

## **ARTÍCULO TÉCNICO**

### **“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”**

**Ramiro Velasteguí Sánchez, I.A., MSc, PhD**

**Profesor FCIAL-UTA**

**Responsable del Proyecto**

**Artículo Técnico elaborado de acuerdo al formato e instructivo del CENI-UTA**

## **RESUMEN**

El proyecto se llevó a efecto entre Junio 2010 y Agosto 2011, financiado por la Universidad Técnica de Ambato y ejecutado por la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos, Carrera de Ingeniería Bioquímica, en alianza estratégica con la Municipalidad de Ambato, Dirección de Higiene y Ambiente.

Las 42 fuentes fijas (34.1% industrias grandes, 29.8 % industrias medianas y 36.1% industrias pequeñas) fueron seleccionadas bajo un muestreo probabilístico regulado y estuvieron distribuidas entre un eje longitudinal de 14,06 Km. por un eje transversal de 5,41 Km. con una extensión aproximada de 76,06 km<sup>2</sup>. Se empleó un dispositivo experimental unifactorial con 42 unidades experimentales y el tratamiento de datos con Excel y Statgraphics.

Los contaminantes/parámetros evaluados fueron de: material particulado (PM10); dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>); monóxido de carbono (CO); oxígeno (O<sub>2</sub>); dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>); óxidos de nitrógeno (NOx); Eficiencia global; Número de humo (Bacharach); Índice de Calidad del Aire (Icaire). Los análisis fueron realizados por los laboratorios OAE: Chemeng, Cenerin, Cestta, M. Cifuentes y Solinec, a más de datos en una estación de monitoreo de gases del Municipio de Ambato. El estado del aire analizado bajo la influencia de las chimeneas estudiadas determinó que la calidad del aire se puede considerar entre Óptima y Buena.

Los registros meteorológicos de velocidad y dirección del viento, nubosidad y temperaturas del aire se obtuvieron de la Estación Meteorológica de la FAE en el aeropuerto de Chachoán. La simulación de la dispersión de contaminantes por las fuentes fijas investigadas se ejecutó con los softwares Disper 5.2 y Screen View. Los datos de las emisiones del volcán Tungurahua se tomaron del Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional y de un equipo de monitoreo de material particulado del Municipio de Ambato. Se diseñó finalmente una propuesta de un programa de monitoreo permanente de la calidad del aire de Ambato.

## **ABSTRACT**

The project was carried out between June 2010 and August 2011 financed by the Universidad Técnica de Ambato and done by its Biochemical Engineering carrier in strategic alliance with the Ambato Borough Council.

There were 42 industries selected (big ones 34.1%, medium 29.8% and small 36.1%) under a probabilistic regulated sampling and they were within a field extension of 76,06 Km<sup>2</sup>. An unifactorial experimental design was used with 42 units and the data treatment done by Excel and Statgraphics.

The evaluated contaminants/parameters were: particulate matter (MP10); carbon dioxide (CO<sub>2</sub>); carbon monoxide (CO); oxygen (O<sub>2</sub>); sulfur dioxide (SO<sub>2</sub>); nitrogen oxides (NOx); global efficiency; smoke number (Bacharach); air quality index (AQI). The analysis were done by OAE labs: Chemeng, Cenerin, Cestta, M. Cifuentes and Solinec as well as data from a gases device belonging to the Ambato Borough Council. The air quality under the influence of the industries evaluated was qualified between Optimum and Good.

The meteorological data such as wind speed and direction, nubosity and air temperatures were obtained from the FAE Chachoán airport. The dispersion of the air contaminants was simulated by means of two softwares Disper 5.2 and Screen View. The emissions from the Tungurahua volcano were measured by the Geophysical Institute belonging to the Escuela Politécnica Nacional and a device for particulate monitoring from de Ambato Borough Council. A monitoring program in order to study permanently the air quality in Ambato was also designed and proposed.

## **INTRODUCCIÓN**

El alto consumo de combustibles fósiles derivados del petróleo a nivel mundial trae consigo la emisión a la atmósfera de contaminantes entre los cuales el CO<sub>2</sub> es el principal factor del aumento del espesor de la capa atmosférica y por tanto del calentamiento global, cambios climáticos y estacionales, tormentas y/o sequías, etc., con la consiguiente afectación a la salud y economía de los seres humanos (Gore, 2006; Lenntech, 2008).

En lo que respecta a la ciudad de Ambato, en 2007 la Agencia Suiza Cosude (Cosude, 2007), indicaba que en lo referente a estudios sobre calidad del aire solamente habían “iniciativas en marcha en las ciudades de Cuenca, Ambato y Guayaquil”. Fue entre Junio 2007 y Mayo 2008, con financiamiento de Petroecuador, que la Universidad Central y el Municipio de Ambato realizaron un estudio de diagnóstico relacionado a la emisión de contaminantes por “Fuentes Móviles”. En este diagnóstico se concluyó que en Ambato la contaminación del aire por CO, SO<sub>2</sub>, NOx, O<sub>3</sub> y material particulado es relativamente baja, aún cuando en sitios y tiempos específicos se sobrepasan los límites máximos permisibles (Ecuador, 2008b).

Pero si bien existía en Ambato el referido diagnóstico sobre “Fuentes Móviles”, en cambio no había ningún diagnóstico sobre la contaminación del aire por emisiones de “Fuentes Fijas”, es decir, emisiones provenientes de “Fuentes Fijas o Estacionarias” de combustión pertenecientes a la industria, artesanía y servicios (fábricas, curtidurías, panaderías, hoteles, restaurantes, etc.) (MAE y colaboradores, 2003).

Por esta razón fundamental se planificó el presente proyecto que se llevó a efecto entre Junio 2010 y Agosto 2011, financiado por la Universidad Técnica de Ambato y ejecutado por la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos, Carrera de Ingeniería Bioquímica en alianza estratégica con la Municipalidad de Ambato, Dirección de Higiene y Ambiente. Los objetivos específicos contemplaron la delimitación del área de influencia del proyecto y la selección de las fuentes fijas de emisión de contaminantes; la ejecución de las actividades de registro de las emisiones por fuentes fijas y de las condiciones meteorológicas; la realización de la simulación de la dispersión de

contaminantes con los softwares ambientales especializados Disper 5.2 y Screen View y; la propuesta del diseño de un programa de monitoreo permanente de la calidad del aire en la ciudad de Ambato.

## **METODOLOGÍA Y MATERIALES**

La delimitación del área de influencia del proyecto y selección de las 42 fuentes fijas de emisión de contaminantes se realizó bajo un muestreo probabilístico regulado.

La ejecución de las actividades de registro de las emisiones por fuentes fijas (muestreo y análisis físico-químico de emisiones)(NCAA, 2009; NAS, 2011; EPA, 1995), contemplaron los parámetros de: Material particulado (PM10), Monóxido de carbono (CO), Óxidos de nitrógeno (NO y NO<sub>2</sub>), Dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), Oxígeno (O<sub>2</sub>), Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), Temperatura de gases (T°C), Eficiencia global de combustión, Velocidad de gases, Número de humo e Índice de Calidad del Aire (Icaire). El equipamiento empleado fue de los laboratorios especializados OAE: Chemeng, Cenerin, Cestta, M. Cifuentes y Solinec. Para material particulado los equipos fueron muestreadores automáticos isocinéticos con rangos y resoluciones de los muestreadores isocinéticos Thermoandersen y Apex (Flujo 2.5 m<sup>3</sup>/h y 0.016 m<sup>3</sup>/h; Humedad 1-100% y 1%) (Tasman, 2009); para contaminantes gaseosos el equipo isocinético Testo 350M/XL para medición de temperatura, presión, O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, CO, NO, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> (UK, 2009) y un equipo de monitoreo de gases del Municipio de Ambato. Las emisiones de contaminantes del volcán Tungurahua se determinaron de los datos del Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional y de datos en un equipo de monitoreo de material particulado también del Municipio de Ambato. Los registros meteorológicos se obtuvieron del aeropuerto de Chachoán, Centro de Investigación de la FAE. La simulación de la dispersión de contaminantes fue ejecutada mediante los softwares ambientales especializados Disper 5.2 y Screen View a través de una Tesis de Grado (Bustillos, 2011).

El dispositivo experimental utilizado fue un unifactorial con 42 tratamientos y el análisis de resultados se trabajaron con Excel y el programa estadístico Statgraphics (Egger y Carpi, 2008). La legislación ambiental vigente de referencia fue del Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria (TULAS), Libro VI, Anexo 3 del Ministerio del Ambiente y normativas del Distrito Metropolitano de Quito.

La propuesta de un diseño de programa de monitoreo permanente de la calidad del aire en la ciudad de Ambato describe las fases del programa en planificación, implementación, funcionamiento y mantenimiento de un programa sostenible de una red de monitoreo y seguimiento de la calidad del aire.

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **1) Delimitación del área de influencia del proyecto y selección de las fuentes fijas de emisión de contaminantes**

La delimitación del área de influencia del proyecto y selección de las fuentes fijas de emisión de contaminantes se resume gráficamente en el Anexo 1 dentro de un eje longitudinal de 14,06 Km. por un eje transversal de 5,41 Km. con una extensión aprox. de 76,06 Km<sup>2</sup>, cubriendo una población no menor a 150 mil habitantes.

De 50 industrias (Anexo 2) se seleccionó una muestra según los criterios de Celorrio (2009) y Corpaire (2005), y se tipificó de acuerdo a una clasificación de las fuentes fijas antropogénicas del Municipio de Ambato en Industrias Grandes, Industrias Medianas e Industrias Pequeñas, de acuerdo a su importancia dentro de los ámbitos

industrial y comercial (IMA, 2009). El combustible diesel se emplea en 23 industrias, el GLP en 12 y el Carbón en 7.

## **2) Análisis de las emisiones atmosféricas contaminantes por fuentes fijas antropogénicas y naturales**

Los resultados de los análisis de la emisión de contaminantes por las fuentes fijas antropogénicas investigadas se resumen en el Anexo 3. Los análisis de varianza y pruebas de Tukey establecieron que existieron diferencias estadísticas significativas al 5% entre las empresas investigadas:

a) Los datos de concentración de material particulado (PM10) en  $\text{mg}/\text{m}^3$  presentaron un mínimo de 9.62 y máximo de 8036.4; de acuerdo a la comparación con el límite 150  $\text{mg}/\text{m}^3$  para material particulado PM10 fijado en TULAS libro VI anexo 3 (Ecuador, 2011a), se encontró que 6 empresas exceden el valor norma. De estas seis industrias, cinco tienen hornos a carbón y una es a diesel. La presencia de material particulado fuera de la norma con seguridad se debe al tipo de combustible utilizado (carbón. Jaramillo, F. 2001) o a una combustión defectuosa (diesel, Rosa y colaboradores, 2006). Para Montenegro (2011), material particulado son los sólidos más pequeños que el hollín y que se encuentran distribuidos en el aire, generalmente está formado por la ceniza y por los componentes minerales de los combustibles sólidos. La combustión del carbón no consume a una serie de sus componentes constitutivos y cabe señalar que el hollín, por ejemplo, es carbón puro, producto de dicha combustión incompleta (Catamutun, s/f; Cortés, 1998; Metrogas, s/f; Textos Científicos, 2006; Wikipedia, 2009a, 2011c).

b) Para dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), resultaron un mínimo de 0.5% y un máximo de 14.11% sobre 25%. Son cuatro empresas las que presentaron los valores más altos de contaminación de  $\text{CO}_2$ , entre 13.26 y 14.11% sobre 25% (Jiménez, 2004; Marcos y colaboradores, 2003; Perú, 2009). En consecuencia, se puede concluir que las empresas estudiadas generan bajas cantidades de  $\text{CO}_2$ . El dióxido de carbono es un gas incoloro e inodoro con un ligero sabor agrio. Bajo la influencia de la luz solar y el verde de las hojas, la clorofila, las plantas convierten el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) en oxígeno ( $\text{O}_2$ ). La respiración humana y animal convierte el oxígeno ( $\text{O}_2$ ) otra vez en dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ). Esto crea un equilibrio que los productos gaseosos de la combustión distorcionan. Esta distorsión acelera el efecto invernadero. El valor límite de efecto es de 5000 ppm. A concentraciones superiores al 15% en volumen (150.000 ppm) en la respiración, se produce una inmediata pérdida de consciencia. Valores típicos en los gases de combustión: Calderas de gasoil: 12,5% - 14%; Calderas de gas: 8% - 11% (Incoqu, 1994).

c) Para monóxido de carbono (CO) en  $\text{mg}/\text{m}^3$ , un mínimo fue de 1.23 y un máximo de 1699.86; la comparación con los valores límites de acuerdo a la ordenanza del Distrito Metropolitano de Quito (100 para GLP; 250 para Diesel; 300 para Bunker; 1800  $\text{mg}/\text{m}^3$  para Carbón) (Ecuador 2005; Ecuador, 2008c), establece que 19 empresas exceden el valor norma. Normalmente en combustión industrial no debería haber excesos de emisión de CO lo cual posiblemente se produce en este estudio por descalibración de los sistemas energéticos o un balance deficiente combustible-aire (Jiménez, 2004; Marcos y colaboradores, 2003). El monóxido de carbono es un gas venenoso al respirar, incoloro, inodoro y es el producto de una combustión incompleta. En concentración demasiado alta, no permite que la sangre absorba oxígeno. Si, por ejemplo, el aire de una habitación es de 700 ppm de CO, una persona respirándolo durante 3 horas morirá. El valor límite es de 50 ppm. Valores típicos en los gases de combustión: Calderas de gasoil: 80 ppm - 150 ppm; Calderas de gas: 80 ppm - 100 ppm (Incoqu, 1994).

d) Para oxígeno ( $O_2$ ) en porcentaje (%), se detectó un mínimo de 0.67 y un máximo de 20.52% de las empresas investigadas. Por ejemplo una (de GLP) presentó el menor porcentaje de oxígeno y emisiones fuera del límite de monóxido de carbono y otra (de carbón) presentó el mayor porcentaje de oxígeno y también una emisión de monóxido de carbono fuera del límite de la norma, ambas seguramente por equipos no calibrados debidamente o algún desbalance combustible-aire (Gasdom, 2009; Gutiérrez y colaboradores, 1997; Jiménez, 2004; Marcos y colaboradores, 2003). El oxígeno restante no utilizado en la combustión en el caso de utilizar aire en exceso aparece como componente de los gases de combustión y se utiliza para medir el rendimiento de la combustión. Se utiliza para determinar las pérdidas por chimenea y el contenido de dióxido de carbono. Valores típicos en los gases de combustión: Calderas de gasoil: 2% - 5%; Calderas de gas: 2% - 6% (Incoqu, 1994).

e) Para dióxido de azufre ( $SO_2$ ) en  $mg/m^3$ , un mínimo de 2.8 y un máximo de 741; de acuerdo a la comparación con el límite para dióxido de azufre fijado en TULAS libro VI anexo 3, 1650  $mg/m^3$ , se determinó que todas las empresas investigadas están dentro de los límites permitidos por la norma. Esto a pesar de contenidos altos de azufre en el diesel ecuatoriano; en efecto, en el Ecuador, la empresa Petroecuador produce tres tipos de diesel: 1) Diesel Premium con un máximo de 500 ppm de azufre; 2) Diesel 1 con un máximo de 3000 ppm de azufre, de uso restringido para las industrias que lo requieren y; 3) Diesel 2 con un máximo de 7000 ppm de azufre (Petroecuador, 2008). Por tanto, las industrias emplean habitualmente el diesel 1 y 2 con contenidos altos de azufre. El Diesel Premium está destinado solo para el Distrito Metropolitano de Quito y de Cuenca, por requerimiento de estos Municipios que lo han conseguido a través de Ordenanzas Municipales y publicadas en Registro Oficial. El Diesel 1 es para el uso en el resto del país. (Petroecuador, 2008). El dióxido de azufre ( $SO_2$ ) es un gas tóxico incoloro con un olor fuerte. Se forma a partir del azufre del combustible. El valor límite es de 5 ppm. El ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) se forma en combinación con agua ( $H_2O$ ) ó condensados. Valores típicos en los gases de combustión: Calderas de gasoil: 180 ppm - 220 ppm (Incoqu, 1994).

f) Para óxidos de nitrógeno ( $NO_x$ ) en  $mg/m^3$ , un mínimo de 2 y un máximo de 291; de acuerdo a la comparación con los límites para óxidos de nitrógeno fijados en TULAS libro VI anexo 3, 400 – 850  $mg/m^3$ , se encontró que la totalidad de empresas estudiadas están dentro de los límites permitidos por la norma. A altas temperaturas (combustión), el nitrógeno ( $N_2$ ) presente en el combustible y en el aire ambiente se combina con el oxígeno del aire ( $O_2$ ) y forma el monóxido de nitrógeno (NO). Después de algún tiempo, este gas incoloro se oxida en combinación con el oxígeno ( $O_2$ ) para formar dióxido de nitrógeno ( $NO_2$ ). El  $NO_2$  es soluble en agua, tóxico si se respira (produce daños reversibles en el pulmón) y contribuye a la formación del ozono en combinación con la radiación ultravioleta de la luz solar. El NO y  $NO_2$  en conjunto se llaman óxidos de nitrógeno ( $NO_x$ ). Valores típicos en los gases de combustión: Calderas de gasoil/gas: 50 ppm - 100 ppm (Incoqu, 1994). En lo que respecta al Nitrógeno atmosférico ( $N_2$ ) éste es el principal componente (79% en vol.) del aire que respiramos. Este gas incoloro, inodoro, y sin sabor no interviene en la combustión. Entra en la caldera como un lastre, se calienta y sale por la chimenea. Valores típicos en los gases de combustión: Calderas gasoil/gas: 78 % - 80 % (Incoqu, 1994).

g) Para Eficiencia global, en porcentaje (%), un mínimo de 27.5 y un máximo de eficiencia del 94.0; tomando como referencia a la Ordenanza Municipal de Oviedo (España, 1994) y al Ministerio de Energía y Minas del Perú (Perú, 2009), de eficiencia mínima típica con base al poder calorífico del 73% y 78%, respectivamente. La eficiencia energética de los equipos consumidores de energía tiene la finalidad de

contribuir a la cultura del uso eficiente de la energía y reducir el impacto negativo al ambiente (Perú, 2009). Se encontró que diez empresas tenían valores menores de 73% de eficiencia energética, aunque solamente cuatro que utilizan carbón registraron valores de 50% y solo una, también a carbón, registró 27.5%. Estos valores deben obedecer probablemente a descalibración de los equipos y/o mezclas aire-combustible inapropiadas.

h) Para Número de humo (Bacharach). Se valora en la escala Bacharach y los valores típicos dependen del combustible utilizado: para búnker: entre 4 y 6; para diesel: entre 1 y 3 y para GLP: entre 0 y 1. El humo está constituido de las partículas sólidas de tamaño muy pequeño, en su mayoría compuestas de carbono impuro, pulverizado y generalmente de colores oscuros más bien negruzcos resultantes de la combustión incompleta. Su aspecto es similar a la ceniza pero con un tono más negro. Es común, por ejemplo, encontrar grandes cantidades de hollín en las salidas de combustión de las calderas, las cuales, cuando poseen captadores de hollín, pueden almacenar varios metros cúbicos de este material (Wikipedia, 2009a; USA, 2007; Lenntech, 2008; Montenegro, 2011). En la investigación el número de humo estuvo entre un mínimo de 0 y un máximo de 8; de acuerdo a la comparación con la recomendación técnica de la EPA que es un número de humo límite de 2 (EPA, 2009 y 2010), se encontró que diez empresas exceden el valor recomendado. De las diez, siete utilizan diesel lo que indica que el diesel posee impurezas o que el diesel gotea en lugar de ser pulverizado (válvulas defectuosas) o por exceso de combustible con relación al aire en la mezcla (Metrogas (s/f); Suárez, 2006; Wikipedia, 2009a y 2011c).

i) Para Índice de Calidad del Aire (ICAIRE) en función de la concentración de CO, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, PM, establece que para valores bajos (menores a 10) la contaminación no es significativa, mientras que valores que se acercan a 100 y superiores, reflejan problemas de contaminación. En el área de influencia de cada una de las chimeneas investigadas, existió una empresa que utiliza carbón como combustible con un índice de 67,41%; aunque es el índice más alto en el estudio no llega a generar aire contaminado fuera de los límites establecidos. Por tanto, el estado del aire analizado bajo la influencia de las chimeneas estudiadas estableció que la calidad del aire se puede considerar entre Óptima y Buena. Esto se debe a que las industrias no son de magnitud así como también porque la densidad de chimeneas por unidad de superficie es baja.

Una conclusión a la que se llega es que la calidad del aire en Ambato es aún de características aceptables, de acuerdo a los resultados de las concentraciones de contaminantes atmosféricos emitidos por las fuentes fijas antropogénicas investigadas en el presente proyecto.

Las principales recomendaciones para las industrias cuyos resultados de análisis se encuentran fuera de la norma son: a) Calibrar adecuadamente la mezcla de combustible-oxígeno; b) Revisar y corregir el funcionamiento de los equipos para conseguir su máxima eficiencia. c) Para las industrias que utilizan diesel, que se emplee el diesel con el menor contenido de azufre y con el mínimo de impurezas. d) Incrementar la utilización de GLP que es el menos contaminante de los combustibles fósiles. e) Crear la cultura hacia la utilización de energías alternativas de corte ecológico. f) En razón de que una de las falencias en ciertas empresas industriales de Ambato es la de chimeneas con deficientes características, es necesario corregirlas a través de lo establecido en normas técnicas y según los cálculos apropiados. g) Se continúe en el traslado de industrias que usan fuentes energéticas con combustibles fósiles al Parque Industrial Ambato.

Respecto a las emisiones del volcán Tungurahua en su calidad de fuente fija natural, las mismas se estudiaron durante el último evento eruptivo del coloso en la segunda quincena de Abril e inicios de Mayo 2011. Según los datos del Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional (EPN, 2010) y del equipo de monitoreo de particulados del Municipio de Ambato (Nuñez, 2011), las mayores cantidades de ceniza se registraron entre el 28 de Abril y el 2 de Mayo 2011. Los datos denotaron una alta fluctuación en los niveles de emisiones dentro de un rango muy amplio, de un mínimo de 15.86 mg/m<sup>3</sup> hasta un máximo de 84.15 en razón de la intermitencia de las emisiones de ceniza y su dispersión por las corrientes de aire (Anexo 5). Las máximas emisiones de Dióxido de azufre (EPN, 2010) ocurrieron entre el 26 de Abril y el 4 de Mayo 2011 en un rango de 116 – 5332 ton/día (Anexo 6). El dióxido de azufre y los óxidos de nitrógeno combinados con la humedad del aire forman las denominadas “lluvias ácidas” (Montalvo y Escobar, 2011).

La recomendación es la de que se continúe en el monitoreo permanente de la actividad volcánica del coloso en todos los parámetros posibles y en colaboración con otras instituciones (EPN, 2010; UCOL, 2004).

Con el diagnóstico sobre “fuentes fijas” antropogénicas y naturales contenido en el presente proyecto 2010-2011, más el realizado sobre “fuentes móviles” 2007-2008, se completa el diagnóstico integral sobre la calidad del aire de la ciudad de Ambato lo cual es una positiva contribución para que el Municipio de Ambato y otras instituciones seccionales dispongan de información fundamental en la materia hacia planificar actividades tendientes a preservar la integridad del recurso aire como componente vital del bienestar de la comunidad y de los demás componentes del medio ambiente.

### **3) Actividades de registro de las condiciones meteorológicas**

Respecto a los registros meteorológicos en Ambato: Velocidad del viento, entre Noviembre 2010 y Abril 2011, inclusive, el promedio fue de 1.3 m/s, mientras que en Mayo y Junio, inclusive, el promedio fue de 3.9 m/s. Entre Noviembre 2010 y Junio 2011, la Dirección de los vientos fue predominantemente hacia el Sur-Oeste, lo cual es prevalente razón por la que flujos de ceniza emitidos por el volcán Tungurahua alcanzan a la ciudad de Ambato de manera ocasional. Un ejemplo de gráfico sobre la velocidad y dirección del viento se consigna en el Anexo 4. La Nubosidad entre Noviembre 2010 y Junio 2011 fue de 6 Octas/mes. Las Temperaturas del aire en promedio entre 1987 y 2009, fueron de 14.8°C/mes, con temperaturas mínimas promedio de 14.7°C entre Julio y Agosto y temperaturas máximas promedio de 17.3°C por Noviembre y Diciembre. Las temperaturas mínimas promedio fueron de 3.2°C entre Julio y Septiembre mientras que las máximas fueron de 26.4°C por Noviembre y Diciembre (Registros meteorológicos, 1987-2011).

### **4) Simulación de la dispersión de contaminantes por fuentes fijas utilizando los softwares Disper 5.2 y Screen View**

Los resultados de la simulación de la dispersión de contaminantes por fuentes fijas antropogénicas y del volcán Tungurahua se obtuvieron utilizando los softwares Disper 5.2 (Canarina, 2001) y Screen View, en la Tesis de Grado de Bustillos, A. (2011). Los datos fueron tratados estadísticamente así como representados de manera gráfica. Ejemplos gráficos constan en el Anexo 7 y Anexo 8.

La simulación de la dispersión de material particulado confirmó que cuatro empresas sobrepasan el valor norma. En cuanto a dióxido de azufre SO<sub>2</sub>, una empresa sobrepasa el valor norma. Sobre óxidos de nitrógeno NO<sub>x</sub>, se determinó que ninguna empresa sobrepasa el valor norma. Sobre monóxido de carbono CO, no fue aplicable

utilizar los softwares de simulación de la dispersión pues ninguna empresa en el estudio presentó emisión estadísticamente significativa de este contaminante. Probables razones por las que ciertas empresas industriales sobrepasaron los límites de la dispersión son: a) que no contaban con chimeneas con la altura mínima de 8 metros como lo recomienda Barriga (2011) y fundamentado en UCLM (s/f), a fin de asegurar un buen tiro para lanzar los gases lo más alto posible y lograr que su dispersión se produzca antes de que lleguen a nivel del suelo; b) por descalibración de los sistemas energéticos; c) un balance deficiente combustible-aire en el proceso de combustión; d) en las industrias que usan carbón ya que éste es el más contaminante de los combustibles fósiles. Por tanto, las recomendaciones mencionadas en el numeral 2 son válidas también para esta sección.

## **5) Propuesta del diseño de un programa de monitoreo para el control de la calidad del aire en la ciudad de Ambato**

La propuesta del diseño de un programa de monitoreo permanente de la calidad del aire para una ciudad como Ambato se fundamentó en consultas bibliográficas internacionales: Colombia, 2010; Chile, 2006; Chile, 2009; Chile, 2011; Digesa, 2005; Perú, 1999. Consistió de los siguientes componentes: recopilación de antecedentes investigativos; resumen de la gestión de la calidad del aire en el Ecuador al año 2003; antecedentes sobre calidad del aire de Ambato por “fuentes móviles” (2007 – 2008); síntesis de antecedentes investigativos sobre la calidad del aire en la ciudad de Ambato (1986 – 2010); diagnóstico de la calidad del aire de Ambato por “fuentes fijas” (2010 – 2011) y diseño de un programa de monitoreo de la calidad del aire de Ambato. El monitoreo consistiría en cuatro fases esenciales: a) el diseño del monitoreo; b) los sistemas de medición; c) la instrumentación y; d) el aseguramiento de la calidad.

El análisis de todos los componentes de cada fase permitieron concluir que por la complejidad y recursos que reviste la planificación, implementación, funcionamiento y mantenimiento de un programa sostenible de una red de monitoreo y seguimiento de la calidad del aire en una ciudad como Ambato, es necesario que primeramente se conciba un proyecto específico de carácter piloto y avance paulatino. En el Informe Final del proyecto en la sección de recomendaciones, se sugieren algunas actividades emergentes y otras de mediano plazo.

## **REFERENCIAS**

- Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE). 2007. Control de la contaminación del aire de origen vehicular. Programa Calidad del Aire Ecuador. Disponible en: [www.cosude.org.ec](http://www.cosude.org.ec) (12/09/2009)
- Barriga, A. 2011. Seminario combustión industrial aplicada y control de contaminantes. Escuela Superior Politécnica del Litoral. Acceso 15/09/2011 en: <http://www.cdts.espol.edu.ec/documentos/combustion%20AB.pdf>
- Bustillos, A. 2011. Simulación de la dispersión de contaminantes en el aire de la ciudad de Ambato emitidos por fuentes fijas y por la actividad del volcán Tungurahua, mediante la utilización de los softwares ambientales especializados Disper 5.2 y Screen View. Tesis Ing. Bioq., Carrera de Ingeniería Bioquímica, Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos, Universidad Técnica de Ambato. Ambato, Ec. 194p.
- Canarina Software Ambiental. 2001. Disper Versión 5.2. Aplicación informática para la simulación por ordenador de la contaminación atmosférica. La Orotava, Esp. 100p.
- Catamutun. s/f. Componentes del carbón. Acceso 02/10/2011 en: <http://www.catamutun.com/produccion/carbon/compo.html>
- Celorio, A. 2009. Muestreo y tamaño de muestra. Disponible en: [www.monografias.com](http://www.monografias.com) (15/08/2011)



Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS). 2007. La medición de contaminantes del aire. Consultado en: [www.cepis.org.pe](http://www.cepis.org.pe) (30/06/2011)

Colombia. 2003. Factores de emisión de los combustibles colombianos. Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. 26p.

Colombia. 2010. Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire, Manual de operación de sistemas de vigilancia de la Calidad del Aire. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Territorial. Bogotá, Col. Disponible en: [http://www.asocars.org.co/normas/RECURSOS\\_NATURALES/AIRE/Resoluci%C3%B3n\\_650\\_de\\_2010\\_protocolo\\_2.pdf](http://www.asocars.org.co/normas/RECURSOS_NATURALES/AIRE/Resoluci%C3%B3n_650_de_2010_protocolo_2.pdf) (30/06/2011)

Corpaire. 2005. Inventario de Emisiones del Distrito Metropolitano de Quito. Disponible en : <http://remmaq.corpaire.org/> (30/08/2011)

Corpaire. 2009. Aire en Quito. Disponible en: [www.corpaire.org](http://www.corpaire.org) (15/06/2010)

Cortés, V. 1998. Carbón. Acceso 12/10/2011 en: [http://www.ciuden.es/DOCUMENTOS\\_B/CAPTURA/11AA%20CARBON%20.PDF](http://www.ciuden.es/DOCUMENTOS_B/CAPTURA/11AA%20CARBON%20.PDF)

Costas, J. 2009. Gas licuado de petróleo (GLP) o autogás. Acceso 23/09/2011 en: <http://www.motorpasion.com/coches-hibridos-alternativos/gas-licuado-del-petroleo-glp-o-autogas>

Chile. 2006. Programa de Control de Monitoreo de Calidad de Aire Nacional, Etapa 2005. Centro Nacional del Medio Ambiente, Fundación Centro Nacional del Medio Ambiente, Universidad de Chile. Acceso 5/10/2011 en: <http://sinca.mma.gob.cl/uploads/documentos/6d53c86e48db1bf8d783c932cae50404.pdf>

Chile. 2009. Sistema de Información Nacional de Calidad del Aire. Ministerio del Medio Ambiente, Gobierno de Chile. Acceso 5/10/2011 en: <http://sinca.conama.cl/>

Chile. 2011. Datos horarios, Estación Móvil San Bernardo, Chile, Disponible en: [http://www.seremisaludrm.cl/ind\\_ses/crudos/salida3\\_w.htm](http://www.seremisaludrm.cl/ind_ses/crudos/salida3_w.htm) (25/07/2011)

Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA). 2005. Protocolo de monitoreo de la calidad del aire y gestión de los datos. Perú. Disponible en: [http://www.digesa.minsa.gob.pe/DEPA/informes\\_tecnicos/calidad\\_aire.pdf](http://www.digesa.minsa.gob.pe/DEPA/informes_tecnicos/calidad_aire.pdf) (30/06/2011)

Ecuador. 2005. Normas técnicas para la aplicación de la codificación del Título V, “del medio ambiente”, libro segundo, del código municipal para el Distrito Metropolitano de Quito. Acceso 12/08/2011 en: [http://www.ecuadorambiental.com/doc/normas\\_tecnicas.pdf](http://www.ecuadorambiental.com/doc/normas_tecnicas.pdf)

Ecuador. 2008b. Proyecto Calidad del Aire de la ciudad de Ambato. Junio 2007 – Mayo 2008 (Fuentes Móviles). Universidad Central del Ecuador, Escuela de Ingeniería Química, Petroecuador, Municipio de Ambato. 369p. + Anexos.

Ecuador. 2008c. Normas técnicas para la aplicación de la codificación del Título V, “de la prevención y control del medio ambiente”, Distrito Metropolitano de Quito. Acceso 12/08/2011 en: <http://www.quiport.com/www/frontend/images/objetos/norma%20tecnica%200213.pdf>

Ecuador. 2011a. Norma de Emisiones al Aire desde Fuentes Fijas de Combustión. Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria (TULAS), Libro VI, Anexo 3. Ministerio del Ambiente. 371-401pp. Disponible en: [www.recaiecuador.com/Biblioteca%20Ambi](http://www.recaiecuador.com/Biblioteca%20Ambi). (28/08/2011).

Ecuador. 2011b. Norma de Calidad del Aire Ambiente. Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria (TULAS), Libro VI, Anexo 4. Ministerio del Ambiente. 402-415pp. Disponible en: [www.recaiecuador.com/Biblioteca%20Ambi](http://www.recaiecuador.com/Biblioteca%20Ambi). (28/08/2011).

Egger, A.E.; Carpi, A. 2008. Data: Analysis and Interpretation. Visionlearning Vol.POS-1(1),2008. Consultado en: [http://www.visionlearning.com/library/module\\_viewer.php](http://www.visionlearning.com/library/module_viewer.php) (15/08/2011)

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. <http://epa.gov> (20/11/2009)

Environmental Protection Agency (EPA). 2009. Air contamination. Consultado en: <http://epa.gov> (20/11/2009)

Environmental Protection Agency (EPA). 2010. Sources of Pollutants in the Ambient Air - Stationary Sources. Acceso en: <http://epa.gov> (08/09/2010)

Escuela Politécnica Nacional (EPN). 2010. Observatorio Volcánico Tungurahua (OVT) Acceso 10/10/2010 en: <http://www.igeptn.edu.ec/index.php/volcan-tungurahua/vigilancia.html>

España. 1994. Ordenanza municipal de protección del medioambiente atmosférico. Oviedo, Esp. 11p. Acceso 29/09/2011 en: [http://www.adober.es/pdf/documentos/proteccion\\_medioambienteatmosferico\\_oviedo.pdf](http://www.adober.es/pdf/documentos/proteccion_medioambienteatmosferico_oviedo.pdf)

Gasdom. 2009 La combustión del GLP. Acceso 30/09/2011 en: <http://gasdom.com/140/la-combustion-del-glp>

Gore, Albert. 2006. An inconvenient truth. A film from Davis Guggenhen.

Gutiérrez, R.; Cruz, J.C.; Gálvez, J.C.; Carballo, C.E. 1997. El motor de combustión interna y su impacto ambiental. Univ. de Ciego de Ávila, Cuba. [www.monografias.com](http://www.monografias.com)

I.Municipio de Ambato (IMA). 2009. Comunicación personal. Dirección Municipal de Higiene y Ambiente (DMH). Ambato, Ec. Julio 2009.

Incoqu. 1994. Análisis de gases. Acceso 24/09/2011 en: <http://incoqu.com/analisisdegases.html>

Jaramillo, F. 2001. Bases para la investigación de la contaminación atmosférica en el Valle de Sogamoso. Escuela Politécnica Federal de Lausana, Suiza y Universidad de los Andes, Colombia. Acceso 02/10/2011 en: [http://lpas.epfl.ch/lidar/publications/diplomas/Fernando/Jaramillo\\_2000.pdf](http://lpas.epfl.ch/lidar/publications/diplomas/Fernando/Jaramillo_2000.pdf)

Jiménez B. 2004. Mejoramiento de operación de hornos de fusión por medio del uso de quemadores de combustible mixto enriquecido con oxígeno. Guayaquil Ecuador. 171-172pp. Acceso 02/10/2011 en: <http://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/1875/1/3755.pdf>

Lenntech. 2008. FAQ Air Pollution. Frequently Asked Questions. Consultado en: [www.lenntech.com](http://www.lenntech.com) (08/08/2009)

Marcos, A.; Gañán, J.; González, J.F.; Turégano, J.; Miranda, A.; Correira, S. 2003. Optimización del proceso de combustión en una caldera de calefacción de 465 kw, modelo CPA de Roca. Universidad de Extremadura, España; Escola Superior de Tecnología e Gestao de Portalegre, Portugal; Universidade da Beira Interior, Portugal. Acceso 18/10/2011 en: <http://www.estgp.pt/investigacao/papers/paper8.pdf>

Metrogas. s/f. Contaminación por uso de combustibles. Acceso 12/09/2011 en: [http://www.metrogas.cl/industria/asesoria\\_ambiental\\_1](http://www.metrogas.cl/industria/asesoria_ambiental_1)

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. Consultado en: [www.cepis.ops-oms.org](http://www.cepis.ops-oms.org) (05/08/2009)

Montalvo F y Escobar D. 2011. Lluvia ácida de origen volcánico. Servicio Nacional de Estudios Territoriales y Universidad de El Salvador. Disponible en: [http://cidbimena.desastres.hn/filemgmt/files/lluvia\\_acida.pdf](http://cidbimena.desastres.hn/filemgmt/files/lluvia_acida.pdf).

Montenegro, L. 2011. Muestreo y análisis de emisiones atmosféricas por fuentes fijas y normas legales vigentes. Curso UTA, FCIAL, Mayo 2011. v/d

National Association of Clean Air Agencies (NACAA). 2009. Measuring air pollution. Disponible en: [www.cleanairworld.org](http://www.cleanairworld.org) (08/08/2009)

National Academy of Sciences (NAS). 2011. New Source Review for Stationary Sources of Air Pollution. National Research Council. Washington D.C., USA. 334p. Acceso en: [http://www.nap.edu/catalog.php?record\\_id=11701](http://www.nap.edu/catalog.php?record_id=11701) (12/08/2011)

Núñez, J. 2011. Cálculo de la concentración de material particulado PM10 registrado en la estación de particulados del Municipio de Ambato, Dirección de Higiene y Ambiente. Comunicación personal.

Perú. 1999. Monitoreo de la calidad del aire en América Latina. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. División de Salud y Ambiente.

Organización Panamericana de la Salud. Oficina Sanitaria Panamericana - Oficina Regional de la Organización Mundial de la Salud. Lima, Perú. Acceso 5/10/2011 en: <http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsci/e/fulltext/monitlac/monitlac.pdf>

Perú. 2009. Guía de estándares mínimos de eficiencia energética. Ministerio de Energía y Minas. Perú. Acceso 08/09/2011 en: [www.minem.gob.pe/publicacionesDownload.php?idPublicacion=352](http://www.minem.gob.pe/publicacionesDownload.php?idPublicacion=352)

Petroecuador. 2008. Calidad de los combustibles. Acceso 25/09/2011 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!)

Registros meteorológicos. 1987-2011. Aeropuerto de Chachoán, Centro de Investigaciones FAE. Ambato, Ecuador. v/v

Rosa, R.; Caparrós, Y.; González, O.; Queipo, M. 2006. Combustión en generadores de vapor en una entidad de Camagüey. Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA), Cuba. Acceso 5 de Septiembre 2011 en: <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/Ecosolar/Ecosolar17/HTML/articulo02.htm>

Tasman. 2009. Measuring air quality. Consultado en: [www.tdc.govt.nz](http://www.tdc.govt.nz) (s/f)

Textos Científicos. 2006. La combustión del carbón. Acceso 20/08/2011 en: <http://www.textoscientificos.com/energia/combustibles/combustion-carbon>

United Kingdom (UK). 2009. Measuring air quality. Disponible en: [www.ace.mmu.ac.uk](http://www.ace.mmu.ac.uk) (08/08/2009)

Universidad de Castilla-La Mancha (UCLM). s/f. Diseño de Chimeneas. Depto. de Ingeniería Química. Acceso 28/09/2011 en: <https://docs.google.com>

Universidad de Colima (UCOL). 2004. Ceniza volcánica. Consultado en: [www.ucol.mx](http://www.ucol.mx) (20/06/2009)

United States of America (U.S.A.) 2007. Emission of **air contaminants** detrimental to person or property. State of Rhode Island and Providence Plantations. Department of environmental management. Office of **air** resources. **Air** pollution control regulation no. 7.

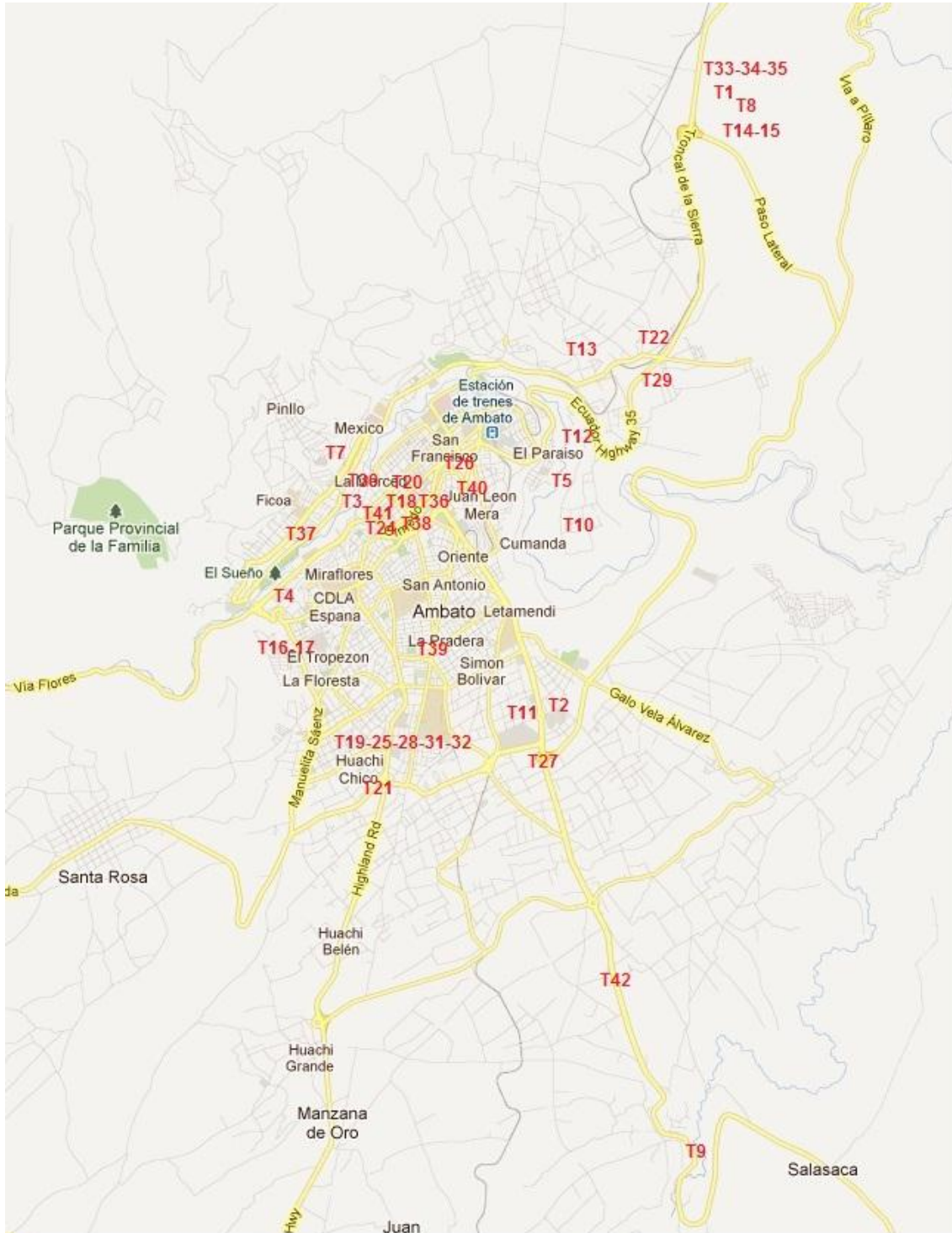
Wikipedia. 2009a. Hollín. Disponible en: [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org) (s/f)

Wikipedia. 2009b. Ceniza volcánica. Disponible en: [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org) (s/f)

Wikipedia. 2011c. Combustión. Acceso el 25/09/2011 en: <http://es.wikipedia.org/wiki/Combusti%C3%B3n>

## ANEXOS

**Anexo 1. Distribución espacial de las fuentes fijas antropogénicas industriales situadas en el área de influencia del proyecto en la zona urbana de la ciudad de Ambato**



Fuentes: Proyecto 2010-2011; Bustillos, 2011

## Anexo 2. Empresas seleccionadas y tipificadas

NÚMERO	NOMBRE EMPRESA	ACTIVIDAD	DIRECCIÓN	TIPO EMPRESA
1	Curtiduría Aldás	Curtiduría	Totoras	Grande
2	Tenería Díaz	Curtiduría	Entrada a Macasto	Grande
3	Curtiduría Hidalgo	Curtiduría	Pisque Bajo	Grande
4	Promepel Cía. Ltda.	Curtiduría	Parque Industrial Ambato	Grande
5	Industrial y comercial Tecnorizo S.A.	Taller de confección	Parque Industrial Ambato	Grande
6	Pastificio Ambato	Industria alimentaria	Av. Guaytambos	Grande
7	Disama Cía. Ltda.	Industria alimentaria	Los Pericos	Grande
8	Planhofa C.A.	Industria alimentaria	Av. Bolivariana	Grande
9	Industrias Catedral	Industria alimentaria	Cerca de Redondel Izamba	Grande
10	ILA S.A.	Industria alimentaria	Ingahurco bajo	Grande
11	Bioalimentar Cía. Ltda.	Industria alimentaria	Parque Industrial (IV etapa)	Grande
12	Pollos Gus	Restaurant	Mera y Cevallos	Grande
13	Hotel Ambato	Hotel	Rocafuerte y Guayaquil	Grande
14	Hotel Emperador	Hotel	Cevallos y Lalama	Grande
15	Hotel Miraflores	Hotel	Av. Miraflores	Grande
16	Ecuatrán	Varias	Santa Rosa	Grande
17	Plasticaucho Industrial S.A.	Varias	Parque Industrial	Grande
18	Curtiduría Ceticueros	Curtiduría	Entrada Puerto Arturo	Mediana
19	Tenería Ecuapiel	Curtiduría	Pisque Bajo	Mediana
20	Propiel Cía. Ltda.	Curtiduría	Av. Indoamérica	Mediana
21	Tecnipan S.A.	Panadería	Cevallos y Quito	Mediana
22	Pastelería Quito	Panadería	Mera y	Mediana

			Cevallos	
23	Panificadora Ambato	Panadería	Bolívar y Quito	Mediana
24	Panadería La Moderna	Panadería	Av. Atahualpa	Mediana
25	Suiza Dajed Cía. Ltda.	Industria alimentaria	Barrio 3 Juanes	Mediana
26	Pollo Listo Restaurant	Restaurant	Cevallos y Mariana Eguez	Mediana
27	Brosterizadora Asadero Barcelona	Restaurant	Mera y 12 de Nov.	Mediana
28	Parrilladas El Marqués	Restaurant	Av. Manuelita Sáenz	Mediana
29	Asadero Tungurahua	Restaurant	Vía a Baños Km 8 1/2	Mediana
30	Lavatintex	Lavadora y tintorería de prendas	Cataguango	Mediana
31	Lavanderías Nacionales	Lavadora y tintorería de prendas	Barcelona y Manuelita Sáenz	Mediana
32	Panadería California	Panadería	Mall de los Andes	Mediana
33	Seguvit	Varias	Vía a Baños	Mediana
34	Pollo Listo Restaurant	Restaurant	Ficoa	Mediana
35	Panadería Calidad 2	Panadería	Av. Atahualpa	Pequeña
36	Panadería Calidad 1	Panadería	Martínez y Rocafuerte	Pequeña
37	Panadería Pan de Casa	Panadería	Juan Benigno Vela y Lalama	Pequeña
38	Panificadora Ecuapan	Panadería	Av. Bolivariana	Pequeña
39	Pan de casa	Panadería	Barcelona y Manuelita Sáenz	Pequeña
40	Buen Pan	Panadería	Redondel de Huachi Chico	Pequeña
41	Servipan	Panadería	Redondel de Huachi Chico	Pequeña
42	Panadería El Manjar	Panadería	Redondel de Izamba	Pequeña
43	Rico Pollo	Restaurant	Av. 12 de Nov.	Pequeña
44	Rico Pollo Brosterizado	Restaurant	Av. Atahualpa	Pequeña
45	Parrilladas El Gaucho	Restaurant	Bolívar y Quito	Pequeña
46	Maxi Pollo	Restaurant	Redondel de Izamba	Pequeña
47	Pollofino	Restaurant	Cevallos y Fco. Flor	Pequeña
48	Miguelín Pollos a la Brasa	Restaurant	Leónidas Plaza y Camilo Ponce	Pequeña
49	Rico Pollo	Restaurant	Huachi Chico	Pequeña
50	Asadero Fanycita	Restaurant	Totoras	Pequeña

Fuentes: Proyecto y Labs., 2010-2011

(a) Chemeng; (b) Cenerin; (c) Lab-Cestta; (d) Lab.Margoth Cifuentes; (e) Solinec

### Anexo 3. Resultados de los análisis de contaminantes por fuentes fijas antropogénicas

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	<sup>(a)</sup> CETICUERO	01/12/2010	14.6	13.29	3.44	36	13	90	<2	90	223.8	90.8	1
T2	<sup>(a)</sup> DISAMA	29/11/2010	29.6	9.57	8.36	93	<10	68	<2	68	326.8	81.9	1
T3	<sup>(a)</sup> HOTEL AMBATO	30/11/2010	26	8.55	9.71	81	342	20	<2	20	188.8	88.3	1
T4	<sup>(a)</sup> HOTEL MIRAFLORES	29/11/2010	22.3	5.16	14.19	27	<10	36	<2	36	351.4	65.4	1
T5	<sup>(a)</sup> ILA	30/11/2010	21	8.88	9.28	99	525	31	<2	31	116.2	94	1
T6	<sup>(a)</sup> LAVATINTEX	01/12/2010	11.2	12.16	4.95	38	<10	55	<2	55	201.6	91.7	1
T7	<sup>(a)</sup> PASTIFICIO AMBATO	29/11/2010	24.1	9.09	9	100	<10	72	<2	72	222.2	87.7	1
T8	<sup>(a)</sup> PROMPELL	02/12/2010	54.9	9.92	7.89	30	257	41	<2	41	215.4	88.8	5
T9	<sup>(a)</sup> CURTIDURÍA ALDÁS	13/12/2010	40	14.11	2.12	46.63	56.25	103	<2	103	475.23	78	1
T10	<sup>(a)</sup> 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	<sup>(a)</sup> PLANHOFA	17/01/2011	0.0252	10.1	7.47	72	25.25	63.25	<2	63.25	233.08	83.7	2
T12	<sup>(a)</sup> 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	<sup>(d)</sup> INDUSTRIAS CATEDRAL	10/2/2010	33.7	6.7	11.95	24	195	28	<2	28	235.8	76.1	4
T14	<sup>(b)</sup> 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

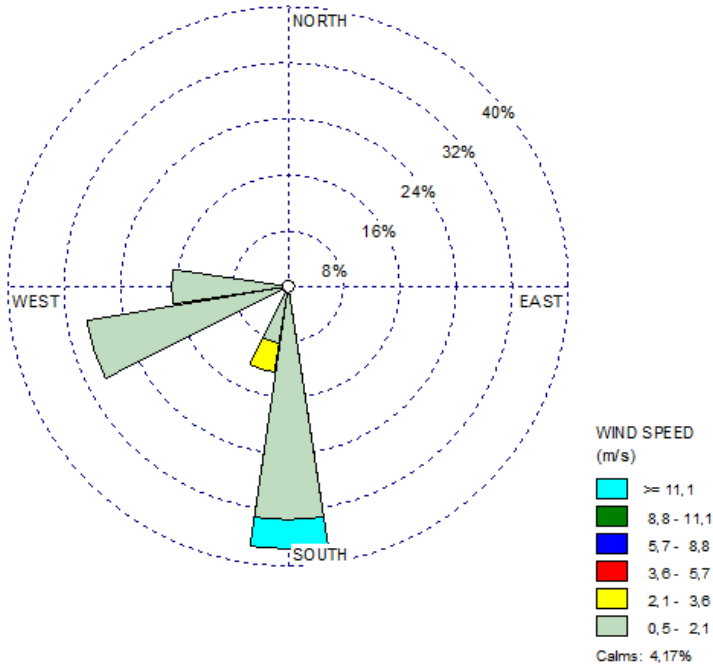


T32	(c) PANADERÍA CALIFORNIA	25/05/2011	X	X	X	3	0	1	0	1	X	X	X
T33	(a) TECNORIZO 1	24/02/2011	X	0.76	19.83	<10	<10	<10	<2	<10	110.6	63.2	0
T34	(a) TECNORIZO 2	24/02/2011	X	7.25	9.87	<10	<10	52	<2	52	174	91.2	0
T35	(a) TECNORIZO 3	24/02/2011	X	0.92	19.59	<10	112.3	<10	<2	<10	167.5	50	0
T36	(a) POLLO LISTO 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

Fuentes: Proyecto y Labs., 2010-2011

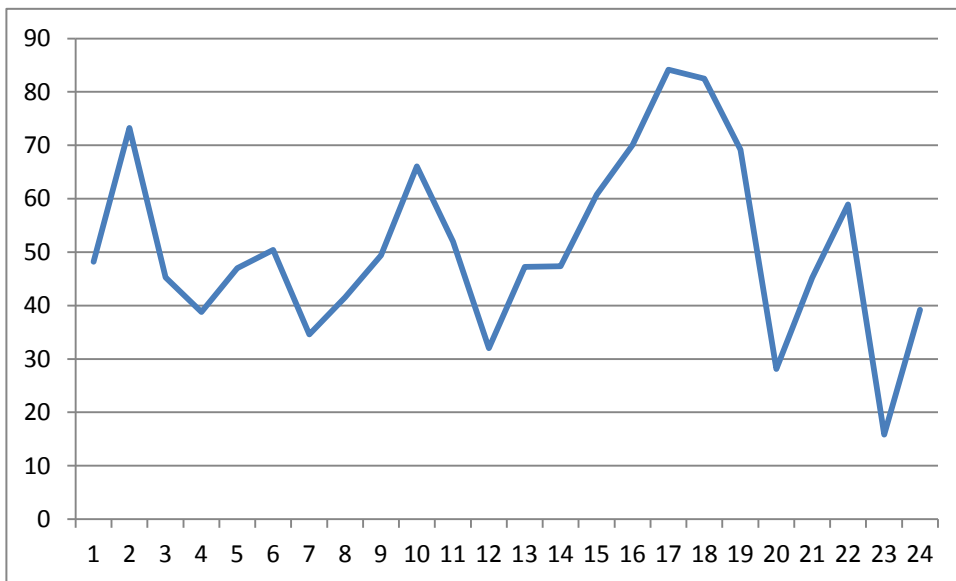
(a) Chemeng; (b) Cenerin; (c) Lab-Cesta; (d) Lab.Margoth Cifuentes; (e) Solinec

**Anexo 4. Velocidades y direcciones de viento predominantes correspondientes al mes de Noviembre del 2010**



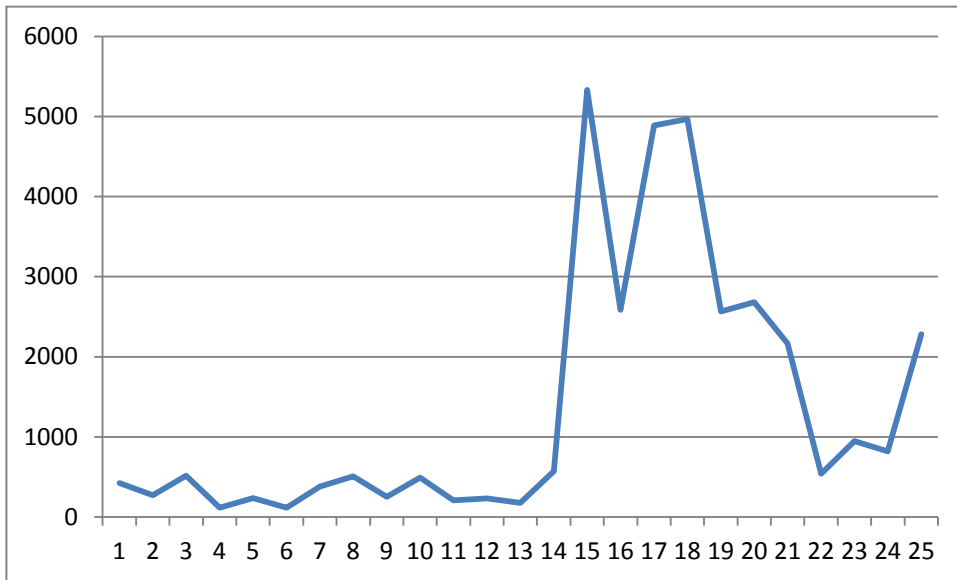
Fuentes: Bustillos, 2011; Proyecto 2010-2011

**Anexo 5. Caída en Ambato de Ceniza (material particulado)( $\text{mg}/\text{m}^3$ ), durante el último evento eruptivo del volcán Tungurahua (1 de Marzo – 23 de Mayo 2011)**



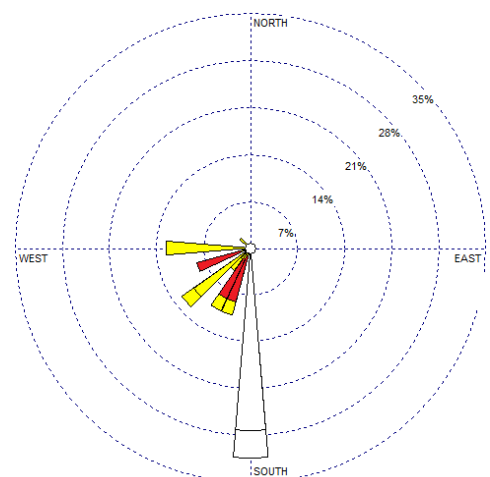
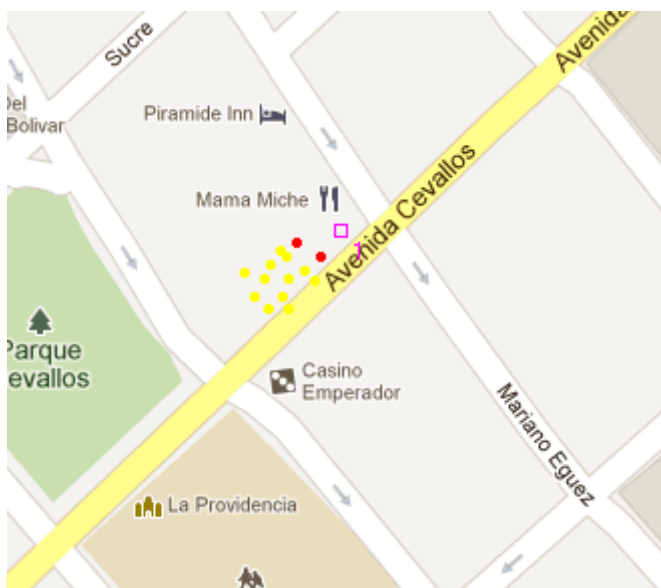
Fuentes: Proyecto, 2010-2011; DMH-IMA, 2010-2011

**Anexo 6. Flujo de Dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) (ton/día), emitido en el último evento eruptivo por el volcán Tungurahua (1 de Marzo – 23 de Mayo 2011)**



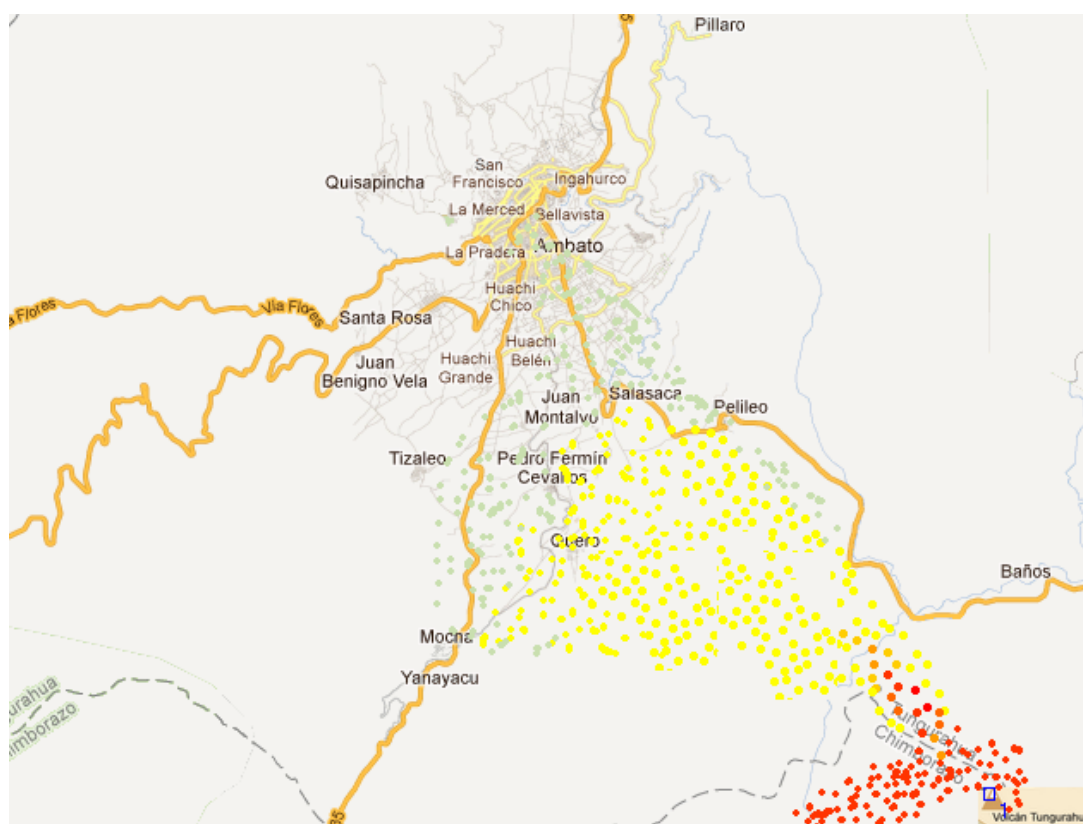
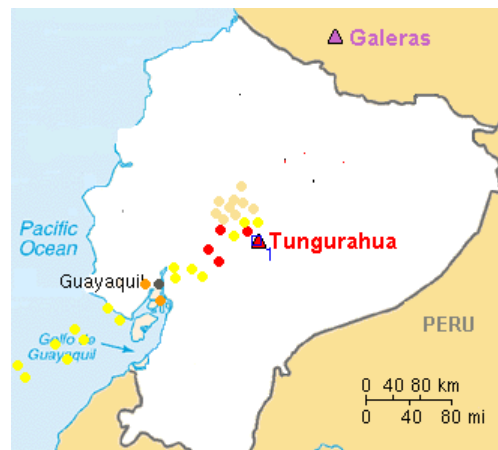
Fuentes: Proyecto, 2010-2011; DMH-IMA, 2010-2011

**Anexo 7. Simulación de la dispersión de material particulado PM10 con el software Disper 5.2, de la empresa Pollo Listo 1**



Fuentes: Bustillos, 2011; Proyecto 2010-2011

**Anexo 8. Dispersión de la ceniza del volcán Tungurahua reportado el 28 de Abril 2011**



Fuentes: Bustillos, 2011; Proyecto 2010-2011