la atmósfera, superficie terrestre y océanos. La información es de libre acceso y contiene datos para los eventos volcánicos a nivel mundial, incluido los que sucedieron con el volcán Tungurahua (NOAA, 2011).

La National Aeronautics and Space Administration (NASA) a través del OMI/aura Online Visualization and Analysis proporciona información del satélite

OMI a nivel mundial, con datos de varios parámetros como es concentración de SO<sub>2</sub>, de las emisiones producidas por el volcán Tungurahua (NASA, 2011).

La Red de Transferencia Tecnología de Estados Unidos a través del Centro de Información sobre Contaminación de Aire (CICA), provee soporte técnico y asistencia bilingüe (inglés/español) en la evaluación de problemas de la contaminación del aire, los recursos técnicos del sitio Web de CICA proporcionan el acceso a los documentos técnicos, reportes, guías y las hojas de datos sobre tecnologías de control de contaminación del aire, monitoreo ambiental, e inventarios de emisiones. También proporcionan el acceso a las versiones en español de los modelos de simulación de la calidad del aire y soporte de su documentación (EPA, 2007).

El programa Aire puro para Europa tiene por objeto elaborar una estrategia integrada y a largo plazo de lucha contra la contaminación atmosférica y de protección de la salud humana y del medio ambiente frente a sus efectos. Producir, recoger y validar información científica sobre los efectos de la contaminación del aire como por ejemplo: la validación de inventarios armonizados de emisiones, evaluaciones de la calidad del aire, modelizaciones, estudios de rentabilidad y modelos de evaluación integrada. Apoyar la aplicación y evaluar la eficacia de la normativa vigente, y presentar nuevas propuestas si resulta necesario (Síntesis de la Legislación de la Unión Europea, 2006).

PREV'AIR es el sistema establecido desde el 2003 en Francia por el "Ministère de l'Ecologie du Développement durable, des Transports et du Logement" (MEDDTL), para generar y distribuir mapas todos los días de las previsiones de la calidad aire, como resultado de simulaciones numéricas en diferentes escalas espaciales (PREV'AIR, 2011).

En España desde el año 2000 se trabaja en el sistema de modelización de la calidad del aire WRF-ARW/CMAQ, las siglas WRF-ARW se refieren al modelo

meteorológico resultado de un proyecto planteado por el National Center of Atmospheric Research (NCAR), y el National Centers for Environmental Prediction (NCEP) de Estados Unidos y el modelo de transporte químico utilizado es Community Multiscale Air Quality Modelling System (CMAQ), el mismo que representa el estado más avanzado actual de los conocimientos en la modelización de calidad del aire (Cantera, 2009).

En Colombia en la ciudad de Manizales la Universidad Nacional de Colombia a través de una tesis de Maestría desarrollada por Marín Jorge, realiza la aplicación del modelo gaussiano para determinar la calidad del aire, el estudio presenta datos de población, vocación productiva, condiciones meteorológicas, inventario de las fuentes de contaminación, cuantificación de los contaminantes así como la modelización de su dispersión (Marín y Buitrago, 2003).

En Argentina el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) junto a la Universidad Tecnológica Nacional publica el modelo de calidad del aire para la ciudad de Buenos Aires, el estudio menciona que se utilizó el modelo gaussiano así como el software CALPUFF para simular la dispersión de los contaminantes con el objeto de proporcionar una estimación de la trayectoria de las emisiones contaminantes y determinar la calidad del aire en este centro urbano (Puliafito, 2010).

En el Ecuador la ciudad de Quito a través de la Corporación Municipal para el Mejoramiento del aire de Quito (CORPAIRE) indica que la estimación de las emisiones atmosféricas constituye un elemento imprescindible para el establecimiento de políticas para acciones de control de la calidad del aire, por este motivo CORPAIRE estructuró la primera versión del Sistema de Gestión del Inventario de Emisiones Atmosféricas (SIGIEQ) del Distrito Metropolitano de Quito (DMQ) (CORPAIRE, 2001).

El Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional publica en su sitio web publica de manera continua informes diarios, semanales y especiales

relacionados con la actividad volcánica así como de los sucesos sísmicos del Ecuador, los informes reportan entre otros, datos de sismicidad, observaciones visuales, auditivas, clima, imágenes satelitales y reportes de la caída de ceniza de manera cuantitativa para ciertos sectores y de manera cualitativa para la ciudad de Ambato (Instituto Geofísico EPN, 2011).

En la ciudad de Ambato, el importante documento de MAE, OPS, OMS (2003) señala que entre 1986 y 1999 se hicieron mediciones de la calidad del aire por fuentes móviles por parte del Municipio de Ambato y la Red Ecuair, pero indica que son series discontinuas de muestreo. Más adelante, en 2007 la Agencia Suiza Cosude, indicaba que en lo referente a estudios sobre calidad del aire solamente hay iniciativas en marcha en las ciudades de Cuenca, Ambato y Guayaquil.

Entre Junio 2007 y Mayo 2008, con financiamiento de Petroecuador, la Universidad Central y el Municipio de Ambato realizaron un estudio detallado de diagnóstico relacionado a la emisión de contaminantes por “Fuentes Móviles” en más de 25 sitios en el área urbana de Ambato. En este diagnóstico se concluyó que en Ambato la contaminación del aire por CO, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, O<sub>3</sub> y material particulado es relativamente baja, aún cuando en sitios y tiempos específicos se sobrepasan los límites máximos permisibles (Medina et al., 2008).

En razón de la falta de estudios de diagnóstico sobre la contaminación del aire por fuentes fijas en la ciudad de Ambato, actualmente está por concluir el proyecto de investigación “Diagnóstico de las emisiones por fuentes fijas y diseño de un programa de monitoreo para el control de la calidad del aire en la ciudad de Ambato”, mediante una alianza estratégica entre la Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos, Carrera de Ingeniería Bioquímica y el Ilustre Municipio de Ambato y la Dirección Municipal de Higiene y Ambiente. Los resultados de la mencionada investigación permitirán la obtención y recopilación de datos de la contaminación del aire por

fuentes fijas para establecer la situación actual de la calidad del aire en la ciudad de Ambato y el diseño de un programa de monitoreo para el control de la calidad del aire en la urbe. La presente Tesis de Grado sobre la simulación de la dispersión de contaminantes por fuentes fijas es parte del proyecto señalado.

### **1.2.2 Análisis crítico**

En esta investigación se realizó el estudio sobre la simulación de la dispersión de contaminantes en el aire de la ciudad de Ambato, emitidos por fuentes fijas y por la actividad del volcán Tungurahua, mediante la utilización de los softwares ambientales especializados Screen View y Disper 5.2, mediante el cual se obtuvo un diagnóstico general del cumplimiento de los parámetros del Texto de Legislación Ambiental Secundario TULAS así como de otros indicadores adicionales.

Se estableció los valores de la concentración por la dispersión y alcance de los contaminantes a nivel del suelo mediante simulación con Screen View y se profundizó el análisis de la simulación para las empresas que reportaban emisiones significativas de contaminantes mediante el uso del software Disper 5.2.

Al no ser Disper 5.2 un modelo diseñado para la evaluación de penachos volcánicos, se realizaron dos pruebas del modelo gaussiano para simular la dispersión de las emisiones gaseosas del volcán Tungurahua mediante ejercicios comparativos con imágenes satelitales de los flujos de ceniza y se comprobó la existencia de la relación con las emisiones del volcán Tungurahua de los datos de material particulado medidos en la estación de control de la calidad del aire de la dirección de higiene municipal. Se caracterizó la calidad del aire de acuerdo al índice ICAIRE de las zonas de influencia de las empresas evaluadas.

La información generó conocimiento hacia crear conciencia de la importancia del aire como un componente medio ambiental vital para los seres humanos.

### **1.2.3 Prognosis**

La no realización del presente trabajo de investigación determinaría la ausencia de conocimientos sobre la aplicación de programas informáticos que permitan la simulación de los contaminantes atmosféricos por fuentes fijas en la ciudad de Ambato así como por de la actividad del volcán Tungurahua.

Además, no existiría un componente importante para el diseño de un programa de monitoreo para el control de la calidad del aire en la ciudad de Ambato con lo cual los organismos locales y seccionales no podrán gestionar auspicios nacionales e internacionales para la ejecución de proyectos ambientales eficientes y sostenibles. También alejaría la vinculación de la universidad con la colectividad a la que se debe al no investigar de manera conjunta con organismos representativos de la comunidad ambateña sobre condiciones ambientales adecuadas para el bienestar de la población.

### **1.2.4 Formulación del problema**

La presente investigación se basó en la simulación con los software especializados Disper 5.2 y Screen View de la dispersión de contaminantes en la atmósfera emitidos por fuentes fijas y por la actividad del volcán Tungurahua.

Los resultados se compararon con los límites establecido en el libro sexto del Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria (TULAS) que regula en el Ecuador los límites permisibles y que es la norma de regulación de la Ordenanza para la prevención y control de la contaminación ambiental

ocasionado por las actividades agroindustriales, industriales, artesanales del Ilustre Municipio de Ambato (Ordenanza Municipal, 2004).

### **1.2.5 Preguntas directrices**

1.2.5.1 ¿Existe emisión de contaminantes del aire por fuentes fijas y por actividad volcánica en la ciudad de Ambato-Ecuador?

1.2.5.2 ¿Se requiere el análisis de la concentración de los contaminantes emitidos por las mencionadas empresas así como por la actividad del volcán Tungurahua?

1.2.5.3 ¿Se necesita la simulación de dispersión de contaminantes de fuentes fijas y de la actividad del volcán Tungurahua con Disper 5.2 y Screen view?

1.2.5.4 ¿Se requiere determinar el índice de calidad del aire ICAIRE en los sectores de influencia de las fuentes fijas de contaminación?

### **1.2.6 Delimitación del problema**

**Área:** Ambiental

**Sub área:** Aire

**Sector:** Análisis de contaminación del aire

**Subsector:** Simulación de la dispersión de los contaminantes del aire emitidos por fuentes fijas y por la actividad del volcán Tungurahua.

### **1.3 Justificación**

Los ciclos biológicos, geológicos y físicos de la Tierra y sus habitantes dependen de una atmósfera en equilibrio con índices bajos de contaminación. Los contaminantes del aire son sustancias que, cuando están presentes afectan la salud humana, animales, plantas, microorganismos o dañan materiales impidiendo el desarrollo normal de la vida (ATSDR, 2011).

En todo el mundo se ha puesto énfasis en el control de los contaminantes para reducirlos a niveles que no registren efectos negativos en la salud de los seres vivos. En el Ecuador solamente se cuenta con redes de monitoreo y control como la ex Corporación Municipal para el mejoramiento del aire de Quito (Secretaría de Movilidad, 2011).

La ciudad de Ambato al ser una ciudad industrializada e influenciada por la actividad del volcán Tungurahua, muestra la necesidad de un programa integral de monitoreo y control del aire. El I. Municipio de Ambato (IMA) y su Dirección de Higiene y Ambiente cuentan solo con un estudio de diagnóstico relacionado a las emisiones de contaminantes por fuentes móviles ejecutado en el 2008 (Medina et al., 2008). Sin embargo, no existe aún un estudio de las emisiones causadas por fuentes fijas el mismo que está por concluir en base a un trabajo conjunto de la Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos, Carrera de Ingeniería Bioquímica y el I. Municipio de Ambato y su Dirección de Higiene y Ambiente.

El presente trabajo de tesis de grado, que fue la simulación de la dispersión de contaminantes en las atmósferas emitidas por fuentes fijas y por la actividad del volcán Tungurahua, es parte constitutiva del estudio señalado.

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 Objetivo general**

Realizar el estudio sobre la simulación de la dispersión de contaminantes en el aire de la ciudad de Ambato, emitidos por fuentes fijas y por la actividad del

volcán Tungurahua, mediante la utilización de los softwares ambientales especializados Screen View y Disper 5.2.

#### **1.4.2 Objetivos específicos**

1.4.2.1 Seleccionar del catastro de la ciudad de Ambato las empresas industriales y de servicios consideradas fuentes fijas de contaminación del aire.

1.4.2.2 Analizar la concentración de los contaminantes emitidos por las mencionadas empresas así como por la actividad del volcán Tungurahua.

1.4.2.3 Simular los flujos de contaminación emitidos por las fuentes fijas y por la actividad volcánica y su dispersión, mediante el uso de los softwares ambientales especializados Screen View y Disper 5.2.

1.4.2.4 Determinar el índice de calidad del aire ICAIRE en los sectores de influencia de las fuentes fijas de contaminación.

## **CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO**

## 2.1 Antecedentes investigativos

US Environmental Protection Agency (EPA), ha desarrollado varios modelos para la simulación de la dispersión de contaminantes siendo entre otros, industrial source complex (ISC), Screen 3 los cuales utilizan un modelo de pluma gaussiano, son los mas utilizados debido a que cumplen criterios técnicos mínimos definidos por esa Agencia Ambiental, fueron probados en terreno y extensamente revisados (Gallardo, 2003).

The EnviroComp Institute, mediante una publicación presenta una revisión de los técnicas de simulación computarizada de la contaminación así como de los datos de la calidad del aire. La investigación incluye el uso de los modelos recomendados por el gobierno y las agencias de regulación ambiental de Estados Unidos. Ambos modelos como son el modelo no reactivo y reactivo son analizados (Daly y Zannetti, 2007).

The Smithsonian's Global Volcanism Program busca una mejor comprensión de todos los volcanes a través de la documentación de sus erupciones pequeñas y grandes, además contiene las publicaciones científicas de los reportes de actividad de los volcanes de todo el mundo y sus efectos sobre la atmósfera (Global Volcanism Program, 2011).

El National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) a través del Office of satellite data process proporciona información satelital y modelos de simulación para eventos relacionados a la atmósfera, superficie terrestre y océanos. La información es de libre acceso y contiene datos para los eventos volcánicos a nivel mundial, incluido los que sucedieron con el volcán Tungurahua (NOAA, 2011).

La National Aeronautics and Space Administration (NASA) a través del OMI/aura Online Visualization and Analysis proporciona información del satélite OMI a nivel mundial, con datos de varios parámetros como es concentración de SO<sub>2</sub>, de las emisiones producidas por el volcán Tungurahua (NASA, 2011).

CITEAIR (Información Común sobre el aire en Europa) es un proyecto co-financiado por los Programas INTERREG IIIC y IVC de la Unión Europea. El proyecto comenzó en marzo de 2004 y asesora a ciudades y regiones en el desarrollo de medios eficientes de recogida, presentación y comparación de los datos de calidad del aire a través de una multitud de soportes. Proporciona, además, una entrada a los informes de calidad del aire y a los planes de acción. Así, CITEAIR apoya a las ciudades y regiones europeas en sus esfuerzos para cumplir los valores límites establecidos y en mejorar la calidad del aire para sus ciudadanos (CITEAIR, 2011).

PREV'AIR es el sistema establecido desde el 2003 en Francia por el "Ministère de l'Ecologie du Développement durable, des Transports et du Logement" (MEDDTL), para generar y distribuir mapas todos los días de las previsiones de la calidad aire, como resultado de simulaciones numéricas en diferentes escalas espaciales (PREV'AIR, 2011).

European Volcano Observatory Space Services (EVOSS), es el proyecto de la Unión Europea encargado de monitorear y analizar los datos de observación de la Tierra, para controlar los peligros volcánicos en una escala global (EVOSS, 2011).

Cristian Bustos (2004) en la universidad de Chile realizó un estudio sobre la aplicación de modelos de dispersión atmosférica en la evaluación de impacto ambiental, en la cual describe todos los modelos existentes así como software informáticos que permiten simular y analizar los contaminantes.

González Vladimir (2008) director del Programa Calidad del Aire Ecuador de la Fundación Natura analizó el estado actual del monitoreo del aire y concluye que el país no tiene un sistema nacional de monitoreo, por tanto no existen indicadores nacionales del estado del recurso. Menciona también que a excepción de Quito, en 16 centros urbanos con más de 100 mil habitantes la información sobre el estado del recurso es escasa, discontinua y de calidad incierta.

La Corporación Municipal para el Mejoramiento del Aire de Quito (CORPAIRE, 2001) fue creada con los fines primordiales de coordinar, gestionar y llevar adelante el proceso de estudios técnicos y económicos, elaborar bases, convocar, seleccionar, adjudicar, contratar y fiscalizar la operación de los Centros de Revisión y Control Vehicular de Quito, así como monitorear la calidad del aire ambiente a través de la Red Metropolitana de Monitoreo Atmosférico de Quito.

Parra René y Páez Carlos (2006) junto a la CORPAIRE desarrollaron un modelo de transporte químico euleriano para la predicción de la calidad del aire en Quito, utilizando Weather Research and Forecasting Model with Chemistry (WRF- hem), uno de los más recientes modelos numéricos que simula al mismo tiempo la meteorología y los procesos de transporte químico (coupled model). La investigación concluye indicando que la implementación y uso de un modelo euleriano de transporte químico es costoso, tanto por el tiempo de cálculo (considérese que para el pronóstico es imprescindible contar con un equipo informático muy potente), así como por el desarrollo del inventario de emisiones.

En la ciudad de Guayaquil han sido realizados principalmente los estudios específicos de la problemática puntual de la contaminación del aire, siendo estos la evaluación de la combustión de los calderos del parque Industrial, determinación de la influencia del parque automotor, análisis de la calidad del

aire, estimación de material particulado en la zona de influencia de La Cemento Nacional (Arraiga et al., 2001).

Peralta J y colaboradores (2005) elaboraron la simulación de dispersión de contaminantes en la atmósfera emitidos por generadores termoeléctricos en la ciudad de Guayaquil, trabajo en el cual evaluaron los diferentes parámetros meteorológicos existentes en el 2005 para la ciudad de Guayaquil como lo son: la velocidad y dirección del viento, temperatura, nubosidad, etc. Con los resultados del análisis procedieron a crear el archivo denominado data meteorológica, el cual utilizó el modelo ISCST3 el cual se basa en el modelo gaussiano. Señalan además la necesidad de información provista por las propias empresas, información que básicamente consistía de las características físicas de la fuente, de sus parámetros operativos, y fundamentalmente, de la tasa de emisión de cada sustancia contaminante evaluada.

En la ciudad de Cuenca la Dirección de Gestión Ambiental (D.G.A.) propuso llevar a cabo un Programa de Control de la Contaminación del Aire, dentro del cual se realizaron actividades, como: reconocimiento del problema, recolección de información, definición de las fuentes y causas de contaminación atmosférica, para lo cual se propuso desarrollar el Programa de Monitoreo de la Calidad del Aire en la ciudad de Cuenca, el mismo que la D.G.A. implementó mediante la operación de tres estaciones de monitoreo con la ampliación de los parámetros de medición: CO y NOx (NO<sub>2</sub>). Los equipos, material de operación e infraestructura necesarios fueron adquiridos mediante la donación de USD \$ 55 000,00 por parte del Gobierno de los Países Bajos. El monitoreo del aire se realizó desde el mes de junio de 1999 hasta el mes de mayo del 2002. El Programa está interrumpido por la falta de presupuesto por un lado, así como también por la necesidad de definir competencias de gestión ambiental en el Cantón (Organización Panamericana de la Salud, 2002).

El Municipio de Ambato a través de la Dirección de Higiene inició la gestión del aire mediante el monitoreo de la calidad del aire a través de una estación ubicada en la zona céntrica de la ciudad, como parte de la Red Ecuair, la cual operó desde el año de 1986 hasta 1998 y reporta que la calidad del aire de la ciudad se encuentra dentro de los límites permitidos. (Organización Panamericana de la Salud, 2002).

El primer instrumento jurídico sobre la gestión ambiental en el Cantón Ambato, se aprobó en el año de 1998, sobre la base de la emisión de los Permisos Ambientales Obligatorios para las Industrias y control de niveles de emisión permisibles de fuentes fijas; así como la Ordenanza que establece el Sistema y Procesos de Gestión Ambiental (Organización Panamericana de la Salud, 2002).

En la actualidad en el Cantón de Ambato se aplica la ordenanza para la prevención y control de la contaminación ambiental ocasionada por las actividades agroindustriales, industriales, artesanales, domésticas y de servicios, discutida y aprobada por el Ilustre Concejo Cantonal de Ambato el día miércoles 6 de octubre del 2004 (Ordenanza Municipal, 2004).

La universidad central (DEPEC), con el financiamiento de Petroecuador, realizó para el municipio de Ambato, un estudio detallado de diagnóstico relacionado a la emisión de contaminantes del aire por “Fuentes Móviles” en más de 25 sitios en el área urbana de Ambato. En este diagnóstico se concluyó que en Ambato la contaminación del aire por CO, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, O<sub>3</sub> y material particulado es relativamente baja, aún cuando en sitios y tiempos específicos se sobrepasan los límites máximos permisibles (Medina et al., 2008).

El Ecuador además, tiene que evaluar fuentes contaminantes naturales existentes debido a las condiciones geográficas y la ubicación del país en el área denominada como “Cinturón de Fuego”, con alta probabilidad de erupciones volcánicas, deslizamientos de tierras por acción de movimientos

telúricos y erosión de suelos. Tan solo en últimos cuatro años las ciudades de las Provincias de Pichincha, Tungurahua y Chimborazo fueron testigos de los impactos ambientales y socio - económicos tras las erupciones de los Volcanes: Guagua Pichincha, Tungurahua y Reventador (Organización Panamericana de la Salud, 2002).

El Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional publica en su sitio web de manera continua informes diarios, semanales y especiales relacionados con la actividad volcánica así como de los sucesos sísmicos del Ecuador, los informes reportan entre otros, datos de sismicidad, observaciones visuales, auditivas, clima, imágenes satelitales y reportes de la caída de ceniza de manera cuantitativa para ciertos sectores y de manera cualitativa para la ciudad de Ambato, por efecto de la actividad volcánica del volcán Tungurahua (Instituto Geofísico EPN, 2011).

## **Características del recurso aire**

### **Composición y estado físico del aire limpio**

El recurso aire es cualquier porción no confinada de la atmósfera, y se define como mezcla gaseosa cuya composición normal es, de por lo menos, veinte por ciento (20%) de oxígeno, setenta y siete por ciento (77%) nitrógeno y proporciones variables de gases inertes y vapor de agua, en relación volumétrica (Dirección Metropolitana Ambiental, 2008).

Para establecer la referencia de aire limpio se considera su composición media del aire troposférico en las zonas polares. Esta composición media, sobre base seca es la indicada en la Tabla 2.

**Tabla 2. Composición porcentual y en peso del aire limpio**

<b>Componentes Principales</b>	<b>Concentración (% volumen)</b>	<b>Peso total (Millones de toneladas)</b>
Nitrógeno (N <sub>2</sub> )	78.09	4220000000
Oxígeno (O <sub>2</sub> )	20.95	1290000000
Argón (Ar)	0.93	72000000
Dióxido de Carbono (CO <sub>2</sub> )	0.032	2700000
<b>Componentes Menores</b>		
Neón (Ne)	0.0018	70000
Helio (He)	0.00052	4000
Metano (CH <sub>4</sub> )	0.00015	4600
Criptón (Kr)	0.0001	16200
Hidrógeno (H <sub>2</sub> )	0.00005	190
Oxido Nitroso (N <sub>2</sub> O)	0.00002	1700
Monóxido de Carbono (CO)	0.00001	540
Xenón (Xe)	0.000008	2000
Ozono (O <sub>3</sub> )	0.000002	190
Amoníaco (NH <sub>3</sub> )	0.0000006	21
Dióxido de Nitrógeno (NO <sub>2</sub> )	0.0000001	9
Oxido Nítrico (NO)	0.00000006	3
Dióxido de Azufre (SO <sub>2</sub> )	0.00000002	2
Sulfuro de Hidrógeno (H <sub>2</sub> S)	0.00000002	1

Fuente: Medina (2008)

### **Viento**

Cuando el aire se mueve respecto al suelo, podemos sentirlo o verlo como viento, esto es, tan solo el movimiento. Una serie de fuerzas pone en movimiento el aire:

1. La fuerza de gradiente de presión.- Tiende a impulsar el movimiento del aire de áreas con alta presión a zonas con baja presión.

2. La gravitación.- Tiende a acelerar el aire hacia abajo a una tasa próxima a  $9.8\text{m/s}^2$ .
3. La fricción.- Actúa en sentido opuesto a la dirección del viento y es aproximadamente proporcional al cuadro de la velocidad del viento.
4. La fuerza de Coriolis.- Causada por la rotación del planeta y que suele llamarse fuerza deflectora de la rotación de la Tierra. Ésta actúa en ángulo recto a la dirección del viento.

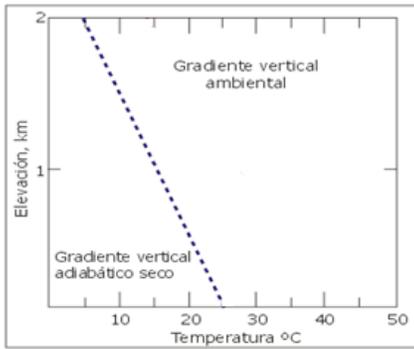
El viento tiende a soplar de manera constante y se mueve normalmente sujeto a un equilibrio de fuerzas (Glynn y Heinke, 1999).

### **Estabilidad Atmosférica**

El perfil de la temperatura del aire ambiental muestra el gradiente vertical atmosférico.

Resulta de complejas interacciones producidas por factores meteorológicos; por lo general consiste en disminución en la temperatura con la altura como se observa en el Figura 1.

Figura 1. Gradiente vertical ambiental

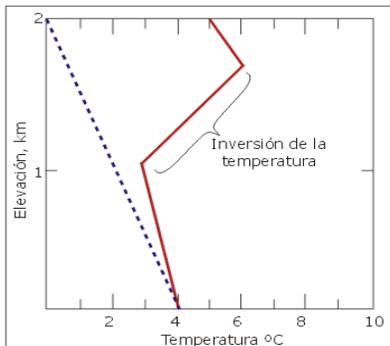


Fuente: Chang (2008)

Es importante para la circulación vertical, ya que la temperatura del aire circundante determina el grado en que una porción de aire se eleva o desciende.

El fenómeno producido cuando la temperatura aumenta con la altitud se conoce como inversión de la temperatura (inversión térmica) como se indica en el Figura 2.

Figura 2. Inversión térmica del aire



Fuente: Chang (2008)

Esta situación es clave en la contaminación del aire porque limita la circulación vertical de este. La combinación de los movimientos verticales y

horizontales del aire influye en el comportamiento de las plumas de fuentes puntuales (chimeneas).

### **Clasificación de la estabilidad de la atmósfera**

La estabilidad de la atmósfera depende de la diferencia de temperatura entre una porción de aire y su área circundante. La atmósfera puede ser estable, condicionalmente estable, neutra, condicionalmente inestable o inestable como se indica en la Tabla 3.

**Tabla 3. Categorías de estabilidad atmosférica definidas por Pasquill**

<b>CATEGORÍA</b>	<b>ESTABILIDAD</b>
A	Extremadamente inestable
B	Moderadamente inestable
C	Levemente inestable
D	Neutra
E	Levemente estable
F	Moderadamente estable

Fuente: Pasquill y Gifford (1962)

Para estimar la dispersión estos niveles de estabilidad se clasifican en 6 clases basadas en 5 categorías de velocidad del viento superficial, 3 tipos de insolación diurna y 2 tipos de nubosidad nocturna como se indican en la Tabla 4.

Estos tipos de estabilidad se llaman clases de estabilidad Pasquill – Gifford. Las estabilidades A, B y C representan horas diurnas con condiciones

inestables. La estabilidad D, los días o noches con cielo cubierto con condiciones neutrales. Las estabildades E y F, las condiciones nocturnas estables, basada en la cobertura de nubes. La clasificación A representa condiciones de gran inestabilidad mientras que la F, de gran estabilidad.

**Tabla 4. Clases de estabilidad Pasquill – Gifford para el día y para la noche.**

Viento Superficial	Insolación			Noche	
Velocidad (m/s) medida a 10m de altura	Fuerte	Moderada	Ligera	Cobertura de nubes bajas* $\geq 4/8$	Cobertura de nubes $\geq 3/8$
Clase	1	2	3	4	5
< 2	A	A – B	B	-	-
2 – 3	A – B	B	C	E	F
3 – 5	B	B – C	C	D	E
5 – 6	C	C – D	D	D	D
> 6	C	D	D	D	D

Fuente: Chang (2008)

### Capa límite atmosférica

La capa límite atmosférica es la capa de aire más baja de la atmósfera terrestre (entre 500 m y 2000 m) y está influenciada por los efectos del calor y la rugosidad de la superficie terrestre. La dispersión de los contaminantes

atmosféricos dentro de la capa límite se produce mediante turbulencias atmosféricas (remolinos) que varían fuertemente según la estratificación de la misma. A la capa límite atmosférica le sigue la troposfera que se extiende a una altitud entre 10 y 15 Km en donde la temperatura disminuye con la altitud con una disminución de aproximadamente 9,8 °C por Km que nos elevemos. De este gradiente vertical de temperaturas dependen las corrientes de convección en donde el aire templado sube y el frío desciende (Canarina, 2010).

En la superficie terrestre, la velocidad del viento es nula debido a la fricción que produce la rugosidad de la superficie terrestre. A medida que nos separamos de dicha superficie nos encontraremos con que la velocidad del viento empieza a aumentar. Esta velocidad es compleja y debida a muchos factores diferentes como son el movimiento de la tierra, el gradiente vertical de temperaturas, la existencia de remolinos. Dentro de la capa límite podremos definir una componente de velocidad media y otra de velocidad variable. Todos estos son procesos complejos. De noche, cuando se enfría la superficie terrestre, el gradiente de temperaturas se invierte y, por consiguiente, cambian los movimientos de convección y la velocidad del viento. En la parte baja de la troposfera, la temperatura ambiente normalmente disminuye con la altitud. La velocidad con la que dicha temperatura disminuye se conoce como gradiente de temperaturas. Este gradiente se mide mediante un globo sonda equipado con un termómetro que va haciendo lecturas a medida que asciende en la atmósfera. Dicho gradiente varía de un día a otro, entre el día y la noche, entre una estación y la otra (Canarina, 2010).

### **Contaminación del aire**

Cualquier sustancia o material emitido a la atmósfera, sea por actividad humana o por procesos naturales, presentes en concentración suficiente, por un

tiempo suficiente y bajo circunstancias tales que interfieren con el confort, la salud o el bienestar de los seres humanos o del ambiente (TULAS, 2006).

## **Contaminantes del aire**

Se consideran contaminantes del aire las sustancias y formas de energía que potencialmente puedan producir riesgo, daño o molestia grave a las personas, ecosistemas o bienes en determinadas circunstancias.

Atendiendo a su naturaleza se clasifican en dos grupos sustancias químicas y formas de energía (Conesa, 1997).

## **Sustancias Químicas**

Es la producida por la presencia en el ambiente de distintas sustancias emitidas por la misma naturaleza o por diferentes actividades humanas, en tal cantidad y durante suficiente tiempo para que afecten a los organismos o a los materiales, causando alteraciones en el entorno en el que se emiten (Bustos, 2007; EPA, 2009; Lenntech, 2008).

## **Contaminantes atmosféricos primarios**

Son las sustancias vertidas directamente en la atmósfera desde los focos contaminantes, fundamentalmente las formas reducidas y los óxidos de carbono, de azufre y de nitrógeno, los hidrocarburos y las partículas (Conesa V, 1997).

Los contaminantes primarios son:

- Óxidos de carbono; monóxido de carbono (CO) y dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).

- Compuestos del nitrógeno: amoníaco ( $\text{NH}_3$ ), óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), óxido nítrico ( $\text{NO}$ ) y el dióxido de nitrógeno ( $\text{NO}_2$ ).
- Compuestos del azufre: sulfuro de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{S}$ ), dióxido de azufre o anhídrido sulfuroso ( $\text{SO}_2$ ) y el trióxido de azufre ( $\text{SO}_3$ ).
- Compuestos clorados: hidrocarburos clorados, bifeniles policlorados y clorofenoxiácidos.
- Metales: considerados como tóxicos (Bi, Be, Cd, Sn, Sb, Pb, Hg, Ni).
- Partículas: ceniza, humo, polvo, arena, niebla, aerosoles (Bustos, 2007; Free Patents Online, 2009; Lenntech, 2008).
- Hidrocarburos: metano, etano, propano, n-butano, n-pentano, i-pentano, benceno y tolueno.

### **Contaminantes atmosféricos secundarios**

Sustancias que no se vierten directamente a la atmósfera desde los focos emisores, sino que se producen como consecuencia de las transformaciones, reacciones químicas y fotoquímicas catalizadas por la luz ultravioleta que sufren los contaminantes primarios.

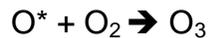
- Contaminación fotoquímica: Aparición de oxidantes como ozono ( $\text{O}_3$ ) y radicales libres activos  $\text{RO}^\cdot$ . La reacción que inicia el proceso de formación de ozono es la absorción de luz UV por el dióxido de nitrógeno, el cual se ha formado previamente por la reacción lenta entre el óxido de nitrógeno y el oxígeno. Al absorber la luz, el dióxido de nitrógeno reacciona con el oxígeno molecular y forma monóxido de nitrógeno y oxígeno atómico. Este es muy reactivo y se une de inmediato a una molécula de oxígeno, para formar ozono. En condiciones normales, el ozono y el óxido de nitrógeno reaccionan de nuevo entre sí para regenerar oxígeno y dióxido de nitrógeno, y de esta manera

completar el ciclo de este último, proceso que se describe en la Reacción a, b, c (Rodríguez J, 1995).

Reacción a



Reacción b



Reacción c



Sin embargo cuando la tropósfera está muy contaminada, el ozono puede acumularse como consecuencia de una serie de reacciones en las que participan el radical oxhidrilo y los hidrocarburos como se describe en la Reacción d, e, f, g y h. Estos son oxidados parcialmente y reaccionan con el NO más rápidamente que con el ozono, por lo que, aunque el dióxido de nitrógeno se regenera, el ozono que queda es excesivo y se acumula lentamente en la tropósfera.

Reacción d



Reacción e



Reacción f



Reacción g



Reacción h

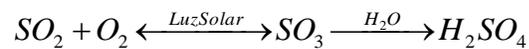


Como se observan en la Reacción f y h, el monóxido de nitrógeno se oxida sin la participación del ozono lo que, finalmente, provoca la acumulación del ozono.

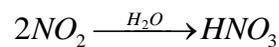
Acidificación del medio ambiente o lluvia ácida: Consecuencia del retorno a la superficie de la tierra, en forma de ácidos, de los óxidos de azufre y nitrógeno descargados a la atmósfera.

Las formación de este tipo de compuesto secundario se indica en la Reacción i, j (Rodríguez J, 1995).

Reacción i



Reacción j



- Disminución del espesor de la capa de ozono: Consecuencia de la descarga de determinadas sustancias a la atmósfera, principalmente clorofluorocarbonos (CFC<sub>s</sub>) (Conesa 1997; Bustos 2007; Free Patents Online 2009; Lenntech 2008).

### Formas de energía

Este tipo de contaminación se encuentra representado por tres formas de energía.

- Radiaciones ionizantes, las que pueden provenir de sustancias radiactivas, que emiten dichas radiaciones de forma espontánea, o de generadores artificiales, tales como los generadores de rayos X y los aceleradores de partículas.

- Ruido, llamada contaminación acústica y es el exceso de sonido que altera las condiciones normales, si bien el ruido no se acumula, traslada o mantiene en el tiempo como las otras contaminaciones, también puede causar grandes daños en la calidad de vida de las personas si no se controlan adecuadamente.
- Térmica causada por el escape de calor al ambiente debido a las actividades industriales y urbanas que realiza el hombre. Se incluye todo el calor procedente de cualquier fuente que no sea la energía solar o la geotérmica (Bustos, 2007, Lenntech, 2008).

### **Propiedades de los principales contaminantes**

En la Tabla 5 y Tabla 6 se describen los principales contaminantes, los cuales están caracterizados mediante la definición de algunas de sus propiedades fisicoquímicas y de sus efectos sobre el medio ambiente.

**Tabla 5. Principales contaminantes atmosféricos y algunas de sus propiedades fisicoquímicas.**

Contaminante	Formula Química	Peso Molecular	Estado físico en condiciones normales	Olor
Unidades	-	Kg/kmol	-	-
Monóxido de carbono	CO	28.1	Gas	Inodoro
Dióxido de azufre	SO <sub>2</sub>	64.06	Gas	Irritante
Dióxido de	NO <sub>2</sub>	46.00	Gas	Inodoro



Fuentes:	Es liberado en muchos procesos de combustión ya que los combustibles como el carbón, el petróleo, el diesel o el gas natural contienen ciertas cantidades de compuestos azufrados
Efectos:	Incremento significativo de los síntomas respiratorios en personas con asma y agravamiento de las personas con enfermedades pulmonares y cardíacas. El de mayor preocupación es la contribución de óxidos de azufre a la formación de lluvia ácida.
Concentraciones:	Aire limpio: 0.001-0.01 ppm Aire contaminado: 0.02-2 ppm
Nombre:	Óxidos de nitrógeno (NO <sub>x</sub> )
Definición:	El término óxidos de nitrógeno (N <sub>x</sub> O <sub>y</sub> ) se aplica a varios compuestos químicos binarios gaseosos formados por la combinación de oxígeno y nitrógeno.
Ejemplos:	El trabajo sobre la contaminación del aire se refiere exclusivamente al óxido nítrico y dióxido de nitrógeno (NO y NO <sub>2</sub> ).
Fuentes:	Los óxidos de nitrógeno son liberados al aire de la combustión del carbón, petróleo o gas natural, y durante la producción de ácido nítrico, lacas, tinturas y otros productos químicos.
Efectos:	Influye en las reacciones de formación y destrucción del ozono, tanto troposférico como estratosférico, así como en el fenómeno de la lluvia ácida. En concentraciones altas produce daños a la salud y a las plantas y corroe tejidos y materiales diversos.
Concentraciones:	Aire limpio: 0.001-0.01 ppm; Aire contaminado: 0.01-0.5 ppm
Nombre:	Ozono (O <sub>3</sub> )
Definición:	El ozono que se encuentra en la troposfera, junto a la superficie de la Tierra, es un importante contaminante secundario
Fuentes:	El que se encuentra en la zona más cercana a la superficie se forma por reacciones inducidas por la luz solar en las que

	participan, principalmente, los óxidos de nitrógeno y los hidrocarburos presentes en el aire.
Efectos:	Es el componente más dañino del smog fotoquímico y causa daños importantes a la salud, cuando está en concentraciones altas, y frena el crecimiento de las plantas y los árboles.
Concentraciones:	Aire limpio: <0.01ppm                      Aire contaminado: >0.05 ppm

Nombre:	Hidrocarburos – VOC
Definición:	Químicos Orgánicos Volátiles (por sus siglas en Inglés, Volatile Organic Chemicals, VOC) contienen elementos como hidrógeno, oxígeno, flúor, cloro, bromo, azufre o nitrógeno.
Fuentes:	Los VOC son liberados por la quema de combustibles, como gasolina, madera, carbón o gas natural. También son liberados por disolventes, pinturas y otros productos empleados y almacenados en la casa y el lugar de trabajo.
Ejemplos:	Propano, tolueno, xileno, acetona, benceno.
Efectos:	Muchos compuestos orgánicos volátiles son peligrosos contaminantes del aire. La importancia de los VOC reside en su capacidad como precursores del ozono troposférico y su papel como destructores del ozono estratosférico. Contribuyen a la formación del smog fotoquímico al reaccionar con otros contaminantes atmosféricos (como óxidos de nitrógeno) y con la luz solar, se da principalmente en áreas urbanas.
Concentraciones:	Aire limpio: 1 ppm                      Aire contaminado: 1-20 ppm

Nombre:	Hidrocarburos – No VOC
Definición:	Todos los compuestos de carbono e hidrógeno, en forma líquida o gaseosa, exentos específicamente como no VOC.
Ejemplos:	Freones, tetracloruro de carbono, cloruro de metileno
Fuentes:	Los sistemas de acondicionamiento de aire, la limpieza y

	desengrasado con disolventes, el limpiado en seco.
Efectos:	La mayor parte son agotadores del ozono atmosférico.
Nombre:	Material particulado (MP)
Definición:	El Material particulado (Partículas Totales Suspendidas, PTS) se define como la acumulación de gotitas de un sólido o líquido en la atmósfera ambiental generada a partir de alguna actividad antropogénica o natural
Ejemplos:	Ceniza, polvo, humo, gotitas de petróleo, berilio, asbesto.
Fuentes:	Hornos, trituradores, molinos, afiladores, estufas, calcinadores, calderas, incineradores, digestores, incendios forestales.
Efectos:	Cuando se inhalan, las partículas gruesas son filtradas de forma efectiva por la nariz y por la garganta, generalmente, no llegan a los pulmones. En cambio, las partículas finas, al ser inhaladas, pueden adsorberse sobre las superficies de las células y, en consecuencia, afectar nuestra salud.
Concentraciones:	Aire limpio: 10 – 20 µg/m <sup>3</sup> Aire contaminado: 70-700 µg/m <sup>3</sup>

Fuente: Medina (2008)

### **Episodio crítico de contaminación del aire**

Es la presencia de altas concentraciones de contaminantes comunes del aire y por períodos cortos de tiempo, como resultado de condiciones meteorológicas desfavorables que impiden la dispersión de los contaminantes previamente emitidos (TULAS, 2003).

### **Fuentes de los contaminantes del aire**

Las fuentes de los contaminantes del aire se clasifican en naturales y no naturales o antropogénicas.

## Fuentes naturales de contaminación del aire

Las emisiones naturales provienen fundamentalmente de los volcanes, incendios forestales y descomposición de materia orgánica en el suelo y océanos como se puede apreciar en la Tabla 7. En la Tabla 8 se muestra la proporción entre las emisiones naturales y antropogénicas para los distintos contaminantes.

**Tabla 7. Fuentes naturales de contaminación**

Fuente	Contaminantes
Volcanes	Óxidos de azufre, partículas, CO, CO <sub>2</sub> , vapor de agua, amoniaco, ácidos sulfúrico, nítrico y cenizas
Fuegos forestales	CO, CO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> y polvo de carbón
Vendavales	Polvo
Plantas vivas	Hidrocarburos, polen
Plantas en descomposición	Metano, sulfuro de hidrógeno
Suelo	Virus, polvo
Mar	Partículas de sal

Fuente: National Geographic (2000)

**Tabla 8. Focos de emisión de contaminantes**

Contaminante	Antropogénicos (%)	Naturales (%)
Aerosoles	11.3	88.7
SO <sub>x</sub>	42.9	57.1

CO	9.4	90.6
NO	11.3	88.7
HC	15.5	84.5

Fuente: National Geographic (2000)

Las cifras muestran la gran importancia que, en cuanto a emisiones globales tienen las fuentes naturales de emisión de contaminantes en relación con los antropogénicos.

### **Volcanes como fuente natural fija de contaminación del aire**

Los volcanes son fuentes naturales de contaminación. Una consecuencia de la actividad volcánica es alterar la calidad no solo del aire, sino del suelo y del agua simultáneamente. La presencia de sustancias y elementos tóxicos que se producen en la reacción química de las emisiones volcánicas generan de forma natural la contaminación atmosférica en la zona de impacto.

### **Emisiones volcánicas**

En los lugares expuestos a la amenaza volcánica se debe prestar especial atención a los pronósticos de afectación de la población por alteración de la calidad del aire, con valores altamente tóxicos emitidos por el volcán (gas, ceniza y calor), que dependerán de su concentración, volumen y tiempo en el ambiente. Por lo tanto, “todos los volcanes liberadores de gases deben ser activamente monitorizados, dado que los incrementos súbitos en el flujo de gas pueden ser un aviso de una nueva y violenta actividad eruptiva. Además, si las concentraciones en el aire en áreas habitadas exceden rápidamente los

estándares de calidad del aire para el dióxido de sulfuro ( $\text{SO}_2$ ) establecidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS), las comunidades afectadas pueden necesitar informes sobre las medidas de protección respiratoria o sobre la conveniencia de la evacuación (Organización Panamericana de la Salud, 2002).

### **Lluvia ácida de origen volcánico**

La lluvia ácida de origen volcánico se forma por los gases emitidos en los procesos eruptivos principalmente por el  $\text{SO}_2$ , la lluvia ácida posee cantidades intolerables de ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) y ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ) disueltos en sus gotas de agua. Ambos ácidos se forman al reaccionar el trióxido de azufre ( $\text{SO}_3$ ) y el dióxido de nitrógeno ( $\text{NO}_2$ ) con el agua ( $\text{H}_2\text{O}$ ). De manera que la acidez del agua lluvia alcanza significativamente niveles que oscilan entre 3.5 a 5.5 con respecto al pH normal del agua que es aproximadamente 6.5 (Montalvo y Escobar, 2011).

### **Volcanismo en el Ecuador**

El arco volcánico ecuatoriano forma parte de la Zona Volcánica Norte de los Andes (NVZ), que se extiende desde el volcán Cerro Bravo, en Colombia hasta el volcán Sangay, en Ecuador. Al sur del Sangay no existen volcanes activos en Los Andes hasta la región de Arequipa, en Perú (Barberi et al., 1988). Los volcanes ecuatorianos han sido clasificados por Hall y Beate (1991), quienes definen cuatro filas según el tipo de basamento/substrato que subyace a los volcanes: Cordillera Occidental, el Valle Interandino, la Cordillera Real y el Oriente.

## **Coordillera Occidental**

La fila de volcanes en la Cordillera Occidental es también conocida como Frente volcánico y los principales volcanes, de norte a sur, son: Chiles-Cerro Negro, Cotacachi-Cuicocha, Chachimbiro, Pululagua, Casitagua, Pichincha, Atacazo-Ninahuilca, Corazón, Illiniza, Quilotoa, Carihuayrazo, Chimborazo, aunque existen varios otros volcanes de menor tamaño.

De todos los centros volcánicos de la Cordillera Occidental, solo el Guagua Pichincha ha tenido erupciones en tiempos históricos (es decir, a partir del año 1532). Sin embargo, los estudios volcanológicos y las dataciones por carbono 14 indican claramente que el Quilotoa, Ninahuilca, Pululagua y Cuicocha han tenido erupciones de importancia en el transcurso de los últimos tres mil años, por lo que se considera a estos volcanes como “potencialmente activos” (Barberi et al., 1988).

Los volcanes potencialmente activos de la Cordillera Occidental son considerados como peligrosos, puesto que sus erupciones tienden a ser muy explosivas, caracterizadas por el crecimiento de domos, la generación de grandes flujos piroclásticos, extensas caídas de ceniza y la formación de lahares (Instituto Geofísico EPN, 2011).

## **El valle interandino**

Estos volcanes están localizados a lo largo del eje del Valle Interandino de los Andes del Ecuador, desde la frontera con Colombia al norte, hasta la zona de Riobamba al sur. Se trata de estratovolcanes grandes, de 10 - 25km de ancho con elevaciones de 3800 - 4700 metros. Estos edificios han sido profundamente erosionados y en su gran mayoría están extintos. Solamente el volcán Imbabura muestra evidencia de actividad eruptiva (Instituto Geofísico EPN, 2011).

## **La cordillera real**

Los principales volcanes que definen este lineamiento son, de norte a sur: Soche, Cayambe, Pambamarca, la caldera de Chacana, Antisana, Sincholagua, Cotopaxi, caldera de Chalupas-Quilindaña, Tungurahua, El Altar y Sangay. A pesar de su ubicación en la zona Subandina, el volcán Reventador, es a veces asociado con los volcanes de la Cordillera Real debido a sus características geoquímicas y petrográficas. Dada la frecuencia de sus erupciones, la altura de los estratovolcanes y la frecuente presencia de un casquete glacial, los volcanes de la Cordillera Real presentan un gran peligro en futuras erupciones. Este peligro está representado por fenómenos como flujos de lava, flujos piroclásticos, caídas de ceniza, grandes lahares y posiblemente avalanchas de escombros (Instituto Geofísico EPN, 2011).

## **El Oriente**

A 50 kilómetros al este de la Cordillera Real, se encuentra un grupo de volcanes alineados Norte - Sur y constituido por los edificios del Reventador, Pan de Azúcar, Yanaurcu, Sumaco y los Conos del Puyo. Estos volcanes se han construido sobre una pequeña cordillera conocida como Levantamiento Sub-Andino, la cual representa el pie oriental de Los Andes Ecuatorianos (Instituto Geofísico EPN, 2011).

## **Volcán Tungurahua**

### **Información General**

Latitud: 1°28' Sur

Longitud: 78°27' Oeste

Elevación: 5023 m

Situado a: 33 kilómetros al sureste de Ambato, en la Cordillera Real de los Andes Ecuatorianos.

### **Datos Fisiográficos**

Elevación: 5020 m

Tipo de volcán: Estratovolcán joven de forma cónica y simétrica

Diámetro basal: 14 km

Drenajes principales: Ríos Puela al sur y sureste, Chambo al occidente y Pastaza al norte y noreste (Instituto Geofísico EPN, 2011).

### **Análisis de la ceniza del volcán Tungurahua**

En la Tabla 9 se indica los principales compuestos de la ceniza del volcán Tungurahua, desde el punto de vista de salud interesa las concentraciones de óxido de silicio ( $\text{SiO}_2$ ) dada su vinculación con la fibrosis pulmonar, sin embargo los diferentes datos de la composición química de la ceniza volcánica arrojan valores bajos en relación al rango de normalidad (Álvarez, 2000).

**Tabla 9. Análisis químico expresado en WT% de la ceniza volcánica del Tungurahua.**

Compuesto	Valor referencial	Muestra 2-nov-1999	Muestra 7-nov-1999	Muestra 13-nov-1999
$\text{SiO}_2$	64.09	58.5	58.3	58.4
$\text{Al}_2\text{O}_3$	16.85	17.3	17.1	17.1
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	2.07	6.81	7	6.91
MgO	2.58	3.68	4.04	3.92

CaO	5.17	6.58	6.6	6.52
Na <sub>2</sub> O	4.46	4.04	3.87	3.93
K <sub>2</sub> O	1.5	1.71	1.68	1.7
TiO <sub>2</sub>	0.5	0.89	0.87	0.88
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.19	0.35	0.33	0.34
MnO	0.10	0.10	0.11	0.11

Fuente: Instituto Geofísico EPN (2011)

### **Situación actual del volcán Tungurahua**

En el último reporte semanal con fecha 22 de mayo del 2011 del Instituto Geofísico EPN (2011) con respecto a la actividad superficial mencionan un comportamiento variable, las alturas de las columnas de emisión o de explosión hasta 4 km de altura sobre el cráter y en promedio 2 km. Las caídas de ceniza reportan la mas intensa con 3 mm de espesor en las estaciones de monitoreo de Bilbao y Trigal, caídas leves en la ciudad de Ambato y la población de Río Negro. Se reporta caídas de ceniza en las siguientes localidades: Bilbao, Pondoá, Baños, Juive, Cotaló, Cusúa, Runtún, Chacauco, Manzano, Pillate, estación RETU, Penipe, Trigal, Cahujá, Yuibug, OVT, Palictahua, Mapayacu, Ambato y Río Negro. Los caudales de SO<sub>2</sub> medidos fueron de un máximo de cerca de 4000 Ton/día el día 18 de mayo.

### **Monitoreo de emisiones de gases volcánicos**

Desde 1972, investigadores en el Dartmouth College usaron un espectrómetro de correlación o COSPEC para medir el flujo de  $\text{SO}_2$  de los volcanes. Estos datos se usaron para estimar el flujo de  $\text{SO}_2$  de varios volcanes en el mundo, delinear las formas y las concentraciones dentro de la pluma volcánica, determinar las variaciones temporales del flujo de  $\text{SO}_2$  de los volcanes, indicar la presencia de magma cerca de la superficie y detectar los cambios asociados al fracturamiento de las rocas cercanas a la superficie (Symonds et al., 1994).

La medición de los gases con un espectrómetro de correlación, debe realizarse desde un punto lejano al volcán. El equipo debe colocarse en un lugar que tenga visibilidad de la columna o pluma de gases para realizar las mediciones necesarias. El COSPEC (Espectrómetro de la Correlación) mide las ondas de la luz. Compara la luz del cielo azul contra la luz que transmite a través de la pluma de gas, y con ello se calcula la cantidad de dióxido de azufre que sale en la pluma de gas. Debe tomarse en cuenta la dirección y la velocidad de los vientos. La velocidad del viento es generalmente la principal variable que determina la precisión de las medidas del gas de  $\text{SO}_2$  (Servicio Nacional de Estudios Territoriales, 2011).

### **Monitoreo y análisis de la dispersión de las emisiones de gases del volcán Tungurahua**

Se efectúan mediciones periódicas del flujo de  $\text{SO}_2$  usando el instrumento COSPEC (Correlation Spetrometer). Adicionalmente, cuentan con 4 estaciones permanentes de medición del flujo de  $\text{SO}_2$ , usando el sistema DOAS (Differential Optical Absorption Spectroscopy) ubicadas en el flanco occidental. También cuentan con un mini DOAS portátil ( $\text{SO}_2$ ) y un espectrómetro FTIR portátil (Fourier Transform Infrared) que mide tasas relativas de emisión de varios gases.

A través de los satélites que opera la NASA, cuentan con la información proporcionada por OMI (Ozone Monitoring Instrument), que permite obtener imágenes de la emisión y dispersión del SO<sub>2</sub> volcánico (Instituto Geofísico EPN, 2011).

Por otro lado, con el fin de monitorear la caída de ceniza en los alrededores del volcán, han instalado una red de medición de caída de ceniza, que consta de 20 recipientes destinados para esto, que han sido ubicados en dos anillos alrededor del flanco occidental del volcán. Estos recipientes se los denomina cenizómetros (Instituto Geofísico EPN, 2011).

El Departamento Municipal de Higiene y Ambiente del Ilustre Municipio de Ambato en la actualidad cuenta con una estación de monitoreo de la calidad del aire de los siguientes parámetros CO, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, así como un medidor de material particulado PM10. Las mediciones de la estación de monitoreo se las realizan de manera continua y del material particulado generalmente pasando dos días. Los datos de la estación de monitoreo se están registrando a partir del 26 de noviembre del 2010 y de material particulado a partir del 1 de marzo del 2011 (Núñez, 2011).

### **Fuentes antropogénicas de contaminación del aire**

Los contaminantes de fuente antropogénica tienen su origen en las actividades humanas, tanto domésticas como industriales, y provienen de fuentes fijas, tales como chimeneas, equipos de refrigeración o incineradores de basura, así como fuentes móviles, como autos, aviones o barcos (Gutiérrez J, 2000).

### **Fuente fija de contaminación**

Es aquella instalación o conjunto de instalaciones, que tiene como finalidad desarrollar operaciones o procesos industriales, comerciales o de servicios, y que emite o puede emitir contaminantes al aire, debido a proceso de combustión, desde un lugar fijo o inamovible (TULAS, 2003).

## **Combustión**

Secuencia de reacciones químicas entre combustible y un oxidante, generalmente oxígeno, por las cuales se libera energía calórica y luminosa en un ambiente confinado. La zona donde tiene efecto se denomina cámara, hogar u horno de combustión (Barriga A, 2011)

### **Tipos de combustión**

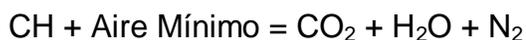
- Combustión perfecta
- Combustión completa
- Combustión incompleta
- Combustión imperfecta

### **Combustión perfecta**

Es cuando todos los componentes del combustible, al reaccionar, se oxidan al máximo. La combustión perfecta constituye el caso límite ideal, irrealizable en la práctica y que se toma como base de referencia.

Un hidrocarburo cualquiera (CH) que se oxidara en forma perfecta, se simplifica a la Reacción k (Fernández J, 2011)

Reacción k



Donde:

El porcentaje de (CO<sub>2</sub>) es el máximo posible

El aire es el mínimo posible, o sea el teórico

No existe oxígeno libre (O<sub>2</sub>)

No hay inquemados sólidos (partículas)

No hay inquemados gaseosos (CO y CH)

Los productos de la combustión no contienen (CO) ni (O<sub>2</sub>)

### **Combustión completa**

En la práctica no puede lograrse la combustión perfecta si no se emplea una cantidad de aire superior a la teórica o estequiométrica, por eso la combustión completa es una combustión perfecta con exceso de aire estequiométrica.

Los productos de una combustión completa viene dada por la Reacción m, de forma simplificada (Fernández J, 2011).

Reacción m

CH + Aire Mínimo + Exceso de Aire Suficiente = (CO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O + N<sub>2</sub>) + (O<sub>2</sub> + N<sub>2</sub>)

Donde:

CO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O + N<sub>2</sub> = Combustión Perfecta

O<sub>2</sub> + N<sub>2</sub> = Debido al exceso de aire

El porcentaje de (CO<sub>2</sub>) disminuye al ser diluido en un mayor caudal de aire que se aporta a la combustión.

Presencia de oxígeno libre (O<sub>2</sub>)

No hay inquemados sólidos (partículas) inquemados

No hay inquemados gaseosos (CO y CH) inquemados

La cantidad de vapor de agua aumenta por que aumenta la cantida de aire de combustión cantidad.

## Combustión incompleta

La combustión incompleta se produce cuando se aporta aire en cantidad insuficiente. Los productos de una combustión incompleta vienen simplificados por la Reacción n (Fernández J, 2011).

Reacción n.

$\text{CH} + \text{Aire M\u00ednimo} + \text{Exceso de Aire Insuficiente} = \text{CO}_2 + \text{CO} + \text{N}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{CH} + \text{Particulado} + \text{O}_2$

Donde

El porcentaje de  $\text{CO}_2$  disminuye

Aparecen inquemados gaseosos (CO y CH) inquemados

CO = mon\u00f3xido de carbono

CH = hidrocarburo gaseoso sin quemar

Aparecen inquemados s\u00f3lidos (material particulado)

## Combustión imperfecta

Se da habiendo exceso de aire mayor que el suficiente. No obstante este alto exceso de aire ingresado a la combustión no asegura una combustión completa.

La imperfección de la combustión es debido a las inevitables deficiencias del quemador y de las condiciones operativas de la instalación, tales como:

- Presión inadecuada del combustible
- Presión inadecuada del vapor de pulverización
- Temperatura inadecuada del combustible
- Presión inadecuada del aire de combustión
- Temperatura inadecuada del aire de combustión
- Pastillas del quemador sucias

- Orificio de las pastillas descalibradas
- Defectuosa mezcla del aire con el combustible
- Caudal de aire mal repartido

Los productos de la combustión imperfecta son descritas en la Reacción p (Fernández J, 2011).

Reacción p.

CH + Aire Mínimo + Exceso de Aire Mayor que el Suficiente = CO<sub>2</sub> + CO + N<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O + CH + Particulado + O<sub>2</sub>

### **Tipos de combustibles**

Gases: Gas natural y gas licuado

Líquidos: Diesel, bunker liviano, bunker pesado

Sólidos pulverizados: Carbón mineral, muy poco comunes en el Ecuador

Sólidos gruesos: Se quema en lecho fijo o lentamente móvil (quema en parrilla) (Barriga A, 2011).

### **Contaminantes producidos durante la combustión**

Los contaminantes principales generados durante la combustión son monóxido de carbono, dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno, hidrocarburos y partículas.

- El monóxido de carbono y los hidrocarburos son productos de combustión incompleta.
- El dióxido de carbono, aunque en general no se considera un contaminante por no ser tóxico, constituye uno de los principales gases de efecto invernadero y como tal es objeto de atención con vistas a minimizar sus emisiones.

- El dióxido de azufre se emite debido a los compuestos de azufre contenidos en los combustibles.
- El hollín se forma especialmente en las combustiones incompletas y con combustibles Diesel; está formado por partículas de carbón y sobre ellas se adsorben compuestos potencialmente cancerígenos, como el benzopireno. Este se observa en los escapes de vehículos que contaminan el aire con nubes negras.
- Los óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) pueden formarse por tres mecanismos:
  1. El conocido como NO<sub>x</sub> térmico, que se produce mediante la combustión a temperaturas por encima de 1 000 °C y se debe a que el nitrógeno contenido en el aire de combustión reacciona con el oxígeno.
  2. El NO<sub>x</sub> del combustible, que se produce cuando éste contiene compuestos de nitrógeno y reaccionan con el oxígeno.
  3. El NO<sub>x</sub> puntual, que se produce en pequeñas cantidades y que se debe a la formación rápida de NO<sub>x</sub> durante las primeras etapas de la combustión a partir del oxígeno y nitrógeno del aire.
- La formación de partículas puede ser consecuencia de un alto contenido de cenizas en el combustible (sólo en el caso de fuel oil) o de una mala atomización del combustible (en el caso de combustibles sólidos y líquidos).
- El oxígeno O<sub>2</sub> indica exceso de aire en la combustión (Suárez R, 2006).

### **Emisiones asociadas a la combustión de algunos combustibles**

En la Tabla 10 se indican las diferencias de concentración emitidas de acuerdo al combustible utilizado en los sistemas de combustión.

**Tabla 10. Emisiones asociadas a los combustibles utilizados**

<b>Combustible</b>	<b>Partículas Kg/Ton</b>	<b>SO<sub>2</sub> Kg/Ton</b>	<b>NO<sub>x</sub> Kg/Ton</b>	<b>CO Kg/Ton</b>

<b>Carbón</b>	6.5	19	7.5	1
<b>Diesel</b>	2.87	19	7.5	0.52
<b>Gas Licuado de Petroleo</b>	0.38	0.02	2.6	0.35

Fuente: Hougen (1986)

### **Monitoreo de emisiones de fuentes fijas de combustión**

En la Tabla 11 constan los principales parámetros que se monitorean en las fuentes fijas de combustión.

**Tabla 11. Parámetros de monitoreo en fuentes fijas de combustión**

Flujo de gas seco
Dióxido de carbón
Monóxido de carbón
Óxidos de nitrógeno (NO + NO <sub>2</sub> )
Dióxido de azufre
Material particulado
Compuestos orgánicos volátiles (COV's)
Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP's)
Número de humo

Fuente: CHEMENG (2010)

### **Equipos para el Monitoreo**

Para el análisis de emisiones gaseosas existen de varios equipos, entre ellos el analizador de gases de combustión TESTO 350 M/XL con las características indicadas en la Tabla 12.

La determinación de concentraciones de CO, NO, NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> y SO<sub>2</sub>, el equipo la realiza mediante el procedimiento interno basado en la determinación de celdas electroquímicas.

**Tabla 12. Rangos y resoluciones del equipo testo 350 m/xl**

Parámetro	Rango	Resolución
Dióxido de carbono	0 – 25%	0.1 %
Oxígeno	0 – 25 %	0.1 %
Temperatura	-20 - 1200 °C	0.1 °C
Monóxido de carbon	5 – 10000 ppm	1 ppm
Monóxido de nitrógeno	5 – 5000 ppm	1 ppm
Dióxido de nitrógeno	1 – 200 ppm	0.1 ppm
Óxidos de azufre	5 – 4000 ppm	1 ppm
Velocidad	0 – 200 m/s	0.1 m/s

Fuente: CHEMENG (2010)

Para material particulado, compuestos orgánicos volátiles e hidrocarburos aromáticos policíclicos existen varios equipos entre los cuales se encuentran los trenes isocinéticos, Thermoandersen y Apex cuyas características se indican en la Tabla 13. La medición de material particulado en Fuentes Fijas de combustión, sigue el procedimiento interno basado en el método ASTM 3685 (Equivalente al método EPA 5).

**Tabla 13. Rangos y resoluciones de los muestreadores isocinéticos Thermoandersen y Apex.**

Parámetro	Rango	Resolución
-----------	-------	------------

Flujo	2.5 m <sup>3</sup> /h	0.016 m <sup>3</sup> /h
Humedad	1 – 100 %	1 %

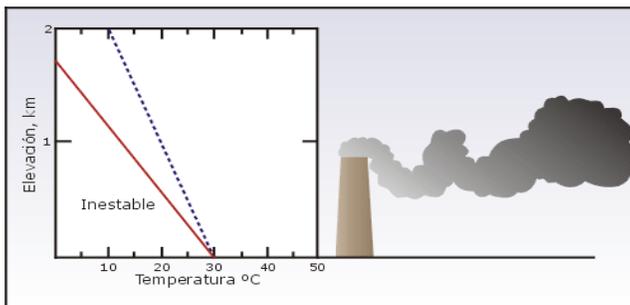
Fuente: CHEMENG (2010)

## Comportamiento de la pluma o penacho de una fuente fija de contaminación

### Chimenea con pluma en espiral

Se produce en condiciones muy inestables debido a la turbulencia causada por el acelerado giro del aire como muestra el Figura 3.

Figura 3. Estabilidad y comportamiento de la pluma o penacho



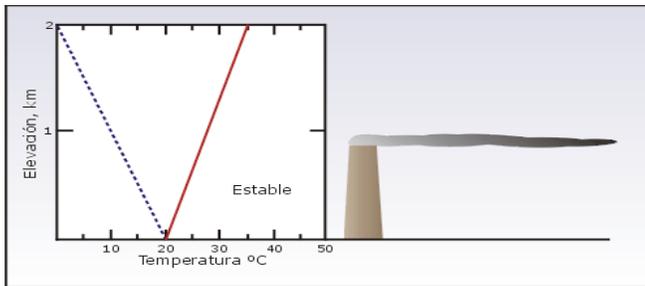
Fuente: Chang (2008)

Mientras las condiciones inestables generalmente son favorables para la dispersión de los contaminantes, algunas veces se pueden producir altas concentraciones momentáneas en el nivel del suelo si los espirales de la pluma se mueven hacia la superficie.

### Chimenea con pluma de abanico

Se produce en condiciones estables. El gradiente de inversión inhibe el movimiento vertical sin impedir el horizontal y la pluma se puede extender por varios kilómetros a sotavento de la fuente como se indica en el Figura 4.

Figura 4. Estabilidad y comportamiento de la pluma o penacho

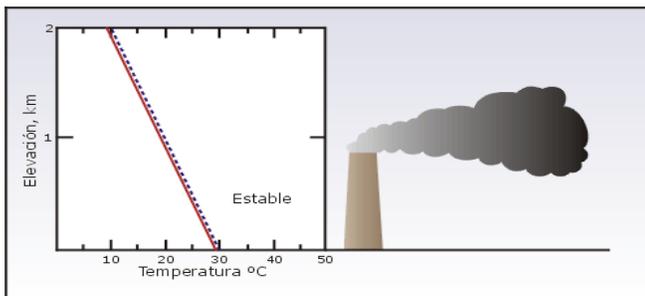


Fuente: Chang (2008)

### **Chimenea con pluma de cono**

Es característica de las condiciones neutras o ligeramente estables. Este tipo de plumas tiene mayor probabilidad de producirse en días nublados o soleados. Un ejemplo de este tipo de pluma se indica en el Figura 5.

Figura 5. Estabilidad y comportamiento de la pluma o penacho



Fuente: Chang (2008)

### **Indicador del impacto e índice de la calidad del aire.**

El índice de la calidad del aire se define como un valor representativo de los niveles de contaminación atmosférica y sus posibles efectos en la salud dentro de una región determinada.

El seguimiento y monitoreo del índice de la calidad del aire se deben realizar de manera continua antes, durante y después de la erupción volcánica, mediante la ubicación de puntos estratégicos identificados para la región, teniendo en cuenta las condiciones climáticas y meteorológicas. En consecuencia, en las áreas de riesgo es recomendable instalar equipos de lectura directa para medir las concentraciones ambientales de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) y equipos gravimétricos para determinar las concentraciones del material particulado en suspensión (Organización Panamericana de la Salud, 2002).

### **Índice de Calidad del Aire, ICAIRE**

Adoptamos como indicador general, el Índice de Calidad del Aire, ICAIRE, que toma valores de 0 (aire contaminado) a 100 (aire limpio) y su cálculo se lo realiza siguiendo la Ecuación 1 (Conesa, 1997).

Ecuación 1. ICAIRE

$$ICAIRE = K \sum C_i P_i / \sum P_i$$

Donde:

$C_i$  = Valor porcentual asignado a los parámetros en la Tabla 6

$P_i$  = Peso asignado a cada parámetro

K = Constantes que toma los siguientes valores:

- 1, en caso de considerar los olores como un factor a no estudiar o para aire sin olor.

0.75 para aire con ligero olor no agradable

0.50 para aire con olor desagradable

0.25 para aire con fuertes olores desagradables

0.00 para aire con olor insoportable por el ser humano

### **Escala del índice de la calidad del aire, ICAIRE**

De acuerdo a los valores calculados del índice de la calidad del aire, se lo puede evaluar mediante comparación a la escala establecida en la Tabla 14. (Conesa, 1997)

**Tabla 14. Escala para la evaluación de la calidad del aire ICAIRE.**

<b>Tipología de la calidad del aire</b>	<b>ICAIRE</b>
Óptima	100 – 80 %
Buena	80 – 60%
Aceptable	60 – 40 %
Estado de emergencia	40 – 20%
Inaceptable	20 – 0%

Fuente: Conesa (1997)

### **Indicador Oak Ridge Air Quality Index (ORAQI)**

Se toma como indicador ORAQI, la suma ponderada de la contribución de cada uno de los cinco contaminantes principales (SO<sub>2</sub>, material particulado PM, NO<sub>2</sub>, CO y CnHn), para los que están establecidos en los niveles standard, su cálculo se lo realiza mediante la utilización de la Ecuación 2 (Conesa, 1997).

Ecuación 2. ORAQI

$$ORAQI = \left[ 3.5 \sum_1^5 C_1 / C_s \right]^{1.37}$$

Donde:

$C_1$  = Valor analítico de la concentración medida.

$C_s$  = Valor de la concentración standard (valores correspondientes aproximadamente al valor porcentual 50 establecido en la Tabla 15).

El ORAQI, toma valores desde 0 (aire limpio), 50 (aire contaminado igual al standard). Si las concentraciones medidas superan el standard el ORAQI puede llegar a valores superiores a 500.

**Tabla 15. Valores porcentuales y de concentración de referencia para el cálculo de los índices ICAIRE y ORAQI.**

Contaminante → Indicador ↓	SO <sub>2</sub>	Material Particulado	NO <sub>2</sub>	CnHn	CO	Valoración porcentual
Valor Analítico	2200	1800	1000	800	60	0
	1800	1400	900	650	55	10
	1400	1000	750	500	50	20
	700	600	600	350	40	30
	500	400	350	250	30	40
	350	250	200	140	20	50

	250	200	150	100	15	60
	150	150	100	75	10	70
	100	100	50	50	5	80
	75	50	25	25	2.5	90
	<50	<25	<10	<10	<1	100
Unidad de medida	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\text{mg}/\text{m}^3$	$\text{mg}/\text{m}^3$	%
Peso	2	2	2	1.5	1.5	–

Fuente: Conesa (1997)

### **Simulación matemática de la dispersión de los contaminantes en el aire.**

La simulación matemática es una metodología sistemática de comprobado éxito en el descubrimiento y entendimiento de los procesos y causas subyacentes en la naturaleza basada sobre sus partes observables y sus relaciones (Higashi y Burns, 1991).

La simulación de procesos ambientales y del transporte de contaminantes se convirtió también en una labor habitual de los científicos e ingenieros modernos (Kiely, 1999; Granier, 2003).

La simulación permite determinar los resultados o predecir lo que podría ocurrir a un sistema a partir de un conjunto de datos de entrada (Bustos, 2004).

### **Simulación de la dispersión de contaminantes del aire**

Desde el punto de vista de la dispersión de contaminantes, la simulación se utiliza para saber, entre otras cosas, cómo cambia en el tiempo y el espacio la

concentración o la razón de mezcla de una sustancia o traza habitualmente identificada como un contaminante, a objeto de predecir y analizar la calidad del aire y de esta forma colaborar en las decisiones políticas y de planificación respecto a la gestión, mediante el desarrollo de planes, programas, proyectos y normas de emisión o calidad del aire. Este cambio, puede ser descrito por la ecuación de continuidad (modelo conceptual) que expresa el balance entre las variaciones de la concentración de una traza y el efecto de flujos de transporte, fuentes y sumideros (Lavoisier, 1789).

La Ecuación 3 es la que resuelven los distintos modelos de dispersión de contaminantes del aire.

Ecuación 3. Modelo conceptual

$$\frac{\partial c}{\partial t} = -c\nabla \cdot \vec{V} - \vec{V} \cdot \nabla c - \nabla \cdot (\langle c'\vec{V}' \rangle) + Q - S; CB, CI$$

Donde:

$c$  : Concentración [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]

$\vec{V}$  : Vector velocidad del viento [ $\text{m}/\text{s}$ ]

$\nabla$  : Variación respecto del espacio (tres dimensiones independientes)

$\frac{\partial c}{\partial t}$  : Variación local de la concentración promedio de una traza respecto del tiempo.

$-\vec{V} \cdot \nabla c$  : Advección de masa por efecto del viento promedio

$\nabla \cdot (\langle c'\vec{V}' \rangle)$  : Divergencia del flujo turbulento de la traza ( $\langle \rangle$  denota promedio y fluctuaciones en torno al promedio).

$Q$  : fuentes [ $\text{kg}/\text{m}^3 \text{ s}$ ]

$S$  : sumideros [ $\text{kg}/\text{m}^3 \text{ s}$ ]

$CB, CI$  : Condiciones de borde e iniciales

## **Tipos de modelos de dispersión de contaminantes del aire.**

Los modelos de dispersión son herramientas computacionales que resuelven la ecuación de continuidad descrita con anterioridad utilizando diversos métodos y aproximaciones (Seinfeld y Pandis, 1998; Jacobson, 2002; Brasseur et al, 2003).

En el esfuerzo de predecir las concentraciones de contaminantes en un punto alejado del foco emisor y resolver la ecuación de continuidad, se han desarrollado varios tipos de modelos matemáticos para estimar la calidad del aire. Estos modelos incluyen los estimados de dispersión y las diferentes condiciones meteorológicas, incluidos los factores relacionados con la temperatura, la velocidad del viento, la estabilidad y la topografía.

Existen 4 tipos genéricos de modelos: gaussiano, numérico, estadístico y físico.

a) Modelos gaussianos

Emplean la ecuación de distribución gaussiana y son ampliamente usados para estimar el impacto de contaminantes no reactivos.

b) Modelos numéricos

Requieren una información extremadamente detallada sobre la fuente y los contaminantes.

c) Modelos estadísticos

Se emplean cuando la información científica sobre los procesos químicos y físicos de una fuente están incompletos o son vagos.

d) Modelos físicos

Requieren estudios complejos de modelos del fluido o túneles aerodinámicos del viento. Implica la elaboración de modelos a escala (Chang, 2008).

### **Modelo Gaussiano**

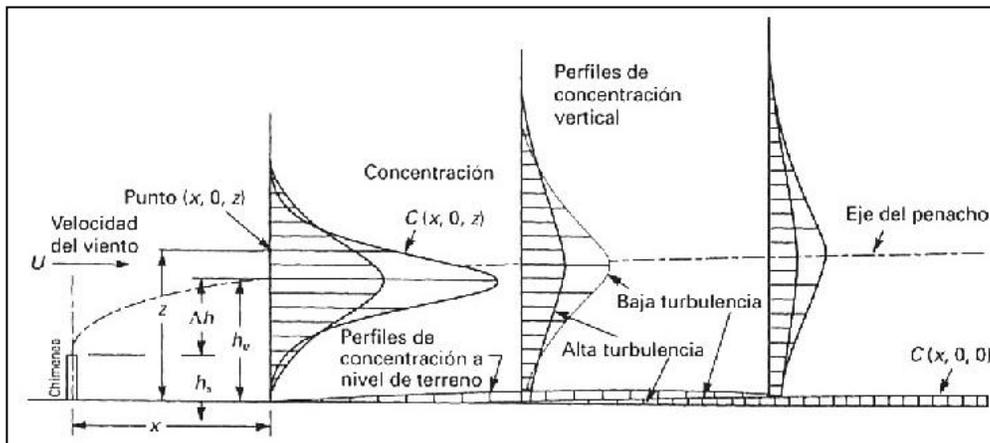
La distribución gaussiana determina el tamaño de la pluma a sotavento de la fuente.

El tamaño de la pluma depende de la estabilidad de la atmósfera y de su propia dispersión en dirección horizontal y vertical.

Los coeficientes de la dispersión  $\delta y$  horizontal y  $\delta z$  vertical, respectivamente sólo representan la desviación estándar de la normal en la curva de distribución gaussiana en las direcciones Y y Z (Chang, 2008).

A medida que un penacho progresa en la dirección del viento, el modelo gaussiano supone que el perfil de concentración por mezcla turbulenta adquiere una distribución gaussiana. Si la condición atmosférica es neutra, entonces se desarrollará un penacho en forma de cono. La concentración en la línea central del penacho será máxima a una distancia cercana del foco emisor y disminuirá en la dirección viento abajo. A medida que la distancia viento abajo aumenta, los extremos del penacho pueden impactar sobre el terreno tal y como se muestra en la Figura 6 (Bustos, 2004).

Figura 6. Comportamiento gaussiano del penacho de contaminación en la dirección del viento.



Fuente: Bustos (2004)

La distribución gaussiana y la elevación de la pluma dependen de que el suelo sea relativamente plano a lo largo del recorrido, La topografía afecta el flujo y la estabilidad atmosférica del viento.

Un terreno desigual debido a la presencia de cerros y valles afectará la dispersión de la pluma y la distribución gaussiana deberá ser modificada (Chang, 2008).

De los 4 tipos de modelos de dispersión mencionados anteriormente, el gaussiano, que incluye la ecuación de distribución gaussiana es el más usado. La ecuación de distribución gaussiana emplea cálculos relativamente simples, que sólo requieren dos parámetros de dispersión ( $\sigma_y$  y  $\sigma_z$ ) para identificar la variación de las concentraciones de contaminantes que se encuentran lejos del centro de la pluma (Turner, 1969).

La ecuación 4 determina las concentraciones de contaminantes en el nivel del suelo sobre la base de las variables atmosféricas de tiempo promedio (por ejemplo, la temperatura y la velocidad del viento) (Chang, 2008).

Ecuación 4.- Concentración del contaminante en el nivel del suelo

$$C_{(x,y,z,H)} = \frac{Q}{2\Pi\sigma_y\sigma_z u} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2} \left\{ e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{z-H}{\sigma_z}\right)^2} + e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{z+H}{\sigma_z}\right)^2} \right\}$$

Donde:

$C_{(x,y,z,H)}$  = Concentración del contaminante en el nivel del suelo (g/m<sup>3</sup>)

Q = Masa emitida por unidad de tiempo

$\sigma_y$  = Desviación estándar de la concentración de contaminantes en dirección y (horizontal)

$\sigma_z$  = Desviación estándar de la concentración de contaminantes en dirección z (vertical)

u= Velocidad del viento

y= Distancia en dirección horizontal

z= Distancia en dirección vertical

H= Altura efectiva de la chimenea

## **Requisitos para modelos de dispersión tipo Gaussiano**

### **Datos de la Fuente**

Ubicación de chimeneas y otras fuentes (coordenadas), altura física de la chimenea y su diámetro interno, velocidad de salida del gas desde la chimenea, temperatura y tasa de emisión del contaminante. Este último normalmente se expresa en valores promedio temporales (por 1 hora, 24 horas o 1 año). Algunos modelos de dispersión pueden requerir de datos de entrada adicionales tales como la elevación de la fuente y el terreno, dimensiones de edificaciones próximas (por ejemplo, el ancho promedio del edificio y el espacio entre los edificios), distribución del tamaño de la partícula y sus correspondientes tasas de deposición y coeficientes de reflexión superficial.

### **Datos meteorológicos**

La mayoría de los modelos gaussianos acepta datos meteorológicos de superficie que consideran la clasificación de estabilidad a cada hora, dirección y rapidez del viento, la temperatura atmosférica y la altura de la capa de mezcla. Es deseable que como mínimo se disponga de un año de datos meteorológicos.

Sin embargo, en los casos dónde algunos datos de largo plazo están disponibles sólo para la región (típicamente, lecturas tomadas en un aeropuerto), las observaciones locales para el sitio bajo examen pueden ser obtenidas a partir de éstas, previa revisión de los datos de largo plazo obtenidos en la región. Cuando sea necesario, una estación meteorológica local debiese ser instalada y operada por al menos un año.

Para el desarrollo de la presente propuesta de investigación se utilizarán los datos meteorológicos de la estación meteorológica del aeropuerto “Chachoán” el mismo que reporta datos de velocidad del viento, distribución de la dirección del viento, temperatura del aire, humedad relativa del aire, tensión del vapor, temperatura del punto de rocío, nubosidad y cantidad de precipitación.

### **Datos de los receptores**

Los receptores son especificados por sus coordenadas y elevación. Los resultados de modelos de dispersión gaussianos son comúnmente la representación de mapas con la concentración de los contaminantes a lo largo del área inmediata que rodea a la fuente. El mapa consiste en las concentraciones calculadas en lugar y gráficas de concentraciones. Luego que se trazan los resultados, se evalúan los datos calculados. Los mapas necesitan ser evaluados comparándolos con el ambiente local, observaciones disponibles, las normas de calidad del aire e identificar posibles áreas dónde la concentración del contaminante está sobre los niveles deseables.

Es conveniente enfatizar que la modelación matemática de procesos atmosféricos complejos conlleva por esencia aproximaciones e incertidumbres que pueden verse incrementadas cuando faltan datos o son poco representativos (EPA, 2003).

## **Software de simulación de la dispersión de contaminantes del aire**

La evaluación de datos en la actualidad son procesados por varios software para facilitar el análisis y simular la contaminación del aire, muchos de estos modelos informatizados están disponibles para aplicaciones en ordenadores o en los software de ordenadores personales. Los modelos son una parte del sistema UNAMAP (User's Network for applied Modeling of Air pollution) de la Environmental Protection Agency de Estados Unidos (EPA, 2003).

Varios modelos de dispersión atmosférica han sido discutidos por las agencias ambientales de Estados Unidos (EPA, 2003), Europa y Argentina. La mayoría de ellos se pueden obtener gratuitamente desde el sitio Internet de la EPA (EPA, 2003), desde donde es posible descargar las rutinas ejecutables, sus manuales e incluso el código fuente.

### **Software DISPER Versión 5.2**

El software fue desarrollado en España por la empresa Canarina Algoritmos Numéricos y tiene un costo de 495€. Este software fue adquirido por el proyecto “Diagnóstico de las emisiones por fuentes fijas y diseño de un programa de monitoreo para el control de la calidad del aire en la ciudad de Ambato” (Velasquí, 2009), y que será utilizado para la presente propuesta de investigación.

El software realizado en español permite evaluar la dispersión de una gran cantidad de contaminantes atmosféricos en el aire (COx, NOx, CxHy, Cl, Pb, partículas en suspensión, etc). Funciona bajo un entorno Microsoft WINDOWS 95 Trabaja con dos modelos numéricos diferentes: el ISCST (*Industrial Source Complex Short Term Model*) de la Agencia de Protección Medioambiental de EE.UU (EPA), aunque incorporando mejoras en el diseño de las fuentes y en la

consideración de los efectos del terreno y el modelo recomendado por la Agencia de Medio Ambiente de la Unión Europea (Canarina, 2010).

El programa está basado en el modelo ISCST3 de la Agencia de Protección Ambiental norteamericana (EPA). En dicho modelo, la contaminación del aire producida por chimeneas emisoras se modela mediante penachos gaussianos independientes del tiempo (en régimen estacionario). La dirección del penacho, su altura efectiva y el semiancho que posee dependen de las condiciones atmosféricas como son la dirección del viento, la estabilidad atmosférica, la temperatura del aire, etc. Los datos de las fuentes fijas son velocidad de salida del contaminante, temperatura del gas, etc. A pesar de que evaluamos las emisiones en el régimen estacionario, el programa es capaz de realizar promedios temporales y, de esta manera, evaluar situaciones que sí dependen del tiempo.

### **Datos de entrada de la fuente fija requerido por el software DISPER**

Se refiere a un foco contaminante, fijo en una posición del espacio, y que es pequeño en relación al tamaño del área en el que estamos realizando la simulación. Un ejemplo típico puede ser el de una chimenea de una industria o el de cualquier edificio que emite gases a la atmósfera si consideramos, por ejemplo, un área de varios kilómetros. Los datos de entrada que se visualiza en el programa se observa en la Figura 7.

Figura 7. Ventana del software Disper 5.2 para fijar las propiedades de la fuente puntual.

Propiedades de la fuente puntual			
Altura de la chimenea desde el nivel del suelo (m):	<input type="text" value="35"/>	Flujo de salida del contaminante (g/s):	<input type="text" value="1"/>
Velocidad de salida del contaminante (m/s):	<input type="text" value="15"/>	Coeficiente de decaimiento del contaminante (1/s):	<input type="text" value="0"/>
Temperatura del gas en el punto de salida (K):	<input type="text" value="432"/>	<input type="button" value="Estimación del Flujo de salida"/>	
Diámetro del orificio de salida del gas (m):	<input type="text" value="2"/>	<input type="button" value="Cancelar"/>	<input type="button" value="Aceptar"/>

Fuente: Canarina (2010)

### **Altura del emisor sobre el nivel del suelo (m)**

Es la altura de la boca de salida de la chimenea sobre el nivel del suelo. Se expresa en metros (m).

### **Velocidad de salida del contaminante (m/s)**

Es la velocidad de salida del gas en el orificio de la chimenea. Suponemos que el gas tiene una velocidad de salida hacia arriba (dirección Z). Se expresa en metros por segundo (m/s). Las velocidades típicas en chimeneas industriales suelen ser de 15 m/s.

### **Temperatura del gas en el punto de salida**

Es la temperatura del gas en el orificio de salida de la chimenea. Se expresa en grados Kelvin (K), T(K). Los grados Kelvin son la manera de expresar una temperatura haciendo uso de la escala absoluta de temperatura. Para pasar de grados Celsius o Centígrados a Kelvin, podremos realizar una operación matemática sencilla, como es:  $T(K) = t(C) + 273$ . Donde  $t(C)$  es la temperatura en grados centígrados o Celsius y  $T(K)$  es la temperatura absoluta o en grados

Kelvin. De esta manera una temperatura de  $0^{\circ}\text{C}$  se corresponde con una temperatura de 273 K. La temperatura típica para una chimenea suele estar entre  $140^{\circ}\text{C}$  y  $150^{\circ}\text{C}$ .

### **Diámetro del orificio de salida del gas (m)**

Es el diámetro expresado en metros del orificio de la chimenea. El diámetro mínimo aceptado por el programa es de 0,01 m.

### **Flujo de salida del contaminante**

Es la cantidad de materia de contaminante que sale en la unidad de tiempo por el agujero de salida de la chimenea. Dicha magnitud física se conoce como flujo. Viene expresado en gramos por segundo (g/s). Los valores típicos del flujo dependerán del contaminante analizado. Si no se conoce el flujo de salida, el programa permite estimarlos de una manera muy sencilla en determinados casos para ello deberá pulsar el botón estimación del flujo de salida.

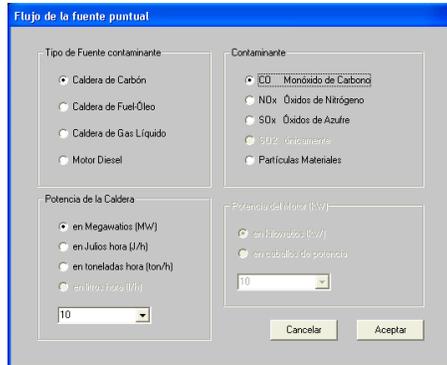
### **Coefficiente de decaimiento del contaminante**

Es una magnitud que nos caracterizará la pérdida del contaminante cuando éste desaparece por medio de algún tipo de proceso químico. Por ejemplo, el  $\text{SO}_2$  reacciona con la atmósfera para producir ácido sulfúrico y precipitarse mediante lluvia ácida. Esto hace que el  $\text{SO}_2$  tenga una vida media de permanencia en la atmósfera. El coeficiente de decaimiento va a valorar esta pérdida y lo hará evaluando la pérdida de materia contaminante por unidad de tiempo. Dicho coeficiente vendrá dado en unidades de tiempo<sup>-1</sup>. En nuestro caso en segundo<sup>-1</sup> (1/s). En el caso más general, donde no hay pérdida por reacción química significativa, pondremos el coeficiente igual a 0. En el caso del  $\text{SO}_2$  (que da lugar a la lluvia ácida) vale  $0,0000481\text{ s}^{-1}$ .

## Estimación del Flujo de Salida

Después de completar los datos de entrada el programa solicita llenar las opciones que se indican en la Figura 8.

Figura 8. Ventana del software Disper 5.2 para fijar el contaminante



Fuente: Canarina (2010)

En esta opción del programa se podrá elegir el tipo de fuente (Carbón, Fuel-Óleo, gas líquido, diesel) la potencia de la caldera o del motor diesel en diversos tipos de unidades y el contaminante. De esta manera, y tras pulsar aceptar, quedará fijado el flujo de la fuente puntual en la casilla correspondiente de la ventana propiedades de la fuente puntual (Canarina, 2010).

## Software Screen View

Screen View fue desarrollado para proporcionar un método para estimar la concentración de contaminantes dispersos en el aire. Esta estimación está basada en los documentos "Screening Procedures for Estimating The Air Quality Impact of Stationary Sources" (EPA, 1995).

Para la evaluación de una Fuente Fija los parámetros que requiere Screen View son los que se observan en la Figura 9.

Figura 9. Ventana del software Screen View para fijar los datos de entrada

The screenshot shows a software interface with the following input fields:

Emission Rate:	<input type="text" value="1"/>	[g/s]
Stack Height:	<input type="text" value="1"/>	[m]
Stack Inside Diameter:	<input type="text" value="1"/>	[m]
Stack Gas Exit:	<input type="text" value="Velocity"/> <input type="text" value="1"/>	[m/s]
Stack Gas Exit Temperature:	<input type="text" value="293"/>	[K]
Ambient Air Temperature (default 293 K):	<input type="text" value="293"/>	[K]

Fuente: Screen View (2010)

### **Emission Rate**

Se refiere a la tasa de emisión en g/s del contaminante por analizarse.

### **Stack Height**

Se refiere a la altura de la chimenea en metros.

### **Stack Inside Diameter**

Se refiere al diámetro interno de la chimenea en metros

### **Stack Gas Exit**

Se refiere a la velocidad de salida del gas contaminante en m/s

### **Stack Gas Exit Temperature**

Se refiere a la temperatura de salida del gas de la chimenea

### **Ambient Air Temperature (default 293K)**

Se refiere a la temperatura ambiental del aire, por defecto indica un valor de 293K

## Modelo de dispersión utilizado por Screen View

Screen View usa el modelo Gaussiano de dispersión, requiere factores de la fuente de emisión y datos meteorológicos para evaluar la concentración de contaminantes emitidos por una fuente continua.

Asume que los contaminantes emitidos no reaccionan químicamente en la atmósfera.

La Ecuación 5 para determinar la concentración a nivel del suelo por el software es la siguiente (EPA, 1995).

Ecuación 5.- Modelo gaussiano empleado por screen view

$$x = \frac{Q}{2\Pi U_s \sigma_y \sigma_z} \left\{ \begin{array}{l} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{Z_r - h_e}{\sigma_z}\right)^2\right] \\ + \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{Z_r + h_e}{\sigma_z}\right)^2\right] \\ + \sum_{N=1}^k \left[ \begin{array}{l} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{Z_r - h_e - 2Nz_1}{\sigma_z}\right)^2\right] \\ + \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{Z_r + h_e - 2Nz_1}{\sigma_z}\right)^2\right] \\ + \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{Z_r + h_e + 2Nz_1}{\sigma_z}\right)^2\right] \end{array} \right] \end{array} \right\}$$

Donde:

X= concentración (g/m<sup>3</sup>)

Q= Tasa de emisión del contaminante (g/s)

Π = 3.141596

U<sub>s</sub> = Velocidad del viento a la altura de la chimenea (m/s)

σ<sub>y</sub> = Parámetro de dispersión lateral (m)

σ<sub>z</sub> = Parámetro de dispersión vertical

Z<sub>r</sub> = altura del receptor a nivel del suelo (m)

h<sub>e</sub> = Altura de la chimenea (m)

Z<sub>1</sub> = Altura de mezclado (m)

k = Usualmente ≤ 4

## **Costo del software Screen View**

El software Screen View es un software de descarga gratuita en el internet, no requiere de licencia para su uso, se lo puede obtener en la página web de la EPA así como de la compañía Lakes Environmental y será utilizado en el desarrollo de la presente propuesta de investigación.

## **2.2 Fundamentación filosófica**

El presente estudio pretende generar información de la simulación de la dispersión de contaminantes en el aire emitidos por fuentes fijas y por la actividad volcánica, datos que se requieren por ser Ambato una ciudad con industrias e influenciada por la actividad del volcán Tungurahua.

Para la investigación planteada en este documento se consideró el paradigma positivista ya que este se rige por las leyes que permiten explicar, predecir y controlar los fenómenos del mundo natural y pueden ser descubiertas y descritas por los investigadores con métodos adecuados. Además el objetivo que se obtiene se considera objetivo y factual, ya que se basa en la experiencia y los hechos reales. Se utilizó finalmente la vía hipotético-deductiva como lógica metodológica válida. Para sustentar este paradigma es importante referirse a la literatura como la que se cita a continuación, la cual describirá de forma más detallada los pormenores bibliográficos de esta investigación.

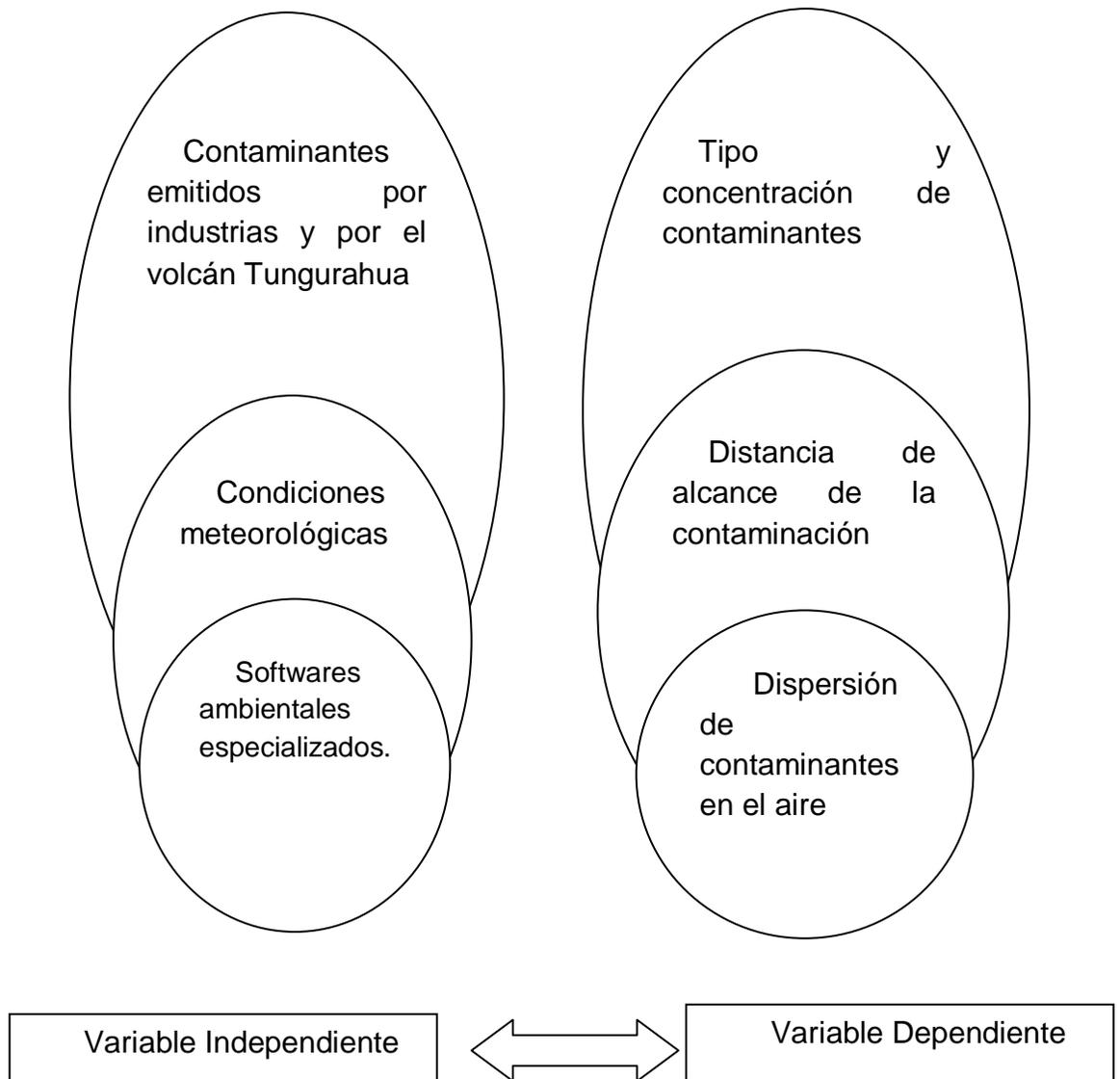
## **2.3 Fundamentación legal**

La investigación referirá al Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria (TULAS), en su Libro VI, Anexo 4, vigente en el Ecuador, contiene la Norma de Calidad del Aire Ambiente, en el cual se define los valores límites máximos permisibles de concentración a nivel del suelo de los contaminantes

del aire, durante un tiempo promedio de muestreo determinado, definido con el propósito de proteger la salud y el ambiente.

Además se utilizará la ordenanza del Municipio de Ambato para la prevención y control de la contaminación ambiental ocasionada por las actividades agroindustriales, industriales, artesanales, ordenanza vigente desde el 2004

## 2.4 Categorías fundamentales



## **2.5 Hipótesis**

### **Hipótesis nula de investigación**

Ho: Las distintas fuentes fijas analizadas y el volcán Tungurahua, no presentan diferencia significativa en la simulación con Disper 5.2 y Screen View de la dispersión de contaminantes en el aire.

### **Hipótesis alternativa de investigación**

Hi: Las distintas fuentes fijas analizadas y el volcán Tungurahua, presentan diferencia significativa en la simulación con Disper 5.2 y Screen View de la dispersión de contaminantes en el aire.

## **2.6 Señalamiento de variables**

### **2.6.1 Variables Independientes:**

- Softwares ambientales especializados Disper 5.2 y Screen View para la simulación de la dispersión de contaminantes en el aire de la ciudad de Ambato.
- Condiciones meteorológicas.
- Contaminantes emitidos por fuentes fijas y por el volcán Tungurahua.
- 

### **2.6.2 Variables Dependientes:**

- Dispersión de contaminantes en el aire.

- Distancia de alcance de la contaminación.
- Tipo y concentración de contaminantes emitidos por fuentes fijas.

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA**

#### **3.1 Modalidad básica de investigación**

El presente trabajo se fundamentó en aspectos cualitativos y cuantitativos puesto que ofreció la posibilidad de generalizar los resultados más ampliamente, facilitó la réplica y la comparación entre estudios similares; dió profundidad a los datos, lo cual permitió establecer si los parámetros de control como el tipo de combustible utilizado por la fuente fija de contaminación, los flujos de contaminantes emitidos por el volcán Tungurahua, las condiciones meteorológicas y el software para la simulación influyen en la evaluación de la calidad del aire.

La presente investigación fue de campo y gabinete, ya que los datos fueron recogidos en la propia realidad donde ocurre el fenómeno, fuera del espacio del laboratorio y fueron procesados en laboratorios de computación.

#### **3.2 Nivel o tipo de investigación**

Esta investigación fue aplicada ya que se desarrolló la simulación de la dispersión de contaminantes en el aire de la ciudad de Ambato, mediante el empleo de software especializados para lo cual se emplearon los resultados de los análisis de emisiones de fuentes fijas y del volcán Tungurahua así como los datos meteorológicos de la zona de la investigación.

#### **3.3 Población y muestra**

Para la realización del presente proyecto se consideró el universo de empresas industriales de la ciudad de Ambato y se calculó un tamaño muestral

inicial de 50 y una final de 42 empresas como fuentes fijas antrópicas de contaminación así como el volcán Tungurahua como fuente fija natural.

### 3.4 Operacionalización de variables

#### Operacionalización de Variables

HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADORES	ÍNDICES
Contaminantes del aire	VI: Combustibles utilizados por las fuentes fijas y emisiones del volcán Tungurahua	Análisis de combustible y emisiones volcánicas	Tipo de combustible ( diesel, gas, carbón) y ceniza volcánica
	VD: Concentración de contaminantes de las fuentes fijas y concentración de las emisiones del volcán Tungurahua	Análisis de contaminantes	Concentración de contaminantes en partes por millón (ppm) y en Toneladas por día (Ton/día)
Simulación de la dispersión de contaminantes	VI: Condiciones meteorológicas.  Softwares de simulación de	Control meteorológico.  Análisis computacional.	Velocidad del viento (m/s), dirección del viento, temperatura del aire (°C).  Operaciones computarizadas.

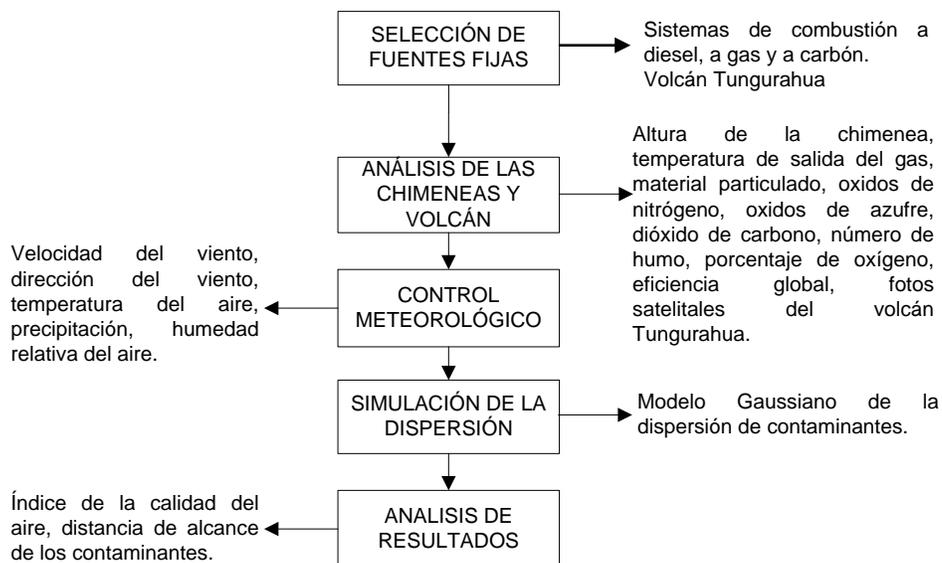
	contaminantes		
	VD: Distancia de alcance de los contaminantes.  Índice de la calidad del aire.	Análisis computacional, cálculo matemático.	Distancia de alcance (m)  Índice ICAIRE (%).

Elaborado por: Bustillos (2010)

### 3.5 Plan de recolección de información

El Plan de recolección de información constó de varias fases y subfases en los que se recogieron los datos mediante tablas y ciertos resultados se simplificaron mediante gráficos, para lo cual se siguió la secuencia de las fases que se presenta en la Figura 11.

Figura 11. Fases de investigación



Elaborado por: Bustillos (2010)

La metodología fundamental de la investigación consistió en la utilización de las concentraciones de material particulado  $PM_{10}$  ( $mg/m^3$ ), dióxido de carbono (%), dióxido de azufre ( $mg/m^3$ ), monóxido de carbono ( $mg/m^3$ ), óxidos de nitrógeno ( $mg/m^3$ ), porcentaje de oxígeno(%), número de humo (escala bacharach) y eficiencia global(%), su estudio estadístico, los datos meteorológicos requeridos, la simulación de la dispersión de los contaminantes por fuentes fijas industriales y del volcán Tungurahua y la determinación del Índice de Calidad del Aire ICAIRE.

En la presente investigación se propuso realizar un diseño experimental unifactorial con 42 tratamientos, cada tratamiento se refiere al nombre de la empresa analizada y las características de su respectiva fuente fija de contaminación del aire.

En concordancia con las variables independientes y dependientes en el estudio las hipótesis planteadas fueron:

Ho: Las distintas fuentes fijas analizadas y el volcán Tungurahua, no presentan diferencias significativas en la simulación de la dispersión de sus contaminantes en el aire con Screen View y Disper 5.2.

Hi: Las distintas fuentes fijas analizadas y el volcán Tungurahua, presentan diferencias significativas en la simulación de la dispersión de sus contaminantes en el aire con Screen View y Disper 5.2

### **3.6 Procesamiento y análisis**

Los resultados de la investigación se ordenaron y tabularon con la utilización programa EXCEL para luego ser analizados con el programa estadístico STATGRAPHICS que permite una correcta interpretación y graficación de los resultados del estudio hacia ratificar o rechazar las hipótesis planteadas.

## **CAPÍTULO IV**

### **ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS**

#### **4.1 Análisis de resultados**

La lista de las 50 empresas seleccionadas del catastro de la ciudad de Ambato, la designación simbólica de las empresas de acuerdo al diseño experimental, los datos técnicos de los equipos monitoreados , los resultados de los análisis de combustión realizados por los distintos laboratorios se presentan en el Anexo A y Anexo D.

La concentración de los contaminantes de material particulado PM10, óxidos de nitrógeno NOx, dióxido de azufre SO<sub>2</sub> y monóxido de carbono CO en miligramos por metro cúbico (mg/m<sup>3</sup>) de gas, a condiciones normales, 760 mmHg de presión, temperatura de 0 °C, en base seca y corregidos a 7% de oxígeno como lo exige la norma ecuatoriana del texto unificado de legislación ambiental se reportan en el Anexo A.

Los datos de la estación meteorológica del aeropuerto “Chachoan” de la ciudad de Ambato, temperatura del aire, media de la velocidad del viento, nubosidad, parámetro de estabilidad atmosférica Pasquill-Guifford (K) calculado con la Tabla 4 y los gráficos de la velocidad y dirección del viento predominantes correspondientes a los meses de noviembre, diciembre del 2010 y de enero a agosto del 2011 se presentan en el Anexo A.

Los resultados de la simulación con los software especializados Screen View y Disper 5.2 de la dispersión de contaminantes de las fuentes fijas seleccionadas se presentan en el Anexo A.

La concentración de material particulado  $PM_{10}$  reportado por la estación de monitoreo de la calidad del aire del Municipio de Ambato y ubicada en la dirección de higiene y ambiente así como los reportes de caída de ceniza del Instituto Geofísico EPN, gráficas satelitales y la simulación de la dispersión de contaminantes de la actividad del volcán Tungurahua en las fechas de control del material particulado  $PM_{10}$ , se reportan en el Anexo A.

En el Anexo A se indican los límites permitidos por la norma ecuatoriana descrita en el Texto de Legislación Ambiental Secundario TULAS, Libro VI, anexo 3.

## **4.2 Interpretación de datos**

### **Empresas seleccionadas**

De una población de 400 empresas consideradas fuentes fijas de contaminación del aire según el catastro de la ciudad de Ambato, se procedió a calcular el tamaño de la muestra.

En el Anexo F-1, se calculó el tamaño muestral y se determinó una muestra de 56 empresas, por motivos de logística y económicos se decidió fijar la muestra en 50 empresas, las mismas que se encuentra detallada en el Anexo A, Tabla A-1. La muestra final fue de 42 empresas debido a que de las 50 empresas 8 empresas no presentaron los análisis requeridos, de las cuales Pastelería Quito, Ecuatran, Curtiduría Hidalgo y Ecuapan justificaron la no realización de lo solicitado y las empresas Restaurante El Markez, Asadero Barcelona, Propiel y Tenería Ecuapiel se encuentran en procesos administrativos en el Municipio de Ambato para establecer nuevos plazos de entrega o sanciones de acuerdo a lo que designen las autoridades competentes.

Las empresas fueron determinadas por la Dirección de Higiene y Ambiente del Municipio de Ambato, considerando su importancia y su distribución espacial en la ciudad, cubriendo una distancia de 14.06 Km, Norte – Sur como se puede observar en el gráfico D-1.

En el Anexo A, Tabla A-2 se indica la simbología en el diseño experimental para las 42 empresas que presentaron los análisis de gases.

En el Anexo A, Tabla A-3 se indican las características técnicas de los equipos monitoreados, valores que se ingresaron como datos de entrada para la simulación de la dispersión de los contaminantes en los softwares Screen View y Disper 5.2.

### **Análisis de los gases de combustión**

Los análisis de los gases de combustión de las 42 empresas fueron realizados por laboratorios acreditados por el Organismo de Acreditación Ecuatoriano OAE, entre ellos tenemos Grupo Consultor CHEMENG CIA. LTDA, Laboratorio de Análisis Ambiental e Inspección LAB-CESTA, Laboratorio Margoth Cifuentes, laboratorio CENERIN que posee un registro de laboratorio ambiental del Distrito Metropolitano de Quito y el laboratorio SOLINEC, que cuenta con un certificado de calibración externo. Los resultados se reportan en el Anexo A, Tabla A-4

### **Material Particulado PM<sub>10</sub>**

Los datos de concentración de material particulado PM<sub>10</sub> en mg/m<sup>3</sup> y de acuerdo a las condiciones de norma reportados en la Tabla A-5 presentaron en los valores promedio un mínimo de 9.62 mg/m<sup>3</sup> correspondiente al tratamiento

T14 (Bioalimentar 1, caldero, diesel) y un máximo de 8036.4 mg/m<sup>3</sup> correspondiente al tratamiento T42 (Asadero Tungurahua, asadero, carbón).

En el Anexo B, Tabla B-1 se presenta el análisis de varianza de material particulado PM<sub>10</sub>, donde, a un nivel de confianza del 95% se determinó que existe diferencia significativa para todos los tratamientos que están involucrados en el estudio. Al realizar una prueba de rangos múltiples de Tukey HSD al 95% de confianza, expuesta en la Tabla B-2, se estableció que la diferencia entre los tratamientos son significativas, de acuerdo al promedio de concentración de material particulado PM<sub>10</sub> las empresas se clasificaron en 17 grupos homogéneos de la A a la Q, siendo A (Bioalimentar 1, Lavatintex, Bioalimentar 2, Panificadora Ambato, Ceticuero) las empresas que reportan menor concentración de material particulado y Q (Asadero Tungurahua) la empresa que emite mayor concentración de material particulado.

De acuerdo a la comparación con el límite 150 mg/m<sup>3</sup> para material particulado PM<sub>10</sub> fijado en TULAS libro VI anexo 3, se encontró que de las 30 empresas que reportaron el análisis, 24 empresas están dentro de los límites permitidos y 6 empresas siendo estas Panadería Tecnipan, Parrilladas El Gaucho, Pollos de Campo, Pollo Listo 1, Pollo Listo 2 y Asadero Tungurahua, exceden el valor norma.

Analizando de manera individual Panadería Tecnipan dispone de un horno a diesel, las posibles razones por las cuáles sus emisiones sobrepasaron el valor norma pueden ser consecuencia de una combustión incompleta o imperfecta como se detalló en el presente estudio en la sección referente a combustión, así como por un alto contenido de cenizas en el combustible, en este caso el diesel y de una mala atomización del combustible (Suárez R, 2006).

Parrilladas El Gaucho, Pollos de Campo, Pollo Listo 1, Pollo Listo 2 y Asadero Tungurahua, exceden el valor norma y la posible causa que estableció

CHEMENG en los informes de las mismas es que el valor transformado para material particulado fue tan alto debido a que el CO<sub>2</sub> es prácticamente inexistente al tratarse de una campana de extracción. Otra posible causa es que al utilizar carbón para sus procesos de producción, la combustión genera cenizas y material particulado y al ser una campana de extracción el exceso de aire en la chimenea pueden causar el arrastre de material particulado y su posterior emisión a la atmósfera.

### **Óxidos de nitrógeno NOx**

En el Anexo A, Tabla A-5 se presentan los datos de concentración de óxidos de nitrógeno NOx en mg/m<sup>3</sup> de gas seco, los valores promedio tienen un mínimo de 2 mg/m<sup>3</sup> correspondiente al tratamiento T32 (Panadería California, Horno, GLP) y un máximo de 291 mg/m<sup>3</sup> correspondiente al tratamiento T12 (Plasticaucho, caldero, diesel).

En el Anexo B, Tabla B-3 se presenta el análisis de varianza de óxidos de nitrógeno NOx, donde, a un nivel de confianza del 95% se determinó que existe diferencia significativa para todos los tratamientos que están involucrados en el estudio. Al realizar una prueba de rangos múltiples de Tukey HSD al 95% de confianza, expuesta en la Tabla B-4, se estableció que la diferencia entre los tratamientos son significativas, de acuerdo al promedio de concentración de óxidos de nitrógeno las empresas se clasificaron en 10 grupos homogéneos de la A a la J, siendo A (Panadería California, Pollo Gus, Pollos Miguelin, Pollo Listo 2, Pollos de Campo entre otros ) las empresas que reportan menor concentración de óxidos de nitrógeno y J (Plasticaucho) la empresa que emite mayor concentración de óxidos de nitrógeno.

De acuerdo a la comparación con los límites para óxidos de nitrógeno fijado en TULAS libro VI anexo 3 y que se encuentra indicado en la Tabla A-14, se

encontró que las 42 empresas están dentro de los límites permitidos de la norma.

Los posibles motivos por los cuales ninguna empresa sobrepasa los límites son que los óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ) como se expuso en este estudio en la sección de gases formados por combustión, se producen en su mayoría mediante la combustión a temperaturas por encima de 1 000 °C y ninguna de las empresas monitoreadas trabaja a estas temperaturas. Sin embargo se reportan emisiones de  $\text{NO}_x$  cuyos motivos pudieron ser que el combustible que utilizaron las distintas empresas contenía compuestos de nitrógeno, los mismos que reaccionaron con el oxígeno. Además que el  $\text{NO}_x$  también se produce en pequeñas cantidades durante las primeras etapas de la combustión a partir del oxígeno y nitrógeno del aire como lo menciona Suarez (2006).

### **Dióxido de azufre $\text{SO}_2$**

En el Anexo A, Tabla A-5 se presentan los datos de concentración de dióxido de azufre en  $\text{mg}/\text{m}^3$  de gas seco, los valores promedio tienen un mínimo de 0  $\text{mg}/\text{m}^3$  correspondiente al tratamiento T39 (Pollos Miguelin, asadero, carbón) y un máximo de 741  $\text{mg}/\text{m}^3$  correspondiente al tratamiento T31 (Panadería y pastelería Calidad 3, horno, GLP).

En el Anexo B, Tabla B-5 se presenta el análisis de varianza de dióxido de azufre  $\text{SO}_2$ , donde, a un nivel de confianza del 95% se determinó que existe diferencia significativa para todos los tratamientos que están involucrados en el estudio. Al realizar una prueba de rangos múltiples de Tukey HSD al 95% de confianza, expuesta en la Tabla B-6, se estableció que la diferencia entre los tratamientos son significativas, de acuerdo al promedio de concentración de dióxido de azufre las empresas se clasificaron en 11 grupos homogéneos de la A a la K, siendo A (Pollos Miguelin, Pollo Gus, Panadería California, American Pollo, Pollo Listo 2, Pollos de Campo entre otros) las empresas que reportan

menor concentración de dióxido de azufre y K (Panadería y Pastelería Calidad 3) la empresa que emite mayor concentración de dióxido de azufre.

De acuerdo a la comparación con el límite para dióxido de azufre fijado en TULAS libro VI anexo 3 y que se encuentra indicado en la Tabla A-14, se encontró que las 42 empresas están dentro de los límites permitidos de la norma.

Sin embargo existieron emisión de dióxido de azufre, como se lo ha desarrollado en este estudio en la sección referente a las emisión de contaminantes en la combustión, una posible causa por la que se produjo dióxido de azufre es que el combustible utilizado contenía azufre, lo cual es evidenciado para las empresas que utilizaron diesel, en los reportes de Petroecuador 2008, entidad que suministra tres tipos de diesel, Diesel Premium con un máximo de 500 partículas por millón (ppm) de contenido de azufre, Diesel 2 con un máximo de 7000 ppm de azufre y Diesel 3 de uso restringido. El Diesel Premium está destinado solo para el Distrito Metropolitano de Quito y Cuenca, por requerimiento de los Municipios que lo han conseguido a través de Ordenanzas Municipales y publicadas en Registro oficial y el segundo para el resto del País lo cual indica que en Ambato se utiliza diesel 2.

Para las empresas que utilizaron Gas Licuado de Petroleo (GLP) como combustible sus emisiones de dióxido de azufre pueden ser debido a que este combustible según Petroecuador 2008 en lo referente a gas licuado de petroleo, menciona que contiene un máximo de 0.343 mg/m<sup>3</sup> de azufre.

Para las empresas que utilizaron carbón como combustible, Cortés V (1998) menciona que el carbón contiene un porcentaje de azufre del 0.2% al 12%.

## **Monóxido de carbono CO**

En el Anexo A, Tabla A-5 se presentan los datos de concentración de monóxido de carbono en mg/m<sup>3</sup>, los valores promedio tienen un mínimo de 0 mg/m<sup>3</sup> correspondientes a los tratamientos T31 (Panadería y Pastelería calidad 3) y T32 (panadería California) y un máximo de 23530 mg/m<sup>3</sup> correspondiente al tratamiento T42 (Asadero Tungurahua).

En el Anexo B, Tabla B-7 se presenta el análisis de varianza de monóxido de carbono, donde, a un nivel de confianza del 95% se determinó que existe diferencia significativa para todos los tratamientos que están involucrados en el estudio. Al realizar una prueba de rangos múltiples de Tukey HSD al 95% de confianza, expuesta en la Tabla B-8, se estableció que la diferencia entre los tratamientos son significativas, de acuerdo al promedio de concentración de monóxido de carbono las empresas se pueden clasificar en 26 grupos homogéneos de la A a la Z, siendo A (Panadería y pastelería Calidad 3, Panadería California, Panadería y pastelería Calidad, Bioalimentar 1, Panadería Buen Pan y Lavatintex) las empresas que reportan menor concentración de monóxido de carbono y Z (Asadero Tungurahua) la empresa que emite mayor concentración de monóxido de carbono.

De acuerdo a la comparación con los distintos valores límites de acuerdo a la ordenanza del Distrito Metropolitano de indicada en la Tabla A-16, se encontró que 23 empresas están dentro de los límites permitidos y 19 empresas siendo estas TecnoRizo 1, Promepell, Rico Pollo 4, Rico Pollo 3, Industrias Catedral, Rico Pollo 2, Hotel Ambato, ILA, Pollofino, Plasticaucho, Panadería Tecnipan, Rico Pollo 1, American Pollo, TecnoRizo 3, Pollo Listo 1, Parrilladas El Gaucho, Pollo Listo 2, Pollos de Campo y Asadero Tungurahua, exceden el valor norma.

Como se ha mencionado en el estudio el monóxido de carbono es producto de combustión incompleta, Barriga A (2011) menciona que normalmente no debiera darse monóxido de carbono en combustión industrial, en la que se usa 15-25% de exceso de aire, sin embargo al descalibrarse el sistema de combustión o al operar con baja carga conduce a presencia de monóxido de carbono.

De acuerdo a los valores reportados las Empresas Pollo Listo 1, Parrilladas El Gaucho, Pollo Listo 2, Pollos de Campo y Asadero Tungurahua, utilizaban carbono como combustible y sus emisiones de monóxido de carbono fueron las más elevadas en este estudio. El posible motivo por el cual sucedió esto ha sido descrito en este estudio en lo referente a las emisiones relacionadas con el combustible en la Tabla 10, en la cual se evidencia que el carbón es el combustible más contaminante. Con lo referente a las otras empresas que sobrepasan el límite se encontraron 8 empresas que funcionaban a gas y 6 empresas operaban con diesel, para estas empresas se necesita un estudio individual de sus sistemas de combustión pues una de las posibles causas pudieron ser una mala calibración en la relación entre combustible y oxígeno en exceso.

### **Dióxido de carbono**

En el Anexo A, Tabla A-4 se presentan los datos del porcentaje de dióxido de carbono, los valores promedio tienen un mínimo de 0.5% correspondiente al tratamiento T42 (Asadero Tungurahua, asadero, carbón) y un máximo de 14.11% correspondiente al tratamiento T9 (Curtiduría Aldás, caldero, diesel).

En el Anexo B, Tabla B-9 se presenta el análisis de varianza de dióxido de carbono, donde, a un nivel de confianza del 95% se determinó que existe diferencia significativa para todos los tratamientos que están involucrados en el

estudio. Al realizar una prueba de rangos múltiples de Tukey HSD al 95% de confianza, expuesta en la Tabla B-10, se estableció que la diferencia entre los tratamientos es significativa, de acuerdo al promedio del porcentaje de dióxido de carbono las empresas se pueden clasificar en 23 grupos homogéneos de la A a la W, siendo A (Asadero Tungurahua, Pollo Listo1, Pollos de Campo y Pollo Listo2) las empresas que menos porcentaje de dióxido de carbono emiten y W (Curtiduría Aldás) la empresa que mayor porcentaje de dióxido de carbono registra.

El dióxido de carbono como se ha desarrollado en este estudio en la sección referente a contaminantes producidos en la combustión, es uno de los principales gases de efecto invernadero y como tal es objeto de atención con vistas a minimizar sus emisiones, sin embargo debido a que las empresas seleccionadas en este estudio no realizaban actividades de gran impacto y de gran emisión de dióxido de carbono, el porcentaje de CO<sub>2</sub> en este estudio fue considerado como un indicador de una combustión completa como lo señala Suarez R, 2006.

Es así como las empresas que generaron los índices más bajos de emisión de dióxido de carbono presentan índices altos de monóxido de carbono, lo cual evidenció que los sistemas de combustión de Asadero Tungurahua, Pollo Listo1, Pollos de Campo y Pollo Listo2 no se encuentran bajo un correcto funcionamiento por la combustión incompleta que realizaban. Se señala además que las empresas antes mencionadas trabajaban con carbón como combustible por lo cual el control de estos sistemas es mucho más complejo y limitado. Al comparar la toxicidad, el dióxido de carbono es considerado generalmente como un gas no tóxico mientras que el monóxido de carbono presenta una alta toxicidad, es por este motivo que en fuentes fijas de combustión es más deseable el mayor porcentaje de dióxido de carbono y el menor porcentaje de monóxido de carbono.

## Porcentaje de oxígeno

En el Anexo A, Tabla A-4 se presentan los datos del porcentaje de oxígeno, los valores promedio tienen un mínimo de 0.67% correspondiente al tratamiento T29 (American Pollo, freidora, GLP) y un máximo de 20.52% correspondiente al tratamiento T42 (Asadero Tungurahua, asadero, carbón).

En el Anexo B, Tabla B-11 se presenta el análisis de varianza del porcentaje de oxígeno, donde, a un nivel de confianza del 95% se determinó que existe diferencia significativa para todos los tratamientos que están involucrados en el estudio. Al realizar una prueba de rangos múltiples de Tukey HSD al 95% de confianza, expuesta en la Tabla B-12, se estableció que la diferencia entre los tratamientos es significativa, de acuerdo al promedio del porcentaje de oxígeno las empresas se pueden clasificar en 22 grupos homogéneos de la A a la V, siendo A (American Pollo) la empresa que menos porcentaje de oxígeno reporta y V (Asadero Tungurahua) la empresa que mayor porcentaje de oxígeno registra.

El porcentaje de oxígeno como se ha mencionado en este estudio indica el exceso de aire, factor requerido para asegurar una combustión completa así como una mayor eficiencia, generalmente un sistema de combustión trabaja con un 15% a 25% de exceso de aire según menciona Barriga A (2011), sin embargo la operación del sistema de combustión requiere de una cantidad correcta de exceso de aire, la cual se determina a partir del análisis de los gases de combustión en cuanto a su contenido de oxígeno y de dióxido de carbono. La falta de este exceso de aire provoca una combustión incompleta y que en los gases de ésta aparezca hollín, humo, combustible no quemado y monóxido de carbono; por otra parte, demasiado exceso de aire resulta en pérdida de calor y otros efectos indeseados debido al incremento del flujo de gases de combustión, por estos motivos el estudios de estas condiciones de operación deben ser realizadas por las empresas.

American Pollo la empresa que presentó el menor porcentaje de oxígeno reportó emisiones fuera del límite de monóxido de carbono, lo cual indicó que no está operando con el exceso de aire correcto y que su sistema trabajó con combustión incompleta.

Asadero Tungurahua que presentó el mayor porcentaje de oxígeno sin embargo reportó una concentración de monóxido de carbono fuera del límite de la norma, las posibles causas es que el exceso de oxígeno a pesar de ser el más alto en este estudio no fue el adecuado, esto se puede deber a que es un asadero que trabaja con carbón como combustible y el control de este tipo de sistema es mas complejo y limitado.

### **Número de humo Bacharach**

En el Anexo A, Tabla A-4 se presentan los datos del número de humo de acuerdo a la escala de humo Bacharach, los valores promedio tienen un mínimo de 0 que de acuerdo a la escala expresa el óptimo, correspondiente los tratamientos T34, T15, T41, T28, T25, T29, T24, T27, T26, T33, T42, T35 y T14 siendo estas las empresas TecnoRizo 2, Bioalimentar 2, Parrilladas El Gaucho, Rico Pollo 4, Rico Pollo 1, American Pollo, Pollofino, Rico Pollo 3, Rico Pollo 2, TecnoRizo 1, Asadero Tungurahua, TecnoRizo 3, Bioalimentar 1 y un máximo de 8 correspondiente al tratamiento T21(Panadería y pastelería Servipan, horno, diesel).

En el Anexo B, Tabla B-13 se presenta el análisis de varianza del número de humo Bacharach, donde, a un nivel de confianza del 95% se determinó que existe diferencia significativa para todos los tratamientos que están involucrados en el estudio. Al realizar una prueba de rangos múltiples de Tukey HSD al 95% de confianza, expuesta en la Tabla B-14, se estableció que la diferencia entre los tratamientos es significativa, de acuerdo al promedio del número de humo

las empresas se pueden clasificar en 5 grupos homogéneos de la A a la E, siendo A (TecnoRizo 2, Bioalimentar 2, Parrilladas El Gaucho, Rico Pollo 4, American Pollo, Bioalimentar 1 entre otros) la empresa que reportan el nivel mínimo en el número de humo y E (Plasticaucho y Panadería y pastelería Servipan ) las empresas que presenta el mayor número de humo.

De acuerdo a la comparación con la recomendación técnica de la EPA que es un número de humo límite de 2, se encontró que de las 37 empresas que reportaron la medición del número de humo, 27 empresas están dentro de este límite y 10 empresas siendo estas Panadería Tecnipan, Pollos de Campo, Pollo Listo 2, Industrias Catedral, Pastelería El Manjar, Pan de casa, Pollo Listo 1, Promepell, Plasticaucho y Panadería y pastelería Servipan exceden el valor recomendado.

Barriga A, 2011 menciona que el número de humo Indica que en el gas emitido se hallan presentes partículas de inquemados sólidas. Esto fue evidente en las empresas Panadería Tecnipan, Pollos de Campo, Pollo Listo 2 y Pollo Listo 1 que sobrepasan además el valor norma de material particulado, con lo cual se notó la relación entre el número de humo y la concentración de material particulado.

Industrias Catedral, Pastelería El Manjar, Pan de casa, Promepell, Plasticaucho y Panadería y pastelería Servipan exceden el valor recomendado pero no exceden el valor límite de material particulado, sin embargo reportan valores considerables. Suarez R, 2006 menciona que si se supera el valor sugerido por la EPA es necesario verificar al quemador y a la caldera.

## **Eficiencia global**

En el Anexo A, Tabla A-4 se presentan los datos de la eficiencia global en %, los valores promedio tienen un mínimo de 27.5% correspondiente al tratamiento T41 (Parrilladas El Gaucho, asadero, carbón) y un máximo de eficiencia del 94% correspondiente al tratamiento T5 (ILA, caldero, diesel).

En el Anexo B, Tabla B-15 se presenta el análisis de varianza de la eficiencia global, donde, a un nivel de confianza del 95% se determinó que existe diferencia significativa para todos los tratamientos que están involucrados en el estudio. Al realizar una prueba de rangos múltiples de Tukey HSD al 95% de confianza, expuesta en la Tabla B-16, se estableció que la diferencia entre los tratamientos es significativa, de acuerdo al promedio de la eficiencia global las empresas se pueden clasificar en 16 grupos homogéneos de la A a la P, siendo A (Parrilladas El Gaucho) la empresa que reporta menor eficiencia en la combustión y P (ILA) la empresa que presenta mayor eficiencia en los procesos de combustión.

El Ministerio de Energía y Minas del Perú, 2011 indica que la eficiencia mínima típica con base al poder calorífico es del 78%, al comparar este límite con los datos reportados por 34 empresas, se encontró que 24 empresas están dentro de este límite y 10 empresas siendo estas Parrilladas El Gaucho, Pollo Listo 1, Asadero Tungurahua, Pollo Listo 2, TecnoRizo 3, Pollos de Campo, Hotel Miraflores, Industrias Catedral, Pan de Casa y Tecnorizo 1 reportaron un valor de eficiencia menor.

Uno de los parámetros más importantes para evaluar el funcionamiento de un sistema de combustión es su rendimiento, que se define como la relación entre el calor útil producido y las pérdidas a través de los gases de combustión. De las 10 empresas con baja eficiencia 5 fueron empresas que utilizaban carbón, 3 empresas diesel y 2 empresas GLP, mediante lo cual se pudo notar

de acuerdo a lo reportado en eficiencia y de acuerdo a la contaminación emitidas en este estudio por las empresas que utilizan carbón, que este combustible es el mas ineficiente y más contaminante.

### **Simulación con Disper 5.2 y Screen View, de la dispersión de los contaminantes de las fuentes fijas seleccionadas.**

Para realizar la simulación se requirió datos meteorológicos de la ciudad de Ambato como son la temperatura del aire, velocidad promedio del viento, nubosidad, estabilidad atmosférica Pasquill-Guifford (K) y los gráficos de la velocidad y dirección del viento los cuales se reportan en el Anexo A, Tabla A-6 y A-7 así como en el Anexo D, gráfico D-2 al D-9.

### **Simulación de la dispersión de material particulado PM10**

En el Anexo A, Tabla A-8 se indica los resultados de la simulación realizada para material particulado PM10 con Screen View. TULAS libro VI anexo 3 numerales 4.1.4.2 y 4.1.4.3 mencionan entre otros lo siguiente “Las fuentes existentes, significativas, deberán también proceder a evaluar su impacto en la calidad del aire mediante modelos de dispersión, esto de ser requerido en los estudios de auditoría ambiental o de estudio de impacto ambiental expost” además indica lo siguiente “Para tal efecto se utilizará un modelo de dispersión de tipo preliminar, ejemplo Screen, de la US EPA, mediante el cual se verificará si las concentraciones calculadas por este modelo, para cada contaminante modelado, sobrepasan o no los valores estipulados”.

Si la predicción mediante modelo indica que la concentración del contaminante supera el valor norma, TULAS indica que al contaminante se lo designa como significativo para la fuente.

Mediante la comparación con el valor norma las empresas Pollo Listo 1, Pollo Listo 2, Pollos de Campo y Asadero Tungurahua reportaron una emisión significativa de material particulado  $PM_{10}$  y requieren según norma que la entidad ambiental de control solicite la aplicación de un modelo detallado como lo indica TULAS en el numeral 4.1.4.5 que menciona lo siguiente: “De tratarse de una o varias fuentes fijas nuevas significativas, o varias fuentes existentes modificadas, la evaluación deberá efectuarse mediante un modelo de dispersión del tipo detallado, con capacidad para incluir diferentes fuentes fijas, y con capacidad de predecir concentraciones de contaminantes para períodos de tiempo mayores a una hora, e inclusive, de predecir la concentración anual de un determinado contaminante. Para esto, se utilizará un modelo de dispersión de características técnicas similares a ISC, de la US EPA”. El software ambiental DISPER 5.2 utilizado en este estudio es un modelo análogo al modelo ISC de la US EPA.

En el Anexo D, Gráfico D-10 al D-13, se realizó la dispersión del material particulado  $PM_{10}$  para las empresas que presentan emisiones significativas. Los resultados obtenidos confirmaron que mediante simulación las concentraciones de material particulado  $PM_{10}$  por las empresas sobrepasan el valor norma.

La dispersión de contaminantes evaluado por Screen View y por Disper 5.2 de las empresas Pollo Listo 1, Pollo Listo 2, Pollos de Campo y Asadero Tungurahua que presentaron chimeneas con alturas de 3, 7, 7.2 y 3.5 metros respectivamente sobrepasaron los límites del valor a nivel del suelo así como son empresas que no cumplen con el límite de emisión como se lo ha descrito anteriormente en este estudio. No siempre las empresas que sobrepasan los valores límites de emisión, sobrepasan los valores al simular la dispersión a nivel del suelo, existen factores como el ancho y altura de la chimenea que pueden corregir o agravar el efecto de las emisiones sobre los límites. Una posible razón por las que las empresas que en este caso sobrepasaron los

límites de la dispersión fue que no contaban con la altura mínima de 8 metros mencionada por Barriga A, 2011.

### **Simulación de la dispersión de óxidos de nitrógeno NOx.**

En el Anexo A, Tabla A-9, se indica los resultados de la simulación realizada para óxidos de nitrógeno con Screen View, modelo recomendado en los numerales 4.1.4.2 y 4.1.4.3 del TULAS libro VI anexo 3, como herramienta para verificar si las concentraciones calculadas mediante la simulación, sobrepasan o no los valores estipulados en la norma.

Mediante la comparación con el valor norma la empresa Pastelería El Manjar, reportó emisión significativa de óxidos de nitrógeno y requiere según norma que la entidad ambiental de control solicite la aplicación de un modelo detallado. El modelo detallado que la norma menciona en el numeral 4.1.4.5 es un modelo de dispersión de características técnicas similares a ISC, de la US EPA, el software ambiental DISPER 5.2 utilizado es un modelo análogo al modelo ISC de la US EPA.

En el Anexo D, Gráfico D-14, se realizó la dispersión de óxidos de nitrógeno para la empresa que presentan emisiones significativas. Los resultados obtenidos difirieron e indicaron que la concentración de óxidos de nitrógeno NOx por la empresa Pastelería El Manjar no sobrepasa el valor norma.

La posible razón por la que ninguna empresa sobrepasó los límites de dispersión de contaminantes a nivel del suelo es que en el estudio de emisión, al igual ninguna empresa sobrepasó los límites.

### **Simulación de la dispersión de dióxido de azufre SO<sub>2</sub>.**

En el Anexo A, Tabla A-10, se indica los resultados de la simulación con Screen View de la dispersión de dióxido de azufre, al comparar con el valor norma, la empresa Hotel Ambato, reportó una emisión significativa de dióxido de azufre y requiere según norma que la entidad ambiental de control solicite la aplicación de un modelo detallado. El modelo detallado que la norma menciona en el numeral 4.1.4.5 es un modelo de dispersión de características técnicas similares a ISC, de la US EPA, el software ambiental DISPER 5.2 utiliza un modelo análogo al modelo ISC de la US EPA.

En el Anexo D, Gráfico D-15, se realizó la dispersión de dióxido de azufre para la empresa que presentan emisiones significativas. Los resultados obtenidos comprobaron que la concentración de dióxido de azufre del Hotel Ambato sobrepasa el valor norma.

La posible razón por la que el Hotel Ambato que presentó un chimenea de 2.7 metros de altura sobrepasó el límite de dispersión a nivel del suelo, fue porque su chimenea no contaba con la altura mínima de 8 metros necesaria para asegurar un buen tiro para lanzar los gases lo más alto posible y lograr que la dispersión del contaminantes se dé antes de que llegue a nivel del suelo como menciona Barriga A, 2011.

### **Simulación de la dispersión de monóxido de carbono CO.**

En el Anexo A, Tabla A-11 se indican los resultados de la simulación realizada para monóxido de carbono con Screen View, modelo recomendado en el numeral 4.1.4.5 del TULAS libro VI anexo 3, mediante la comparación con el valor norma se comprobó que no se necesita aplicar una simulación con un

modelo detallado ya que ninguna empresa en el estudio presenta una emisión significativa de monóxido de carbono como para simular su dispersión.

### **Simulación de la dispersión de ceniza**

Para simular la erupción, se realizaron ejercicios comparativos con imágenes satelitales de los flujos de ceniza, con el fin de acercarse mejor a la dinámica de la erupción. Puesto que DISPER 5.2 no es un modelo concebido para el estudio de una columna volcánica con sus procesos asociados, los ejercicios son simplificaciones para rescatar el efecto regional de las emisiones de ceniza a la atmósfera.

En base a los datos de material partícula PM10 reportados en la Tabla A-12, se consideró 2 eventos de los cuales se tiene imágenes satelitales e información sobre los flujos y condiciones meteorológicas reportados por el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional.

En el Gráfico D-16 se indica la imagen satelital reportada (a), así como la imagen obtenida de la dispersión mediante simulación (b), el penacho fue evaluado como una dispersión de área, con los datos reportados por el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional, en el resumen mensual de la actividad volcánica en el mes de Abril del 2011. Al no ser DISPER 5.2 un modelo adecuado para este tipo de análisis se tomó en consideración únicamente el análisis del alcance y de la trayectoria que de una manera cualitativa se asemejó a la imagen satelital, se reportó un alcance de 177Km y los valores de concentración de PM10 de la simulación no fueron evaluados.

En el D-17 se indica la imagen satelital reportada (a), así como la imagen obtenida de la dispersión mediante simulación (b), y (c) la dispersión a nivel regional en la ciudad de Ambato, el penacho fue evaluado como una dispersión

de área, con los datos reportados por el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional en el resumen mensual de la actividad volcánica en el mes de Abril del 2011. Al no ser DISPER 5.2 un modelo adecuado para este tipo de análisis se tomó en consideración únicamente el análisis del alcance y de la trayectoria que de una manera cualitativa se asemeja a la imagen satelital, se reporta un alcance de 31Km en dirección a la ciudad de Ambato y los valores de concentración de PM10 reportados al ser comparados con la Tabla B-17, se identificó que la influencia del volcán sobre los datos medidos en la estación de monitoreo de material particulado es de un aumento de 42ug/m<sup>3</sup> sobre el valor típico reportado, la simulación efectuada con Disper 5.2 predijo un aumento de 61.72 ug/m<sup>3</sup> de material particulado al nivel del suelo. Para establecer un factor de corrección del modelo se debe realizar un estudio más profundo para acoplar el modelo a la emisión de PM10 por emisiones volcánicas.

### **Material particulado PM<sub>10</sub>, medido en la estación de monitoreo de la calidad del aire del municipio de Ambato**

En el Anexo A, Tabla A-12 se indica la concentración de material particulado PM10, medido por la estación de monitoreo de la calidad del aire del Municipio de Ambato en su dirección de higiene y ambiente.

La Tabla B-17 indicó que la diferencia entre los reportes son significativas con un nivel del 95% de confianza. Se establecieron dos grupos homogéneos de los cuales se consideró el grupo A como valores típicos reportados con una media del grupo de  $43.03 \pm 10.33$  ug/m<sup>3</sup> y el grupo B los valores fuera de rango que fueron analizados y relacionados con los eventos eruptivos del volcán Tungurahua reportando una media de  $73.32 \pm 9.82$  ug/m<sup>3</sup>.

De los análisis reportados como valores con posibles influencias de la actividad del volcán Tungurahua, al comparar con los reportes del Instituto

Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional, se identificó una relación para los análisis de material particulado V15, V16, V17, V18 y V19 con fechas 26/4/2011, 27/4/2011, 28/4/2011, 1/5/2011 y 2/5/2011 respectivamente, los mismos que reportaron actividad volcánica importante. Se identificaron también dos análisis que presentan valores no comunes de material particulado V2 y V10, que de acuerdo a reportes del volcán no se encontraron relacionados con la actividad del volcán Tungurahua. Se calculó un incremento de 30.29 ug/m<sup>3</sup>, calculado como la diferencia de las medias de los grupos homogéneos.

### **Índice de calidad del aire ICAIRE**

En el Anexo A, Tabla A-13 se indica los valores calculados en base a la ecuación 1 ( $ICAIRE = K \sum C_i P_i / \sum P_i$ ) y tomando como referencia la Tabla 15, la escala se encuentra definida en la Tabla 14 y va de 0% (aire inaceptable) y 100%(aire óptimo).

El valor reportado por el Asadero Tungurahua de un índice de calidad ICAIRE de 67,41%, indicó que es la que genera mayor impacto en el aire dentro de las empresas evaluadas, se aclara que dicho impacto es el más alto en el estudio realizado pero no llega a generar aire contaminado fuera de los límites establecidos por Conesa, 1997 que se encuentran detallados en la Tabla 14 y el cual menciona que valores ICAIRE inferiores al 40% es considerado aire en emergencia. El valor reportado por Rico Pollo 1, Tecnorizo 1 y Tecnorizo 3 con un índice de calidad ICAIRE del 100%, indicó que dichas empresas generan el menor impacto en el aire con sus actividades en el estudio realizado.

Al comparar con la escala de referencia indicada en este estudio en la Tabla 14 en la cual se designa la calidad del aire según los intervalos siendo de 100 – 80% (óptima), 80-60% (buena), 60-40% (aceptable), 40-20%(estado de emergencia) y de 20-0% (inaceptable), no se encontraron valores en estado de

emergencia o inaceptables. El estado del aire analizado únicamente bajo la influencia de las chimeneas estudiadas se encontró entre Óptima y Buena.

### **4.3 Verificación de hipótesis**

Mediante los resultados obtenidos se rechaza la Hipótesis nula por lo tanto se acepta la hipótesis alternativa, la cual indica que las distintas fuentes fijas analizadas y el volcán Tungurahua, presentan diferencias significativas en la simulación de la dispersión de sus contaminantes en el aire con Screen View y Disper 5.2

$$H1:T1 \neq T2 \neq \dots \neq Tn$$

## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **5.1 Conclusiones**

**5.1.1** Se realizó el estudio sobre la simulación de la dispersión de contaminantes en el aire de la ciudad de Ambato, emitidos por fuentes fijas y por la actividad del volcán Tungurahua, mediante la utilización de los softwares ambientales especializados Disper 5.2 y Screen View, mediante el cual se obtuvo un diagnóstico general del cumplimiento de los parámetros del Texto de Legislación Ambiental Secundario TULAS así como de otros indicadores adicionales evidenciado en la Tabla A-14. Se estableció los valores de la concentración por la dispersión y alcance de los contaminantes a nivel del suelo mediante simulación con Screen View y se profundizó el análisis de la simulación para las empresas que reportaban emisiones significativas de contaminantes mediante el uso del software Disper 5.2 evidenciados en la Tabla A-8 a la A-11, así como en el Gráfico D-10 al D-15. Se realizaron dos pruebas del modelo gaussiano para simular la dispersión de las emisiones gaseosas del volcán Tungurahua mediante ejercicios comparativos con imágenes satelitales de los flujos de ceniza reportados en el Gráfico D-16 y D-17, se estableció la existencia de la relación con las emisiones del volcán Tungurahua de los datos de material particulado medidos en la estación de control de la calidad del aire de la dirección de higiene municipal señalado en la Tabla B-17 y se caracterizó la calidad del aire de acuerdo al índice ICAIRE de las zonas de influencia de las empresas estudiadas en la Tabla A-13.

**5.1.2** Se seleccionó del catastro de la ciudad de Ambato las empresas industriales y de servicios consideradas fuentes fijas de contaminación del aire, para lo cual se calculó el tamaño muestral y se determinó una muestra de 56 empresas, por motivos de logística y económicos se decidió fijar la muestra en

50 empresas, las mismas que se encuentra detallada en el Anexo A, Tabla A-1. De las 50 empresas 8 empresas no presentaron los análisis requeridos, de las cuales Pastelería Quito, Ecuatran, Curtiduría Hidalgo y Ecuapan justificaron la no realización de lo solicitado y las empresas Restaurante El Markez, Asadero Barcelona, Propiel y Tenería Ecuapiel se encuentran en procesos administrativos en el Municipio de Ambato para establecer nuevos plazos de entrega o sanciones de acuerdo a lo que designen las autoridades competentes.

**5.1.3** Se analizó la concentración de los contaminantes emitidos por las mencionadas empresas así como por la actividad del volcán Tungurahua. El análisis de las fuentes fijas se reporta en la Tabla B-1 a la B-17 y un resumen general en la Tabla A-14.

De las fuentes fijas seleccionadas, Ceticuero, Disama, Lavatintex, Pastificio Ambato, Curtiduría Aldás, Suiza Dajed, Planhofa, Panificadora Ambato, Panadería Moderna y Panadería Buen Pan cumplen con todos los parámetros evaluados y las empresas Pollos de Campo, Pollo Listo 1, Pollo Listo 2, Parrilladas el Gaucho, Asadero Tungurahua y Panadería Tecnipan son las empresas que mayor parámetros incumplidos reporta dentro del estudio realizado.

Mediante análisis estadístico se identificó un incremento promedio en el mes de abril y mayo por la actividad volcánica en la concentración de material particulado en el aire de la ciudad de Ambato de 30.29 ug/m<sup>3</sup>, calculado como la diferencia de las medias de los grupos homogéneos reportados en la Tabla B-17. En las fechas 26/4/2011, 27/4/2011, 28/4/2011, 1/5/2011 y 2/5/2011 dicho incremento muestra relación con los reportes de actividad volcánica del Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional. Se identificó dos concentraciones de material particulado PM<sub>10</sub> en el aire de la ciudad que presentan valores fuera del límite típico y que de acuerdo a reportes no se encuentran relacionados con la actividad del volcán Tungurahua.

**5.1.4** Se simuló los flujos de contaminación emitidos por las fuentes fijas y por la actividad volcánica y su dispersión, mediante el uso de los softwares ambientales especializados Disper 5.2 y Screen View.

Los resultados de la simulación de las fuentes fijas seleccionadas se señalan en la Tabla A-8 a la A-11, mediante los cuales se determinó significancia en la emisión de material particulado PM10 en las empresas Pollo Listo 1, Pollo Listo 2, Pollos de Campo y Asadero Tungurahua que al realizar la simulación detallada con Disper 5.2 reportado en el Gráfico D-10 al D-13, se confirmó que las empresas sobrepasan el valor norma. En el análisis de la simulación de óxidos de nitrógeno NOx la empresa Pastelería El Manjar, reportó emisión significativa pero al simular con Disper 5.2 en el Gráfico D-14 se evaluó que las emisiones no sobrepasan el valor norma. En el análisis de la simulación de dióxido de azufre, la empresa Hotel Ambato, reportó una emisión significativa que al simular con Disper 5.2 en el gráfico D-15 fue confirmado que sobrepasa el valor norma. En el análisis de monóxido de carbono se comprobó que ninguna empresa en el estudio presenta una emisión significativa de monóxido de carbono.

Para simular la erupción, se realizaron ejercicios comparativos con imágenes satelitales de los flujos de ceniza, con el fin de acercarse mejor a la dinámica de la erupción. Puesto que DISPER 5.2 no es un modelo concebido para el estudio de una columna volcánica con sus procesos asociados, los ejercicios son simplificaciones para rescatar el efecto regional de las emisiones de ceniza a la atmósfera. En el Gráfico D-16 el penacho emitido el 27 de abril del 2011 por el volcán Tungurahua fue evaluado como una dispersión de área, se tomó en consideración únicamente el análisis del alcance y de la trayectoria que de una manera cualitativa se asemejó a la imagen satelital, se reportó un alcance de 177Km. En el Gráfico D-17 el penacho emitido el 28 de abril del 2011 fue evaluado como una dispersión de área se reporta un alcance de 31Km en dirección a la ciudad de Ambato y los valores de concentración de PM10 reportados al ser comparados con la Tabla B-17, se identificó que la influencia del volcán sobre los datos medidos en la estación de monitoreo de material

particulado es de un aumento de 42ug/m<sup>3</sup> sobre el valor típico reportado, la simulación efectuada con Disper 5.2 predijo un aumento de 61.72 ug/m<sup>3</sup> de material particulado al nivel del suelo. Para establecer un factor de corrección del modelo se debe realizar un estudio más profundo para acoplar el modelo a la emisión de gases volcánicos.

**5.1.5** Se determinó el índice de calidad del aire ICAIRE en los sectores de influencia de las fuentes fijas de contaminación. En el Anexo A, Tabla A-13 se indica los valores calculados en base a la ecuación 1 y tomando como referencia la Tabla 15 y Tabla 14, el valor reportado por el Asadero Tungurahua de un índice de calidad ICAIRE de 67,41%, indicó que es la que genera mayor impacto en el aire dentro de las empresas evaluadas, se aclara que dicho impacto es el más alto en el estudio realizado pero no llega a generar aire contaminado fuera de los límites establecidos por Conesa, 1997 . El valor reportado por Rico Pollo 1, Tecnorizo 1 y Tecnorizo 3 de 100%, indicó que fueron los que menor impacto en el aire producen con sus actividades en el estudio realizado.

Al comparar con la escala de referencia indicada en este estudio en la Tabla 14, no se encontraron valores en estado de emergencia. El estado del aire analizado únicamente bajo la influencia de las chimeneas estudiadas se encontró entre Óptima y Buena.

## **5.2 Recomendaciones**

**5.2.1** Se ha realizado un estudio que constituye un diagnóstico de las emisiones de contaminantes por fuentes fijas y de su dispersión en el aire, estudio que fue entregado a la dirección de higiene y ambiente del Ilustre Municipio de Ambato, mediante el cual se ha encontrado que seis empresas no cumplen en al menos un parámetro de control con lo establecido en el Texto Unificado de Legislación Ambiental así como en la ordenanza municipal, por lo cual se

recomienda a las autoridades de control informar a dichas empresas, para que realicen las correcciones necesarias en sus sistemas de combustión.

**5.2.2** Se encontró 19 empresas con emisiones considerables de monóxido de carbono, lo que indica combustión incompleta, por lo que se recomienda indicar a las empresas regular la relación entre combustible y aire, de esta manera la empresa gana económicamente al subir la eficiencia de sus sistemas de combustión así como se reduce el impacto en el aire. Además por ser el monóxido de carbono tóxico, se recomienda a las autoridades de control verificar si los aparatos de combustión se encuentran ubicados en lugares ventilados.

**5.2.3** Los datos de la simulación de la dispersión de contaminantes obtenidos ubicaron seis empresas que a nivel del suelo sobrepasan la concentración límite de contaminante. Se recomienda para solucionar este problema un estudio de las alturas de las chimeneas de los sistemas de combustión de dichas empresas, ya que al corregir este parámetro se corregirá la contaminación a nivel del suelo. Además se aconseja estudiar otras alternativas para solucionar este problema.

**5.2.4** Se encontró una relación entre los eventos volcánicos y la concentración de material particulado que puede ser evaluado parcialmente con un modelo gaussiano para el cual se recomienda un estudio a profundidad, así como el uso de modelos de simulación especializados en penachos volcánicos.

**5.2.5** Se calculó la calidad del aire bajo la influencia de las fuentes fijas, con este estudio se recomienda acoplar con el estudio ya existente de las fuentes móviles y de esta manera tener una evaluación más completa y más cercana a la realidad de la calidad de aire en la ciudad de Ambato.

## **CAPÍTULO VI PROPUESTA**

### **6.1 Datos informativos**

<b>Título:</b>	“Simulación de la dispersión de contaminates atmosféricos con Disper 5.2 de las emisiones del tráfico vehicular en las principales vías de la ciudad de Ambato”
<b>Unidad ejecutora:</b>	Universidad Técnica de Ambato a través de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos
<b>Beneficiario:</b>	Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos, ciudad de Ambato
<b>Director del Proyecto:</b>	Dr. Ramiro Velasteguí PhD.
<b>Personal Operativo:</b>	Egdo. Alcides Alberto Bustillos Ortiz
<b>Tiempo de duración:</b>	6 meses
<b>Fecha de inicio:</b>	01 de noviembre del 2011
<b>Lugar de Ejecución</b>	Principales vías de la ciudad de Ambato y laboratorios de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos

### **6.2 Antecedentes de la propuesta**

En todo el mundo se ha puesto énfasis en el control de las concentraciones atmosféricas ambientales de contaminantes a niveles en los cuales no se observan efectos en la salud (Glynn y Heinke, 1999).

Las emisiones que genera el transporte por carretera representan un porcentaje elevado de las emisiones totales de los contaminantes principales

entre ellos dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), partículas en suspensión totales o material particulado (PM), partículas en suspensión de  $\leq 10$   $\mu$ m de diámetro aerodinámico (PM<sub>10</sub>), monóxido de carbono (CO) y ozono (O<sub>3</sub>); y de otros contaminantes, como los compuestos orgánicos volátiles (COV). Adicionalmente, casi una cuarta parte de las emisiones de efecto invernadero del mundo relacionado con la energía es producida por el sector del transporte, y las tres cuartas partes de estas son producidas por vehículos automotores (Ortega et al, 1999)

Los factores de emisión son un parámetro importante para el cálculo de las emisiones y por ende tienen una gran influencia en la calidad de los resultados (Blaser, 2010).

Un estudio importante relacionado con lo mencionado es el realizado en la ciudad en Mayo del 2008 en el proyecto calidad del aire de la ciudad de Ambato, llevado a cabo por el Municipio de Ambato, Petroecuador y la Universidad Central, en el cuál se realizó entre otros el estudio de las emisiones de vehículos con motor ciclo Otto y en vehículos con motor ciclo diesel (Medina et al., 2008).

La contribución de estos a la contaminación atmosférica a escala local y sus concentraciones incrementales en los alrededores de las vías, pueden calcularse mediante modelos de dispersión (Splegel, 2006)

### **6.3 Justificación**

El impacto que producen las emisiones de contaminantes atmosféricos generados por el transporte por carretera puede considerarse eminentemente negativo, puesto que en la ciudad de Ambato, se producen generalmente en zonas con alta densidad de habitantes y prácticamente a nivel del terreno,

trayendo como consecuencias directas afectaciones a la calidad de vida de la población. La modelación de cómo se dispersan estos contaminantes emitidos permite analizar estrategias con vistas a reducir las emisiones y afectaciones generadas por este sector.

La necesidad de abordar el estudio de la contaminación atmosférica mediante el análisis de los resultados obtenidos, a partir de los modelos de dispersión atmosférica, resulta una necesidad por su rapidez y bajos costos de ejecución. Pero también los modelos son imprescindibles para evaluar proyectos viales y para comparar estrategias de reducción.

Si bien es cierto que cualquier simulación matemática de un fenómeno tan complejo como lo es la dispersión atmosférica nunca es totalmente exacta, no es menos cierto que los resultados que se obtendrán con la simulación con Disper 5.2 serán un instrumento válido para ser aplicado en la decisión de la planificación y en la adopción de medidas correctoras.

## **6.4 Objetivos**

### **Objetivo General**

- Realizar un estudio de la simulación de la dispersión de contaminantes atmosféricos con Disper 5.2 de las emisiones del tráfico vehicular en las principales vías de la ciudad de Ambato

### **Objetivos específicos**

- Recoger información sobre el parque automotor de la ciudad de Ambato

- Identificar las vías y el horario con mayor flujo de tránsito vehicular en la ciudad de Ambato.
- Simular con Disper 5.2 la dispersión de contaminantes considerando las vías líneas emisoras y en base a la estimación de flujo de gases por automóvil que realiza el software.
- Evaluar la calidad del aire en las vías estudiadas.

## **6.5 Fundamentación**

### **Simulación de la dispersión de las emisiones de automóviles mediante el uso del software ambiental Disper 5.2**

Para estudiar los factores de emisión de las carreteras, se debe tener en cuenta diversos factores. La cantidad de vehículos que circulan, emisión, su velocidad, el tipo de combustible que utilizan, la temperatura ambiente.

### **Estimación de la emisión de contaminantes de los automóviles para la simulación con Disper 5.2**

La Agencia de Protección Ambiental de los EE.UU. (*Environmental Protection Agency*, 1995) ha estudiado el problema siendo capaz de fijar valores promedio de los distintos vehículos y contaminantes. Han sido capaces de estimar las emisiones considerando una velocidad media de los vehículos de 31,6 km/h y dichos valores lo reportan en tablas para estimar la emisión de contaminates.

## **Condiciones metereológicas**

Las condiciones metereológicas serán medidas por la estación de monitoreo de la calidad del aire de la dirección de higiene y ambiente de la ciudad de Ambato.

## **Estimación del flujo vehicular por las vías a estudiarse**

El número de vehículos que circulan por hora (Nvh) se obtendrá por medio de los datos oficiales de la Jefatura Provincial de Tránsito de Tungurahua. En caso de no existir los datos necesarios, se hará un trabajo de campo donde se contará el número de vehículos que pasan por la carretera en una hora a diferentes horas del día. Si la carretera tiene un tráfico alto, se contará vehículos durante un minuto y luego se multiplicará dicho valor por 60 para obtener Nvh

## **6.6 Metodología**

La propuesta consta de las siguientes etapas:

- Estudio y revisión bibliográfica
- Formulación de los Tratamientos
- Pruebas preliminares
- Fase Experimental
- Recolección de Datos
- Selección del mejor tratamiento

## **6.7 Administración**

La ejecución de la propuesta estará coordinada por los responsables del estudio Dr. Ramiro Velasteguí y el Egdo. Alcides Alberto Bustillos Ortiz, que una

vez finalizado servirá como antecedente a futuras investigaciones relacionadas con el tema estudiado.

## CAPITULO VII

### 7.1 Bibliografía

Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATSDR). 2011. Contaminación del aire, disponible en: [http://www.atsdr.cdc.gov/es/general/aire/es\\_theair.pdf](http://www.atsdr.cdc.gov/es/general/aire/es_theair.pdf)

Álvarez M. 2000. Ceniza volcánica un nuevo agente de contaminación químico, Ministerio de salud pública, disponible en: [http://www.galeno21.com/PRIMICIAS/HISTORICO/2006/JULIO/TEMAS%20DEL%20MES/MEDICINA%20DE%](http://www.galeno21.com/PRIMICIAS/HISTORICO/2006/JULIO/TEMAS%20DEL%20MES/MEDICINA%20DE%20)

Arraiga L; Calle N; Ortiz E. 2001. Diagnóstico de las condiciones locales y situación actual de la Dirección de Medio Ambiente de la M. I. Municipalidad de Guayaquil para implementar el sistema de monitoreo y vigilancia de la calidad del recurso aire en la ciudad, páginas 8 y 9.

Barberi F; Coltelli M; Ferrara G; Innocenti F; Navarro J. y Santacroce R. 1988. Plio-Quaternary volcanism in Ecuador, Geological Magazine 125 (1), páginas: 1-14.

Barriga A. 2011. Seminario combustion industrial aplicada y control de contaminantes, Escuela Superior Politécnica del Litoral, disponible en: <http://www.cds.espol.edu.ec/documentos/combustion%20AB.pdf>

Brasseur G; Orlando J; Tyndall G. 2003. Modeling in atmospheric chemistry and global change, Oxford University Press, Oxford.

Bustos C. 2004. Aplicación de modelos de dispersión atmosférica en la evaluación de impacto ambiental, Chile, páginas: 20 – 26.

Bustos F. 2007. Manual de Gestión y Control Ambiental, Industrias Gráficas, Quito Ecuador, páginas: 335-360.

Canarina. 2010. Manual del usuario, Software ambiental, aplicación informática para la simulación por ordenador de la contaminación atmosférica, páginas: 40-42, 49-52, 70-76.

Canter L. 1997. Manual de evaluación de impacto ambiental, segunda edición, editorial McGraw-Hill, 177-229pp.

Cantera. 2009. Sistema de modelización de la calidad del aire WRF-ARW/CMAQ, página 7, disponible en: [http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/6285/2/ANEXO%20A\\_Sistema\\_Simulac%20Trafico%2080km.pdf](http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/6285/2/ANEXO%20A_Sistema_Simulac%20Trafico%2080km.pdf)

Chang J. 2008. Curso de contaminación, segunda parte, Escuela Politécnica del Litoral.

CHEMENG. 2010. Lista de servicios de consultoría ambiental, páginas: 1-6.

Conesa V. 1997. Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental, tercera edición, editorial Mundi-Prensa, páginas: 187-194.

Corporación Municipal para el mejoramiento del aire de Quito (CORPAIRE). 2001, Red monitoreo atmosférico, Quito-Ecuador.

Daly A; Zannetti P. 2007. Air Pollution Modeling – an Overview, EnviroComp Institute, disponible en: <http://www.envirocomp.org/books/chapters/2aap.pdf>.

Dirección Metropolitana Ambiental. 2008. RESOLUCIÓN N° 0002-DMA-2008, disponible en: <http://www.quiport.com/www/frontEnd/images/objetos/NORMA%20TECNICA%200213.pdf>

Environmental Protection Agency (EPA). 1992. Air Quality Atlas, Research Triangle Park, NC.

Environmental Protection Agency (EPA). 1995. Screening Procedures for Estimating the Air Quality Impact of Stationary Sources, Revised, EPA-454/R-92-019. U.S. Environmental Protection Agency.

Environmental Protection Agency (EPA). 2003. Air Quality Atlas, Research Triangle Park, NC. USA.

Environmental Protection Agency (EPA). 2007. Red de Transferencia de Tecnología, disponible en: <http://www.epa.gov/ttn/catc1/cica/indexs.html>.

Environmental Protection Agency (EPA). 2009. Air contamination. <http://epa.gov>

European Volcano Observatory Space Services (EVOSS). 2011. Atmosphere services, disponible en: [http://www.evoss.eu/images/stories/pdf/Poster\\_evoss\\_londres-1.pdf](http://www.evoss.eu/images/stories/pdf/Poster_evoss_londres-1.pdf)

Fernandez J. 2011. Combustión Industrial. Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional de Mendoza, capítulo 2, disponible en: [http://www.edutecne.utn.edu.ar/maquinas\\_termicas/02-combustion\\_industrial.pdf](http://www.edutecne.utn.edu.ar/maquinas_termicas/02-combustion_industrial.pdf)

Free Patents Online. 2009. Air pollution measuring equipment, disponible en: [www.freepatentsonline.com](http://www.freepatentsonline.com)

Gallardo L. 2003. Trazas atmosféricas y su modelación, Santiago, página 96.

Global Volcanism Program. 2011. Bulletin of the global Volcanism Network, disponible en: <http://www.volcano.si.edu/reports/bulletin/contents.cfm?issue=>

3601.

Glynn J; Heinke W. 1999. Ingeniería Ambiental, segunda edición, editorial Pearson, páginas 229-237, 548-560.

González V. 2008. La calidad del aire en Ecuador, Expo-conferencia interamericana.

Granier G. 2003. Modeling the changing atmosphere: an integration and synthesis of a decade of tropospheric chemistry research, página 4.

Gutiérrez J. 2000. La contaminación del aire por emisiones gaseosas y su regulación en el Perú, páginas 82 y 83, disponible en: <http://www.teleley.com/revistaperuana/4gutierrez-65.pdf>

Hall M y Beate B. 1991. El Volcanismo Plio-Cuaternario en Los Andes del Ecuador. El Paisaje Volcánico de la Sierra Ecuatoriana, estudios de Geografía, Vol. 4, páginas: 5-18.

Higashi M; Burns T. 1991. Enrichment of ecosystem theory, London, Cambridge University Press.

Información Común sobre el aire en Europa (CITEAIRE). 2011. Air quality in Europe, Comparación de ciudades, disponible en: <http://www.airqualitynow.eu/es/index.php>

Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional. 2011. La actividad del volcán Tungurahua, Servicio nacional de sismología y vulcanología.

Jacobson M. 2002. Fundamentals of atmospheric modeling, Cambridge University Press, Cambridge.

Kiely G. 1999. Ingeniería ambiental, Fundamentos, entornos, tecnologías y sistemas de gestión, Madrid, McGraw-Hill, 1330p.

Lavoisier A. 1789. Traité élémentaire de chimie, présenté dans un ordre nouveau et d'après les découvertes modernes, Paris.

Lenntech. 2008. FAQ Air Pollution Frequently Asked Questions, disponible en: [www.lenntech.com](http://www.lenntech.com)

Marín J; Buitrago J. 2003. Aplicación del modelo gaussiano para determinar la calidad del aire de Manizales, páginas 1-7, disponible en: <http://www.bdigital.unal.edu.co/969/1/jaimhernanbuitragoarango.2003.pdf>.

Medina J; Montesdeoca D y De la Rosa M. 2008. Estudio de la calidad del aire de la ciudad de Ambato, Universidad Central del Ecuador, Municipio de Ambato, Petroecuador.

Ministerio del Ambiente (MAE); Organización Panamericana de la Salud (OPS); Organización Mundial de la Salud (OMS). 2003. Diagnóstico preliminar, Gestión de la calidad del aire Ecuador, 137p. disponible en: [www.cepis.ops-oms.org](http://www.cepis.ops-oms.org).

Ministerio de Energía y Minas. 2009. Guía de estándares mínimos de eficiencia energética. Perú, disponible en: [www.minem.gob.pe/publicacionesDownload.php?idPublicacion=352](http://www.minem.gob.pe/publicacionesDownload.php?idPublicacion=352)

Montalvo F y Escobar D. 2011. Lluvia ácida de origen volcánica, servicio nacional de estudios territoriales, páginas: 1-4, disponible en: [http://cidbimena.desastres.hn/filemgmt/files/lluvia\\_acida.pdf](http://cidbimena.desastres.hn/filemgmt/files/lluvia_acida.pdf).

National Aeronautics and Space Administration (NASA). 2011. OMI/aura L2G online visualization and analysis, disponible en: [http://gdata2.sci.gsfc.nasa.gov/daac-bin/G3/gui.cgi?instance\\_id=omil2g](http://gdata2.sci.gsfc.nasa.gov/daac-bin/G3/gui.cgi?instance_id=omil2g)

National Geographic. 2000. Fuentes contaminantes del aire, disponible en: [http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/libros/geologia/gestion\\_calidad/cap03.pdf](http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/libros/geologia/gestion_calidad/cap03.pdf).

National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). 2011. Volcanic Ash Forecast Transport and Dispersion Model Graphics, disponible en: <http://www.ssd.noaa.gov/VAAC/vaftad.html>.

Núñez J. 2011. Cálculo de la concentración de material particulado PM10. Depto. Municipal de Higiene y Ambiente. I. Municipio de Ambato. Comunicación personal.

Ordenanza Municipal. 2004. Ordenanza para la prevención y control de la contaminación ambiental ocasionada por las actividades agroindustriales, industriales, artesanales.

Organización Panamericana de Salud (OPS). 2002. Gestión del Recurso Aire y aspectos técnicos-operativos, disponible en: <http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsci/fulltext/ecuador/capi2.pdf>

Ortega P; Rivero J; Turtós L; Sánchez M; Meneses E; Díaz N; Piré S. 1999. Modelación de la dispersión de contaminantes atmosféricos emitidos por el tráfico vehicular en una vía de Ciudad de La Habana, disponible en: <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/Ecosolar/Ecosolar23/HTML/articulo06.htm>

Parra R; Páez C. 2006. Estrategia para el desarrollo de un modelo de predicción de la calidad del aire de Quito y resultados preliminares de la fase de diagnóstico, CORPAIRE.

Pasquill F; Gifford F. 1962. Uses of routine meteorological observations for estimating atmospheric dispersion, Nuclear Safety, páginas: 47-51.

Peralta J; Delgado E; Vera J; Barriga A. 2005. Modelamiento de dispersión de contaminantes en la atmósfera emitidos por generadores termoeléctricos móviles en la ciudad de Guayaquil.

Petroecuador. 2008. Calidad de los combustibles. Disponible en: [http://www.petrocomercial.com/wps/portal!/ut/p/c0/04\\_SB8K8xLLM9MSSzPy8xBz9CP0os\\_jQAN9AQzcPlwMDdwtzA08DLy9jYxN3Q3c3Q\\_2CbEdFAANHFGY!/](http://www.petrocomercial.com/wps/portal!/ut/p/c0/04_SB8K8xLLM9MSSzPy8xBz9CP0os_jQAN9AQzcPlwMDdwtzA08DLy9jYxN3Q3c3Q_2CbEdFAANHFGY!/)

PREV'AIR. 2011. Prévisions et observations de la qualité de l'air en France et en Europe, disponible en: <http://www.prevoir.org/fr/index.php>.

Puliafito S. 2010. Modelo de calidad del aire para la ciudad de Buenos Aires, Universidad Tecnológica Nacional, disponible en: [http://www.apiperu.com/argentina/trabajos/ECC\\_113\\_Puliafito\\_Salvador\\_Enrique.pdf](http://www.apiperu.com/argentina/trabajos/ECC_113_Puliafito_Salvador_Enrique.pdf)

Rodríguez J. 1995. Contaminantes atmosféricos primarios y secundarios, Capítulo 9, páginas 130,142.

Secretaría de Movilidad. 2011. Índice Quiteño de la Calidad del Aire, Generalidades, disponible en: <http://remmaq.corpaire.org/>

Secretaría distrital de Ambiente. 2006. Protocolo para el control y vigilancia de las emisiones atmosféricas generadas por fuentes fijas, página 9, disponible en: [http://acercar.ambientebogota.gov.co/industria/legislacion/Emisiones%20Fijas/Protocolo\\_fuentes\\_fijas.pdf](http://acercar.ambientebogota.gov.co/industria/legislacion/Emisiones%20Fijas/Protocolo_fuentes_fijas.pdf)

Seinfeld J y Pandis S. 1998. Atmospheric chemistry and physics, From air pollution to climate change.

Servicio Nacional de Estudios Territoriales. 2011. Monitoreo de gases con la utilización del COSPEC, disponible en: <http://www.snet.gob.sv/Geologia/Vulcanologia/cospec.htm>.

Síntesis de la Legislación de la Unión Europea. 2006. Programa aire puro para Europa, disponible en: [http://europa.eu/legislation\\_summaries/environment/air](http://europa.eu/legislation_summaries/environment/air)

Spiegel J; Lucien Y. 2006. Control de la contaminación ambiental, disponible en: <http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/TextosOnline/EnciclopediaOIT/tomo2/55.pdf>

Suárez R. 2006. Combustión en generadores de vapor en una entidad de Camagüey, Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA), Cuba, disponible en: <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/Ecosolar/Ecosolar17/HTML/articulo02.htm>

Symonds R; Rose W; Bluth G y Gerlach T. 1994. Volcanic gas studies: methods, results, and applications, Mineralogical Society of America Reviews in Mineralogy, páginas: 1-66.

Texto Unificado de la Legislación Ambiental Secundaria (TULAS). 2006. Tomo V, Legislación Ambiental, Marco legal. v/p.

Turner D. 1969. Workbook of atmospheric dispersion estimates, EPA, Research Triangle Park, North Carolina.

Velasteguí R. 2009. Diagnóstico de las emisiones por fuentes fijas y diseño de un programa de monitoreo para el control de la calidad del aire en la ciudad de Ambato. Perfil de proyecto en preparación. UTA-FCIAL, Carrera de Ingeniería Bioquímica, en alianza estratégica con el Municipio de Ambato. Ambato, Ec. 24p. + Anexos.

## **7.2 Anexos**

### **ANEXO A RESPUESTAS EXPERIMENTALES**

**Tabla A-1. Empresas analizadas, dirección, laboratorio encargado del análisis de gases de combustión y fecha de análisis.**

<b>Empresa</b>	<b>Dirección</b>	<b>Laboratorio encargado del análisis</b>	<b>Fecha de análisis</b>
Ceticuero	Antigua Panamericana sector Puerto Arturo	CHEMENG	1/12/2010
Disama	Los Pericos y El Cóndor	CHEMENG	29/11/2010
Hotel Ambato	Rocafuerte y Guayaquil	CHEMENG	30/11/2010
Hotel Miraflores	Av. Miraflores	CHEMENG	29/11/2010
ILA	Brasilia y Bogotá (Ingahurco Bajo)	CHEMENG	30/11/2010
Lavatintex	Catahuango	CHEMENG	1/12/2010
Pastificio Ambato	Av. Los Guaytambos y Los Tomates	CHEMENG	29/11/2010
Promepell	Parque Industrial Ambato	CHEMENG	2/12/2010
Curtiduría Aldás	Parroquia Totoras, Barrio Palahua	CHEMENG	13/12/2010
Suiza Dajed	Los Tres Juanes	CHEMENG	18/01/2011
Planhofa	Av. Bolivariana y El Cóndor	CHEMENG	17/01/2011
Plasticaucho	Antártica sector Catiglata	CHEMENG	18/01/2011
Industrias Catedral	Av. Rodrigo Pachano Lalama y Cabo Primero Segundo Quiroz	Laboratorio Margoth Cifuentes	10/2/2010
Bioalimentar 1	Parque Industrial Ambato IV Etapa - Av. 1	CENERIN	27/04/2011
Bioalimentar 2	Parque Industrial Ambato IV Etapa - Av. 1	CENERIN	27/04/2011

Lavanderías Nacionales	Barcelona 14-21 y Av. Manuelita Sáenz	SOLINEC	9/6/2011
Pan de casa	Barcelona y Manuelita Sáenz	CHEMENG	2/12/2010
Panificadora Ambato	Bolívar y Quito	CHEMENG	30/11/2010
Panadería Moderna	Av. Atahualpa	CHEMENG	17/01/2011
Panadería Tecnipan	Av. Cevallos 4-60 y Castillo	CHEMENG	2/6/2011
Panadería y pastelería Servipan	Gonzalo Saldumbide y Atahualpa	Laboratorio Margoth Cifuentes	5/6/2011
Pastelería El Manjar	Redondel de Izamba	CHEMENG	2/6/2011
Panadería Buen Pan	Redondel desvío a Guaranda	CHEMENG	2/6/2011
Pollofino	Av. Cevallos y Olmedo	CHEMENG	13/12/2010
Rico Pollo 1	Av. Atahualpa (Huachi Chico)	CHEMENG	2/12/2010
Rico Pollo 2	Av. 12 de Noviembre 01-70 y Abdón Calderón	CENERIN	12/4/2011
Rico Pollo 3	Av. Bolivariana y Julio Jaramillo	CENERIN	12/4/2011
Rico Pollo 4	Av. Atahualpa y Miguel Cervantes	CENERIN	7/4/2011
American Pollo	Av. Indoamérica redondel de la Parroquia Izamba	CHEMENG	2/6/2011
Panadería y pastelería Calidad	Martínez y Cuenca	LAB-CESTTA	8/4/2011
Panadería y pastelería Calidad 3	Av. Atahualpa y Jácome Clavijo	LAB-CESTTA	30/06/2011
Panadería California	Av. Atahualpa y Victor	LAB-CESTTA	25/05/2011

	Hugo		
TecnoRizo 1	Parque Industrial Ambato	CHEMENG	24/02/2011
TecnoRizo 2	Parque Industrial Ambato	CHEMENG	24/02/2011
TecnoRizo 3	Parque Industrial Ambato	CHEMENG	24/02/2011
Pollo Listo 1	Av. Cevallos y Mariano Equez	CHEMENG	24/02/2011
Pollo Listo 2	Av. Los Guaytambos y Guirachuros	CHEMENG	24/02/2011
Pollo Gus	Mera y Cevallos	LAB-CESTTA	30/05/2011
Pollos Miguelin	Av. Leónidas Plaza y Camilo	LAB-CESTTA	25/05/2011
Pollos de Campo	Av. 12 de Noviembre	CHEMENG	17/01/2011
Parrilladas El Gaucho	Bolívar y Quito	CHEMENG	13/12/2010
Asadero Tungurahua	Vía a Baños Km 8	CHEMENG	1/12/2010
<b>Empresas excluidas del proyecto de investigación</b>			
<b>Empresa</b>		<b>Observación</b>	
Pastelería Quito		Eléctrico	
Ecuatran		Sin funcionamiento	
Curtiduría Hidalgo		Sin funcionamiento	
Ecuapan		Sin funcionamiento	
Restaurante El Markez		No entrega análisis de gases	
Asadero Barcelona		No entrega análisis de gases	
Propiel		No entrega análisis de gases	
Tenería Ecuapiel		No entrega análisis	

Fuente: Bustillos A, (2011)

**Tabla A-2. Simbología utilizada en el diseño experimental unifactorial.**

<b>Empresa</b>	<b>Equipo monitoreado</b>	<b>Combustible</b>	<b>Simbología</b>
Ceticuero	Caldero	Diesel	T1
Disama	Caldero	Diesel	T2
Hotel Ambato	Caldero	Diesel	T3
Hotel Miraflores	Caldero	Diesel	T4
ILA	Caldero	Diesel	T5
Lavatintex	Caldero	Diesel	T6
Pastificio Ambato	Caldero	Diesel	T7
Promepell	Caldero	Diesel	T8
Curtiduría Aldás	Caldero	Diesel	T9
Suiza Dajed	Caldero	Diesel	T10
Planhofa	Caldero	Diesel	T11
Plasticaucho	Caldero	Diesel	T12
Industrias Catedral	Caldero	Diesel	T13
Bioalimentar 1	Caldero	Diesel	T14
Bioalimentar 2	Caldero	Diesel	T15
Lavanderías Nacionales	Caldero	Diesel	T16
Pan de casa	Horno	Diesel	T17
Panificadora Ambato	Horno	Diesel	T18
Panadería Moderna	Horno	Diesel	T19
Panadería Tecnipan	Horno	Diesel	T20

Panadería y pastelería Servipan	Horno	Diesel	T21
Pastelería El Manjar	Horno	Diesel	T22
Panadería Buen Pan	Horno	Diesel	T23
Pollofino	Freidora	GLP	T24
Rico Pollo 1	Freidora	GLP	T25
Rico Pollo 2	Freidora	GLP	T26
Rico Pollo 3	Freidora	GLP	T27
Rico Pollo 4	Freidora	GLP	T28
American Pollo	Freidora	GLP	T29
Panadería y pastelería Calidad	Horno	GLP	T30
Panadería y pastelería Calidad 3	Horno	GLP	T31
Panadería California	Horno	GLP	T32
TecnoRizo 1	Secadora	GLP	T33
TecnoRizo 2	Caldero	GLP	T34
TecnoRizo 3	Rama	GLP	T35
Pollo Listo 1	Asadero	Carbón	T36
Pollo Listo 2	Asadero	Carbón	T37
Pollo Gus	Asadero	Carbón	T38
Pollos Miguelin	Asadero	Carbón	T39
Pollos de Campo	Asadero	Carbón	T40
Parrilladas El Gaucho	Asadero	Carbón	T41

Asadero Tungurahua	Asadero	Carbón	T42
--------------------	---------	--------	-----

Fuente: Bustillos A (2011)

**Tabla A-3. Características técnicas de los equipos monitoreados.**

Empresa	Tratamientos	Diámetro de la chimenea (m)	Altura de la chimenea (m)	Temperatura de salida del gas (K)
Ceticuero	T1	0.28	6.88	496.8
Disama	T2	0.26	2.5	599.8
Hotel Ambato	T3	0.2	2.7	461.8
Hotel Miraflores	T4	0.24	3.24	624.4
ILA	T5	0.24	6.3	389.2
Lavatintex	T6	0.28	3.3	474.6
Pastificio Ambato	T7	0.35	11	495.2
Promepell	T8	0.38	6.1	488.4
Curtiduría Aldás	T9	0.25	3.4	748.23
Suiza Dajed	T10	0.26	3.2	497.05
Planhofa	T11	0.45	8.1	506.08
Plasticaucho	T12	0.4	7.2	441.16
Industrias Catedral	T13	0.25	9	508.8
Bioalimentar 1	T14	0.35	9.26	429
Bioalimentar 2	T15	0.29	10	516
Pan de casa	T17	0.19	3.4	549.5

Panificadora Ambato	T18	0.14	7.2	458.9
Panadería Moderna	T19	0.20	4	506.8
Panadería Tecnipan	T20	0.20	4.8	394.9
Panadería y pastelería Servipan	T21	0.135	3.3	563.2
Pastelería El Manjar	T22	0.16	0.5	628.1
Panadería Buen Pan	T23	0.16	3.6	456
Rico Pollo 1	T25	0.5	5	317.3
Rico Pollo 2	T26	0.42	8	302
Rico Pollo 3	T27	0.30	6	311
Rico Pollo 4	T28	0.5	5	303
TecnoRizo 1	T33	0.3	6	383.6
TecnoRizo 2	T34	0.55	6	447
TecnoRizo 3	T35	0.6	6	440.5
Pollo Listo 1	T36	0.4	3	351.6
Pollo Listo 2	T37	0.4	7	361.4
Pollos de Campo	T40	0.4	7.2	325.21
Parrilladas El Gaucho	T41	0.4	6	572.35
Asadero Tungurahua	T42	0.32	3.5	302.7

Fuente: Bustillos A (2011)

**Tabla A-4. Resultados reportados por los laboratorios de los análisis de gases de combustión**

Nº	EMPRESA	Fecha de análisis	Material particulado (mg/m3 de gas seco)	Dióxido de carbono (%)	Oxígeno (%)	Dióxido de azufre (ppm)	Monóxido de carbono (ppm)	Monóxido de nitrógeno (ppm)	Dióxido de nitrógeno (ppm)	Óxidos de nitrógeno (ppm)	Temperatura (°C)	Eficiencia Global (%)	Número de humo
T1	(a) CETICUERO	01/12/2010	14.6	13.29	3.44	36	13	90	<2	90	223.8	90.8	1
T2	(a) DISAMA	29/11/2010	29.6	9.57	8.36	93	<10	68	<2	68	326.8	81.9	1
T3	(a) HOTEL AMBATO	30/11/2010	26	8.55	9.71	81	342	20	<2	20	188.8	88.3	1
T4	(a) HOTEL MIRAFLORES	29/11/2010	22.3	5.16	14.19	27	<10	36	<2	36	351.4	65.4	1
T5	(a) ILA	30/11/2010	21	8.88	9.28	99	525	31	<2	31	116.2	94	1
T6	(a) LAVATINTEX	01/12/2010	11.2	12.16	4.95	38	<10	55	<2	55	201.6	91.7	1
T7	(a) PASTIFICIO AMBATO	29/11/2010	24.1	9.09	9	100	<10	72	<2	72	222.2	87.7	1
T8	(a) PROMPELL	02/12/2010	54.9	9.92	7.89	30	257	41	<2	41	215.4	88.8	5
T9	(a) CURTIDURÍA ALDÁS	13/12/2010	40	14.11	2.12	46.63	56.25	103	<2	103	475.23	78	1
T10	(a) SUIZA DAJED	18/01/2011	0.0387	11.08	6.16	113.5	12.75	39.75	<2	39.75	224.05	84.9	2
T11	(a) PLANHOFA	17/01/2011	0.0252	10.1	7.47	72	25.25	63.25	<2	63.25	233.08	83.7	2
T12	(a) PLASTICAUCHO	18/01/2011	0.0617	12.6	4.12	56.56	1025.44	143.63	<2	143.63	168.16	88.4	8
T13	(d) INDUSTRIAS CATEDRAL	10/2/2010	33.7	6.7	11.95	24	195	28	<2	28	235.8	76.1	4

T14	(b) BIOALIMENTAR 1	27/04/2011	9.62	13.7	2.5	209	<10	X	X	68	156	X	0
T15	(b) BIOALIMENTAR 2	27/04/2011	11.73	11.2	5.9	169	<10	X	X	83	243	X	0
T16	(e) LAVANDERÍAS NACIONALES	09/6/2011	X	11.7	5.2	196	41	X	X	73	187	86.7	1
T17	(a) PAN DE CASA	2/12/2010	26.3	6.14	12.9	29	<10	33	<2	33	276.5	77	4
T18	(a) PANIFICADORA AMBATO	30/11/2010	9.8	9.78	8.08	44	16	43	<2	43	185.9	90.7	1
T19	(a) PANADERÍA MODERNA	17/01/2011	0.0427	10.1	7.47	72	25.25	63.25	12	63.25	233.08	83.7	2
T20	(a) PANADERÍA TECNIPAN	02/06/2011	55.8	3.77	16.02	38	305	16	2.4	18	121.9	86.6	3
T21	(d) PANADERÍA Y PASTELERÍA SERVIPAN	05/06/2011	70.9	10.31	7.1	127	18	X	X	60	290.2	78	8
T22	(a) PASTELERÍA EL MANJAR	02/06/2011	38	11.43	5.9	166	29	54	<2	54	355.1	82.6	4
T23	(a) PANADERÍA BUEN PAN	02/06/2011	151.3	12.76	4.15	266	<10	73	<2	73	183	92.5	2
T24	(a) POLLOFINO	13/12/2010	X	12.21	4.01	<10	795.29	90.14	<2	90.29	373.9	78.2	0
T25	(a) RICO POLLO 1	02/12/2010	X	0.88	19.65	<10	85	<10	<2	<10	44.3	89.1	0
T26	(b) RICO POLLO 2	12/04/2011	50.44	X	20.5	<10	10	X	X	<10	29	X	0
T27	(b) RICO POLLO 3	12/04/2011	43.28	X	20.4	<10	<10	X	X	<10	38	X	0
T28	(b) RICO POLLO 4	7/04/2011	42.17	X	20.4	<10	<10	X	X	<10	30	X	0
T29	(a) AMERICAN POLLO	02/06/2011	X	13.26	0.67	<10	1382	77	<2	77	463.3	82.4	0

T30	(c) PANADERÍA Y PASTELERÍA CALIDAD	08/04/2011	X	X	X	63	1	67	0	67	X	X	X
T31	(c) PANADERÍA Y PASTELERÍA CALIDAD 3	30/06/2011	X	X	X	329	0	82	0	82	X	X	X
T32	(c) PANADERÍA CALIFORNIA	25/05/2011	X	X	X	3	0	1	0	1	X	X	X
T33	(a) TECNORIZO 1	24/02/2011	X	0.76	19.83	<10	<10	<10	<2	<10	110.6	63.2	0
T34	(a) TECNORIZO 2	24/02/2011	X	7.25	9.875	<10	<10	52	<2	52	174	91.2	0
T35	(a) TECNORIZO 3	24/02/2011	X	0.92	19.59	<10	112.3	<10	<2	<10	167.5	50	0
T36	(a) POLLO LISTO 1	24/02/2011	120.3	0.5	20.1	<10	248	<10	<2	<10	78.6	50	4
T37	(a) POLLO LISTO 2	24/02/2011	237.1	0.5	20.2	<10	372	<10	<2	<10	88.4	50	3
T38	(c) POLLO GUS	30/05/2011	X	X	X	1	428	1	0.4	1.4	X	X	X
T39	(c) POLLOS MIGUELIN	25/05/2011	X	X	X	0	59	0.5	1.3	2	X	X	X
T40	(a) POLLOS DE CAMPO	17/01/2011	0.0608	0.5	20.32	<10	341.75	<10	<2	<10	52.21	50	3
T41	(a) PARRILLADAS EL GAUCHO	13/12/2010	36.7	2.82	17.99	<10	1404.5	15.75	<2	15.88	299.35	27.5	0
T42	(a) ASADERO TUNGURAHUA	01/12/2010	252.4	0.5	20.52	<10	523	<10	<2	<10	29.7	50	0

FUENTE: (a) CHEMENG CIA. LTDA, Grupo Consultor, (b) CENERIN, Energía y Medio Ambiente, (c) LAB-CESTA, Laboratorio de Análisis Ambiental e Inspección, (d) SERVICIOS TÉCNICOS AMBIENTALES, Laboratorio Aire – Emisión, (e) SOLINEC, Soluciones Industriales Ecuatorianas.

**Tabla A-5. Resultados de concentración de los gases de combustión corregidos bajo los parámetros de la norma ecuatoriana.**

<b>Empresa</b>	<b>Tratamientos</b>	<b>Material particulado PM<sub>10</sub> (*mg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Óxidos de nitrógeno NOx (*mg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Dióxido de azufre SO<sub>2</sub> (*mg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Monóxido de carbono CO (*mg/m<sup>3</sup>)</b>
Ceticuero	T1	13	148	83	12.73
Disama	T2	54	232	444	13.63
Hotel Ambato	T3	53	76	432	522.54
Hotel Miraflores	T4	50	152	159	25.48
ILA	T5	27	76	337	772.45
Lavatintex	T6	11	98	94	10.72
Pastificio Ambato	T7	31	173	334	14.37
Promepell	T8	64	91	92	337.73
Curtiduría Aldás	T9	32	157	99	51.21
Suiza Dajed	T10	40	77	306	14.79
Planhofa	T11	27	108	191	32.14
Plasticaucho	T12	27	291	132	1044.8
Industrias Catedral	T13	52.3	89.8	104.3	372.50
Bioalimentar 1	T14	9.62	105.7	452.34	9.46
Bioalimentar 2	T15	11.73	158.06	448.13	11.59
Lavanderías Nacionales	T16	X	133	495	45.00
Pan de casa	T17	50	118	144	21.37
Panificadora Ambato	T18	12	96	136	21.34

Panadería Moderna	T19	48	134	213	32.14
Panadería Tecnipan	T20	171.3	101	304	1068.5
Panadería y pastelería Servipan	T21	71.41	122	127	22.30
Pastelería El Manjar	T22	38.5	102	440	33.05
Panadería Buen Pan	T23	137.2	124	631	10.21
Pollofino	T24	X	134	10	805.04
Rico Pollo 1	T25	X	10	10	1162.6
Rico Pollo 2	T26	50.44	123.24	171.6	427.43
Rico Pollo 3	T27	43.29	102.7	143	341.94
Rico Pollo 4	T28	42.18	102.7	143	341.94
American Pollo	T29	X	109	10	1167.9
Panadería y pastelería Calidad	T30	X	136	63	1.23
Panadería y pastelería Calidad 3	T31	X	132	741	0
Panadería California	T32	X	2	3	0
TecnoRizo 1	T33	X	10	10	159.79
TecnoRizo 2	T34	X	135	10	15.51
TecnoRizo 3	T35	X	10	10	1465.6
Pollo Listo 1	T36	2043.1	10	10	5300.0
Pollo Listo 2	T37	4509.7	10	10	9085.8
Pollo Gus	T38	X	2.8	2.8	526.44
Pollos Miguelin	T39	X	4	0	72.57
Pollos de Campo	T40	1363	10	10	10073

Parrilladas El Gaucho	T41	186	152	10	8251.8
Asadero Tungurahua	T42	8036.4	10	10	23530

\*mg/m<sup>3</sup>: miligramos por metro cúbico de gas, a condiciones normales, 760 mmHg de presión y temperatura de 0 °C, en base seca y corregidos a 7% de oxígeno.

x = datos no reportados por los laboratorios.

**Tabla A-6. Temperatura del aire de la ciudad de Ambato en °C.**

Parámetro	MESES											
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
<b>Media</b>	16.7	16.5	16.5	16.4	16.1	15.2	14.7	14.9	15.8	16.9	17.3	17.1
<b>Máximo reportado</b>	25.9	25.5	25.6	25	24	22.6	22.5	23.1	24.3	25.9	26.4	26.2
<b>Mínimo reportado</b>	5.4	6.1	6.8	6.7	6.2	5	4	3.4	3.2	4.4	4.6	5.2

Fuente: Departamento de meteorología aeronáutico – Aeropuerto Chachuan Ambato (2010)

**Tabla A-7. Condiciones atmosféricas reportadas en la ciudad de Ambato**

Mes	Media de la velocidad del viento (m/s)	Nubosidad (octas)	Parámetro de estabilidad atmosférica K
Noviembre 2010	1.2869775	6	2
Diciembre 2010	1.2354984	6	2
Enero 2011	1.6473312	6	2
Febrero 2011	1.4414148	6	2
Marzo 2011	1.6473312	6	2
Abril 2011	1.6473312	6	2
Mayo 2011	3.63	6	3
Junio 2011	4.21	6	3

Fuente: Departamento de meteorología aeronáutico – Aeropuerto Chachuan Ambato (2010)

**Tabla A-8. Resultados obtenidos de la dispersión de material particulado PM10, con el software ambiental Screen View y Disper 5.2**

<b>Empresa</b>	<b>Mayor concentración reportada a nivel del suelo (ug/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Distancia a la que se encuentra la mayor concentración (m)</b>	<b>Referencia norma calidad del aire 150 ug/m<sup>3</sup></b>
Ceticuero	3.671	34	No Significativo
Disama	46.13	19	No Significativo
Hotel Ambato	75.98	15	No Significativo
Hotel Miraflores	30.14	17	No Significativo
ILA	11.37	27	No Significativo
Lavatintex	8.181	21	No Significativo
Pastificio Ambato	3.517	52	No Significativo
Promepell	15.31	36	No Significativo
Curtiduría Aldás	19.24	23	No Significativo
Suiza Dajed	25.9	19	No Significativo
Planhofa	2.889	47	No Significativo
Plasticaucho	4.375	39	No Significativo
Industrias Catedral	5.947	107	No Significativo
Bioalimentar 1	1.267	43	No Significativo
Bioalimentar 2	1.393	45	No Significativo
Pan de casa	50.37	18	No Significativo
Panificadora Ambato	4.662	28	No Significativo
Panadería Moderna	30.39	20	No Significativo
Panadería Tecnipan	41.8	20	No Significativo
Panadería y pastelería Servipan	33.76	14	No Significativo

Pastelería El Manjar	123.8	5	No Significativo
Panadería Buen Pan	55.68	15	No Significativo
Rico Pollo 2	12.51	31	No Significativo
Rico Pollo 3	19.16	23	No Significativo
Rico Pollo 4	22.83	21	No Significativo
Pollo Listo 1	1387	15	<b>Significativo</b>
Pollo Listo 2	3314	19	<b>Significativo</b>
Pollos de Campo	296.3	25	<b>Significativo</b>
Parrilladas El Gaucho	36.72	40	No Significativo
Asadero Tungurahua	12200	15	<b>Significativo</b>

**Tabla A-9. Resultados obtenidos de la dispersión de óxidos de nitrógeno NO<sub>x</sub>, con el software ambiental Screen View y Disper 5.2**

<b>Empresa</b>	<b>Dispersión a nivel del suelo (ug/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Distancia máxima (m)</b>	<b>Referencia norma calidad del aire 150 ug/m<sup>3</sup></b>
Ceticuero	41.42	34	No Significativo
Disama	142.2	19	No Significativo
Hotel Ambato	109	15	No Significativo
Hotel Miraflores	109.6	20	No Significativo
ILA	32	27	No Significativo
Lavatintex	72.89	21	No Significativo
Pastificio Ambato	19.59	52	No Significativo
Promepell	21.69	36	No Significativo

Curtiduría Aldás	94.18	23	No Significativo
Suiza Dajed	50.04	19	No Significativo
Planhofa	11.56	47	No Significativo
Plasticaucho	47.16	39	No Significativo
Industrias Catedral	10.27	107	No Significativo
Bioalimentar 1	13.91	43	No Significativo
Bioalimentar 2	18.86	45	No Significativo
Pan de casa	118.9	18	No Significativo
Panificadora Ambato	37.3	28	No Significativo
Panadería Moderna	84.85	20	No Significativo
Panadería Tecnipan	24.74	20	No Significativo
Panadería y pastelería Servipan	57.75	14	No Significativo
Pastelería El Manjar	332.4	5	<b>Significativo</b>
Panadería Buen Pan	50.52	15	No Significativo
Rico Pollo 1	5.761	24	No Significativo
Rico Pollo 2	30.83	31	No Significativo
Rico Pollo 3	46.1	23	No Significativo
Rico Pollo 4	55.8	21	No Significativo
TecnoRizo 1	3.581	28	No Significativo
TecnoRizo 2	19.11	43	No Significativo
TecnoRizo 3	5.652	22	No Significativo
Pollo Listo	8.131	18	No Significativo

Pollo Listo	7.42	19	No Significativo
Pollos de Campo	2.66	30	No Significativo
Parrilladas El Gaucho	30.01	40	No Significativo
Asadero Tungurahua	15.18	15	No Significativo

**Tabla A-10. Resultados obtenidos de la dispersión de dióxido de azufre SO<sub>2</sub>, con el software ambiental Screen View y Disper 5.2**

<b>Empresa</b>	<b>Dispersión a nivel del suelo (ug/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Distancia máxima (m)</b>	<b>Referencia norma calidad del aire 350 ug/m<sup>3</sup></b>
Ceticuero	23.44	34	No significativo
Disama	314.15	15	No significativo
Hotel Ambato	509.9	12	<b>Significativo</b>
Hotel Miraflores	114.6	20	No significativo
ILA	140.3	27	No significativo
Lavatintex	69.91	21	No significativo
Pastificio Ambato	37.89	52	No significativo
Promepell	22.01	36	No significativo
Curtiduría Aldás	59.51	23	No significativo
Suiza Dajed	198.9	19	No significativo
Planhofa	20.44	47	No significativo
Plasticaucho	21.39	39	No significativo
Industrias Catedral	11.92	107	No significativo
Bioalimentar	59.56	43	No significativo

Bioalimentar	53.48	45	No significativo
Pan de casa	145.1	18	No significativo
Panificadora Ambato	52.84	28	No significativo
Panadería Moderna	134.7	20	No significativo
Panadería Tecnipan	74.45	20	No significativo
Panadería y pastelería Servipan	59.95	14	No significativo
Pastelería El Manjar	1434	5	No significativo
Panadería Buen Pan	257.1	15	No significativo
Rico Pollo	5.76	24	No significativo
Rico Pollo	42.94	31	No significativo
Rico Pollo	64.22	23	No significativo
Rico Pollo	77.72	21	No significativo
TecnoRizo	3.581	28	No significativo
TecnoRizo	1.415	43	No significativo
TecnoRizo	5.652	22	No significativo
Pollo Listo	8.131	18	No significativo
Pollo Listo	7.42	19	No significativo
Pollos de Campo	2.661	30	No significativo
Parrilladas El Gaucho	1.974	40	No significativo
Asadero Tungurahua	15.18	15	No significativo

**Tabla A-11. Resultados obtenidos de la dispersión de monóxido de carbono CO, con el software ambiental Screen View.**

<b>Empresa</b>	<b>Dispersión a nivel del suelo (ug/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Distancia máxima (m)</b>	<b>Referencia norma calidad del aire 10000 ug/m<sup>3</sup></b>
Ceticuero	2.99	28	No significativo
Disama	9.53	15	No significativo
Hotel Ambato	621.5	12	No significativo
Hotel Miraflores	15.27	17	No significativo
ILA	257.4	22	No significativo
Lavatintex	6.636	17	No significativo
Pastificio Ambato	1.34	43	No significativo
Promepell	66.97	30	No significativo
Curtiduría Aldás	25.49	19	No significativo
Suiza Dajed	7.95	16	No significativo
Planhofa	2.88	39	No significativo
Plasticaucho	141.5	32	No significativo
Industrias Catedral	53.8	33	No significativo
Bioalimentar 1	0.95	35	No significativo
Bioalimentar 2	1.27	37	No significativo
Pan de casa	17.89	15	No significativo
Panificadora Ambato	6.91	23	No significativo
Panadería Moderna	16.89	16	No significativo
Panadería Tecnipan	217.2	16	No significativo

Panadería y pastelería Servipan	10.41	14	No significativo
Pastelería El Manjar	109.4	5	No significativo
Panadería Buen Pan	4.074	15	No significativo
Rico Pollo 1	544.3	20	No significativo
Rico Pollo 2	89.14	26	No significativo
Rico Pollo 3	152.7	23	No significativo
Rico Pollo 4	153.6	18	No significativo
TecnoRizo 1	45.85	23	No significativo
TecnoRizo 2	1.83	36	No significativo
TecnoRizo 3	661.7	18	No significativo
Pollo Listo 1	3577	15	No significativo
Pollo Listo 2	5618	16	No significativo
Pollos de Campo	2237	25	No significativo
Parrilladas El Gaucho	1363	33	No significativo
Asadero Tungurahua	9610	12	No significativo

**Tabla A-12. Concentración de material particulado PM10 reportado por la estación de monitoreo de particulados del Municipio.**

Tratamiento	Fecha	PM <sub>10</sub>	*Reporte de caída de ceniza en Ambato
V1	1/3/2011	48.22	No reportado
V2	7/3/2011	73.23	No reportado
V3	10/3/2011	45.28	No reportado
V4	16/3/2011	38.76	No reportado
V5	21/3/2011	47	No reportado
V6	23/3/2011	50.44	No reportado
V7	25/3/2011	34.61	No reportado
V8	29/3/2011	41.56	No reportado

V9	31/3/2011	49.4	No reportado
V10	3/4/2011	66.06	No reportado
V11	5/4/2011	51.96	No reportado
V12	11/4/2011	32.02	No reportado
V13	13/4/2011	47.25	No reportado
V14	19/4/2011	47.34	No reportado
V15	26/4/2011	60.77	<b>reportado</b>
V16	27/4/2011	70.08	<b>reportado</b>
V17	28/4/2011	84.15	<b>reportado</b>
V18	1/5/2011	82.47	<b>reportado</b>
V19	2/5/2011	69.16	<b>reportado</b>
V20	4/5/2011	28.12	No reportado
V21	5/5/2011	45.22	No reportado
V22	9/5/2011	58.95	No reportado
V23	17/5/2011	15.86	No reportado
V24	19/5/2011	39.23	No reportado

Fuente: Nuñez J (2011); Instituto Geofísico EPN (2011)

\* Reportes tomados del resumen de actividad del volcán Tungurahua del los meses de marzo, abril y mayo del Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional.

**Tabla A-13. Valores calculados del Índice de Calidad del Aire ICAIRE**

<b>EMPRESA</b>	<b>MP<sub>10</sub> (%)</b>	<b>NO<sub>x</sub> (%)</b>	<b>SO<sub>2</sub> (%)</b>	<b>CO (%)</b>	<b>ICAIRE (%)</b>	<b>*Límite emergencia ICAIRE &lt;50 (%)</b>
Ceticuero	100	83,43	100	100	95,58	Óptima
Disama	91,54	50,36	49	100	70,91	Buena
Hotel Ambato	84,8	68,2	35	100	70,13	Buena
Hotel Miraflores	42,64	68,08	76,69	100	69,98	Buena
ILA	100	87,2	67,87	100	88,02	Óptima
Lavatintex	100	75,42	92,03	100	91,32	Óptima
Pastificio Ambato	100	93,6	100	100	98,29	Óptima
Promepell	100	92,2	100	100	97,92	Óptima

Curtiduría Aldás	100	71,16	96,19	100	91,29	Óptima
Suiza Dajed	99,64	80	65,85	100	85,46	Óptima
Planhofa	100	98,96	100	100	99,72	Óptima
Plasticaucho	100	81,13	100	100	94,97	Óptima
Industrias Catedral	100	99,82	100	100	99,95	Óptima
Bioalimentar 1	100	97,33	96,17	100	98,27	Óptima
Bioalimentar 2	100	94,09	98,6	100	98,05	Óptima
Pan de casa	89,8	66,22	72,73	100	81,00	Óptima
Panificador a Ambato	100	85,08	98,86	100	95,72	Óptima
Panadería Moderna	97,84	73,03	75	100	85,57	Óptima
Panadería Tecnipan	93,28	90,17	90,22	100	92,98	Óptima
Panadería y pastelería Servipan	96,49	78,45	96,02	100	92,26	Óptima
Pastelería El Manjar	75,24	100	19,15	100	71,84	Buena
Panadería Buen Pan	88,86	80	58,37	100	80,59	Óptima
Rico Pollo 1	X	100	100	100	100,00	Óptima
Rico Pollo 2	100	87,66	100	100	96,71	Óptima
Rico Pollo 3	100	81,56	94,31	100	93,57	Óptima
Rico Pollo 4	100	78,84	88,91	100	91,40	Óptima
TecnoRizo 1	X	100	100	100	100,00	Óptima
TecnoRizo 2	X	93,92	100	100	97,79	Óptima
TecnoRizo 3	X	100	100	100	100,00	Óptima
Pollo Listo 1	3,47	100	100	88	71,86	Buena
Pollo Listo 2	0	100	100	78	68,93	Buena

Pollos de Campo	42,49	100	100	91	82,86	Óptima
Parrilladas El Gaucho	95,31	87,99	100	97	94,95	Óptima
Asadero Tungurahua	0	96,54	100	75	67,41	Buena

\* Límite reportado por Conesa, (1997)

Tabla A-14. Resumen del diagnóstico de las fuentes fijas analizadas.

PARÁMETRO →	PM <sub>10</sub>		NOx		SO <sub>2</sub>		CO		Número de Humo		Eficiencia Global	
	*mg/m3	Límite referencial TULAS 150 *mg/m3	*mg/m3	Límite referencial TULAS (a) 850, (b) 550 y (c) 400 *mg/m3	*mg/m3	Límite referencial TULAS 1650 *mg/m3	*mg/m3	Límite referencial (a)1800, (b)250 y (c) 100 *mg/m3	Escala	Recomendado 2	%	Rango de eficiencia mínimo 78%
Ceticuero	13	Cumple	148	Cumple	83	Cumple	12.73	Cumple	1	Cumple	90.8	Cumple
Disama	54	Cumple	232	Cumple	444	Cumple	13.63	Cumple	1	Cumple	81.9	Cumple
Hotel Ambato	53	Cumple	76	Cumple	432	Cumple	522.54	<b>No cumple</b>	1	Cumple	88.3	Cumple
Hotel Miraflores	50	Cumple	152	Cumple	159	Cumple	25.48	Cumple	1	Cumple	65.4	<b>No cumple</b>
ILA	27	Cumple	76	Cumple	337	Cumple	772.45	<b>No cumple</b>	1	Cumple	94	Cumple
Lavatintex	11	Cumple	98	Cumple	94	Cumple	10.72	Cumple	1	Cumple	91.7	Cumple
Pastificio Ambato	31	Cumple	173	Cumple	334	Cumple	14.37	Cumple	1	Cumple	87.7	Cumple
Promepell	64	Cumple	91	Cumple	92	Cumple	337.73	<b>No cumple</b>	5	<b>No cumple</b>	88.8	Cumple
Curtiduría Aldás	32	Cumple	157	Cumple	99	Cumple	51.21	Cumple	1	Cumple	78	Cumple
Suiza Dajed	40	Cumple	77	Cumple	306	Cumple	14.79	Cumple	2	Cumple	84.9	Cumple

Planhofa	27	Cumple	108	Cumple	191	Cumple	32.14	Cumple	2	Cumple	83.7	Cumple
Plasticaucho	27	Cumple	291	Cumple	132	Cumple	1044.8	<b>No cumple</b>	8	<b>No cumple</b>	88.4	Cumple
Industrias Catedral	52.3	Cumple	89.8	Cumple	104.3	Cumple	372.50	<b>No cumple</b>	4	<b>No cumple</b>	76.1	<b>No cumple</b>
Bioalimentar 1	9.62	Cumple	105.7	Cumple	452.34	Cumple	9.46	Cumple	0	Cumple	X	x
Bioalimentar 2	11.73	Cumple	158.06	Cumple	448.13	Cumple	11.59	Cumple	0	Cumple	X	x
Lavanderías Nacionales	x	X	133	Cumple	495	Cumple	45.00	Cumple	1	Cumple	86.7	Cumple
Pan de casa	50	Cumple	118	Cumple	144	Cumple	21.37	Cumple	4	<b>No cumple</b>	77	<b>No Cumple</b>
Panificadora Ambato	12	Cumple	96	Cumple	136	Cumple	21.34	Cumple	1	Cumple	90.7	Cumple
Panadería Moderna	48	Cumple	134	Cumple	213	Cumple	32.14	Cumple	2	Cumple	83.7	Cumple
Panadería Tecnipan	171.3	<b>No cumple</b>	101	Cumple	304	Cumple	1068.5	<b>No cumple</b>	3	<b>No cumple</b>	86.6	Cumple
Panadería y pastelería Servipan	71.41	Cumple	122	Cumple	127	Cumple	22.30	Cumple	8	<b>No cumple</b>	78	Cumple
Pastelería El Manjar	38.5	Cumple	102	Cumple	440	Cumple	33.05	Cumple	4	<b>No cumple</b>	82.6	Cumple
Panadería Buen Pan	137.2	Cumple	124	Cumple	631	Cumple	10.21	Cumple	2	Cumple	92.5	Cumple
Pollofino	x	X	134	Cumple	10	Cumple	805.04	<b>No cumple</b>	0	Cumple	78.2	Cumple

Rico Pollo 1	x	X	10	Cumple	10	Cumple	1162.6	<b>No cumple</b>	0	Cumple	89.1	Cumple
Rico Pollo 2	50.44	Cumple	123.24	Cumple	171.6	Cumple	427.43	<b>No Cumple</b>	0	Cumple	X	X
Rico Pollo 3	43.29	Cumple	102.7	Cumple	143	Cumple	341.94	<b>No Cumple</b>	0	Cumple	X	X
Rico Pollo 4	42.18	Cumple	102.7	Cumple	143	Cumple	341.94	<b>No Cumple</b>	0	Cumple	X	X
American Pollo	x	X	109	Cumple	10	Cumple	1167.9	<b>No cumple</b>	0	Cumple	82.4	Cumple
Panadería y pastelería Calidad	x	X	136	Cumple	63	Cumple	1.23	Cumple	X	X	X	X
Panadería y pastelería Calidad 3	x	X	132	Cumple	741	Cumple	0	Cumple	X	X	X	X
Panadería California	x	X	2	Cumple	3	Cumple	0	Cumple	X	X	X	X
TecnoRizo 1	x	X	10	Cumple	10	Cumple	159.79	<b>No Cumple</b>	0	Cumple	63.2	<b>No cumple</b>
TecnoRizo 2	x	X	135	Cumple	10	Cumple	15.51	Cumple	0	Cumple	91.2	Cumple
TecnoRizo 3	x	X	10	Cumple	10	Cumple	1465.6	<b>No cumple</b>	0	Cumple	50	<b>No cumple</b>
Pollo Listo 1	2043.1	<b>No cumple</b>	10	Cumple	10	Cumple	5300.0	<b>No Cumple</b>	4	<b>No cumple</b>	50	<b>No cumple</b>
Pollo Listo 2	4509.7	<b>No cumple</b>	10	Cumple	10	Cumple	9085.8	<b>No Cumple</b>	3	<b>No cumple</b>	50	<b>No cumple</b>
Pollo Gus	x	X	2.8	Cumple	2.8	Cumple	526.44	Cumple	X	X	X	X

Pollos Miguelin	x	X	4	Cumple	0	Cumple	72.57	Cumple	X	X	X	X
Pollos de Campo	1363	<b>No cumple</b>	10	Cumple	10	Cumple	10073	<b>No Cumple</b>	3	<b>No cumple</b>	50	<b>No cumple</b>
Parrilladas El Gaucho	186	<b>No cumple</b>	152	Cumple	10	Cumple	8251.8	<b>No Cumple</b>	0	Cumple	27.5	<b>No cumple</b>
Asadero Tungurahua	8036.4	<b>No cumple</b>	10	Cumple	10	Cumple	23530	<b>No Cumple</b>	0	Cumple	50	<b>No cumple</b>

\*mg/m<sup>3</sup>: miligramos por metro cúbico de gas, a condiciones normales, 760 mmHg de presión y temperatura de 0 °C, en base seca y corregido a 7% de oxígeno

(a) Valor límite para sólidos, (b) Valor límite para diesel, (c) Valor límite para GLP ordenanza del DMQ

X = Análisis no reportado por la empresa

**Tabla A-15. Límites máximos permisibles de emisiones al aire para fuentes fijas de combustión. Norma TULAS para fuentes en operación a partir de Enero de 2003**

<b>CONTAMINANTE EMITIDO</b>	<b>COMBUSTIBLE UTILIZADO</b>	<b>VALOR</b>	<b>UNIDADES <sup>[1]</sup></b>
Partículas Totales	Sólido	150	mg/Nm <sup>3</sup>
	Líquido <sup>[2]</sup>	150	mg/Nm <sup>3</sup>
	Gaseoso	No Aplicable	No Aplicable
Óxidos de Nitrógeno	Sólido	850	mg/Nm <sup>3</sup>
	Líquido <sup>[2]</sup>	550	mg/Nm <sup>3</sup>
	Gaseoso	400	mg/Nm <sup>3</sup>
Dióxido de Azufre	Sólido	1 650	mg/Nm <sup>3</sup>
	Líquido <sup>[2]</sup>	1 650	mg/Nm <sup>3</sup>
	Gaseoso	No Aplicable	No Aplicable

Notas:

<sup>[1]</sup> mg/Nm<sup>3</sup>: miligramos por metro cúbico de gas, a condiciones normales, de mil trece milibares de presión (1 013 mbar) y temperatura de 0 °C, en base seca y corregidos a 7% de oxígeno.

<sup>[2]</sup> combustibles líquidos comprenden los combustibles fósiles líquidos, tales como diesel, kerosene, búnker C, petróleo crudo, naftas.

**Tabla A-16. Valores máximos permisibles de emisión al aire por fuentes fijas de combustión.**

Contaminante emitido	Combustible Utilizado	*Unidades	Valores máximos
Partículas	Sólido	mg/Nm <sup>3</sup>	200
	Bunker	mg/Nm <sup>3</sup>	200
	Diesel	mg/Nm <sup>3</sup>	150
	Gaseoso	No aplicable	No aplicable
Óxidos de Nitrógeno	Sólido	mg/Nm <sup>3</sup>	900
	Bunker	mg/Nm <sup>3</sup>	700
	Diesel	mg/Nm <sup>3</sup>	500
	Gaseoso	mg/Nm <sup>3</sup>	140
Dióxido de azufre	Sólido	mg/Nm <sup>3</sup>	No aplicable
	Bunker	mg/Nm <sup>3</sup>	1650
	Diesel	mg/Nm <sup>3</sup>	1650
	Gaseoso	No aplicable	No aplicable
Monóxido de carbono	Sólido	mg/Nm <sup>3</sup>	1800
	Bunker	mg/Nm <sup>3</sup>	300
	Diesel	mg/Nm <sup>3</sup>	250
	Gaseoso	mg/Nm <sup>3</sup>	100

Fuente: Dirección metropolitana de ambiente (2008)

\*mg/Nm<sup>3</sup>: miligramos por metro cúbico de gas, a condiciones normales, de mil trece milibares de presión (1 013 mbar) y temperatura de 0 °C, en base seca y corregidos a 7% de oxígeno.

**ANEXO B**  
**ANÁLISIS ESTADÍSTICO**

**Tabla B-1. Análisis de Varianza (ANOVA): Concentración de Material Particulado PM<sub>10</sub> en mg/m<sup>3</sup> de gas seco a condiciones normales, 760 mmHg de presión, temperatura de 0 °C y corregidos a 7% de oxígeno.**

<b>Fuente de Variación</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Cuadrados medios</b>	<b>Valor p</b>
<b>Tratamientos</b>	1.62185E8	29	5.5926E6	0.0000 *
<b>Error</b>	21.6	30	0.72	
<b>Total</b>	1.62185E8	59		

\*= Si hay significancia con un nivel del 5%.

**Tabla B-2. Comparación múltiple Tukey para la concentración de material particulado PM<sub>10</sub> en mg/m<sup>3</sup> de gas seco y diagnóstico bajo referencia 150 \*mg/m<sup>3</sup>, límite TULAS libro VI Anexo 3.**

<b>Empresa</b>	<b>Orden arreglado</b>	<b>PM<sub>10</sub> en *mg/m<sup>3</sup></b>	<b>Grupos homogéneos</b>	<b>Límite referencial TULAS 150 *mg/m<sup>3</sup></b>
Bioalimentar 1	T14	9.62	A	Cumple
Lavatintex	T6	11	A	Cumple
Bioalimentar 2	T15	11.73	A	Cumple
Panificadora Ambato	T18	12	A	Cumple
Ceticuero	T1	13	A	Cumple
Plasticaucho	T12	27	B	Cumple
ILA	T5	27	B	Cumple
Planhofa	T11	27	B	Cumple
Pastificio Ambato	T7	31	C	Cumple
Curtiduría Aldás	T9	32	C	Cumple
Pastelería El Manjar	T22	38.5	D	Cumple

Suiza Dajed	T10	40	DE	Cumple
Rico Pollo 4	T28	42.18	E	Cumple
Rico Pollo 3	T27	43.29	E	Cumple
Panadería Moderna	T19	48	F	Cumple
Hotel Miraflores	T4	50	FG	Cumple
Pan de casa	T17	50	FG	Cumple
Rico Pollo 2	T26	50.44	FG	Cumple
Industrias Catedral	T13	52.3	GH	Cumple
Hotel Ambato	T3	53	GH	Cumple
Disama	T2	54	H	Cumple
Promepell	T8	64	I	Cumple
Panadería y pastelería Servipan	T21	71.41	J	Cumple
Panadería Buen Pan	T23	137.2	K	Cumple
Panadería Tecnipan	T20	171.3	L	<b>No cumple</b>
Parrilladas El Gaucho	T41	186	M	<b>No cumple</b>
Pollos de Campo	T40	1363	N	<b>No cumple</b>
Pollo Listo 1	T36	2043.1	O	<b>No cumple</b>
Pollo Listo 2	T37	4509.7	P	<b>No cumple</b>
Asadero Tungurahua	T42	8036.4	Q	<b>No cumple</b>

\*mg/m<sup>3</sup>: miligramos por metro cúbico de gas, a condiciones normales, 760 mmHg de presión, temperatura de 0 °C, en base seca y corregidos a 7% de oxígeno.

**Tabla B-3. Análisis de Varianza (ANOVA): Concentración de óxidos de nitrógeno NO<sub>x</sub> en mg/m<sup>3</sup> de gas seco a condiciones normales, 760 mmHg de presión, temperatura de 0 °C y corregidos a 7% de oxígeno.**

<b>Fuente de Variación</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Cuadrados medios</b>	<b>Valor p</b>
<b>Tratamientos</b>	338925	41	8266.47	0.0000 *
<b>Error</b>	7066.79	42	168.257	
<b>Total</b>	345992	83		

\*= Si hay significancia con un nivel del 5%.

**Tabla B-4. Comparación múltiple Tukey para la concentración de óxidos de nitrógeno en mg/m<sup>3</sup> de gas seco.**

<b>Empresa</b>	<b>Orden Arreglado</b>	<b>NO<sub>x</sub> (*mg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Grupos homogéneos</b>	<b>Límite referencial TULAS 550 *mg/m<sup>3</sup></b>
Panadería California	T32	2	A	Cumple
Pollo Gus	T38	2.8	A	Cumple
Pollos Miguelin	T39	4	A	Cumple
Pollo Listo 2	T37	10	A	Cumple
Pollos de Campo	T40	10	A	Cumple
Rico Pollo 1	T25	10	A	Cumple
TecnoRizo 3	T35	10	A	Cumple
TecnoRizo 1	T33	10	A	Cumple
Asadero Tungurahua	T42	10	A	Cumple
Pollo Listo 1	T36	10	A	Cumple

ILA	T5	76	B	Cumple
Hotel Ambato	T3	76	B	Cumple
Suiza Dajed	T10	77	B	Cumple
Industrias Catedral	T13	89.8	BC	Cumple
Promepell	T8	91	BC	Cumple
Panificadora Ambato	T18	96	BCD	Cumple
Lavatintex	T6	98	BCDE	Cumple
Panadería Tecnipan	T20	101	BCDE	Cumple
Pastelería El Manjar	T22	102	BCDE	Cumple
Rico Pollo 4	T28	102.7	BCDEF	Cumple
Rico Pollo 3	T27	102.7	BCDEF	Cumple
Bioalimentar 1	T14	105.7	BCDEFG	Cumple
Planhofa	T11	108	BCDEFG	Cumple
American Pollo	T29	109	BCDEFG	Cumple
Pan de casa	T17	118	BCDEFG	Cumple
Panadería y pastelería Servipan	T21	122	BCDEFGH	Cumple
Rico Pollo 2	T26	123.24	BCDEFGH	Cumple
Panadería Buen Pan	T23	124	BCDEFGH	Cumple
Panadería y pastelería Calidad 3	T31	132	CDEFGH	Cumple
Lavanderías Nacionales	T16	133	CDEFGH	Cumple
Pollofino	T24	134	CDEFGH	Cumple

Panadería Moderna	T19	134	CDEFGH	Cumple
TecnoRizo 2	T34	135	CDEFGH	Cumple
Panadería y pastelería Calidad	T30	136	CDEFGH	Cumple
Ceticuero	T1	148	DEFGH	Cumple
Parrilladas El Gaucho	T41	152	EFGH	Cumple
Hotel Miraflores	T4	152	EFGH	Cumple
Curtiduría Aldás	T9	157	FGH	Cumple
Bioalimentar 2	T15	158.06	GH	Cumple
Pastificio Ambato	T7	173	H	Cumple
Disama	T2	232	I	Cumple
Plasticaucho	T12	291	J	Cumple

**Tabla B-5. Análisis de Varianza (ANOVA): Concentración de dióxido de azufre SO<sub>2</sub> en mg/m<sup>3</sup> de gas seco a condiciones normales, 760 mmHg de presión, temperatura de 0 °C y corregidos a 7% de oxígeno.**

Fuente de Variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Valor p
<b>Tratamientos</b>	3.04E6	41	74155.3	0.0000 *
<b>Error</b>	50605.6	42	1204.9	
<b>Total</b>	3.09E6	83		

\*= Si hay significancia con un nivel del 5%.

**Tabla B-6. Comparación múltiple Tukey para la concentración de dióxido de azufre en mg/m<sup>3</sup> de gas seco.**

<b>Empresa</b>	<b>Tratamientos</b>	<b>SO<sub>2</sub> (*mg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Grupos homogéneos</b>	<b>Límite referencial TULAS 1650 *mg/m<sup>3</sup></b>
Pollos Miguelin	T39	0	A	Cumple
Pollo Gus	T38	2.8	A	Cumple
Panadería California	T32	3	A	Cumple
American Pollo	T29	10	A	Cumple
Pollo Listo 2	T37	10	A	Cumple
Pollos de Campo	T40	10	A	Cumple
Pollo Listo 1	T36	10	A	Cumple
TecnoRizo 2	T34	10	A	Cumple
TecnoRizo 1	T33	10	A	Cumple
Asadero Tungurahua	T42	10	A	Cumple
Parrilladas El Gaucho	T41	10	A	Cumple
Rico Pollo 1	T25	10	A	Cumple
Pollofino	T24	10	A	Cumple
TecnoRizo 3	T35	10	A	Cumple
Panadería y pastelería Calidad	T30	63	AB	Cumple

Ceticuero	T1	83	BC	Cumple
Promepell	T8	92	BCD	Cumple
Lavatintex	T6	94	BCD	Cumple
Curtiduría Aldás	T9	99	BCD	Cumple
Industrias Catedral	T13	104.3	BCDE	Cumple
Panadería y pastelería Servipan	T21	127	BCDEF	Cumple
Plasticaucho	T12	132	BCDEF	Cumple
Panificadora Ambato	T18	136	CDEF	Cumple
Rico Pollo 4	T28	143	CDEFG	Cumple
Rico Pollo 3	T27	143	CDEFG	Cumple
Pan de casa	T17	144	CDEFG	Cumple
Hotel Miraflores	T4	159	DEFG	Cumple
Rico Pollo 2	T26	171.6	EFG	Cumple
Planhofa	T11	191	FG	Cumple
Panadería Moderna	T19	213	G	Cumple
Panadería Tecnipan	T20	304	H	Cumple
Suiza Dajed	T10	306	H	Cumple
Pastificio Ambato	T7	334	H	Cumple
ILA	T5	337	H	Cumple

Hotel Ambato	T3	432	I	Cumple
Pastelería El Manjar	T22	440	I	Cumple
Disama	T2	444	I	Cumple
Bioalimentar 2	T15	448.13	I	Cumple
Bioalimentar 1	T14	452.34	I	Cumple
Lavanderías Nacionales	T16	495	I	Cumple
Panadería Buen Pan	T23	631	J	Cumple
Panadería y pastelería Calidad 3	T31	741	K	Cumple

**Tabla B-7. Análisis de Varianza (ANOVA): Concentración de monóxido de carbono en mg/m<sup>3</sup>**

Fuente de Variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Valor p
<b>Tratamientos</b>	1.4717E9	41	3.58E7	0.0000 *
<b>Error</b>	314.486	42	7.48	
<b>Total</b>	1.4717E9	83		

\*= Si hay significancia con un nivel del 5%.

**Tabla B-8. Comparación múltiple Tukey para la concentración de monóxido de carbono en mg/m<sup>3</sup> de gas seco.**

<b>Empresa</b>	<b>Tratamientos</b>	<b>CO (mg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Grupos homogéneos</b>	<b>Límite referencial *(a)1800, *(b)250 y *(c) 100 mg/m<sup>3</sup></b>
Panadería y pastelería Calidad 3	T31	0	A	Cumple
Panadería California	T32	0	A	Cumple
Panadería y pastelería Calidad	T30	1.23	AB	Cumple
Bioalimentar 1	T14	8.79	ABC	Cumple
Panadería Buen Pan	T23	10.21	ABCD	Cumple
Lavatintex	T6	10.72	ABCD	Cumple
Ceticuero	T1	12.73	BCDE	Cumple
Bioalimentar 2	T15	13.21	BCDE	Cumple
Disama	T2	13.63	BCDE	Cumple
Pastificio Ambato	T7	14.37	CDEF	Cumple
Suiza Dajed	T10	14.79	CDEF	Cumple
TecnoRizo 2	T34	15.51	CDEF	Cumple
Panificadora Ambato	T18	21.34	DEFG	Cumple
Pan de casa	T17	21.37	DEFG	Cumple
Panadería y pastelería Servipan	T21	22.30	EFGH	Cumple
Hotel Miraflores	T4	25.48	FGH	Cumple

Planhofa	T11	32.14	GH	Cumple
Panadería Moderna	T19	32.14	GH	Cumple
Pastelería El Manjar	T22	33.05	H	Cumple
Lavanderías Nacionales	T16	49.00	I	Cumple
Curtiduría Aldás	T9	51.21	I	Cumple
Pollos Miguelin	T39	72.57	J	Cumple
TecnoRizo 1	T33	159.79	K	<b>No Cumple</b>
Promepell	T8	337.73	L	<b>No Cumple</b>
Rico Pollo 4	T28	341.94	L	<b>No Cumple</b>
Rico Pollo 3	T27	341.94	L	<b>No Cumple</b>
Industrias Catedral	T13	372.50	M	<b>No Cumple</b>
Rico Pollo 2	T26	427.43	N	<b>No Cumple</b>
Hotel Ambato	T3	522.54	O	<b>No cumple</b>
Pollo Gus	T38	526.44	O	Cumple
ILA	T5	772.45	P	<b>No Cumple</b>
Pollofino	T24	805.04	Q	<b>No cumple</b>
Plasticaucho	T12	1044.8	R	<b>No Cumple</b>
Panadería Tecnipan	T20	1068.5	S	<b>No cumple</b>
Rico Pollo 1	T25	1162.6	T	<b>No Cumple</b>
American Pollo	T29	1167.9	T	<b>No Cumple</b>
TecnoRizo 3	T35	1465.6	U	<b>No Cumple</b>
Pollo Listo 1	T36	5300.0	V	<b>No cumple</b>

Parrilladas El Gaucho	T41	8251.8	W	<b>No cumple</b>
Pollo Listo 2	T37	9085.8	X	<b>No cumple</b>
Pollos de Campo	T40	10073	Y	<b>No cumple</b>
Asadero Tungurahua	T42	23530	Z	<b>No cumple</b>

\*(a) Valor límite para sólidos ordenanza del Distrito Metropolitano de Quito (DMQ)

\*(b) Valor límite para diesel ordenanza del DMQ

\*(c) Valor límite para GLP ordenanza del DMQ

**Tabla B-9. Análisis de Varianza (ANOVA): Porcentaje de dióxido de carbono**

Fuente de Variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Valor p
<b>Tratamientos</b>	1449.92	33	43.937	0.0000 *
<b>Error</b>	0.1088	34	0.0032	
<b>Total</b>	1450.03	67		

\*= Si hay significancia con un nivel del 5%.

**Tabla B-10. Comparación múltiple Tukey para el porcentaje de dióxido de carbono.**

Tratamientos	Empresa	Dióxido de carbono (%)	Grupos homogéneos
T42	Asadero Tungurahua	0,5	A
T36	Pollo Listo	0,5	A

T40	Pollos de Campo	0,5	A
T37	Pollo Listo	0,5	A
T33	TecnoRizo	0,76	B
T25	Rico Pollo	0,88	B
T35	TecnoRizo	0,92	B
T41	Parrilladas El Gaucho	2,82	C
T20	Panadería Tecnipan	3,77	D
T4	Hotel Miraflores	5,16	E
T17	Pan de casa	6,14	F
T13	Industrias Catedral	6,7	G
T34	TecnoRizo	7,25	H
T3	Hotel Ambato	8,55	I
T5	ILA	8,88	J
T7	Pastificio Ambato	9,09	J

T2	Disama	9,57	K
T18	Panificadora Ambato	9,78	KL
T8	Promepell	9,92	MN
T11	Planhofa	10,1	NO
T19	Panadería Moderna	10,1	NO
T21	Panadería y pastelería Servipan	10,31	O
T10	Suiza Dajed	11,08	P
T15	Bioalimentar	11,2	PQ
T22	Pastelería El Manjar	11,43	Q
T16	Lavanderías Nacionales	11,7	R
T6	Lavatintex	12,16	S
T24	Pollofino	12,21	S
T12	Plasticaucho	12,6	T
T23	Panadería Buen Pan	12,76	T

T29	American Pollo	13,26	U
T1	Ceticuero	13,29	U
T14	Bioalimentar	13,7	V
T9	Curtiduría Aldás	14,11	W

**Tabla B-11. Análisis de Varianza (ANOVA): Porcentaje de oxígeno**

Fuente de Variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Valor p
<b>Tratamientos</b>	3223.12	36	89.53	0.0000 *
<b>Error</b>	0.26	37	0.00702	
<b>Total</b>	3211.41	73		

\*= Si hay significancia con un nivel del 5%.

**Tabla B-12. Comparación múltiple Tukey para el porcentaje de dióxido de carbono.**

Tratamiento	Empresa	Oxígeno (%)	Grupos homogéneos
T29	American Pollo	0,67	A
T9	Curtiduría Aldás	2,12	B
T14	Bioalimentar	2,5	C
T1	Ceticuero	3,44	D
T24	Pollofino	4,01	E

T12	Plasticaucho	4,12	E
T23	Panadería Buen Pan	4,15	E
T6	Lavatintex	4,95	F
T16	Lavanderías Nacionales	5,2	F
T15	Bioalimentar	5,9	G
T22	Pastelería El Manjar	5,9	G
T10	Suiza Dajed	6,16	G
T21	Panadería y pastelería Servipan	7,1	H
T11	Planhofa	7,47	I
T19	Panadería Moderna	7,47	I
T8	Promepell	7,89	J
T18	Panificadora Ambato	8,08	JK
T2	Disama	8,36	K
T7	Pastificio Ambato	9	L
T5	ILA	9,28	L
T3	Hotel Ambato	9,71	M
T34	TecnoRizo	9,875	M
T13	Industrias Catedral	11,95	N
T17	Pan de casa	12,9	O
T4	Hotel Miraflores	14,19	P
T20	Panadería Tecnipan	16,02	Q
T41	Parrilladas El Gaucho	17,99	R

T35	TecnoRizo	19,59	S
T25	Rico Pollo	19,65	S
T33	TecnoRizo	19,83	ST
T36	Pollo Listo	20,1	TU
T37	Pollo Listo	20,2	UV
T40	Pollos de Campo	20,32	UV
T28	Rico Pollo	20,4	UV
T27	Rico Pollo	20,4	UV
T26	Rico Pollo	20,5	V
T42	Asadero Tungurahua	20,52	V

**Tabla B-13. Análisis de Varianza (ANOVA): Número de humo**

Fuente de Variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Valor p
<b>Tratamientos</b>	318.595	36	8.84985	0.0000 *
<b>Error</b>	48	37	1.2973	
<b>Total</b>	366.595	73		

\*= Si hay significancia con un nivel del 5%.

**Tabla B-14. Comparación múltiple Tukey para el número de humo**

Empresa	Tratamientos	Número de humo	Grupos homogéneos	Recomendación *2
TecnoRizo 2	T34	0	A	Cumple
Bioalimentar 2	T15	0	A	Cumple

Parrilladas El Gaucho	T41	0	A	Cumple
Rico Pollo 4	T28	0	A	Cumple
Rico Pollo 1	T25	0	A	Cumple
American Pollo	T29	0	A	Cumple
Pollofino	T24	0	A	Cumple
Rico Pollo 3	T27	0	A	Cumple
Rico Pollo 2	T26	0	A	Cumple
TecnoRizo 1	T33	0	A	Cumple
Asadero Tungurahua	T42	0	A	Cumple
TecnoRizo 3	T35	0	A	Cumple
Bioalimenterar 1	T14	0	A	Cumple
Pastificio Ambato	T7	1	AB	Cumple
Hotel Ambato	T3	1	AB	Cumple
Cumple Lavatintex	T6	1	AB	Cumple
Disama	T2	1	AB	Cumple
ILA	T5	1	AB	Cumple
Curtiduría Aldás	T9	1	AB	Cumple
Panificadora Ambato	T18	1	AB	Cumple
Ceticuero	T1	1	AB	Cumple
Hotel Miraflores	T4	1	AB	Cumple

Lavanderías Nacionales	T16	1	AB	Cumple
Panadería Buen Pan	T23	2	ABC	Cumple
Planhofa	T11	2	ABC	Cumple
Suiza Dajed	T10	2	ABC	Cumple
Panadería Moderna	T19	2	ABC	Cumple
Panadería Tecnipan	T20	3	BCD	<b>No cumple</b>
Pollos de Campo	T40	3	BCD	<b>No cumple</b>
Pollo Listo 2	T37	3	BCD	<b>No cumple</b>
Industrias Catedral	T13	4	CD	<b>No cumple</b>
Pastelería El Manjar	T22	4	CD	<b>No cumple</b>
Pan de casa	T17	4	CD	<b>No cumple</b>
Pollo Listo 1	T36	4	CD	<b>No cumple</b>
Promepell	T8	5	D	<b>No cumple</b>
Plasticaucho	T12	8	E	<b>No cumple</b>
Panadería y pastelería Servipan	T21	8	E	<b>No cumple</b>

\* No existe norma para número de humo, pero el valor que se indica es una recomendación técnica – EPA

**Tabla B-15. Análisis de Varianza (ANOVA): Porcentaje de eficiencia global**

Fuente de Variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Valor p
<b>Tratamientos</b>	17659.2	31	529.653	0.0000 *
<b>Error</b>	2.56	32	0.08	
<b>Total</b>	17661.8	63		

\*= Si hay significancia con un nivel del 5%.

**Tabla B-16. Comparación múltiple Tukey para la eficiencia global en %**

Empresa	Tratamientos	Eficiencia global (%)	Grupos Homogéneos	*Rango de eficiencia mínimo 76 – 80 %
Parrilladas El Gaucho	T41	27.5	A	<b>No cumple</b>
Pollo Listo 1	T36	50	B	<b>No cumple</b>
Asadero Tungurahua	T42	50	B	<b>No cumple</b>
Pollo Listo 2	T37	50	B	<b>No cumple</b>
TecnoRizo 3	T35	50	B	<b>No cumple</b>
Pollos de Campo	T40	50	B	<b>No cumple</b>
TecnoRizo 1	T33	63.2	C	<b>No cumple</b>
Hotel Miraflores	T4	65.4	D	<b>No cumple</b>
Industrias Catedral	T13	76.1	E	Cumple
Pan de casa	T17	77	EF	Cumple

Panadería y pastelería Servipan	T21	78	FG	Cumple
Curtiduría Aldás	T9	78	FG	Cumple
Pollofino	T24	78.2	G	Cumple
Disama	T2	81.9	H	Cumple
American Pollo	T29	82.4	H	Cumple
Pastelería El Manjar	T22	82.6	HI	Cumple
Planhofa	T11	83.7	I	Cumple
Panadería Moderna	T19	83.7	I	Cumple
Suiza Dajed	T10	84.9	J	Cumple
Panadería Tecnipan	T20	86.6	K	Cumple
Lavanderías Nacionales	T16	86.7	K	Cumple
Pastificio Ambato	T7	87.7	KL	Cumple
Hotel Ambato	T3	88.3	LM	Cumple
Plasticaucho	T12	88.4	LM	Cumple
Promepell	T8	88.8	LM	Cumple
Rico Pollo 1	T25	89.1	M	Cumple
Panificadora Ambato	T18	90.7	N	Cumple
Ceticuero	T1	90.8	N	Cumple

TecnoRizo 2	T34	91.2	N	Cumple
Lavatintex	T6	91.7	NO	Cumple
Panadería Buen Pan	T23	92.5	O	Cumple
ILA	T5	94	P	Cumple

\* Eficiencia típica con base al poder calorífico superior

**Tabla B-17. Comparación Tukey para los datos reportados por la estación de monitoreo de particulados PM10 del Municipio de Ambato.**

Reporte	Fecha	MP10	Grupos Homogéneos	Reporte de caída de ceniza
V1	1/3/2011	48.22	A	No reportado
<b>*V2</b>	<b>7/3/2011</b>	<b>73.23</b>	<b>B</b>	No reportado
V3	10/3/2011	45.28	A	No reportado
V4	16/3/2011	38.76	A	No reportado
V5	21/3/2011	47	A	No reportado
V6	23/3/2011	50.44	A	No reportado
V7	25/3/2011	34.61	A	No reportado
V8	29/3/2011	41.56	A	No reportado
V9	31/3/2011	49.4	A	No reportado
<b>*V10</b>	<b>3/4/2011</b>	<b>66.06</b>	<b>B</b>	No reportado
V11	5/4/2011	51.96	A	No reportado
V12	11/4/2011	32.02	A	No reportado
V13	13/4/2011	47.25	A	No reportado
V14	19/4/2011	47.34	A	No reportado
<b>*V15</b>	<b>26/4/2011</b>	<b>60.77</b>	<b>B</b>	<b>reportado</b>
<b>*V16</b>	<b>27/4/2011</b>	<b>70.08</b>	<b>B</b>	<b>reportado</b>
<b>*V17</b>	<b>28/4/2011</b>	<b>84.15</b>	<b>B</b>	<b>reportado</b>
<b>*V18</b>	<b>1/5/2011</b>	<b>82.47</b>	<b>B</b>	<b>reportado</b>
<b>*V19</b>	<b>2/5/2011</b>	<b>69.16</b>	<b>B</b>	<b>reportado</b>
V20	4/5/2011	28.12	A	No reportado
V21	5/5/2011	45.22	A	No reportado
V22	9/5/2011	58.95	A	No reportado
V23	17/5/2011	15.86	A	No reportado
V24	19/5/2011	39.23	A	No reportado
V25	23/5/2011	53.49	A	No reportado

\* Reportes que se encuentran fuera del grupo de datos considerados como típicos.

**ANEXO C**  
**CALCULOS**

## ANEXO C-1

### Determinación del tamaño muestral

#### Ecuación 6. Tamaño de muestra para población conocida

$$n = \frac{N * z_{\alpha}^2 * p * q}{e^2 * (N - 1) + z_{\alpha}^2 * p * q}$$

Donde:

N= tamaño de la población = 400

$z_{\alpha}^2$  = nivel de confianza es del 95% = 1.96<sup>2</sup>

\*p = proporción esperada = 0.044

q = 1 – p = 0.956

e = error máximo admisible = 0.05

\*Nota: El factor p, tendrá los valores de la Tabla F-1, de acuerdo a investigaciones previas de la proporción esperada de cada contaminante.

Tabla F-1. Porcentaje de contaminación de las fuentes fijas.

Fuente fija	CONTAMINANTE				
	CO (%)	SO <sub>2</sub>	PM <sub>10</sub>	CO <sub>2</sub>	NOx
Combustión Diesel + GLP	0.1	4.4	0.8	4.1	0.7

Fuente: CORPAIRE (2005)

Tomando la proporción mayor esperada para un contaminante, en este caso el SO<sub>2</sub> con una porcentaje de 4.4 el valor es de p = 0.044

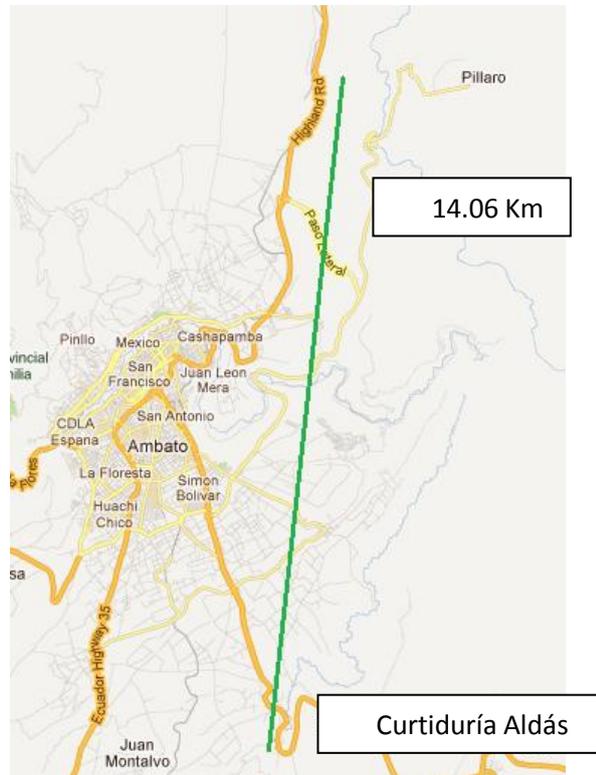
$$n = \frac{N * z_{\alpha}^2 * p * q}{e^2 * (N - 1) + z_{\alpha}^2 * p * q}$$

$$n = \frac{400 * 1.96^2 * 0.044 * 0.956}{0.05^2 * (400 - 1) + 1.96^2 * 0.044 * 0.956}$$

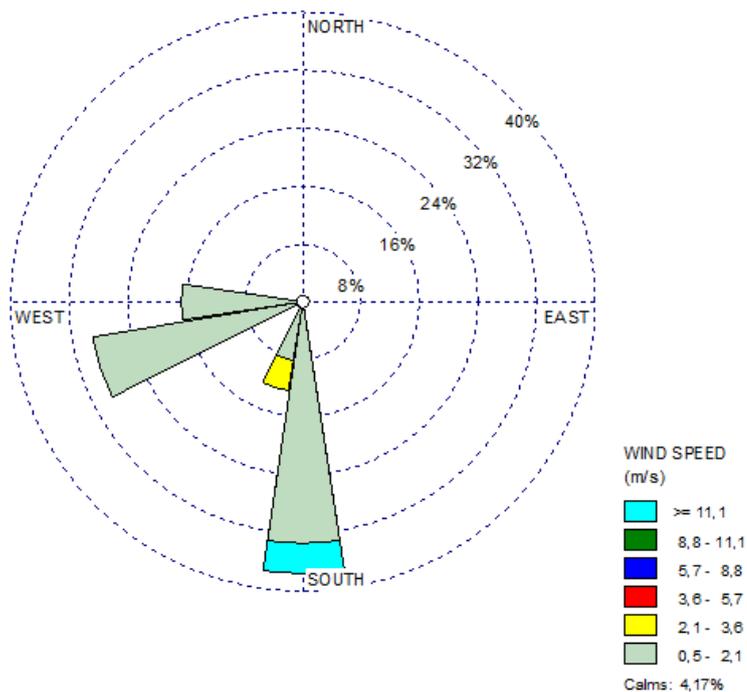
$$n = 55.75 = 56 \text{ empresas.}$$

**ANEXO D**  
**GRÁFICOS**

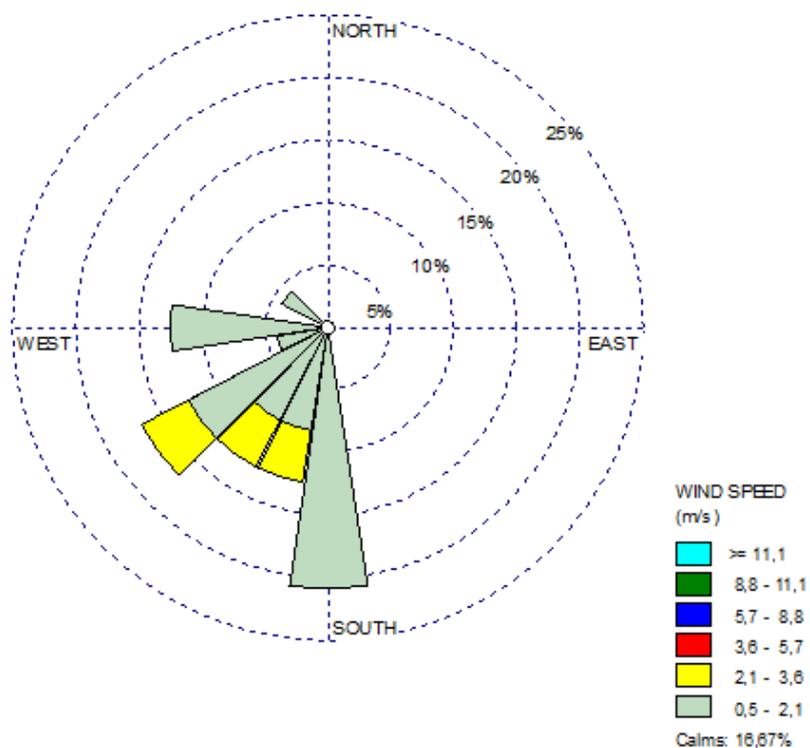
**Gráfico D-1. Distancia máxima entre la ubicación de dos empresas analizadas.**



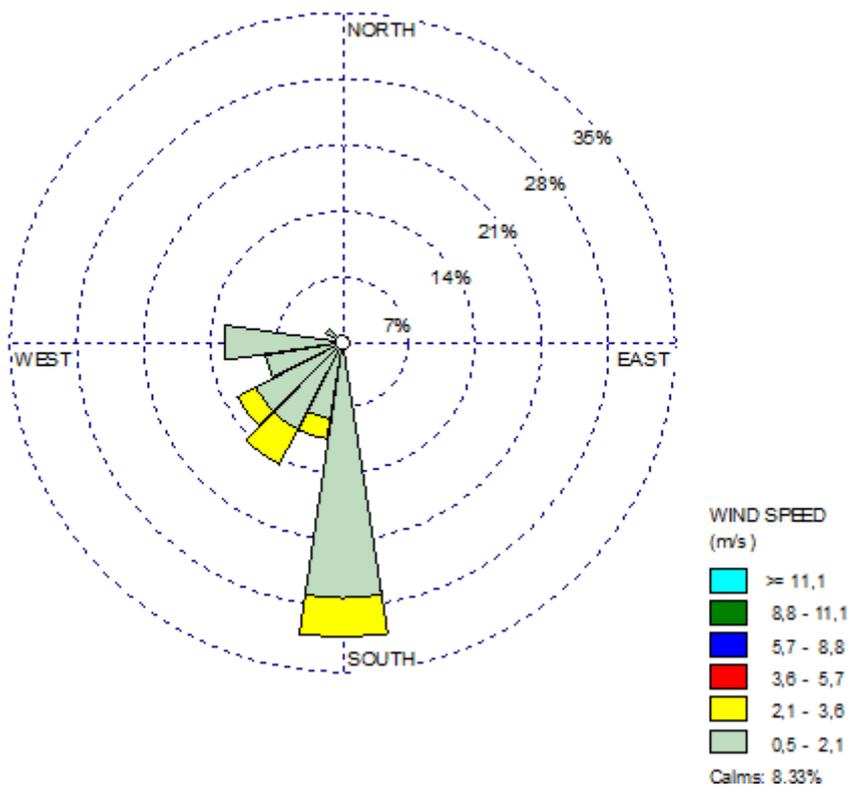
**Gráfico D-2. Velocidades y direcciones de viento predominantes correspondientes al mes de noviembre del 2010.**



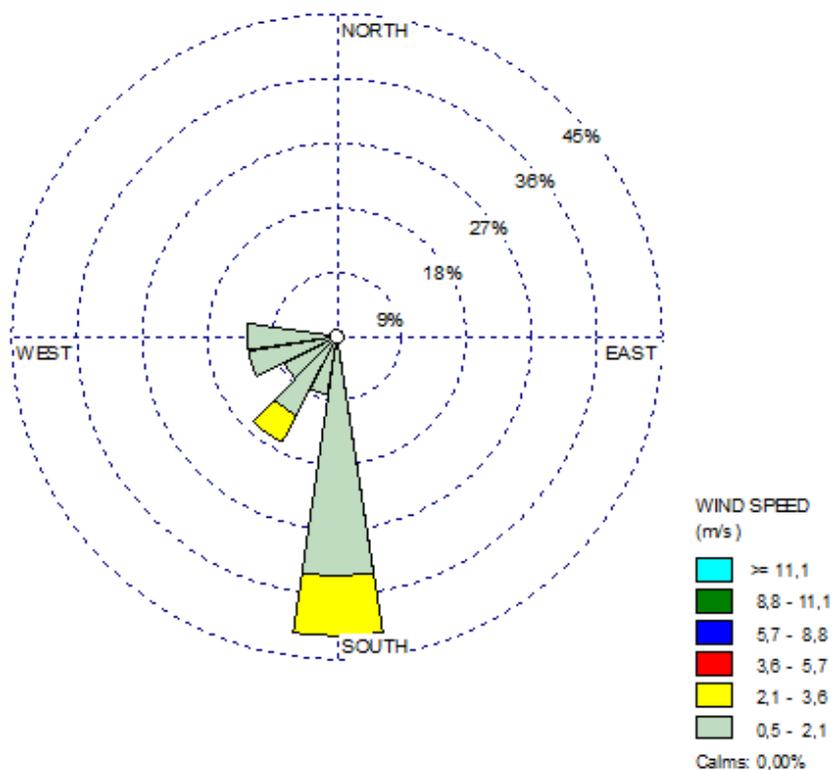
**Gráfico D-3. Velocidades y direcciones de viento predominantes correspondientes al mes de diciembre del 2010.**



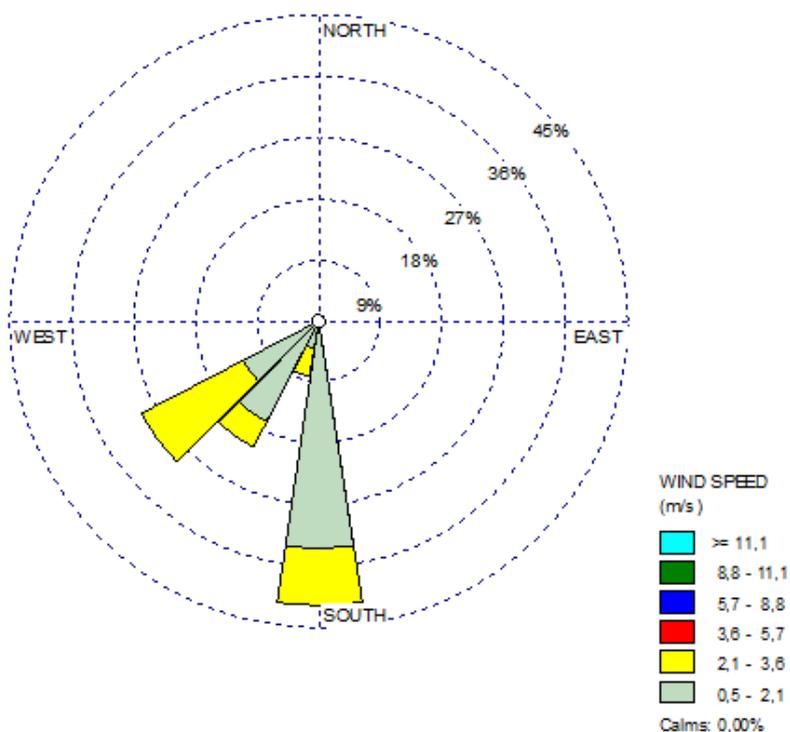
**Gráfico D-4. Velocidades y direcciones de viento predominantes correspondientes al mes de enero del 2011.**



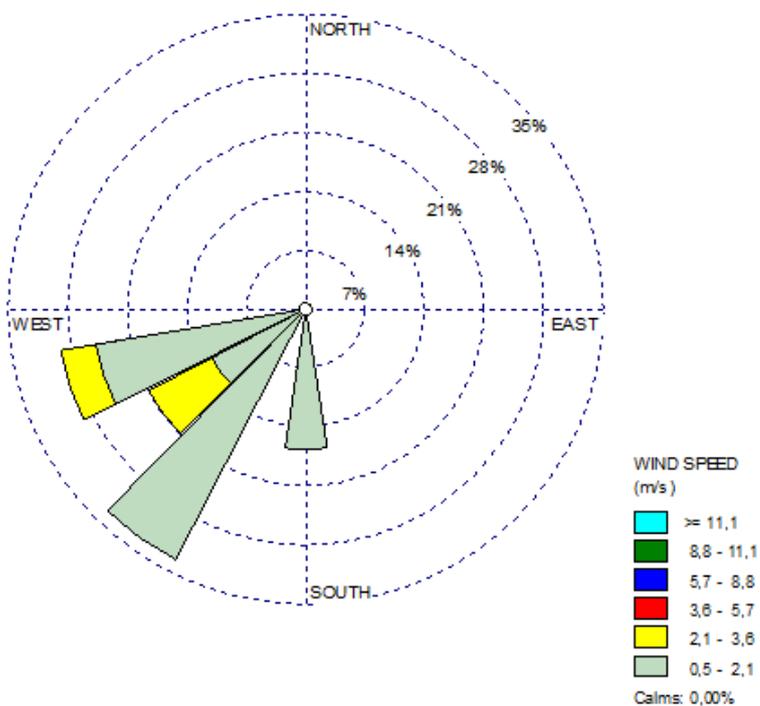
**Gráfico D-5. Velocidades y direcciones de viento predominantes correspondientes al mes de febrero del 2011.**



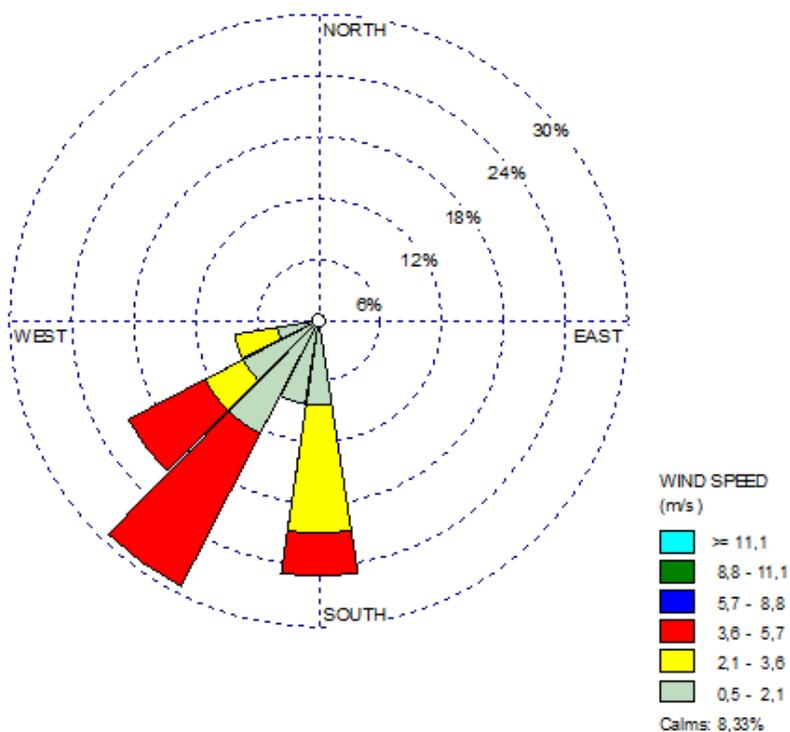
**Gráfico D-6. Velocidades y direcciones de viento predominantes correspondientes al mes de marzo del 2011.**



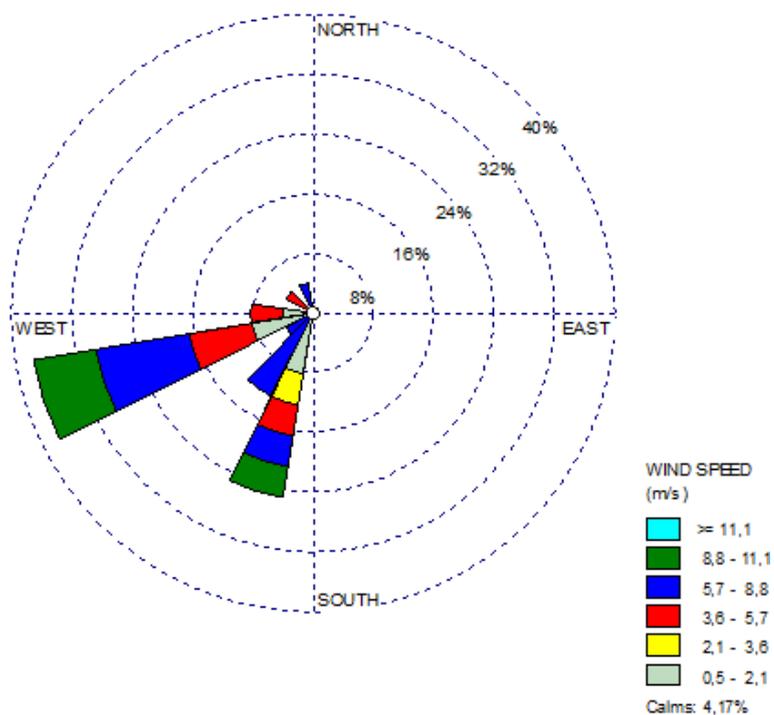
**Gráfico D-7. Velocidades y direcciones de viento predominantes correspondientes al mes de abril del 2011.**



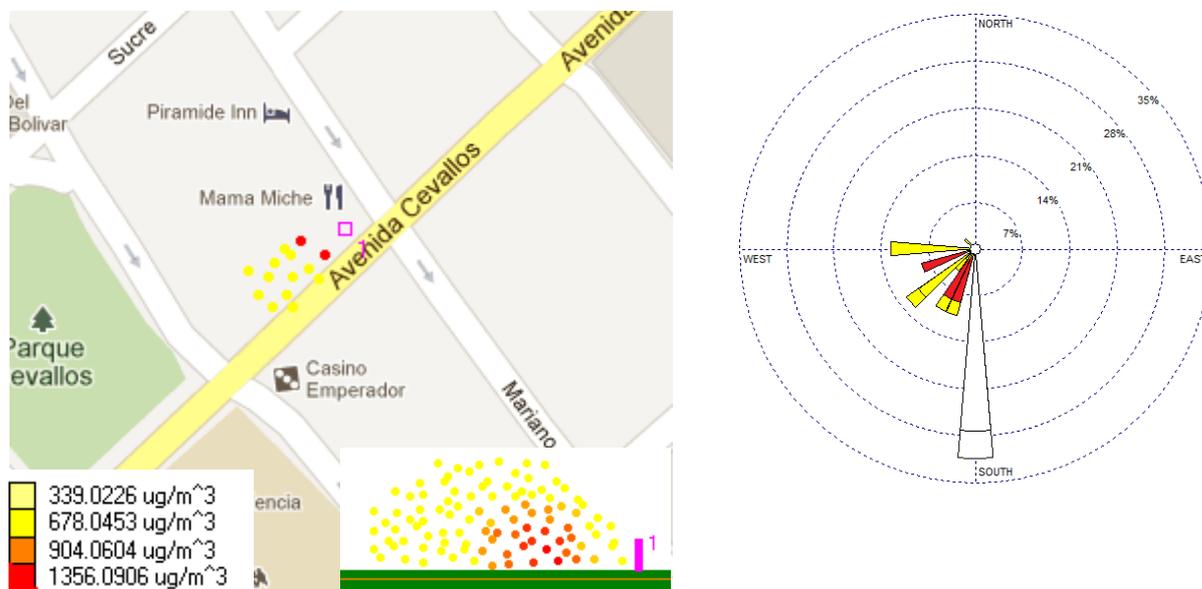
**Gráfico D-8. Velocidades y direcciones de viento predominantes correspondientes al mes de mayo del 2011.**



**Gráfico D-9. Velocidades y direcciones de viento predominantes correspondientes al mes de junio del 2011.**



**Gráfico D-10. Simulación de la dispersión de material particulado PM10 con el software DISPER 5.2 de la empresa Pollo Listo 1.**



Concentración máxima= 1356.090588 ug/m<sup>3</sup> valor que sobrepasa la norma TULAS que indica un límite de 150ug/m<sup>3</sup>.

Coordenada X del punto de concentración máxima= 17 m

Velocidad del viento= 1.44 m/s

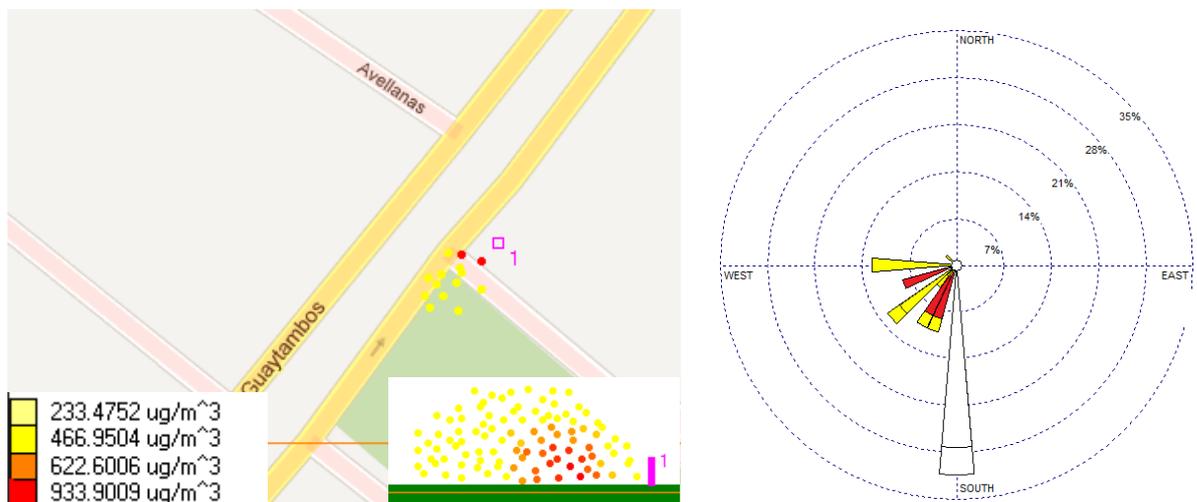
Temperatura del aire T= 289.5 K

Dirección hacia la que sopla el viento (de 0 a 360 grados)=210

Altura efectiva del penacho= 5.24 m

Penacho dominado por flotación, atmósfera inestable o neutra

**Gráfico D-11. Simulación de la dispersión de material particulado PM10 con el software DISPER 5.2 de la empresa Pollo Listo 2.**



Velocidad del viento= 1.44 m/s

Dirección hacia la que sopla el viento (de 0 a 360 grados)= 210

Temperatura del aire T= 289.5 K

Concentración máxima= 933.900878 ug/m<sup>3</sup> valor que sobrepasa la norma

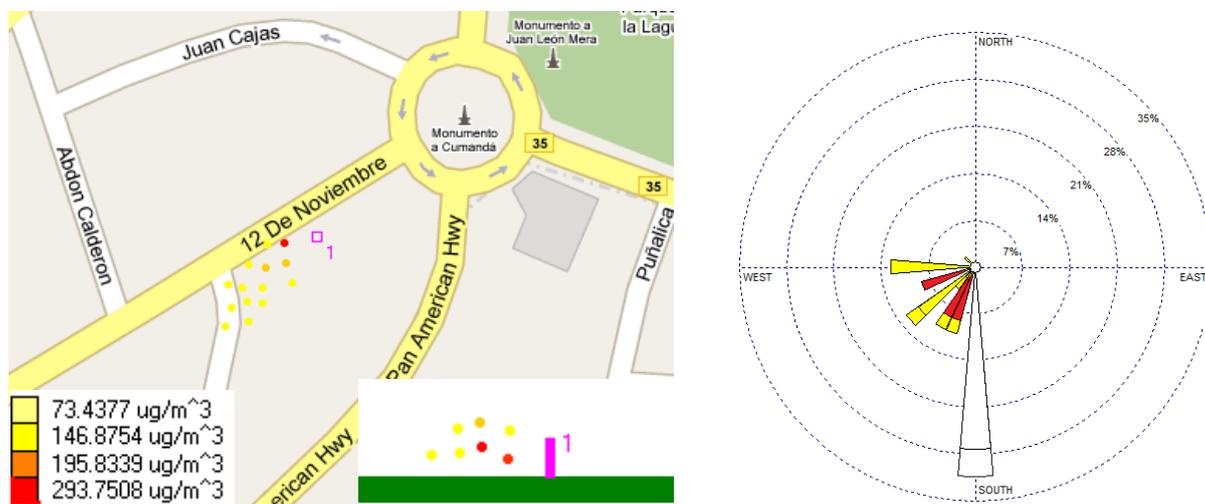
Coordenada X del punto de concentración máxima= 22m

Altura efectiva del penacho= 9.49 m

Velocidad del viento en el punto de salida= 1.44 m/s

Penacho dominado por flotación, atmósfera inestable o neutra.

**Gráfico D-12. Simulación de la dispersión de material particulado PM10 con el software DISPER 5.2 de la empresa Pollos de Campo.**



Concentración máxima= 293.750824 ug/m<sup>3</sup> valor que sobrepasa la norma TULAS que indica un límite de 150ug/m<sup>3</sup>.

Coordenada X del punto de concentración máxima= 31.88 m

Altura efectiva del penacho= 8.58 m

Velocidad del viento= 1.64 m/s

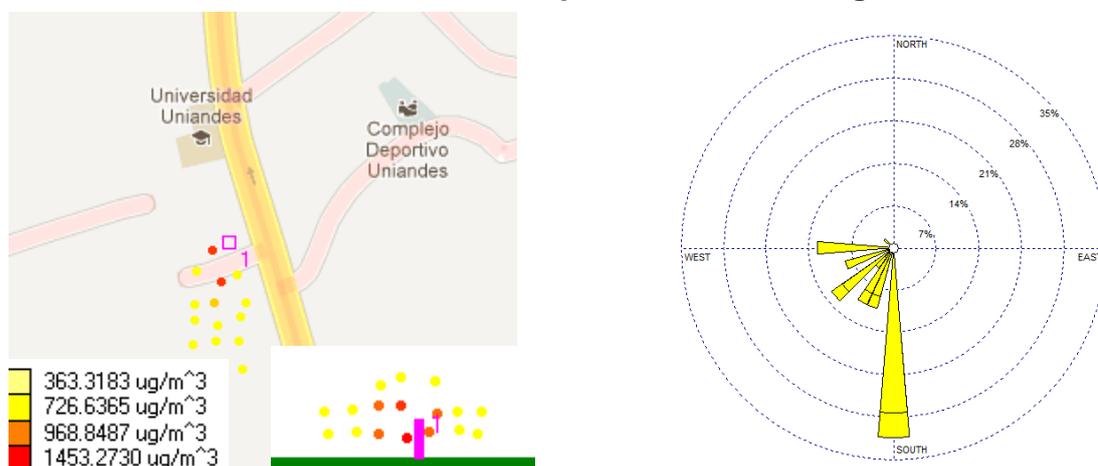
Dirección hacia la que sopla el viento (de 0 a 360 grados)= 220

Temperatura del aire T= 289.7

Dominado por flotación, atmósfera inestable o neutra

Penacho dominado por flotación, atmósfera inestable o neutra.

**Gráfico D-13. Simulación de la dispersión de material particulado PM10 con el software DISPER 5.2 de la empresa Asadero Tungurahua.**



Velocidad del viento= 1.23 m/s

Dirección hacia la que sopla el viento (de 0 a 360 grados)= 180

Temperatura del aire T= 290.1 K

Concentración máxima= 1453.273030 ug/m<sup>3</sup> valor que sobrepasa la norma

Coordenada X del punto de concentración máxima= 20 m

Altura efectiva del penacho= 4.14 m

Penacho dominado por momento, atmósfera inestable o neutra

**Gráfico D-14. Simulación de la dispersión de óxidos de nitrógeno con el software DISPER 5.2 de la empresa Pastelería El Manjar.**



Velocidad del viento= 4 m/s

Dirección hacia la que sopla el viento (de 0 a 360 grados)= 180

Temperatura del aire T= 288.2 K

Concentración máxima= 102.071542 ug/m<sup>3</sup>, no sobrepasa el valor norma

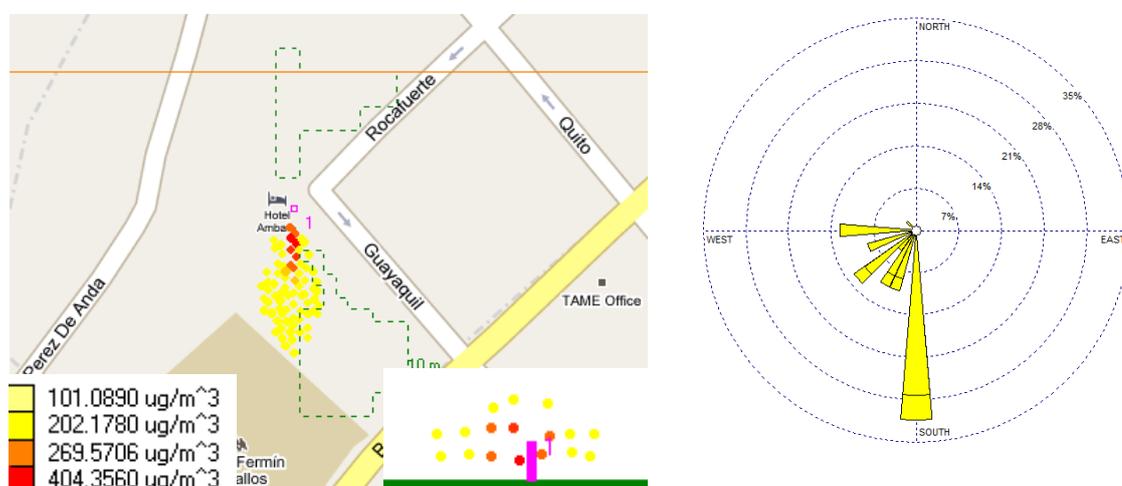
Coordenada X del punto de concentración máxima= 7 m

Altura efectiva del penacho= 1.54 m

Velocidad del viento en el punto de salida= 4.00 m/s

Dominado por flotación, atmósfera inestable o neutra

**Gráfico D-15. Simulación de la dispersión de dióxido de azufre con el software DISPER 5.2 de la empresa Hotel Ambato.**



Concentración máxima= 293.750824 ug/m<sup>3</sup> valor que sobrepasa la norma

Coordenada X del punto de concentración máxima= 31.88 m

Altura efectiva del penacho= 8.58 m

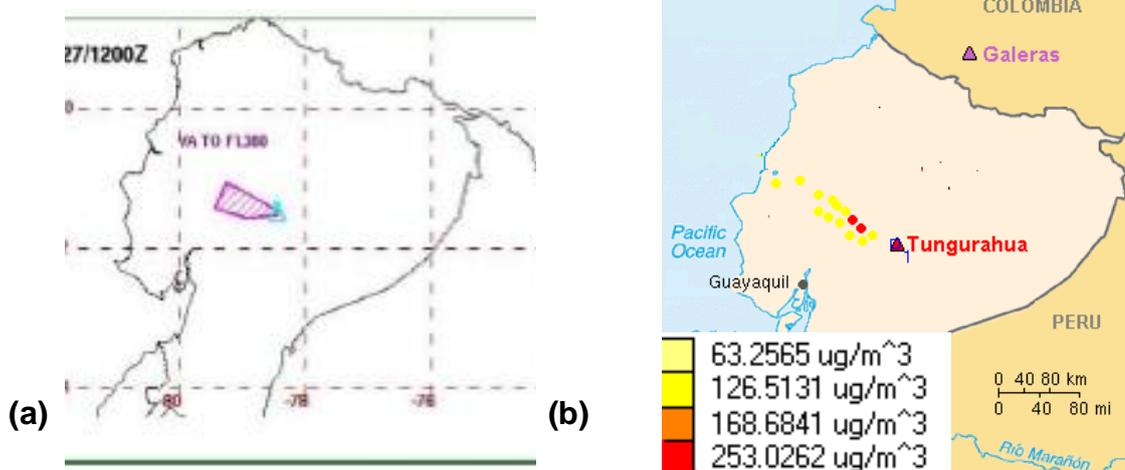
Velocidad del viento= 1.64 m/s

Dirección hacia la que sopla el viento (de 0 a 360 grados)= 180

Temperatura del aire T= 289.7

Dominado por flotación, atmósfera inestable o neutra

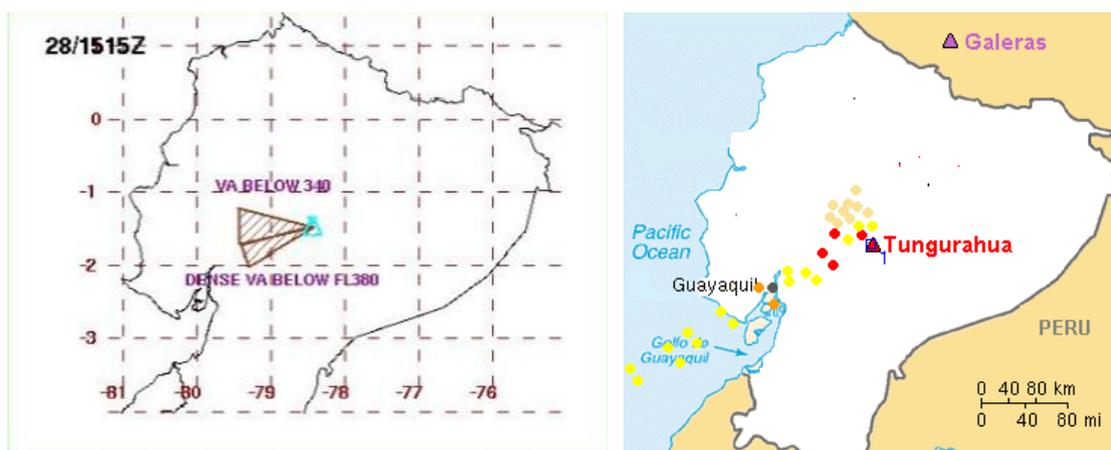
**Gráfico D-16. Dispersión de la ceniza del volcán Tungurahua reportado el 27 de abril del 2011**



(a) Imagen satelital reportada por Volcanic Ash Advisory Center (VAAC), (2011).

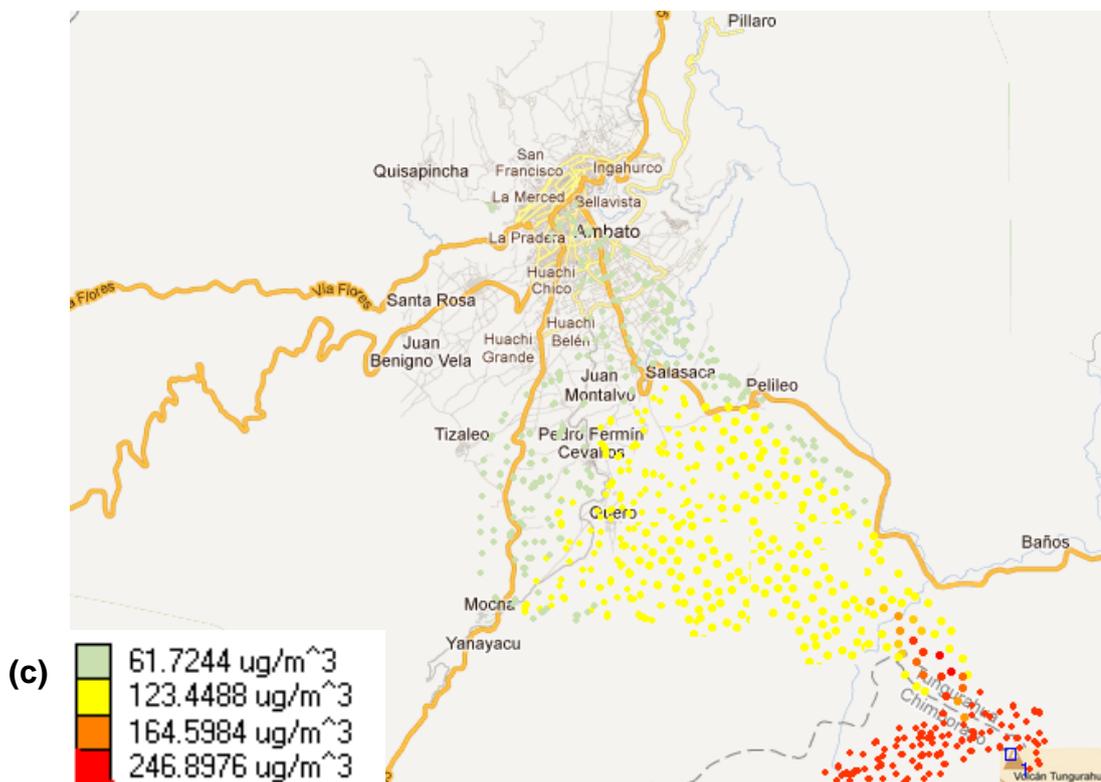
(b) Imagen obtenida mediante la simulación y reporte de las concentraciones expresadas en MP10, con DISPER 5.2.

**Gráfico D-17. Dispersión de la ceniza del volcán Tungurahua reportado el 28 de abril del 2011**



(a)

(b)



(c)

- (a) Imagen satelital reportada por Volcanic Ash Advisory Center (VAAC), (2011).
- (b) Imagen obtenida mediante la simulación y reporte de las concentraciones a nivel del suelo expresadas en MP10, con DISPER 5.2.
- (c) Simulación del efecto regional en la ciudad de Ambato de la emisión de gases del volcán Tungurahua.