



UNIVERSIDAD DE CUENCA

FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS

“MAESTRÍA EN TOXICOLOGÍA INDUSTRIAL Y AMBIENTAL”

TÍTULO:

**CUANTIFICACIÓN DE MATERIAL
PARTICULADO PM10 Y SU EFECTO
TOXICOLÓGICO-AMBIENTAL, EN LA CIUDAD
DE AZOGUES**

**TESIS PREVIA A LA OBTENCION DEL TÍTULO DE
MAGÍSTER EN TOXICOLOGÍA INDUSTRIAL Y AMBIENTAL**

AUTOR: Ing. Edgar Fabián Vivar Martínez

DIRECTORA: Dra. Isabel Wilches Arizábala

CUENCA, ECUADOR

2014



DERECHOS DE AUTOR



Universidad de Cuenca
Clausula de derechos de autor

Yo, Edgar Fabián Vivar Martínez, autor de la tesis “CUANTIFICACIÓN DE MATERIAL PARTICULADO PM10 Y SU EFECTO TOXICOLÓGICO-AMBIENTAL, EN LA CIUDAD DE AZOGUES”, reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de MÁSTER EN TOXICOLOGÍA INDUSTRIAL Y AMBIENTAL. El uso que la Universidad de Cuenca hiciere de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autor.

Cuenca, 6 de octubre de 2014

Edgar Fabián Vivar Martínez

C.I: 0300966496



CERTIFICADO DE PROPIEDAD INTELECTUAL



Universidad de Cuenca
Clausula de propiedad intelectual

Yo, Edgar Fabián Vivar Martínez, autor de la tesis CUANTIFICACIÓN DE MATERIAL PARTICULADO PM10 Y SU EFECTO TOXICOLÓGICO-AMBIENTAL, EN LA CIUDAD DE AZOGUES”, certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, 6 de octubre de 2014

Edgar Fabián Vivar Martínez

C.I.: 0300966496



AGRADECIMIENTOS

Gracias Dios, porque...

Me bendices cada día con un nuevo amanecer, por enseñarme que todos los días son siempre muy buenos días, iniciando con una sonrisa y terminando de la misma forma. Porque me llenas de felicidad limitando mis deseos en lugar de satisfacerlos, porque cuando cierras una puerta, me abres otras dos; pues he comprendido que la felicidad no es una meta sino un trayecto; porque cuando borras algo de mi vida es porque te alistaste a escribir algo mejor para mí, susurrándome al oído, que cuando pierda, nunca pierda la lección; porque nunca me mandarás más de lo que puedo soportar, pues no me das una carga apta para mis hombros, sino unos hombros para soportar las cargas, convirtiendo mis abismos en oportunidades para volar hacia mis sueños.

Gracias por regalarme el Hoy y llamarlo “presente”; por permitir que mi caminar deje una huella que me libre del pasado, convirtiéndome en el arquitecto de mi futuro, el amo de mi destino y el capitán de mi alma; porque me das razones para amarte que la razón no comprende, porque tu amor es como el mar, se ve el inicio pero no el final, porque eres la 🎵 de mi vida, pues sin ti sería un eterno desafinado en el inmenso coro de la humanidad.

Gracias por enseñarme que en educación, más que cabezas se requieren corazones, por hacer que mi felicidad no dependa de lo que tenga sino de lo que soy y me presentas a la adversidad no como el enemigo sino como el mejor maestro.

Gracias, por hacerme el primer héroe de mis hijos, el primer amor de mi hija y envejecer junto al amor de mi vida... gracias porque en mis oraciones no me dices buenas noches, sino...nos vemos en tus sueños.

Edgar



DEDICATORIA

A mi mami: por su inmenso amor.

A mi Papi: porque me formaste así, con mis defectos y virtudes.

A mi esposa ETE: mi amiga, mi compañera, mi amor.

A Melina: mi primer retoñito, la uniuquita

A Jordano: mi consentido

A Isaac: mi juguete.

Gracias por ser lo que más amo en mi vida.

Con profundo amor: **Edgar**



“Amor, conocimiento y un planeta en el que puedan vivir, es la mejor herencia que podemos dejar a nuestros hijos; sin un medio ambiente sano, no hay futuro, el tiempo se está acabando, debemos hacer mejoras antes de que no tengamos solución”



RESUMEN

Por más de 30 años la ciudad de Azogues ha sufrido de la contaminación por polvo, sin embargo no han existido estudios que evalúen técnicamente el grado de contaminación.

El presente estudio planteó como objetivo principal contribuir en la evaluación de la calidad del aire de la ciudad de Azogues, mediante cuantificación de las concentraciones de material particulado PM10 en dos puntos de la ciudad a través de monitoreos con el Muestreador de Alto Volumen (High Volume Sampler, HVS), empleando filtros de micro fibra de cuarzo, alternando cada cuatro días y siguiendo procedimientos establecidos por la normativa ecuatoriana. El estudio se realizó durante los meses comprendido entre septiembre de 2013 hasta marzo de 2014. El promedio de las concentraciones diarias de PM10 durante el semestre de monitoreo fue de $70,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$, que si bien no supera la norma ecuatoriana de la calidad de aire de $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$, sí sobrepasa la dada por la Organización Mundial de la Salud que establece el límite máximo de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, la población estaría expuesta al desarrollo de algunas afecciones especialmente de tipo respiratorio. La máxima concentración se ubica en el mes de febrero, mientras que en diciembre se dieron las menores concentraciones. La concentración de material particulado PM10 superó la normativa ecuatoriana en el 14% de las determinaciones realizadas y el 70 % de la norma de la OMS. Lamentablemente, los efectos negativos en la salud de los habitantes no están siendo evaluados por ninguna institución.

PALABRABRAS CLAVES: material particulado, PM10, Muestreador de Alto Volumen. Calidad de aire, Azogues.



ABSTRACT

For more than 30 years the city of Azogues has suffered from contamination by dust, however have not been studies that evaluate technically the degree of pollution.

This study raised main objective contribute to the evaluation of the quality of the air in the city of Azogues, through quantification of the concentrations of material particulate matter PM10 in two parts of the city through surveys with the sampler of high-volume (High Volume Sampler, HVS), using micro quartz fiber filters, alternating every four days and following procedures established by the Ecuadorian legislation. The study was conducted during the months between September 2013 to March 2014. Average daily PM10 concentrations during the six months of monitoring was 70.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, while Ecuador 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ air quality standard, it does not exceed exceeding Yes the one given by the World Health Organization that establishes the maximum limit of 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, the population would be exposed to the development of some conditions especially of respiratory type.

The concentration of material particulate matter PM10 exceeded the Ecuadorian legislation in 14% of the determinations made and 70% of the who standard. Unfortunately, the negative effects on the health of the inhabitants are not being evaluated by any institution.

KEY WORDS: particulate matter, PM10, high-volume sampler, air quality, Azogues.



LISTA DE TABLAS

	Página	
Tabla 2.11.1	Categoría de calidad para el ICA y sus efectos en la salud	36
Tabla 2.12.1	Normativa Internacional para el Material Particulado PM10	37
Tabla 2.14.1	Vehículos matriculados en Azogues en los últimos tres años	42
Tabla 3.1.1	Características Del papel filtro para muestreo de PM10	44
Tabla 3.1.2	Materiales empleados en el laboratorio	45
Tabla 3.2.1	Características de la balanza	52
Tabla 3.3.1	Datos del equipo muestreador de alto volumen	53
Tabla 3.4.1	Fechas de monitoreo en la primera estación	60
Tabla 3.4.2	Fechas de monitoreo en la segunda estación	60
Tabla 4.1.1	Concentración de PM10 en el mes de septiembre de 2013	65
Tabla 4.1.2	Concentración de PM10 en el mes de octubre de 2013	66
Tabla 4.1.3	Concentración de PM10 en el mes de noviembre de 2013	68
Tabla 4.1.4	Concentración de PM10 en el mes de diciembre de 2013	69
Tabla 4.1.5	Concentración de PM10 en el mes de febrero de 2014	71
Tabla 4.1.6	Concentración de PM10 en el mes de marzo de 2014	72
Tabla 4.1.7	Concentración mensual de PM 10 en los seis meses de monitoreo	74
Tabla 4.4.1	Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica (EPOC)	90
Tabla 4.4.2	Infecciones Respiratorias Agudas (IRA)	91
Tabla 4.4.3	Egresos Hospitalarios Quinquenio 2009 - 2013	92

LISTA DE FIGURAS

	Página	
Figura 2.1.1	Dinámica de la contaminación	24
Figura 2.4.1	Fuentes de generación de material particulado	26
Figura 2.8.1	Agentes que agreden el aparato respiratorio del ser humano	30
Figura 2.8.2	Efecto de la contaminación en la salud	31
Figura 2.14.1	Vista panorámica de la ciudad de Azogues	40
Figura 2.14.2	Mapa de Azogues	41
Figura 3.1.1	Filtros de microfibra de cuarzo de alta pureza	44
Figura 3.2.1	Equipo Muestreador de Alto Volumen	46
Figura 3.2.2	Elementos del equipo Muestreador de Alto Volumen	47
Figura 3.2.3	Partes del compartimento de impactación del equipo de PM10	48
Figura 3.2.4	Porta filtros con filtros y después de un monitoreo	49
Figura 3.2.5	Desecador	50
Figura 3.2.6	Higrómetro	51
Figura 3.2.7	Balanza analítica	52
Figura 3.3.1	Diagrama de flujo de monitoreo de PM10 con equipo HI-Vol	56
Figura 3.4.1	Personal del GADM de Azogues en instalación de equipos	58
Figura 3.4.2	Primer punto de monitoreo: terraza de la Unidad Educativa La Salle	58
Figura 3.4.3	Terraza del Terminal Terrestre de Azogues	59
Figura 3.4.4	Segundo punto de monitoreo: Terminal Terrestre	59
Figura 4.1.1	Concentraciones ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) de PM10 en septiembre de 2013	66
Figura 4.1.2	Concentraciones ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) de PM10 en octubre de 2013	67
Figura 4.1.3	Concentraciones ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) de PM10 en noviembre de 2013	69
Figura 4.1.4	Concentraciones ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) de PM10 en diciembre de 2013	70
Figura 4.1.5	Concentraciones ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) de PM10 en febrero de 2014	72
Figura 4.1.6	Concentraciones ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) de PM10 en marzo de 2014	73
Figura 4.1.7	Concentraciones mensual ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) de PM10 en los seis meses de monitoreo	74



	Página	
Figura 4.1.8	Concentración diaria ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) de PM10 en el primer trimestre de monitoreo, Unidad Educativa “La Salle”	75
Figura 4.1.9	Concentración diaria ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) de PM10 en el segundo trimestre de monitoreo, Terminal Terrestre	76
Figura 4.1.10	Concentración diaria ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) de PM10 durante los seis meses de monitoreo	77
Figura 4.1.11	Fábrica de Cemento Industrias Guapán	79
Figura 4.1.12	Tráfico vehicular en Azogues	79
Figura 4.1.13	Ebanisterías que funcionan en Azogues	80
Figura 4.1.14	Central Termoeléctrica en el sector El Descanso	80
Figura 4.1.15	Fábricas Artesanales de Bloques	81
Figura 4.1.16	Talleres de Labrado de Piedra andesita	81
Figura 4.1.17	Generación de PM10 por obras de construcción y áridos	82
Figura 4.1.18	Canteras de Lastre	82
Figura 4.1.19	Fábrica ladrillera	83
Figura 4.1.20	Avenida 16 de abril	83
Figura 4.1.21	Vías sin asfaltar	84
Figura 4.1.22	Autopista Azogues – El Descanso	84
Figura 4.1.23	Negocios de comida que funcionan en Azogues	85



DEFINICIONES, ABREVIATURAS Y SIMBOLOGIA

AAAr: Institución acreditada ante el Sistema Único de Manejo Ambiental para liderar y coordinar el proceso de evaluación de impactos ambientales.

AEROSOL: Suspensión de partículas sólidas, líquidas o de ambos tipos en un medio gaseoso, con una velocidad de descenso mínima.

AIRE: Porción no confinada de la atmósfera, cuya composición normal es, por lo menos 20% de oxígeno, 79% de nitrógeno, y 1 % de dióxido de carbono, además de proporciones variables de gases inertes y vapor de agua, en relación volumétrica.

AMBIENTE: Conjunto de todas las condiciones externas que influyen sobre la vida, el desarrollo y la supervivencia de un organismo.

ANÁLISIS GRAVIMÉTRICO: Determinación de la concentración de partículas basado de peso

ANTROPOGÉNICO: Procesos o materiales causadas por actividades humanas

AQI: Índice de Calidad Atmosférica

CALENTAMIENTO GLOBAL: Aumento de la temperatura de La Tierra debido a una acumulación de gases invernadero en la atmósfera.

CALIBRACIÓN: Valoración de la precisión de las mediciones que reporta un instrumento al compararlo con un estándar independiente.

COMBUSTIÓN: Combinación de oxígeno con materiales o sustancias capaces de oxidarse, dando como resultado la generación de gases, partículas, luz y calor.

CONCENTRACIÓN MÁXIMA PERMISIBLE: Concentración de una sustancia química que no debe excederse bajo ninguna circunstancia en la exposición.

CONCENTRACIÓN DE 24 HORAS: Corresponde a la media aritmética de los valores efectivamente medidos de concentración en cada estación monitora en 24 horas consecutivas.



CONTAMINACIÓN: Cambio indeseable en las características físicas, químicas o biológicas del aire, el agua o el suelo que puede afectar de manera adversa la salud, la supervivencia o las actividades de los humanos o de otros organismos vivos.

CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA: Presencia de contaminantes en la atmósfera, como polvo, gases o humo en cantidades y períodos de tiempo tales que resultan dañinos para los seres humanos, la vida silvestre y la propiedad.

CONTAMINANTE: Forma de materia o energía presente en un medio al que no pertenece, o bien, por arriba de su concentración natural en un medio no contaminado.

CONTAMINANTE PRIMARIO: Contaminante emitido a la atmósfera a partir de una fuente identificable, por ejemplo CO, NOX , HC, SO y partículas.

CONTAMINANTE SECUNDARIO: Contaminante que se forma por reacción química en la atmósfera, por ejemplo el ozono.

CONTINGENCIA: Estado de alerta ambiental en el cual se detectan concentraciones de contaminantes atmosféricos que se acercan a niveles en que pueden causar un daño a la salud o son un riesgo para la misma.

EMISIÓN: Salida de contaminantes hacia el ambiente a partir de una fuente fija o móvil.

EXPOSICIÓN: Interacción entre un agente tóxico y un sistema biológico.

GADM de Azogues: Gobierno Autónomo Descentralizado del Municipio de Azogues.

ICA: Índice de la calidad del Aire.

FRM: Método de Referencia Federal.

ft³: Pie cúbico.

ft³/min: Pie cúbico por minuto.

FUENTES FIJAS: Aquellas establecidas en un lugar determinado y su emisión se produce siempre en el mismo lugar.



FUENTES MÓVILES: Aquellas que cambian su ubicación con respecto al tiempo y el área de influencia de sus emisiones.

HAPs: Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos.

INVERSIÓN TÉRMICA: Fenómeno atmosférico natural en el cual la temperatura del aire no disminuye con la altura.

MEDIA: Medida de centralización calculada mediante ciertas operaciones a partir de los elementos de un conjunto de números, x_1, x_2, \dots, x_n .

MONITOREO: Proceso programado de coleccionar muestras, efectuar mediciones, y realizar el subsiguiente registro, de varias características del ambiente.

MOP: Materia orgánica particulada.

MUESTRA: Parte seleccionada que se separa de un conjunto y que se considera representativa del mismo conjunto al que pertenece.

MUESTREADOR: Equipo que consiste de una entrada, un soporte de filtro, un movilizador de aire, un controlador de flujo, y un cronometro.

MUESTREADOR DE AIRE DE ALTO VOLUMEN: Equipo de muestreo de material particulado que toma muestras de aire a un alto flujo, el cual normalmente corresponde a $1,13 \text{ m}^3/\text{min}$ o $40 \text{ ft}^3/\text{min}$ y por un periodo de 24 horas.

MUESTREO: Recolección de una porción representativa para someterla a análisis y ensayos.

MUTAGÉNICO: Agente físico, químico o biológico que altera o cambia la información genética.

m^3 : Metro cúbico

m^3/min : Metro cúbico por minuto

NIVEL DE ALERTA: Concentración de contaminantes atmosféricos que la autoridad competente ha decidido que se acerca a la que puede causar un daño a la salud o es un riesgo para ella.



NORMA DIARIA: Concentración máxima diaria permisible de un contaminante, definida como el promedio aritmético de los valores de las muestras horarias, que podrá excederse solo una vez en un año.

OMS: Organización Mundial para la salud.

O₃: Ozono

PARTÍCULA. Masa pequeña discreta de materia sólida o líquida.

PM: Material particulado. Material suspendido en el aire en forma de partículas sólidas o gotas de líquido (aerosoles).

PM10: Material particulado cuyas partículas tienen un diámetro aerodinámico menor o igual a 10 micrones.

PM2,5: Material Particulado, cuyas partículas tienen un diámetro aerodinámico menor a 2,5 micrones.

POLVO: Partículas sólidas pequeñas con diámetro menor de 75 μm que pueden permanecer suspendidas por algún tiempo y sedimentan por su propio peso.

SINERGIA: Posibilidad de que el efecto combinado de dos o más impactos sea mayor a la suma de todos ellos.

SO₂: Dióxido de azufre

PST: Partículas totales en suspensión

μ : Micra

μg : Micro gramo

$\mu\text{g}/\text{m}^3$: Micro gramo de material particulado por cada metro cúbico de aire

μm : Micrón.

US EPA: Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América.



TABLA DE CONTENIDOS

DERECHOS DE AUTOR	1
CERTIFICADO DE PROPIEDAD INTELECTUAL	2
AGRADECIMIENTOS	3
DEDICATORIA	4
RESUMEN	6
ABSTRACT	7
LISTA DE TABLAS	8
LISTA DE FIGURAS	9
DEFINICIONES, ABREVIATURAS Y SIMBOLOGIA	11
TABLA DE CONTENIDOS.....	15
CAPITULO I: INTRODUCCIÓN	187
CAPITULO II: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	21
2.1 CONTAMINANTES AMBIENTALES.....	22
2.2 DEFINICIÓN DE MATERIAL PARTICULADO	24
2.3 CLASES DE MATERIAL PARTICULADO	24
2.4 FUENTES DE MATERIAL PARTICULADO.....	25
2.5 COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL MATERIAL PARTICULADO.....	26
2.6 LOS COMPUESTOS ORGÁNICOS DEL MATERIAL PARTICULADO	27
2.7 LOS COMPUESTOS BIOLÓGICOS DEL MATERIAL PARTICULADO.....	27
2.8 EFECTOS ADVERSOS DEL MATERIAL PARTICULADO EN LA SALUD.....	29
2.9 ESTUDIOS BIOQUÍMICOS Y TOXICOLÓGICOS DE AGENTES CARCINOGENÉTICOS EN EL MATERIAL PARTICULADO	33
2.10 SINERGIA DEL MATERIAL PARTICULADO CON OTROS CONTAMINANTES DEL AIRE	344
2.11 ÍNDICE DE LA CALIDAD DEL AIRE - ICA	35



2.12	NORMATIVAS NACIONAL E INTERNACIONAL.....	37
2.13	MÉTODOS DE CARACTERIZACIÓN DEL PM10.....	38
2.14	AZOGUES Y SU CRECIMIENTO VEHICULAR E INDUSTRIAL.....	39
	CAPITULO III: MATERIALES Y MÉTODOS	43
3.1	MATERIALES.....	44
3.2	EQUIPOS	45
3.3	RESUMEN DEL MÉTODO	52
3.4	MUESTREO	57
3.5	APLICACIÓN DE ENCUESTA.....	61
	CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	63
4.1	RESULTADOS DE LA CUANTIFICACIÓN DE PM10	64
4.2	POSIBLES EFECTOS DEL PM10 EN LA POBLACIÓN DE AZOGUES	85
	CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	94
5.1	CONCLUSIONES	95
5.2	RECOMENDACIONES	97
	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	99
	ANEXOS	103



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN



INTRODUCCIÓN

Respirar un aire limpio no constituye un privilegio, sino un derecho garantizado por la Autoridad Ambiental de Aplicación Responsable (AAAr), la cual está llamada a controlar y garantizar que el aire de inmisión no represente una amenaza para los habitantes. Un aire contaminado provoca varios tipos de enfermedades, especialmente de tipo respiratorio y cardiovascular, siendo los más expuestos las personas y trabajadores que permanecen en ambientes externos contaminados, en donde los niños, las mujeres embarazadas y los ancianos son los grupos más sensibles.

El aire de la ciudad de Azogues se ve afectado por diferentes fuentes, como el excesivo número de vehículos que circulan por la ciudad, las fábricas de cemento, ladrillos, tejas, bloques, una Central Termoeléctrica y zonas de áridos. Cada uno de estos focos de contaminación presenta una tendencia hacia el crecimiento. Otra fuente importante pero temporal, constituiría la construcción de la avenida 16 de abril, de 4 Km de longitud que se construye durante el presente año.

La hipótesis planteada para la ejecución del presente trabajo es:

Las concentraciones de material particulado PM10 en el aire de inmisión de Azogues superan a los permitidos por las normativas legales vigentes nacionales e internacionales, incrementando el riesgo de los habitantes a contraer varios tipos de enfermedades, especialmente respiratorias.

Como objetivo principal se plantea:

Cuantificar la concentración de material particulado PM10, a través de métodos gravimétricos para establecer los efectos tóxicos potenciales en la población.

En cuanto a los objetivos específicos, son los siguientes:

- Obtener una base de datos de concentración de material particulado PM10 en la ciudad de Azogues, con los valores de los monitoreos diarios para la disponibilidad de distintas investigaciones.



- Diagnosticar la calidad del aire mediante los datos monitoreados y su comparación con las normativas legales nacionales e internacionales.
- Comparar los resultados obtenidos de la calidad del aire de inmisión de la ciudad de Azogues, con el de otras investigaciones nacionales.

El Gobierno Autónomo Descentralizado de la ciudad de Azogues (GADM de Azogues), a través de su Unidad de Gestión Ambiental ha realizado estudios de material sedimentable mas no de los suspendidos como el PM_{2,5} y PM₁₀; el Ministerio del Ambiente, a través de convenio realizados con el GADM realiza monitoreos del PM₁₀ tomando como único punto de estudio el Centro Comercial Bartolomé Serrano, sus resultados aún no se han publicado por lo que se desconoce el impacto que la naturaleza o el hombre ha provocado en el aire ambiente de Azogues y si éste cumple con las normativas legales.

Los puntos de monitoreo seleccionados para el presente estudio se ubican en: i) el centro de la Ciudad, y ii) el suroeste de la ciudad. Ésta investigación informa de manera general si el aire que se respira en la ciudad de Azogues mantiene concentraciones de PM₁₀ superiores a los valores permitidos por la legislación ecuatoriana de 100 µg/m³ y comparar con el establecido por la OMS de 50 µg/m³, que incrementen los riesgos de los habitantes a contraer varios tipos de enfermedades. Para el efecto se utilizó el equipo Muestreador de Alto Volumen (High Volume Sampler, HVS) que emplea métodos gravimétricos basados en la US EPA para determinar la concentración de PM₁₀ en las zonas de mayor tráfico vehicular de la ciudad. Las concentraciones diarias de PM₁₀ durante cada mes se promediaron para ubicarle dentro del rango correspondiente del Índice de Calidad del Aire ICA y asignarle una determinada calidad.

También se realizó una investigación bibliográfica de las posibles consecuencias sobre la salud que podrían ocasionar las concentraciones de este material particulado, sin embargo, se recomienda la complementación de otros estudios para la caracterización de estos contaminantes.

Es importante que instituciones como el Ministerio de Salud Pública, cuente con la información de la concentración y caracterización del PM₁₀ en el aire de inmisión de



la localidad, ya que a través de ellas se pueden pronosticar enfermedades respiratorias potenciales. Por otro lado, el Ministerio del Ambiente y los Gobiernos Autónomos Descentralizados tienen la obligación de llevar un control de las concentraciones de PM10, compararlas con las normativas legales y en caso de incumplimiento, emitir las políticas ambientales respectivas y así garantizar en lo posible el derecho de la ciudadanía y la protección del medio ambiente.



CAPÍTULO II

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA



2.1 CONTAMINANTES AMBIENTALES

Según la Organización Mundial de La Salud (OMS) en el año 2011, la contaminación atmosférica constituye un riesgo medioambiental para la salud y se estima que causa alrededor de dos millones de muertes prematuras al año en todo el mundo.

Una sustancia contamina el aire, cuando al ser emitido a la atmósfera ya sea por la actividad humana o por procesos naturales, afecta adversamente al hombre o al ambiente. La normativa ecuatoriana considera como contaminantes criterio: partículas sedimentables; material particulado PM10; material particulado PM2,5; dióxido de nitrógeno; dióxido de azufre; monóxido de carbono; ozono. En cambio, se establecen como contaminantes no convencionales con efectos tóxicos y/o carcinogénicos: el benceno, cadmio, mercurio inorgánico [1].

En varios países, especialmente los industrializados, se estima que los cambios climáticos, así como muchas enfermedades tanto del tracto respiratorio como cardiovascular pueden ser causadas por agentes químicos que se encuentran en el aire contaminado, llegando incluso a producir algunos tipos de cánceres. Dichos contaminantes que pueden producirse de forma natural o antropogénica lo constituyen los bioaerosoles, las partículas y gases como monóxido de carbono, óxido de nitrógeno, dióxido de azufre, ozono, etc [2].

La contaminación del aire se define como la alteración causada por la presencia de gases en la atmósfera, o partículas sólidas o líquidas en suspensión, en proporciones distintas a las naturales que pueden poner en peligro la salud del hombre, el bienestar de las plantas y animales, atacar diferentes materiales, reducir la visibilidad o producir olores nocivos. Las emisiones de contaminantes al aire, producto de fuentes antrópicas y naturales, han sido estudiadas debido a su importancia en los cambios climáticos y las afecciones que causan a la calidad de vida de la población, así como el desequilibrio de los ecosistemas [3].

El PM es uno de los contaminantes al que se le ha prestado mayor atención a nivel mundial dado sus efectos adversos sobre la salud que incluyen afecciones a los



sistemas respiratorio y cardiovascular. Este contaminante se genera principalmente por la quema de combustibles fósiles. A nivel global, entre el 20 y el 42% de las infecciones de las vías respiratorias inferiores y aproximadamente 24% de las infecciones respiratorias superiores en países en vías de desarrollo, son atribuibles a la disminución de calidad del aire por presencia de material particulado principalmente PM10 y PM2,5 [4].

En varios países existen normas que regulan la calidad del aire, en el Ecuador también existen regulaciones basadas en las establecidas por la EPA y cuyas concentraciones son consideradas como aceptables para la salud humana, dichos valores no deberían sobrepasarse más de una vez al año.

La concentración de los contaminantes disminuye al dispersarse en la atmósfera, lo cual depende de factores climatológicos como la temperatura, velocidad del viento, movimiento de sistemas de altas y bajas presiones y su interacción con la topografía local [5].

Para que una sustancia sea considerada como contaminante deber originar un riesgo o daño para las personas o bienes en determinadas circunstancias. De acuerdo a su formación, los contaminantes podrían clasificarse en primarios y secundarios:

2.1.1 Contaminantes primarios: provienen de diversas fuentes y son los vertidos directamente a la atmósfera. Entre los más frecuentes se encuentran: Aerosoles (en los que se incluyen las partículas sedimentables y en suspensión y los humos); óxidos de azufre, SO_x ; monóxido de carbono, CO; óxidos de nitrógeno, NO_x ; hidrocarburos, Hn Cm; Ozono, O_3 ; anhídrido carbónico, CO_2 .

2.1.2 Contaminantes secundarios: se producen como consecuencia de las transformaciones y reacciones químicas y fotoquímicas de los contaminantes primarios [6].

En la figura 2.1.1 puede apreciarse de manera global los tipos de contaminantes.

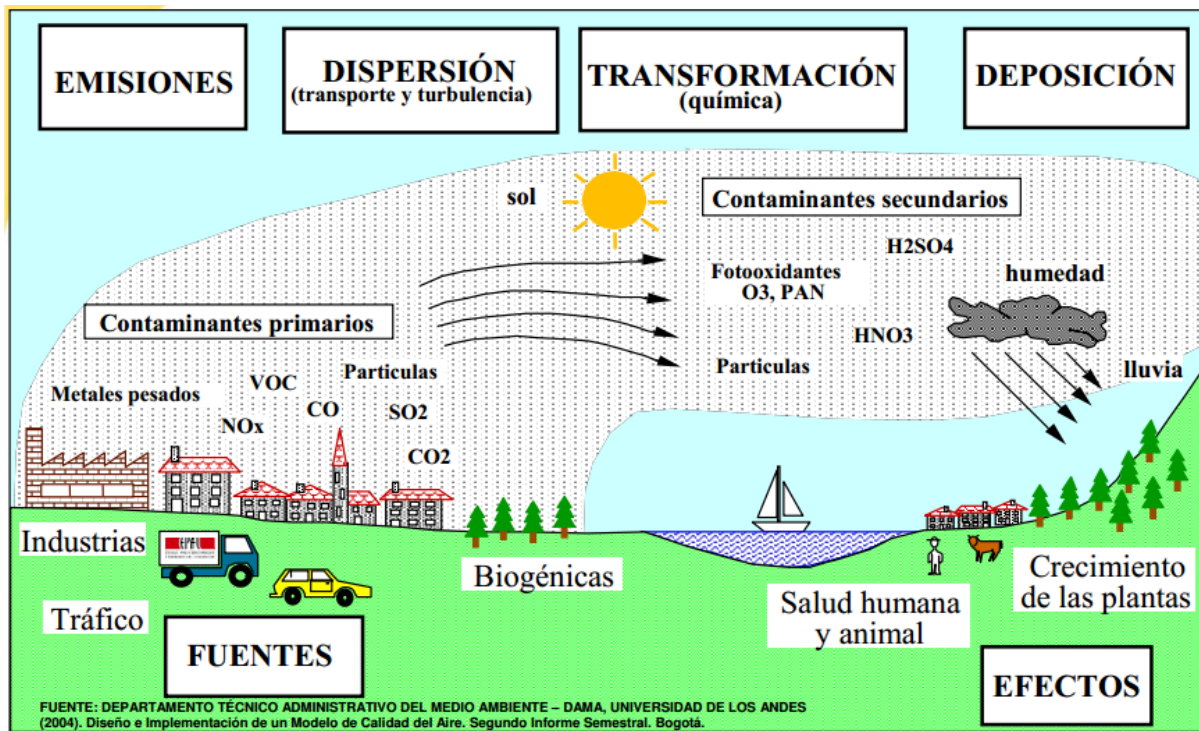


Figura 2.1.1. Dinámica de la contaminación

Fuente: DAMA. Diseño e implementación de un modelo de calidad de aire, 2004.

2.2 DEFINICIÓN DE MATERIAL PARTICULADO

El Material particulado está constituido por material sólido o líquido en forma de partículas, con excepción del agua no combinada, presente en la atmósfera. Se designa como PM_{2,5} al material particulado cuyo diámetro aerodinámico es menor a 2,5 micrones. Se designa como PM₁₀ al material particulado de diámetro aerodinámico menor a 10 micrones [7].

2.3 CLASES DE MATERIAL PARTICULADO

Todas aquellas partículas sólidas o líquidas menores a 100 micras de diámetro y suspendidas en la atmósfera, se les denomina aerosoles. Estas pueden ser generadas por eventos naturales como tormentas de arena o erupciones volcánicas, o emitidas por actividades antropogénicas, alcanzando niveles que afectan tanto al clima como a la salud humana [8].



El PM se clasifica en función de su diámetro aerodinámico de sus partículas en: PM10 (diámetro inferior a 10 μm) y PM2,5 (diámetro inferior a 2,5 μm). Estas últimas suponen mayor peligro pues al inhalarlas, pueden alcanzar las zonas periféricas de los bronquiolos y alterar el intercambio pulmonar de gases. [9]

Las partículas se clasifican en base a su diámetro, en:

- 1) Partículas suspendidas totales (PST) diámetro hasta 100 μm .
- 2) Inhalables o respirables (PM10), cuyo diámetro es menor a 10 μm .
- 3) Finas, con diámetro menor a 2,5 μm (PM2,5) y
- 4) Ultra fina, cuyo diámetro es menor a 1 μm (PM1) [10].

2.4 FUENTES DE GENERACIÓN DE MATERIAL PARTICULADO

El PM puede emitirse directamente a la atmósfera a partir de distintas fuentes antropogénicas o naturales (partículas primarias), o por reacciones químicas de ciertos gases en la atmósfera, o procesos de condensación (partículas secundarias).

Los contaminantes naturales ocurren frecuentemente en mayor porcentaje que las antropogénicas, sin embargo estos últimos representan la amenaza más significativa a largo plazo para la biósfera [11].

En la Figura 2.4.1 se esquematiza las principales fuentes de PM y algunos ejemplos de los tipos de partículas según la fuente generadora. Esta diversidad de fuentes da como resultado un PM que presenta variaciones en tamaño, geometría, composición química y concentración másica [12].

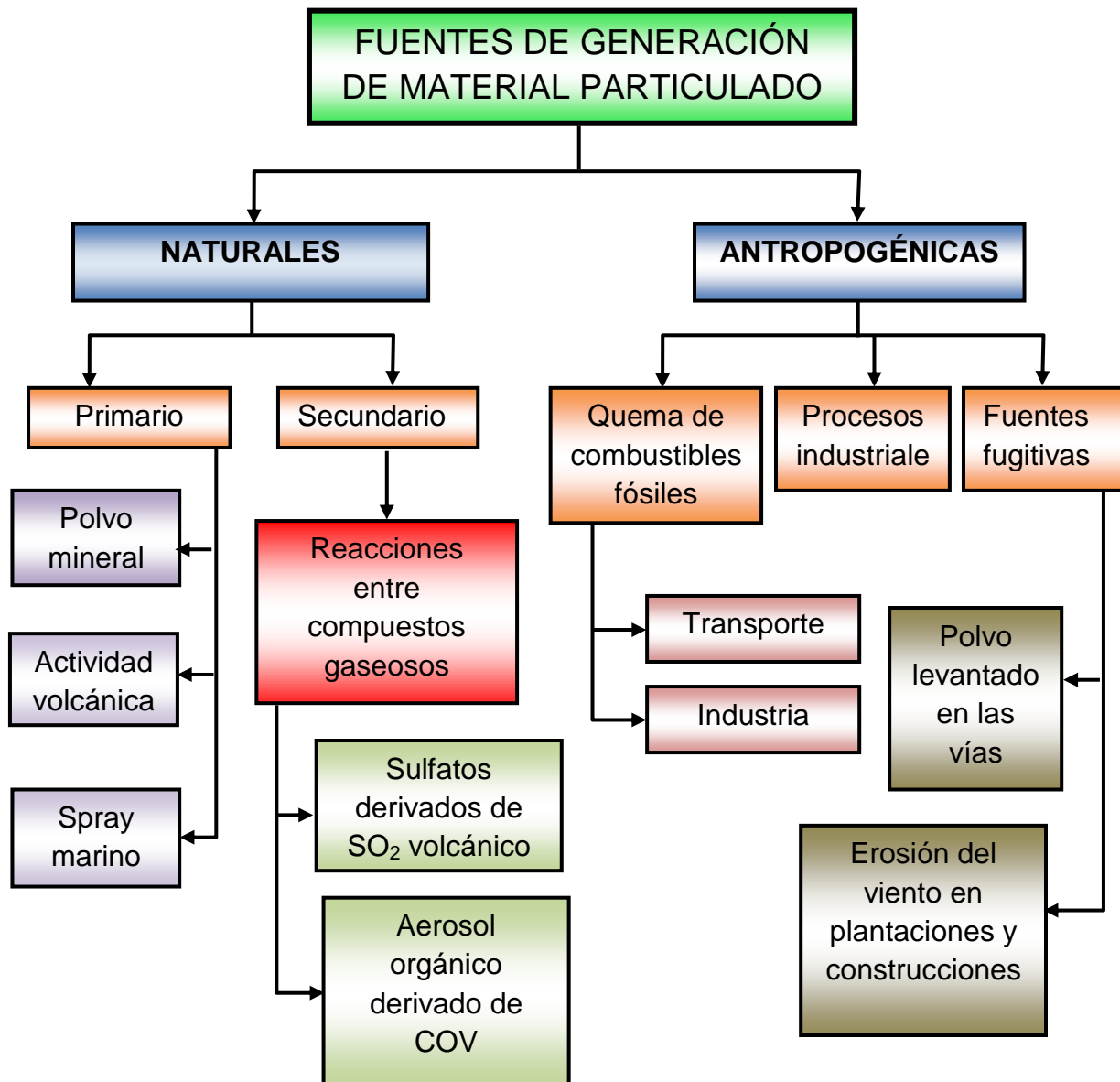


Figura 2.4.1. Fuentes de generación de material particulado

Fuente: Seinfeld, J.H., Pandis, S.N., 2006. Atmospheric chemistry and physics: From air pollution to climate change. John Wiley & Sons, Inc, Hoboken, New Jersey.

2.5 COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL MATERIAL PARTICULADO

El PM afecta a más personas que cualquier otro contaminante y sus principales componentes son los sulfatos, los nitratos, el amoníaco, el cloruro sódico, el carbón, el polvo de minerales y el agua. El PM consiste en una compleja mezcla de partículas líquidas y sólidas de sustancias orgánicas e inorgánicas suspendidas en el aire [13].



El PM es el único contaminante atmosférico que no tiene composición química definida, pues depende de la fuente emisora, sus componentes principales son: polvo, hollín, plomo, sulfatos e hidrocarburos. Las fuentes principales son las calles de tierra, los vehículos, los procesos industriales y la calefacción de residencias. Aproximadamente un 40% del PM está constituido por partículas de tamaño inferior a 10 μm , las cuales alrededor de un 71 % son emitidas por los motores diésel. En las grandes ciudades el PM contiene una fracción soluble en agua, como sulfatos, nitratos, cloruros, sales de amonio y una fracción insoluble que contiene minerales derivados del suelo, carbón, gases adsorbidos, plomo, dioxinas, HAPs, etc. [2].

2.6 LOS COMPUESTOS ORGÁNICOS DEL MATERIAL PARTICULADO (MOP)

Los compuestos orgánicos de materia particulada (MOP) se deben tanto a causas naturales como a provocadas por el hombre, siendo la mayoría producidas por los procesos de combustión. Entre las naturales se pueden mencionar: erupciones volcánicas, incendios forestales, degradación de la materia orgánica, etc. Entre las antropogénicas a su vez pueden clasificarse principalmente las emisiones individuales como: escapes de automóviles, estufas u hogares de residencias particulares y comerciales, humos de cigarrillos, etc; así como emisiones industriales, como: fundiciones, plantas de energía, etc. [14].

2.7 LOS COMPUESTOS BIOLÓGICOS DEL MATERIAL PARTICULADO

Pese a que la atmósfera no tiene una microbiota autóctona, es un medio muy utilizado por muchos microorganismos (esporas, bacterias, virus y hongos) para su dispersión. Algunos han creado adaptaciones especializadas para favorecer su supervivencia. Estos microorganismos tienen una gran importancia tanto biológica como económica. Producen enfermedades en plantas, animales y humanos, causan alteración de alimentos y materiales orgánicos y contribuyen al deterioro y corrosión de monumentos y metales. Las enfermedades transmitidas por el aire son las



respiratorias (neumonía, tosferina, tuberculosis, legionelosis, resfriado, gripe), sistémica (meningitis, sarampión, varicela, micosis) y alergias [15].

La mayoría de los estudios de contaminación atmosférica se refieren a las partículas y su caracterización física y química; son escasos y poco concluyentes los estudios sobre material microbiológico. Si bien no hay antecedentes que afirmen la existencia microorganismos asociados a las enfermedades respiratorias, tampoco existen estudios que lo nieguen. Los contaminantes atmosféricos de la fase respirable son de tamaño entre PM₁₀ y PM_{2,5}, correspondiente al rango de tamaño microbiano, abriendo la posibilidad de encontrar diversos microorganismos asociados a la microbiota, los cuales pueden relacionarse con enfermedades respiratorias ya sea por su agente causal o favorecer la infectividad del patógeno actuando en conjunto. La abundancia de los microorganismos dispersos en el aire puede deberse a diversos factores como circulación turbulenta, vehículos, viento, temperatura, disponibilidad de agua, cantidad de polvo suspendido, etc. Cabe destacar que los agentes contaminantes atmosféricos (NO, CO, hidrocarburos) pueden tener un efecto protector para los microorganismos, dependiendo de la especie. El tiempo que permanecen los microorganismos en el aire depende de la forma, tamaño, peso y de la existencia y potencia de las corrientes aéreas que los sostengan y los eleven. La inhalación continua de partículas contaminantes, incrementa la susceptibilidad a las infecciones respiratorias principalmente en las ciudades contaminadas con derivados de hidrocarburos los que aumentan los niveles de gravedad de las infecciones respiratorias [16].

Aunque la atmósfera resulte un medio hostil para los microorganismos, existe un número significativo en la troposfera inferior, siendo el viento su principal agente de dispersión. Algunos se han adaptado para favorecer su supervivencia y dispersión en la atmósfera, pero lo más común es encontrarlos en forma de esporas, las cuales no requieren nutrientes dado su baja actividad metabólica, permitiendo resistir en condiciones de desecación y diferentes temperaturas [17].



2.8 EFECTOS ADVERSOS DEL MATERIAL PARTICULADO EN LA SALUD

Según la OMS (2006), el aire limpio es un requisito básico para la salud y el bienestar humano, su contaminación en espacios abiertos urbanos y en espacios cerrados producen más de dos millones de muertes prematuras cada año, especialmente en las poblaciones de los países en desarrollo [18].

Numerosos estudios epidemiológicos han demostrado el efecto negativo de los aerosoles en la salud, los cuales ingresan al organismo principalmente a través del aparato respiratorio; la deposición de las partículas en diferentes partes del cuerpo humano dependen de su tamaño, forma y densidad; sus efectos dependen de la granulometría, la morfología, composición química y tiempo de exposición. El PM10 pueden alcanzar la región traquebronquial, mientras que el PM2,5 pueden alcanzar la cavidad alveolar, siendo éstas las principales causas de los incrementos en la mortalidad [19]. Las partículas más pequeñas ($< 10 \mu\text{m}$) penetran profundamente, pudiendo alcanzar hasta los alveolos donde se depositan o pasan al torrente sanguíneo, sirviendo como vehículo de transporte hacia otros tejidos. Esto provoca una disminución de la capacidad de defensa de los macrófagos alveolares, sobresaturan la capacidad de limpieza mucociliar; también se han asociado con fenómenos irritativos como: tos crónica, ronquera, síntomas respiratorios nocturnos, neumopatías, bronquitis, asma bronquial y cáncer pulmonar. [2]

Los mecanismos de defensa del cuerpo humano tienen la capacidad de remover partículas inhaladas con diámetros superiores a $10 \mu\text{m}$, sin embargo, las partículas con diámetros menores (conocidas como inhalables) pueden ingresar y depositarse en el sistema respiratorio humano [20].

Las figuras 2.8.1 y 2.8.2 muestran los agentes que afectan el aparato respiratorio y en la salud del ser humano:

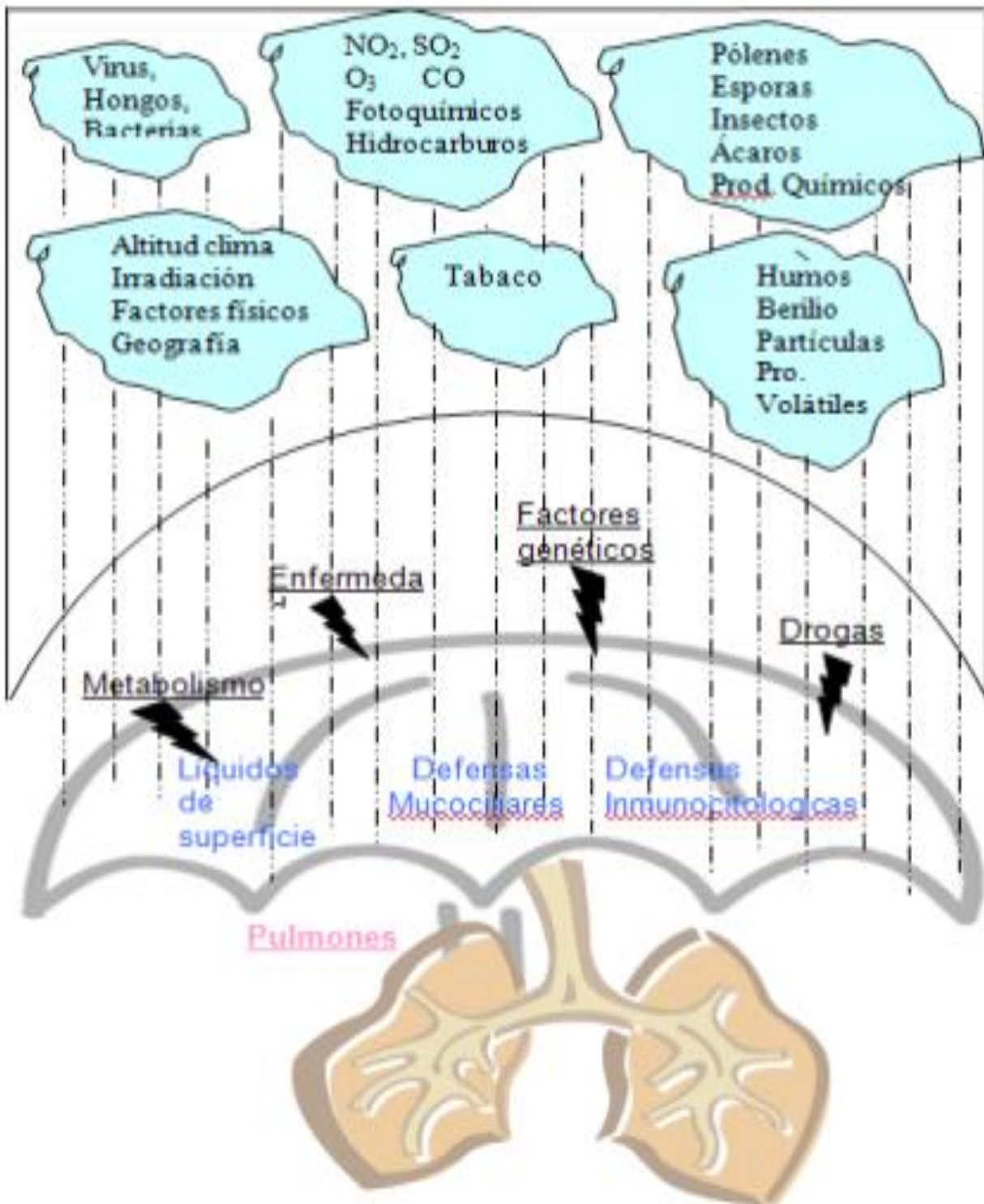


Figura 2.8.1. Agentes que agreden el aparato respiratorio del ser humano.

Fuente: Cícero Sabido, Raúl y Cano Valle, Fernando. Efectos de la contaminación atmosférica en el aparato respiratorio. Capítulo XIII.

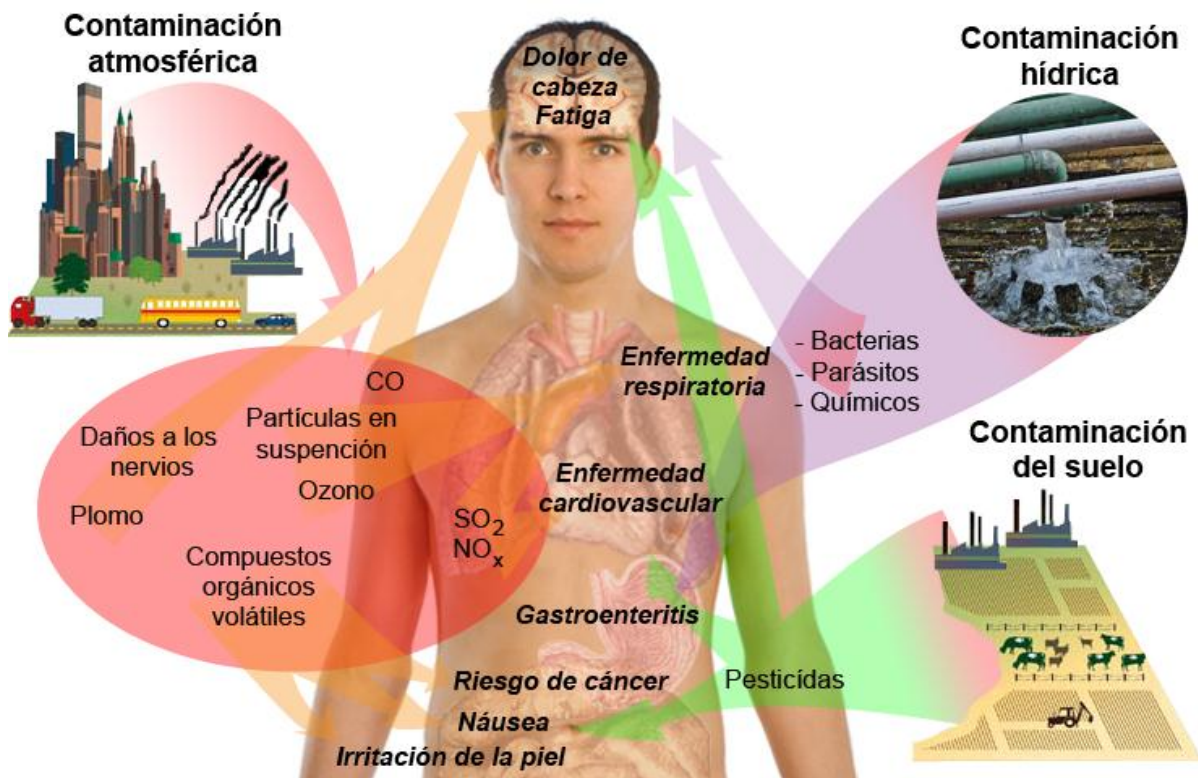


Figura 2.8.2. Efecto de la contaminación en la salud

Fuente: <http://es.wikipedia.org/wiki/Contaminaci%C3%B3n> (25 de mayo de 2014)

Recientes investigaciones en poblaciones humanas de EE.UU y Europa (Friedlander y Lippmann, 1994) sugieren que la inhalación de partículas finas a concentraciones menores a la concentración estándar, induce un riesgo elevado de muerte prematura, incremento en las admisiones hospitalarias y una serie de otros efectos adversos para la salud. Se desconoce el mecanismo biológico que podría ser responsable de estos efectos. No está claro si el efecto es producido por la partícula misma, por un componente especial o por una mezcla de contaminantes. Dockery y col, 1993 han demostrado que después de eliminar diversos factores confundentes, la razón de tasa de mortalidad entre las ciudades más contaminadas y menos contaminadas en EE.UU fue de 1,26. Estos mismos autores han informado que la contaminación en ciudades que tenían niveles de partículas totales de 34,1 a 81,9 mg/m³, partículas PM₁₀ de 18,2 a 46,5 mg/m³ y partículas finas PM_{2,5} de 11 a 29,6 mg/m³, estaba asociada con muerte por cáncer pulmonar y enfermedades cardiopulmonares. La mortalidad estaba mejor correlacionada con la concentración de partículas finas y con la concentración de sulfatos [2].



La asociación entre exposición aguda a partículas e incremento en la mortalidad y morbilidad ha sido observada en:

- Climas fríos y calurosos
- Áreas dominadas por contaminación atmosférica vehicular e industrial
- Áreas donde la contaminación del aire es asociada con capa de inversión térmica en el invierno y por contaminación fotoquímica en el verano
- Áreas con mezcla de contaminantes
- Áreas donde la contaminación es debido únicamente a partículas

Estos resultados plantean las siguientes preguntas que están siendo ampliamente discutidas por comités de científicos en países desarrollados: ¿Cuál es la concentración de PM que no tiene efecto en la salud humana?. ¿Existe una dosis umbral de PM para la población?. En la actualidad no existe la respuesta a estas interrogantes y que se requiere de nuevos métodos de investigación para estudiar los efectos que se presentan en la salud humana a bajas concentraciones del material particulado. Diversos estudios han investigado la asociación entre contaminación atmosférica y exceso de mortalidad. Un análisis de ocho estudios en diferentes ciudades de Estados Unidos ha calculado que un aumento de PM₁₀ de 10 mg/m³ (como promedio de 24 horas) se asocia con un incremento en la mortalidad diaria de 1 % [2].

La exposición a PM₁₀ ya sea a corto plazo (24 horas) o largo plazo (años), ha sido relacionada con enfermedades y muertes debido a la generación de problemas cardiacos y pulmonares. La exposición a niveles altos de PM₁₀ genera problemas en la salud que se incrementan progresivamente. El riesgo va desde la irritación de las vías respiratorias, tos, dificultad para respirar, disminución de la función pulmonar, asma agravada, desarrollo de bronquitis crónica, arritmia cardiaca, infartos no letales y muerte prematura en personas con problemas del corazón y pulmones [21].

El rango de tamaño que puede considerarse peligroso en relación a originar efectos sobre la salud humana y afectar la calidad del aire está comprendido entre 0,1 a 10 micras de diámetro ya que en general, estas partículas una vez inhaladas tienen



mayor capacidad de penetración en el sistema respiratorio. Las partículas PM10 se depositan en las vías respiratorias superiores (nariz) y en tráquea y bronquios, mientras que las PM2,5 de menor diámetro pueden alcanzar a los bronquiolos y alveolos pulmonares. Las partículas respirables pueden ser irritantes respiratorios, sobre todo en personas asmáticas. Los efectos sobre la salud dependen del tipo de partícula y su facilidad de penetración en el organismo. Entre estos síntomas están:

- Irritaciones e inflamaciones de vías respiratorias y ojos, (alveolitis, bronquiolitis, fibrosis...)
- Mayor incidencia y agravamiento de enfermedades respiratorias y cardiovasculares.
- Aumento de la frecuencia de cáncer pulmonar a largo plazo.
- Enfermedades infecciosas [22].

2.9 ESTUDIOS BIOQUÍMICOS Y TOXICOLÓGICOS DE AGENTES CARCINOGENÉTICOS EN EL MATERIAL PARTICULADO

La inducción de un cáncer es un proceso que ocurre en etapas. La etapa de “iniciación” implica la unión de un agente cancerígeno al DNA alterando la información genética. Las siguientes etapas de “promoción” y “progresión” conducen a la formación de tumores malignos y metástasis. No todos los agentes químicos son cancerígenos per se, los HAPs por ejemplo necesitan previamente biotransformarse en el organismo por las monooxigenasas en metabolitos que son los que se unen al DNA dando comienzo a la etapa de “iniciación”. La unión al DNA no significa necesariamente la producción de un tumor, ya que la lesión en el material genético puede quedar dormida por muchos años y nunca manifestarse, o bien hacerlo después de mucho tiempo, por ejemplo 20 o 30 años. Esto explica la aparición de un cáncer años después que ha cesado la exposición [2].

La determinación de la toxicidad de un agente químico o de mezclas de contaminantes demanda un alto costo, para ello se realiza ensayos en diversas especies animales por meses o años. Una alternativa es el empleo del “Test de Ames” que utiliza ensayos microbiológicos para determinar la mutagenicidad a



bacterias de un agente químico o de una mezcla. Los resultados revelan la existencia de agentes mutagénicos directos e indirectos. Los primeros representan un mayor riesgo para la salud humana por cuanto producirán mutaciones independientemente si funciona o no el sistema de activación. Entre los mutágenos directos se encuentran los nitroarenos que son producidos en la combustión de los motores diesel y en reacciones fotoquímicas atmosféricas. También se ha realizado ensayos de inyección a ratas de extractos del material particulado del aire de Santiago, produciendo un incremento en la actividad de las monooxigenasas que activan agentes precancerígenos a cancerígenos. Otros estudios indican que al incubar linfocitos humanos con extractos del material particulado del aire de Santiago, permiten concluir que los extractos contienen contaminantes que producen aberraciones cromosómicas en células humanas [2].

En el material particulado del aire de Santiago se han identificado y cuantificado 18 compuestos diferentes de HAPs, seis de ellos han sido descritos como cancerígenos por la OMS: benzo (a)antraceno, benzo (a) fluoranteno, benzo (k) fluoranteno, benzo (a) pireno, dibenzo (a,h)antraceno, indeno (c,d) pireno. Estos niveles de HAPs son superiores a los encontrados en estudios similares realizados en Holanda, Alemania, Estados Unidos y Nueva Zelandia. Si bien Las concentraciones en más de 100 muestras analizadas en los últimos 3 años fueron más elevadas en los meses de invierno, sin embargo las concentraciones en los meses de primavera y verano aunque menores continuaron siendo muy altas [2].

2.10 SINERGIA DEL MATERIAL PARTICULADO CON OTROS CONTAMINANTES DEL AIRE

Los efectos de los contaminantes dependen tanto de la dosis, duración de la exposición y de la susceptibilidad de las personas expuestas. La dosis recibida es directamente proporcional a la concentración, la duración y la ventilación; a mayor ventilación, el pulmón recibe una mayor carga de contaminantes. A su vez la ventilación se favorece con el aumento de la temperatura, humedad, altitud, el ejercicio físico, el embarazo y la hipoxemia de algunos pacientes respiratorios. En lo



referente a la susceptibilidad, los más afectados son los enfermos respiratorios y los cardiovasculares [23].

Se ha postulado una sinergia en los efectos de la exposición a PM y SO₂, así como entre la exposición simultánea a SO₂ y O₃. No hay estudios que avalen concluyentemente una sinergia entre PM y O₃. Existen fenómenos de sinergia y potenciación de los efectos dañinos de los contaminantes, especialmente sobre el aparato respiratorio y de manera especial los óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno y ozono. De aquí la importancia de tomar las debidas precauciones especiales de protección de la población, aun cuando los niveles de cada uno de éstos contaminantes no justifiquen por si solos tales medidas [23].

2.11 ÍNDICE DE LA CALIDAD DEL AIRE - ICA

El índice de calidad del aire (ICA) se considera un indicador global de la calidad del aire en un momento determinado y en una estación de monitoreo concreta. El ICA se ha de interpretar como un indicador orientativo de la calidad del aire enfocado al público en general. Los especialistas deberán tener en cuenta otros factores a la hora de estudiar los niveles de contaminación. Se estudia el comportamiento de la contaminación atmosférica de los contaminantes. Se recomienda la utilización de este ICA para la evaluación de la contaminación del aire en los asentamientos humanos como una buena herramienta para la información y la gestión ambiental. [24].

En la tabla 2.11.1 se presenta el valor del ICA y su correspondencia de concentración de PM₁₀; de acuerdo al rango de éste índice, se lo clasifica y asigna un color determinado, el cual representa cuan bueno o malo es la calidad del aire; también se indica la población que puede verse afectada por tales concentraciones, así como sus efectos en la salud y las respectivas recomendaciones de protección y de guía para las autoridades sanitarias:

Tabla 2.11.1. Categoría de calidad para el ICA y sus efectos en la salud

INDICE DE CALIDAD DE AIRE – ICA						
Valor del índice	Color	PM10 24 h ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	clasificación	Población afectada	Efectos en la salud	Recomendaciones en salud
0-50	verde	0-54	Bueno	Niños menores de 12 años con antecedentes de asma, o síndrome bronco-obstrutivo recurrente, y mayores de 60 años con antecedentes de enfermedad pulmonar obstructiva crónica - EPOC	A pesar que los niveles de contaminación están por debajo de la norma de calidad de aire, cualquier concentración de contaminantes puede tener afección en la salud, con el inicio de síntomas o molestias asociadas al sistema respiratorio, tales como irritación de mucosas	Prestar atención a la presencia de síntomas asociados al sistema respiratorio de las personas. Sin embargo dentro de ésta categoría, toda la población podrá realizar sus actividades cotidianas al aire libre sin ninguna restricción.
51 - 100	amarillo	55-154	moderado	El grupo anterior, fumadores, todos los niños menores de 12 años, y adultos mayores de 60 años y población que realiza ejercicio o labora al aire libre	Incremento de la probabilidad de ocurrencia de síntomas respiratorios tales como irritación de mucosas, dolor de cabeza, malestar general y tos en personas sensibles, con enfermedades respiratorias y/o cardiovasculares. En cuanto a las personas sanas hay irritación de mucosas	Personas extremadamente sensibles, como niños con asma y adultos mayores de 60 años con enfermedad cardio-cerebro-vascular deben reducir la actividad física fuerte o prolongada. Activación de alertas epidemiológicas por parte de la autoridad sanitaria
100 - 150	naranja	155-254	Desfavorables para grupos sensibles	El grupo anterior más población general	Personas de los grupos sensibles pueden presentar enfermedades respiratorias y cardiovasculares o complicación de las mismas. Las personas sanas presentan un incremento de ocurrencia de síntomas respiratorios como irritación de mucosas, dolor de cabeza, malestar general, tos.	Personas con enfermedades cardíacas o respiratorias, mayores de 60 años y niños especialmente menores de 5 años, deben evitar la actividad física fuerte o prolongada y hacerlo en espacios cerrados y corto tiempo. Activación de alertas epidemiológicas por parte de la autoridad sanitaria
151 - 200	rojo	255-354	Desfavorables para grupos sensibles	El grupo anterior más población general	Complicación de enfermedades en las personas de los grupos sensibles. En las personas sanas se da el inicio de enfermedades respiratorias y cardiovasculares	Especialmente las personas con enfermedades cardiovasculares o respiratorias, mayores de 60 años y niños menores de 5 años deben reducir la actividad física fuerte o prolongada. Seguir la señal de alerta epidemiológica por parte de la autoridad sanitaria.
201 - 300	púrpura	355-424	Muy desfavorable	El grupo anterior más población general	La población sensible presenta efectos severos y en la población en general se aumenta el número de enfermedades respiratorias y cardiovasculares	Especialmente las personas con enfermedades cardiovasculares o respiratorias, mayores de 60 años y niños menores de 5 años deben reducir la actividad física fuerte o prolongada. Seguir la señal de alerta epidemiológica por parte de la autoridad sanitaria.
301 - 500	marrón	425-604	Peligroso	El grupo anterior más población general	Continúa la activación de la alerta epidemiológica pues la población en general ya presenta daños en el sistema respiratorio y cardiovascular	Efectos severos en toda la población. Seguir señal de alerta epidemiológica por parte de la autoridad sanitaria restringiendo la salida al aire libre de toda la población, en caso de salir, usar tapabocas

Fuente: Cuesta, O., Wallo, A., Colazo, A. *El uso del índice de calidad del aire (ICA) en la gestión ambiental. Cuba*



2.12 NORMATIVAS NACIONAL E INTERNACIONAL

El objetivo de las Normativas es el reducir al máximo las concentraciones de PM10 para minimizar los efectos en la salud del ser humano y su entorno. Estas Normas cada vez son más estrictas y el control de partículas de diámetro cada vez menor. A continuación se muestra la tabla 2.11.1, en donde se muestra las Normativas para PM10 de algunos países:

Tabla 2.12.1 Normativa Internacional para el Material Particulado PM10

RESUMEN DE NORMATIVA INTERNACIONAL PARA MATERIAL PARTICULADO				
País	Anual $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Diario $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Año dictación	Entrada de vigencia
EE.UU	50 revocada	150 150	1997 2006	
California, EE.UU	20	50	2002	2003
Newfoundland y Labrador, Canadá	No hay	50	2004	
Australia	No Hay	50	1998	2008
Ecuador	50	150		2003
México	50	120	2005	2005
Perú	50	150	2001	2001
Suiza	29	50	1998	
OMS	20	50		2005
Unión Europea	40	50	1999	2005

Fuente: Propuestas de norma de PM2,5 para Chile. Luís Abdón Cifuentes. 2009

Según el Registro Oficial N° 464 de martes 7 de junio de 2011, estable que el promedio aritmético de la concentración de PM10 de todas las muestras en un año **no deberá exceder de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$** ; el promedio aritmético continuo de 24 horas, **no deberá exceder de $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$** .



2.13 MÉTODOS PARA LA CARACTERIZACIÓN DE PM10

Caracterizar el PM10 implica definir su composición, su tamaño aerodinámico y su morfología.

A continuación se mencionan algunas experiencias sobre caracterización de PM10:

CONTAMINACIÓN POR MATERIAL PARTICULADO EN QUITO Y CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DE LAS MUESTRAS [25]:

Luego del análisis gravimétrico, los filtros se almacenaron hasta su caracterización. El carbón se analizó mediante el método S.O.P. No. MLD 031 en un equipo Shimadzu TOC 5 000 °C. Los iones se analizaron con el método SOP MLD007 mediante cromatografía iónica en un equipo Metrohm IC 861 con una columna Metrosep A Supp 4/5. El Departamento de Investigación de la Escuela Politécnica del Ejército colaboró tomando algunas imágenes de las muestras por medio de microscopía electrónica. Sin embargo, hasta el momento no se ha podido analizar de las imágenes.

NIVELES, COMPOSICIÓN Y FUENTES DE PM10 y PM2,5 EN ESPAÑA [26]:

Se emplearon captadores gravimétricos de alto volumen, con resolución diaria de 24h, con frecuencia de dos filtros por semana. Para la determinación en continuo de los niveles de PM10, PM2,5 y PM1 se emplearon contadores ópticos (espectrómetros láser GRIMM), con resolución horaria. Para la medida de los niveles de PM10, se empleó la instrumentación automática del tipo TEOM 144a Rupperecht & Patashnik, o monitores de atenuación beta (Beta Met One Bam 1020 o Dasibi 710) en todas las estaciones excepto en Aragón. Los Monitores convencionales se emplearon para la determinación de las concentraciones de contaminantes gaseosos (SO₂, NO, NO₂, O₃ y CO) en todas las estaciones.

ESTUDIO Y EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA POR MATERIAL PARTICULADO EN ESPAÑA [27]:

Para el muestreo periódico de PM10 en la estación de control de Onda de la Generalitat Valenciana emplearon captadores de alto volumen. Las concentraciones se calcularon por gravimetría en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y se sometieron al método de digestión en



dos etapas y la solución resultante se analizó por espectrometría de emisión con plasma acoplado inductivamente para el análisis de elementos mayoritarios y con espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente para el análisis de elementos traza. Otra fracción de filtro se ha lixiviado con agua deionizada, grado mili-Q para el análisis de aniones, mediante electroforesis capilar (CE) y de amonio utilizando colorimetría TIA.

2.14 AZOGUES Y SU CRECIMIENTO VEHICULAR E INDUSTRIAL

La ciudad de Azogues es la capital de la provincia del Cañar, se ubica en el sur de la misma, en plena Región Interandina del Ecuador a 2 518 m sobre el nivel del mar, posee un clima templado debido a su altitud. Según el último censo del INEC tiene una población de 33 848 en la ciudad y 70 910 en el cantón. Su nombre hace referencia al azogue, antiguo nombre del mercurio, mineral abundante que existió en la zona. La mayoría de las calles están asfaltadas o pavimentadas, especialmente las del centro, sin embargo, algunas están desgastadas y el resto son lastradas [28].

Según la página electrónica <http://www.azoguenos.com/home/area-y-poblacion> , (9 de junio de 2014) se destaca la siguiente información:

Área aproximada: 1 200 km².

Población urbana: 46,19% hombres y 53,81% mujeres.

Hogares: 6528

Habitantes por hogar: 4,20

Tasa promedio de crecimiento anual de la población: 2,55

Densidad poblacional bruta: 29,67 hab/ha.

Densidad poblacional neta: 48,58 hab/ha.

Area bruta: 1 323,47 ha.

Area neta: 863,64 ha.

Area ocupada: 123,40 ha (17,31%).

Area ocupada con vía: 246,41 ha (34,16 %).

Area ocupada con zonas de riesgo: 9,47 ha (7,68 %).

Coeficiente de uso de suelo: 34,72%.

División administrativa: Parroquias Urbanas: San Francisco, Borrero, Bayas y Azogues.

Zonas de planificación: Bayas, Charasol, Bellavista, La Playa, Chacapamba, Uchupucum y Central.

Coeficiente de uso de suelo: 34,72%.

Parroquias Rurales: Luis Cordero, Guapán, Javier Loyola, Cojitambo, San Miguel, Taday, Pindilig, Rivera.

A continuación se muestran una fotografía de la ciudad de Azogues, tomada desde la zona sur occidental y un mapa:



Figura 2.14.1. Vista panorámica de la ciudad de Azogues

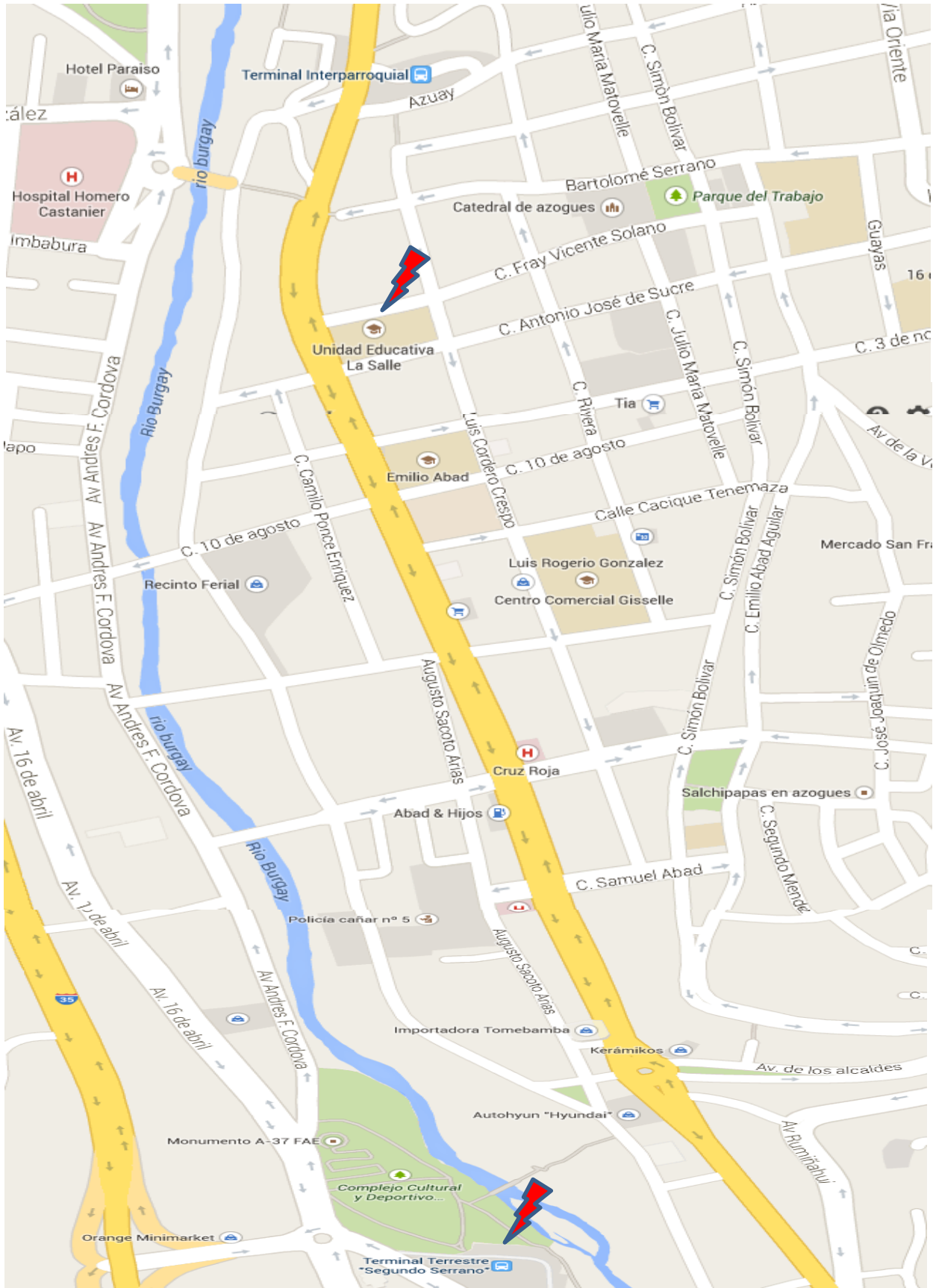


Figura 2.14.2. Mapa de Azuques
Fuente: Google Maps



El verano se presenta en los meses entre mayo y noviembre, mientras que invierno se presenta entre diciembre y abril.

Según la Empresa Pública Municipal de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento Ambiental del cantón Azogues EMAPAL EP, el volumen promedio de la precipitación durante el 2013 fue de 1,12 mm (Ofc.No. 0198-GA-DP).

La temperatura oscila entre 13 °C y 16 °C [29].

En cuanto se refiere al crecimiento vehicular en la ciudad de Azogues durante los tres últimos años, la Agencia Nacional de Tránsito – Azogues, brinda importante información que se muestra en la tabla 2.14.1:

Tabla 2.14.1. Vehículos matriculados en Azogues en los últimos tres años

AÑO	CANTIDAD DE VEHÍCULOS MATRICULADOS
2011	16 289
2012	16 625
2013	19 048

Fuente: Agencia Nacional de Tránsito – Azogues. Ofc.Nº 011 TH (E)-ANRCTTSV-AA-2014

En cuanto a la realidad industrial de Azogues, la única industria grande que existe es la fábrica de cementos “Guapán”, a parte de ella, funcionan dos ladrilleras y varias bloqueras. La industria manufacturera es sobre todo de tipo artesanal, destacándose las ramas de muebles de madera.



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

En la presente investigación se realizaron las siguientes actividades:

- DETERMINACIÓN DE LOS PUNTOS DE MONITOREO
- CALIBRACIÓN DEL EQUIPO
- TRATAMIENTO DE LOS FILTROS ANTES Y DESPUÉS DEL MONITOREO
- CUANTIFICACION DE PM10
- MUESTREO
- APLICACIÓN DE ENCUESTAS

3.1 MATERIALES

Para la ejecución de las actividades antes descritas se emplearon los materiales y equipos que se describen a continuación.

3.1.1 Materiales para la recolección del PM10

3.1.1.1 Filtros: Los filtros que se emplearon son de las siguientes características:

Tabla 3.1.1 Características del papel filtro para muestreo de PM10

CARÁCTERÍSTICAS DEL PAPEL FILTRO				
MATERIAL	CALIDAD DE PUREZA	DIMENSIONES	UNIDADES / LOTE	MARCA
Micro fibra de cuarzo	Alta	20,3 cm x 25,4 cm (8" x 10")	100	Whatman

La figura 3.1.1 muestra en la primera imagen un filtro nuevo en blanco y la segunda imagen un filtro material particulado depositado en 24 h de monitoreo.

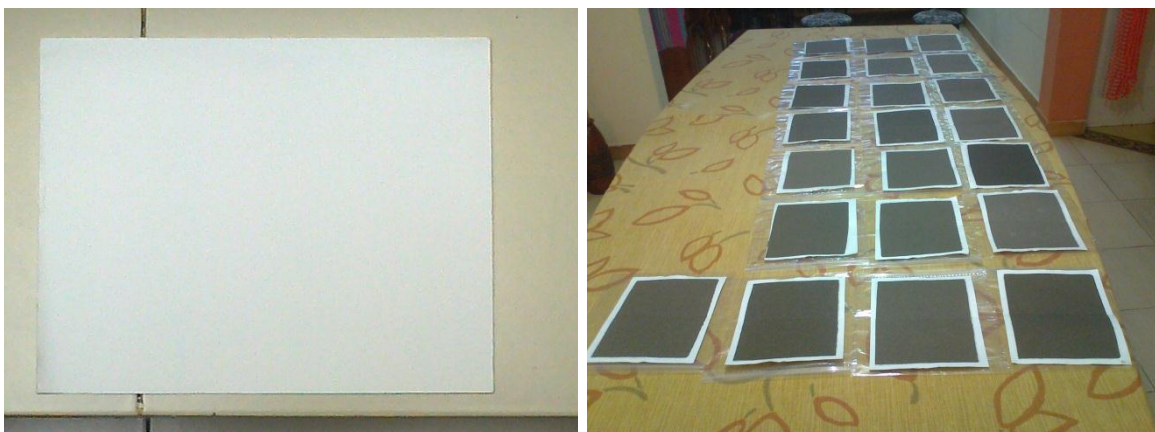


Figura 3.1.1 Filtros de microfibra de cuarzo de alta pureza



3.1.1.2 Otros materiales: Durante el trabajo al interior del laboratorio se puso atención en las buenas prácticas de trabajo como son el uso de mandil, guantes antiestáticos y pinzas de punta lisa para la manipulación de los filtros.

Tabla 3.1.2 Materiales empleados en el laboratorio

MATERIALES	
NOMBRE	CARACTERÍSTICA
Guantes	Anti estáticos
Pinzas	Punta lisa
Funda	Sellado

3.2 EQUIPOS

3.2.1 Equipo para la determinación de PM10

a) Fundamento del funcionamiento del equipo muestreador de alto volumen:

El Método de Referencia Federal (FRM) describe los requerimientos básicos de ejecución para todos los muestreadores PM10. Este equipo extrae las partículas cuyo diámetro es menor a 10 μm , mismas que son retenidas sobre un filtro que es pesado antes y después del muestreo para determinar la masa neta ganada de la muestra. El tiempo es controlado por un temporizador con exactitud de ± 15 minutos sobre un periodo de muestreo de 24 horas. La concentración de PM10 en el ambiente es computarizado como la masa neta dividida para el volumen de aire muestreado. Debido a que el muestreador opera en condiciones actuales o promedios de temporada, la rata de flujo operacional deberá ser corregida a las condiciones de referencia de la US EPA (298 k, 760 mmHg) para reportar. Las concentraciones serán expresadas en microgramos por metro cúbico estándar ($\mu\text{g}/\text{std.m}^3$) [30].

Al encender el equipo, se recomienda que éste permanezca en funcionamiento al menos unos 5 minutos hasta estabilizar el flujo de aire, al cabo de éste tiempo se

coloca el portafiltro con el filtro nuevo que ha sido previamente tratado en el laboratorio.

b) Dispositivo:

El equipo consta de una estructura metálica de aluminio, su masa aproximada es de 40 Kg y su altura de 1,62 m. Básicamente consta de dos partes: i) la estructura inferior, que contiene el motor que funciona con una corriente de 110 V, y dispositivos electrónicos de configuración de tiempos de monitoreo; ii) la estructura superior, consiste de un cabezal móvil, por cuyos bordes ingresa el aire succionado por el motor; en su interior se encuentran tubos y boquillas de ventilación, y en la base del cabezal se encuentra instalado un portafiltros extraíble que consiste en una malla sobre la cual se fija el filtro.

A continuación se presenta la Figura 3.2.1 en donde se aprecia el equipo en su parte externa y los dispositivos de monitoreo:



Figura 3.2.1 Equipo Muestreador de Alto Volumen

Éste equipo fue facilitado por la empresa Industrias Guapán a través de la firma de Convenio suscrito con la facultad de Ciencias Químicas de la Universidad de Cuenca.

En la Figura 3.2.2 se especifican cada una de las partes internas del muestreador de Alto Volumen de PM10.

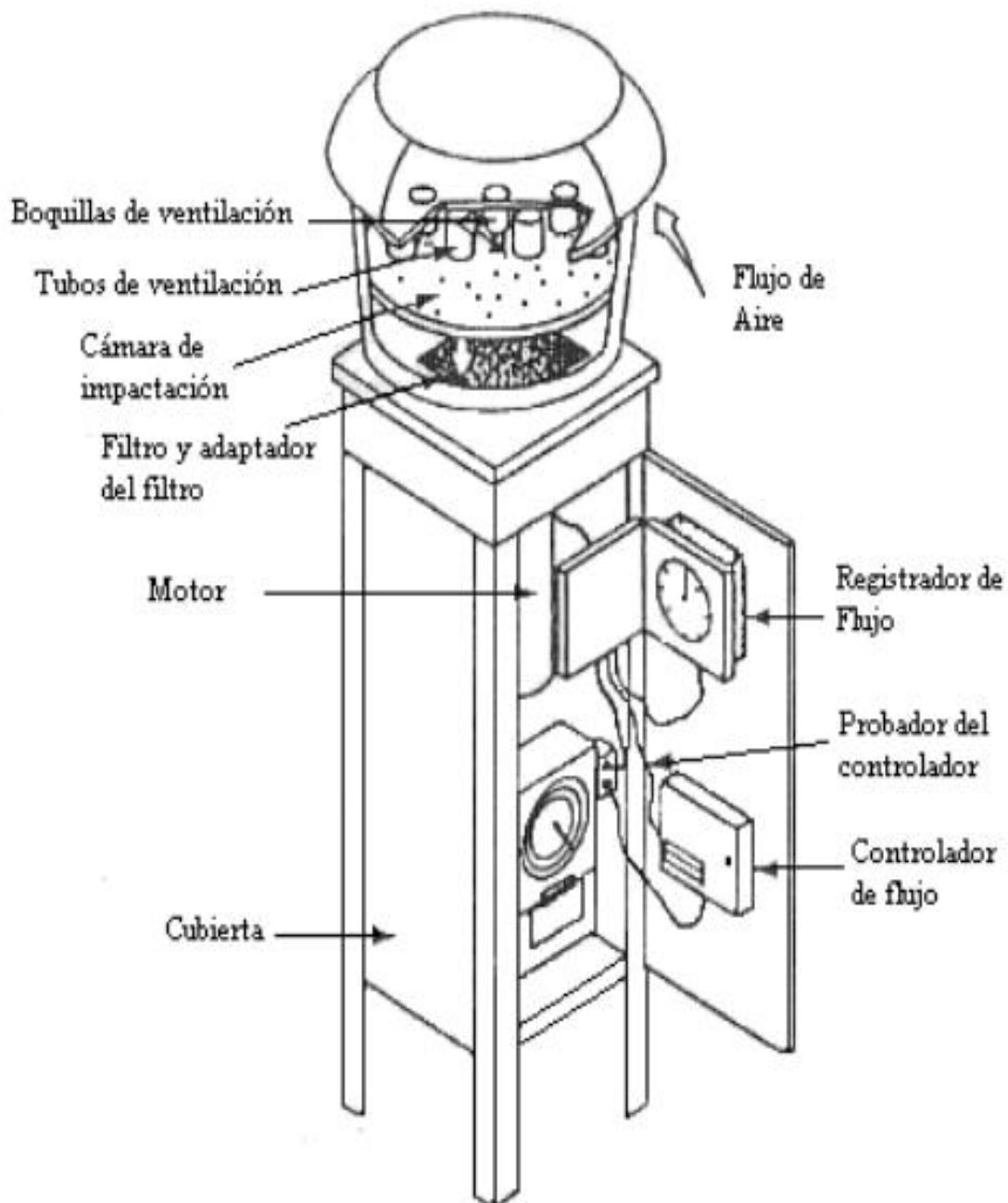


Figura 3.2.2 Elementos del equipo Muestreador de Alto Volumen PM10

Fuente: Protocolo para muestreo de partículas PM10 utilizando el equipo Muestreador de Alto Volumen PM10 de Flujo Constante. Red de Vigilancia del Aire

La Figura 3.2.3 muestra las partes del compartimiento de impactación del equipo muestreador de Alto Volumen PM10:

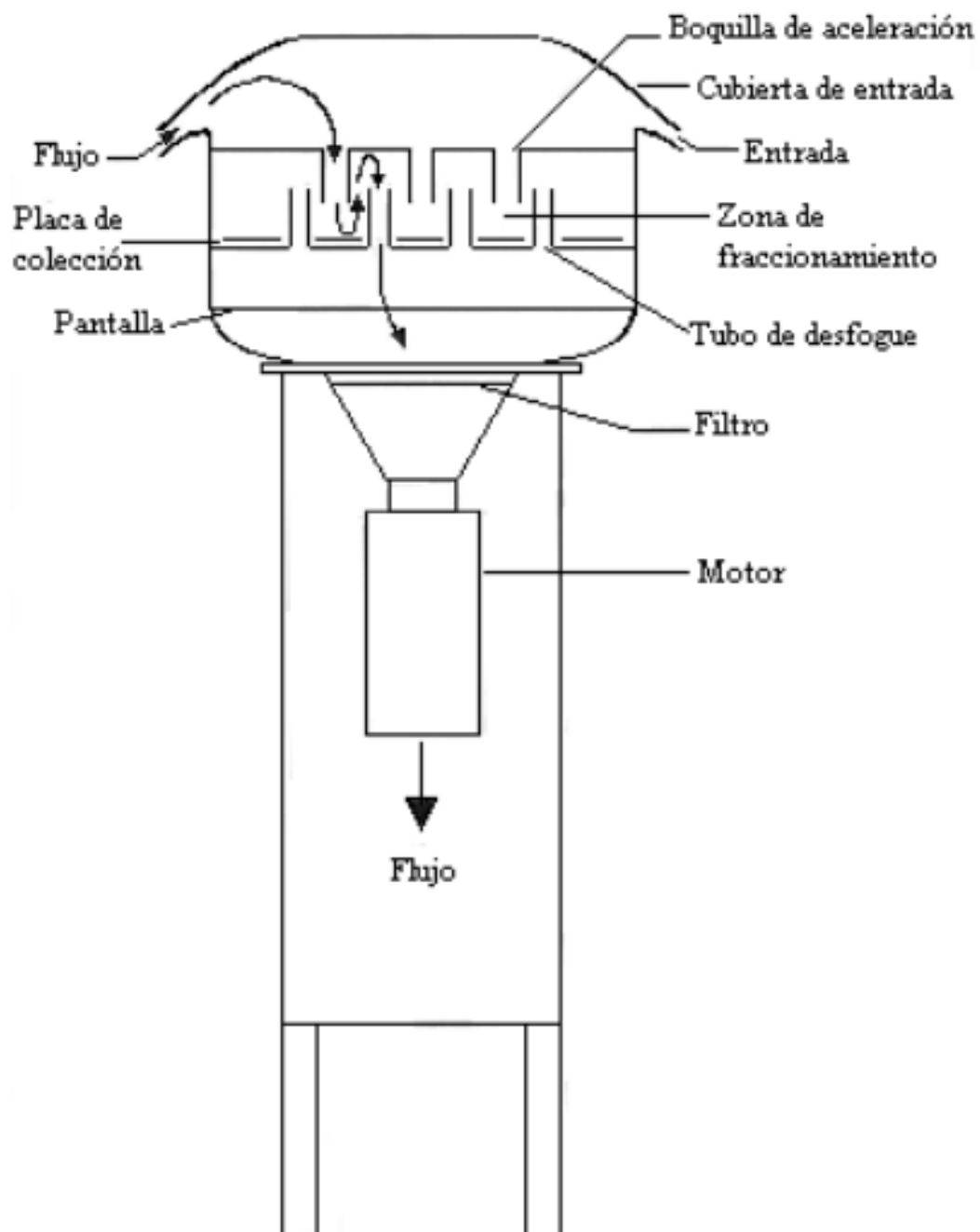


Figura 3.2.3 Partes del compartimiento de impactación del equipo PM10

Fuente: Protocolo para muestreo de partículas PM10 utilizando el equipo Muestreador de Alto Volumen PM10 de Flujo Constante. Red de Vigilancia del Aire

El portafiltros: Viene junto con el equipo. La primera imagen muestra el portafiltro con papel filtro nuevo, el cual es colocado en el interior del equipo para iniciar el muestreo. La segunda imagen muestra el portafiltro conteniendo al filtro lleno de material particulado recolectado en 24 h. Se trabajaron con dos portafiltros, uno que se encuentra en el interior del equipo y otro que será el reemplazante y que porta al filtro nuevo.



Figura 3.2.4 Portafiltros con filtros antes y después de un monitoreo

c) Procedimiento:

Para la operación del equipo, se siguieron los siguientes pasos:

- Se conecta el equipo a una toma de corriente de 110 V.
- Se enciende el equipo al menos unos 5 minutos antes de colocar el filtro, a fin de estabilizar los caudales de aire.
- Se configura el cronómetro para que funcione por 24 horas.

- Se instala el disco registrador Dixon, es un círculo de papel que gira permanentemente y sobre el cual se asienta una pluma o marcador. La línea continua indica que el equipo funcionó ininterrumpidamente las 24 h; una línea entrecortada indica los tiempos que el equipo dejó de funcionar durante el monitoreo, que generalmente se da por variaciones de voltaje.
- Luego de transcurridos 5 minutos, se levanta el cabezal para instalar el portafiltro con el filtro nuevo que ha sido previamente tratado en el laboratorio.
- Se cierra el cabezal teniendo la precaución que quede herméticamente cerrado.
- Se inicia el monitoreo de PM₁₀, presionando el respectivo botón de mando.
- Al cabo de 24 horas, se apaga el equipo, se retira el portafiltro con el filtro lleno de muestra de PM₁₀, que será trasladado al laboratorio para su respectivo tratamiento.
- Después de 4 días se vuelve a realizar el mismo procedimiento.

3.2.2 Desecador: Consiste en una cabina rectangular metálica en cuyo interior se colocan los filtros, tanto nuevos como usados, por un tiempo mínimo de 24 h antes de ser pesado. El objetivo de éste tratamiento es que el gel de sílice del desecador absorba la humedad que pudieran tener los filtros.

La figura 3.2.5 muestra el desecador empleado:



Figura 3.2.5 Desecador

3.2.4 Higrómetro: Para la medición de la humedad relativa y temperatura en el interior del laboratorio se empleó el equipo que se muestra a continuación:

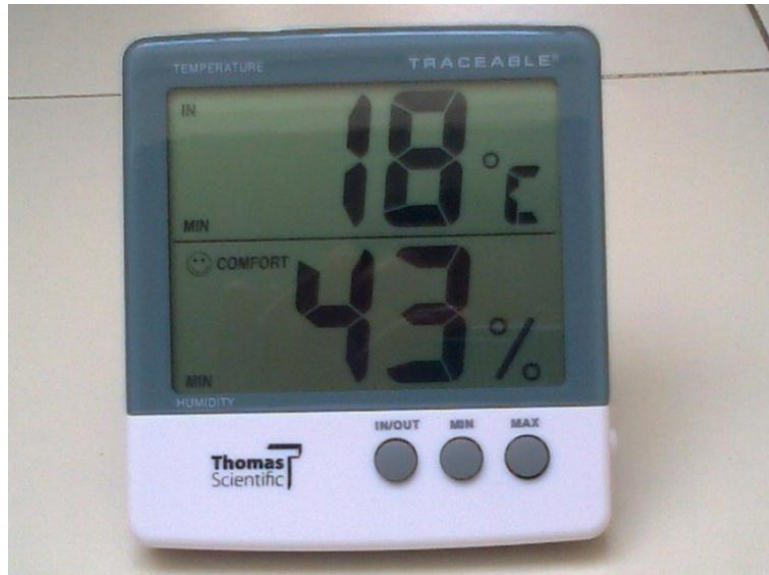


Figura 3.2.6 Higrómetro

3.2.5 Balanza: Se empleó una balanza analítica con resolución de 0,1 mg y precisión mínima de 0,5 mg, debidamente calibrada.



Figura 3.2.7 Balanza analítica

Tabla 3.2.1 Características de la balanza

CARACTERÍSTICAS DE LA BALANZA DE PRECISIÓN				
MARCA	PESO MÁXIMO	SENSIBILIDAD	PRECISIÓN MÍNIMA	SERIE
OHAUS	210 g	0,1 mg	0,5 mg	8033441059

Todos los equipos fueron facilitados por la Empresa Industrias “Guapán” y se encontraban en perfectas condiciones de funcionamiento y con las respectivas calibraciones.

3.3 RESUMEN DEL MÉTODO

La metodología empleada se basa en la normativa ecuatoriana, la cual a su vez se basa en la US EPA. Consiste en emplear filtros de microfibras de cuarzo de alta pureza ubicado en el interior del equipo muestreador descrito en el punto 3.2.1, el cual, gracias a un motor instalado en su interior absorbe aire del ambiente, mismo que es conducido hacia el filtro y sobre el cual quedan retenidas únicamente las partículas cuyo diámetro aerodinámico son mayores a 10 μm . Al cabo de 24 h de monitoreo el filtro es retirado del equipo y por diferencia entre los pesos inicial y final se determina la concentración de PM₁₀ recolectado por el filtro. La investigación realizada sirvió para cuantificar a través de métodos gravimétricos la concentración de PM₁₀ en el aire de inmisión de la ciudad de Azogues, en dos zonas específicas, la primera en la zona céntrica de la ciudad y la segunda en la zona sur occidental de la misma. A continuación se detallan cada uno de los procedimientos en los que se basa la metodología empleada.

3.3.1 Calibración del equipo

En base al convenio suscrito entre la Universidad de Cuenca y la empresa Industrias “Guapán”, se realizó la calibración del equipo, provisto por la misma empresa. Los datos de la calibración son:

Tabla 3.3.1 Datos del equipo muestreador de alto volumen

	M	B	R
FIJOS	2,01	-0,02902	0,999932
REGRESION	52,6544485	-5,21534537	0,998724682

			Qa (orificio)	Respuesta	Respuesta
			tasa de flujo	muestreador	corregida
Ordinal	Disco No.	Total AH ₂	m ³ /min	I	IC
1	18	9,8	1,369668822	52	45,24803191
2	13	7,9	1,231222787	43	37,41664177
3	10	7,1	1,167969335	38	33,06586948
4	7	4,9	0,972730849	28	24,36432488
5	5	2,9	0,751661517	14	12,18216244
		PENDIENTE:	52,65444845		
		CONSTANTE:	-5,21534537		
		COEF. COR.:	0,998724682		

NOMENCLATURA:

T.amb= temperatura ambiente

P.atm= presión atmosférica

m= pendiente de Q_{est} del orificiob= intersección de Q_{est} del orificio del

r= coeficiente de correlación

AH₂= diferencia de presión

manométrica

I= lectura del registrador durante la

calibración

IC= lectura corregida del registrador en

condiciones estándar

Q_{est}= flujo estándar indicado por elorificio calibrador (m³/min)

Vest= velocidad estándar

ug/m³ = microgramo por metro cúbico de aire M_n = masa neta expresada en gramos M_f = masa final (filtro con la muestra expresada en gramos) M_i = masa inicial (filtro vacío expresada en gramos) C_{est} = concentración de PM₁₀, expresado en microgramos por metro cúbico

T = tiempo de monitoreo efectivo expresado en minutos

FÓRMULAS PARA LOS CÁLCULOS:

$$M_n = M_f - M_i$$

$$Q_{est} = 0,594821142 \text{ m}^3/\text{min} \text{ (obtenido de la calibración del equipo)}$$

$$Vest = T * Q_{est} = 1440 * 0,59482114$$

$$Vest = 856,5424445 \text{ m}^3$$



$$C_{est} = \frac{M_n * 10^6}{V_{est}}$$

3.3.2 Instalación del equipo

El muestreador de Alto Volumen es un equipo amigable y capaz de proveer exactitud datos reproducibles cuando se encuentra debidamente calibrado y se lo opera y mantiene cuidadosamente. El procedimiento está incluido en las referencias dadas por la U.S. EPA, en nuestro caso, cumple con los siguientes requerimientos mínimos:

- El equipo se transporta cuidadosamente al sitio de monitoreo.
- Se recomienda que el cabezal se ubique a una altura entre 2 m a 7 m sobre el piso.
- Se ubican al menos 20 m de los árboles, edificios u otros obstáculos grandes.
- El cabezal no presenta restricción de flujo de aire.
- El cabezal se asienta sobre losa de concreto. Se recomienda no asentarlo sobre tierra o cascajo.
- El equipo no debe instalarse cerca de chimeneas o ventiladores.
- El muestreador debe atornillarse o anclarse a la plataforma del sitio.
- Se verifica que la toma de corriente sea de 110 V. Se sugiere emplear un supresor de voltaje eléctrico.

3.3.3 Cuantificación de PM10

Es importante que todos los procedimientos se sigan en estricto cumplimiento de las buenas prácticas de laboratorio.

- Se emplearon guantes antiestáticos en la manipulación de los filtros para evitar la contaminación e incremento de grasa natural de la piel.
- Tanto los filtros limpios como los que contienen muestra, fueron acondicionados dentro de un desecador durante 24 h, luego de éste tiempo se procedieron a los pesajes respectivos.
- En el interior del laboratorio de la empresa Industrias Guapán, donde se realizaron los pesajes, se trabajó en condiciones controladas de 25 °C y 42 % de humedad relativa.



- Para evitar contaminaciones de los filtros debe utilizarse vestuario adecuado (mandil y guantes).

3.3.2.1 Tratamiento del filtro blanco

- Se inicia con una inspección del filtro, si se detectan huecos, roturas o irregularidades, deberá desecharse y seleccionar otro filtro.
- Empleando una pinza de punta lisa, se toma una pieza de filtro, descrito en el numeral 3.1.1.1, previamente rotulado y se lo coloca en el interior del desecador descrito en el numeral 3.2.2, por el lapso mínimo de 24h.
- Se saca el filtro del desecador empleando la pinza de punta lisa, se lo introduce en la balanza analítica para obtener su masa inicial (tara).
- Se coloca el filtro nuevo en el porta filtro, se lo traslada hasta la estación de monitoreo para ser instalado en el equipo Muestreador de Alto Volumen, descrito en el numeral 3.2.1.
- Se levanta el cabezal del muestreador soltando las 6 agarraderas del soporte y suavemente doblar el cabezal hacia atrás hasta que el soporte esté asegurado en la segunda posición.
- Se aflojan las cuatro tuercas que sujetan al porta filtros. Debe inspeccionarse la malla del porta filtro por depósitos o material extraño. Si la situación amerita se limpiará y se verificará que los empaques no estén dañados o comprimidos. Debe cambiarse de ser necesario.
- Centrar el porta filtro sobre la malla del muestreador; apretar las cuatro tuercas diagonalmente en esquinas opuestas simultáneamente para asegurar una compresión uniforme.
- Asegurarse que la grabadora de flujo esté conectada al enjaulamiento del motor.
- Se enciende el equipo y se registran los datos respectivos de hora de inicio y contador digital. Al cabo de 24 h se apaga el equipo y se registra el dato de tiempo efectivo de monitoreo.

3.3.2.2 Tratamiento del filtro con muestra

- El filtro que contiene la muestra es retirado conjuntamente con el portafiltro y se lo traslada al laboratorio.

- El filtro con muestra se vuelve a introducir al desecador por un lapso mínimo de 24 h.
- Al cabo de éste tiempo el filtro es retirado del desecador e introducido en la balanza analítica para obtener la masa final (denso).
- La diferencia entre la masa final (denso) y la inicial (tara) nos permite obtener la masa neta ganada de la muestra.
- Los filtros con muestras se almacenan en fundas herméticas y protegidas de la luz [31].

Para una mejor visualización del procedimiento se presenta la figura 3.3.1 que muestra el diagrama de flujo que resume la metodología del monitoreo:

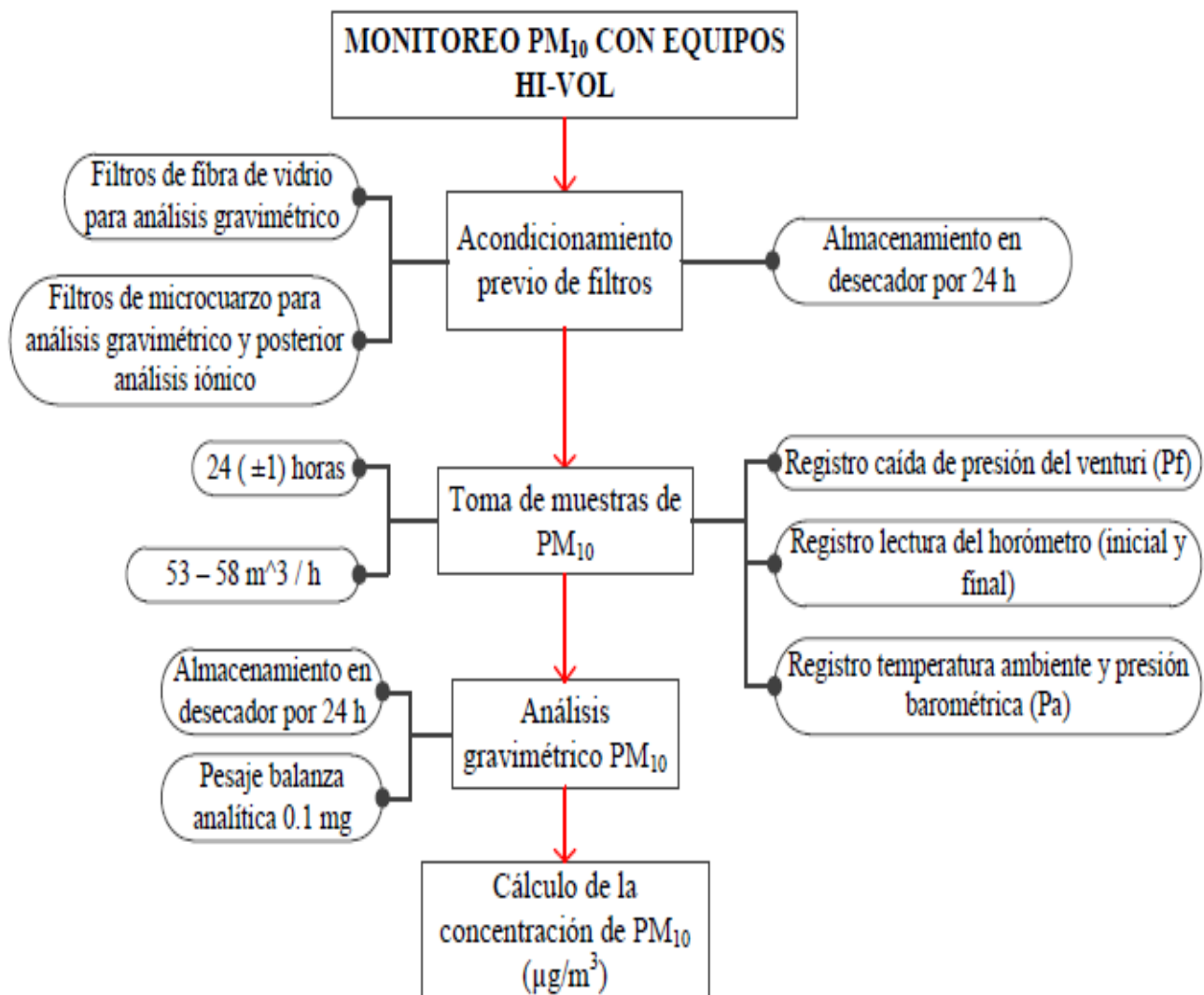


Figura 3.3.1 Diagrama de flujo de monitoreo de PM₁₀ con equipo Hi-Vol



Fuente: Carlos Mario González. Calidad del aire en la zona centro y oriente de la ciudad de Manizales: Influencia del Material Particulado PM10 y lluvia ácida. 2012

3.3.2.3 Datos y procesamiento de la información

En el anexo 1 se puede encontrar la totalidad de los datos obtenidos para los siguientes parámetros:

- Punto de muestreo
- Fechas de muestreo
- Número de filtro
- Masa: de filtro vacío, de filtro con muestra, la masa neta
- Contador digital
- Horario de monitoreo
- Tiempo de muestreo
- Flujo estándar “Qest” y velocidad estándar “Vest”

3.4 MUESTREO

El presente estudio se realizó durante los meses comprendido entre septiembre de 2013 hasta marzo de 2014, en dos estaciones de monitoreo.

3.4.1 Primera estación de monitoreo: Se consideraron varias opciones para el muestreo en la zona céntrica de la ciudad; la más conveniente resultó ser la terraza de la Unidad Educativa La Salle, rodeada por las calles Luis Cordero, Sucre, Avenida 24 de mayo y Serrano. Para la instalación del equipo se siguieron cuidadosamente las sugerencias presentadas en el punto 3.3.2. El equipo se asentó sobre losa de concreto y su altura respecto a la avenida 24 de mayo es de 12 m. En ésta estación el estudio se realizó durante los meses septiembre, octubre y noviembre de 2013; cada monitoreo fue de 24 horas, alternando cada cuatro días.

La instalación del equipo se realizó con la colaboración de funcionarios del GADM de Azogues, quienes cuentan con la experticia en el manejo de éstos equipos. En la figura 3.4.1 se observa al personal de ésta institución realizando la instalación del equipo.



Figura 3.4.1 Personal del GADM de Azogues en instalación de equipos

En la figura 3.4.2 se observa el equipo muestreador instalado y listo para iniciar con el monitoreo en la primera estación.



Figura 3.4.2 Primer punto de monitoreo: terraza de la Unidad Educativa La Salle

3.4.2 Segunda estación de monitoreo: Se encuentra localizado en la zona sur de la ciudad, a 1 Km del centro de la ciudad. El equipo se instaló en la **terrazza del edificio del terminal Terrestre**, cuya altura respecto a la vía es de 5,5 m. El monitoreo se realizó durante los meses de diciembre de 2013, febrero y marzo de 2014, cada monitoreo fue de 24 horas, alternando cada cuatro días.



Figura 3.4.3 Terraza del Terminal Terrestre de Azogues



Figura 3.4.4 Segundo punto de monitoreo: Terminal Terrestre

Cada monitoreo se realizó con una alternación de 4 días. En cada estación se recolectaron 22 muestras, dando un total de 44 en toda la investigación.

A continuación se muestra las tablas 3.4.1 y 3.4.2 en donde se informan los puntos de monitoreo y las fechas en que se realizaron las tomas de muestra:

Tabla 3.4.1 Fechas de monitoreo en la primera estación

PUNTO DE MUESTREO	UNIDAD EDUCATIVA LA SALLE										
FECHAS	01-sep-13	05-sep-13	09-sep-13	13-sep-13	17-sep-13	21-sep-13	25-sep-13	29-sep-13	03-oct-13	07-oct-13	11-oct-13
	15-oct-13	19-oct-13	23-oct-13	27-oct-13	31-oct-13	04-nov-13	08-nov-13	12-nov-13	16-nov-13	20-nov-13	24-nov-13

Tabla 3.4.2 Fechas de monitoreo en la segunda estación

PUNTO DE MUESTREO	TERMINAL TERRESTRE										
FECHAS	01-dic-13	05-dic-13	09-dic-13	13-dic-13	17-dic-13	21-dic-13	02-feb-14	06-feb-14	10-feb-14	14-feb-14	18-feb-14



	22-feb-14	26-feb-14	02-mar-14	06-mar-14	10-mar-14	14-mar-14	18-mar-14	22-mar-14	26-mar-14	30-mar-14	03-abr-14
--	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------

3.5 APLICACIÓN DE ENCUESTA

Con la finalidad de conocer si las afecciones respiratorias de la población son comunes y con el fin de averiguar si la población conoce sobre las enfermedades que el polvo puede producir en las personas y el riesgo que produce el PM10, se realizó la siguiente encuesta a una población de 100 personas.

PREVALENCIA DE INFECCIONES RESPIRATORIAS EN LA CIUDAD DE AZOGUES

FECHA DE ENCUESTA: 5 de julio de 2014

NOMBRE:

EDAD (en años):

SEXO: masculino () femenino ()

1. Nivel de Educación:

Primaria () Secundaria () Universidad () Postgrado ()

2. Ocupación: _____

3. El trabajo que usted realiza, lo hace en:

Al interior de una casa () Al interior de una oficina ()

Al interior de un vehículo () Al interior de una fábrica ()

En la calle () En el campo ()

Otro () _____

3. Zona donde vive: Urbana () Rural ()

4. ¿Cree Ud. que el aire que se respira en la ciudad de Azogues garantiza la salud de la población? Si () No ()

4. ¿Cree usted que la cantidad de polvo en Azogues es mayor que la de otras ciudades del país? Si () No ()

Si su respuesta fue "Si", ¿A qué cree que se debe principalmente?:

Emisiones de la fábrica Industrias Guapán ()

Emisiones de los vehículos ()



Proveniente de las carreteras sin asfaltar ()

Labores artesanales como ladrilleras, bloqueras, picapedreros ()

Otros: _____

7. ¿Conoce usted de los riesgos de aspirar polvo en el aire ambiente durante tiempos prolongados? Si () No ()

Si su respuesta fue "Sí", indique el riesgo más preocupante:

8. ¿Conoce Ud. si existen estudios sobre la calidad del aire en ciudad de Azogues? Si () No ()

9. Estima Ud. que sería importante y necesaria que alguna entidad emprenda un proyecto de investigación sobre la calidad del aire de Azogues?

Si () No ()

Datos Sobre Enfermedad Respiratoria

8. Ha estado enfermo en los últimos 7 meses con: (Marcar con una "x" en las casillas que correspondan)

Tos ()	Resfriado común ()
Amigdalitis ()	Faringitis ()
Sinusitis ()	Asma ()
Insuficiencia Respiratoria ()	Neumonía ()
Bronconeumonía ()	POC (Enfermedad pulmonar obstructiva crónica) ()

9. ¿Cuánto tiempo le duró esta enfermedad?. (Anote número de días)?

10. ¿Cuántas veces se ha enfermado en los últimos 7 meses?

11. ¿Cuántos días después de haberse enfermado acudió al médico?

El mismo día ()	al siguiente día ()
a los dos días ()	no consultó ()

12. ¿Quién le dio tratamiento?

- Centro de Salud ()
- Médico Particular ()
- Curandero ()
- Farmacia ()
- Auto medicado ()



13. ¿Qué tipo de tratamiento recibió?

Casero ()

Medicinas ()

GRACIAS POR SU COLABORACIÓN



CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN



Para la presente investigación se planteó la siguiente hipótesis:

Las concentraciones de material particulado PM10 en el aire de inmisión de Azogues superan a los permitidos por la Normativa Legal vigente ecuatoriana de ($100 \mu\text{g}/\text{m}^3$), incrementando el riesgo de los habitantes a contraer varios tipos de enfermedades, especialmente respiratorias.

Como objetivo principal se planteó:

Cuantificar la concentración de material particulado PM10, a través de métodos gravimétricos para establecer los efectos tóxicos potenciales en la población

En cuanto a los objetivos específicos, se plantearon los siguientes:

- Obtener una base de datos de concentración de material particulado PM10 en la ciudad de Azogues, con los valores de los monitoreos diarios para la disponibilidad de distintas investigaciones.
- Diagnosticar la calidad del aire mediante los datos monitoreados y su comparación con las normativas legales nacionales e internacionales.
- Aplicar una encuesta a una muestra de la población..

Con la finalidad de cumplir los objetivos propuestos y luego de aplicar los métodos y técnicas descritos en el capítulo III, se obtuvieron los resultados que se exponen a continuación:

4.1 RESULTADOS DE LA CUANTIFICACIÓN DE PM10

4.1.1 RESULTADOS DE MONITOREOS DIARIOS EN LA PRIMERA ESTACIÓN, UNIDAD EDUCATIVA “LA SALLE”

Aplicando el método descrito en el numeral 3.3 se realizó el monitoreo durante los tres primeros meses en la terraza de la Unidad Educativa La Salle, ubicada en la zona céntrica de la ciudad, desde septiembre a noviembre de 2013. En el Anexo 1 se presenta la tabla de datos de todo el periodo de monitoreo.

A continuación se procede a analizar las concentraciones de PM10 considerando cada estación de monitoreo, por cada mes. El resumen puede observarse en la tabla 4.1.1

Tabla 4.1.1 Concentración de PM10 en el mes de septiembre de 2013

TABLA DE RESULTADOS MENSUAL				
CONCENTRACIÓN DE PM10 EN AZOGUES				
MES: SEPTIEMBRE DE 2013				
PUNTO DE MUESTREO	FECHA	CONCENTRACIÓN DE PM10 DE LA MUESTRA	\bar{x}	OBSERVACIONES
		$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	
UNIDAD EDUCATIVA LA SALLE	01-sep-13	63,97814884	61,2	
	05-sep-13	75,30274818		Concentración máxima
	09-sep-13	72,26728856		
	13-sep-13	62,11017369		
	17-sep-13	62,69391592		
	21-sep-13	52,53680105		
	25-sep-13	66,07962088		
	29-sep-13	35,02453404		Concentración mínima

En la tabla 4.11 se muestra las concentraciones diarias de PM10 durante el primer mes de monitoreo. Durante éste mes, las concentraciones se mantienen dentro de los límites permitidos por la normativa ecuatoriana de $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$; los valores de concentraciones con fondo de color amarillo indica una calidad de aire de "MODERADO", aunque al final de mes se registra una baja notable de la concentración de PM10 (valor con fondo verde), según el ICA, en ese día la calidad del aire fue "BUENO".

En la figura 4.1.1 se visualiza el comportamiento diario de las concentraciones frente al valor límite máximo permitido por la normativa ecuatoriana (línea azul). El último valor corresponde al promedio mensual, que cumple con el establecido por la norma. Según el índice de Calidad de Aire, que se indica en la Tabla 2.11.1, el aire



de Azogues en el mes de septiembre de 2013 se ubica en la clasificación “MODERADO”.

CONCENTRACIONES DE PM10 EN SEPTIEMBRE DE 2013

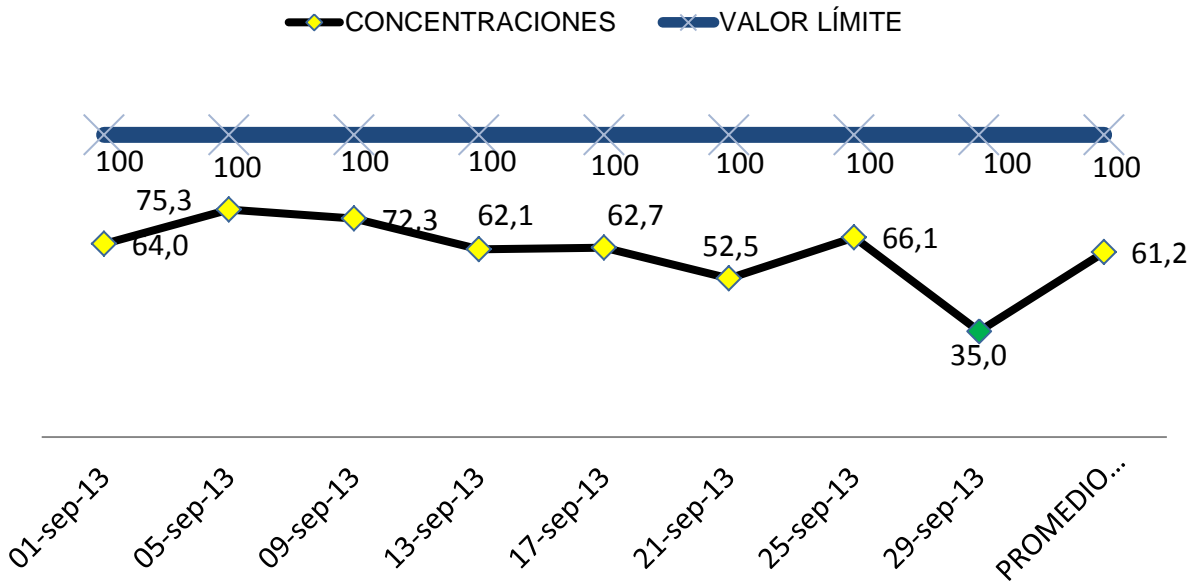


Figura 4.1.1 Concentraciones (µg/m³) de PM10 en septiembre de 2013

En la tabla 4.1.2 se presentan los resultados de concentración d PM10 realizados en la primera estación de monitoreo, Unidad Educativa La Salle, durante el mes de octubre.

Tabla 4.1.2. Concentración de PM10 en el mes de octubre de 2013

TABLA DE RESULTADOS MENSUAL				
CONCENTRACIÓN DE PM10 EN AZOGUES				
MES: OCTUBRE DE 2013				
PUNTO DE MUESTREO	FECHA	CONCENTRACIÓN DE PM10 DE LA MUESTRA	\bar{x}	OBSERVACIONES
		µg/m³	µg/m³	
UNIDAD EDUCATIVA LA SALLE	03-oct-13	24,51717383		Concentración mínima
	07-oct-13	49,26784454		
	11-oct-13	26,61864587		



15-oct-13	59,8919532	51,9	
19-oct-13	59,19146252		
23-oct-13	69,34857739		
27-oct-13	70,16581652		Concentración máxima
31-oct-13	56,03925446		

Los valores de concentraciones de color amarillo correspondientes a las cinco últimas mediciones le categorizan al aire de Azogues como “MODERADO”, mientras que los de fondo verde, le categorizan como “BUENO”. Se aprecia que los primeros días se mantiene la tendencia de concentraciones bajas de PM10, para luego incrementarse palatinamente, a pesar de ello en todo el mes la concentración de PM10 se mantuvo dentro la normativa ecuatoriana de $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (línea azul).

En la figura 4.1.2 se aprecia el comportamiento de las concentraciones durante todo el mes, las cuales se encuentran por debajo del límite máximo permitido por la normativa ecuatoriana. El último valor representa el promedio mensual, el cual le asigna una calidad de aire “BUENO”



CONCENTRACIONES DE PM10 EN OCTUBRE DE 2013

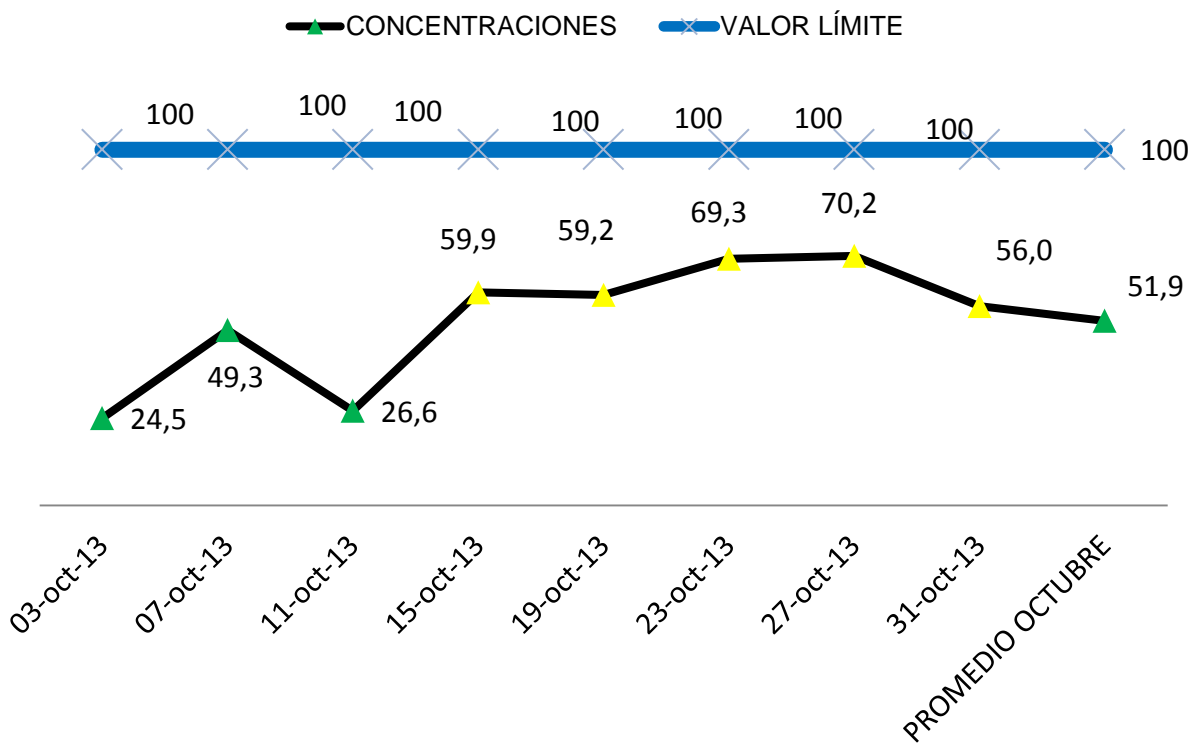


Figura 4.1.2. Concentraciones (µg/m³) de PM10 en octubre de 2013

La tabla 4.1.3 muestra las concentraciones diarias de PM10 durante el último mes de monitoreo en la primera estación, los valores de concentraciones de fondo verde le asignan una calidad de aire “BUENO”.

TABLA DE RESULTADOS MENSUAL				
CONCENTRACIÓN DE PM10 EN AZOGUES				
MES: NOVIEMBRE DE 2013				
PUNTO DE MUESTREO	FECHA	CONCENTRACIÓN DE PM10 DE LA MUESTRA	\bar{x}	OBSERVACIONES
		µg/m³	µg/m³	
UNID AD EDUC	04-nov-13	33,39005578		
	08-nov-13	49,50134144		



12-nov-13	55,92250601	40,0	Concentración máxima
16-nov-13	30,12109927		
20-nov-13	24,16692848		Concentración mínima
24-nov-13	46,69937871		

Tabla 4.1.3. Concentración de PM10 en el mes de noviembre de 2013

Se puede apreciar que éste fue un mes prácticamente de baja concentración de PM10, salvo el día 12 de noviembre donde se registra un ligero incremento de concentración.

En la figura 4.1.3 se aprecia el comportamiento de las concentraciones durante el mes de noviembre, las cuales se encuentran por debajo del límite máximo permitido por la normativa ecuatoriana (línea azul). El último valor representa el promedio mensual, el cual le asigna una calidad de aire “BUENO” según el ICA.

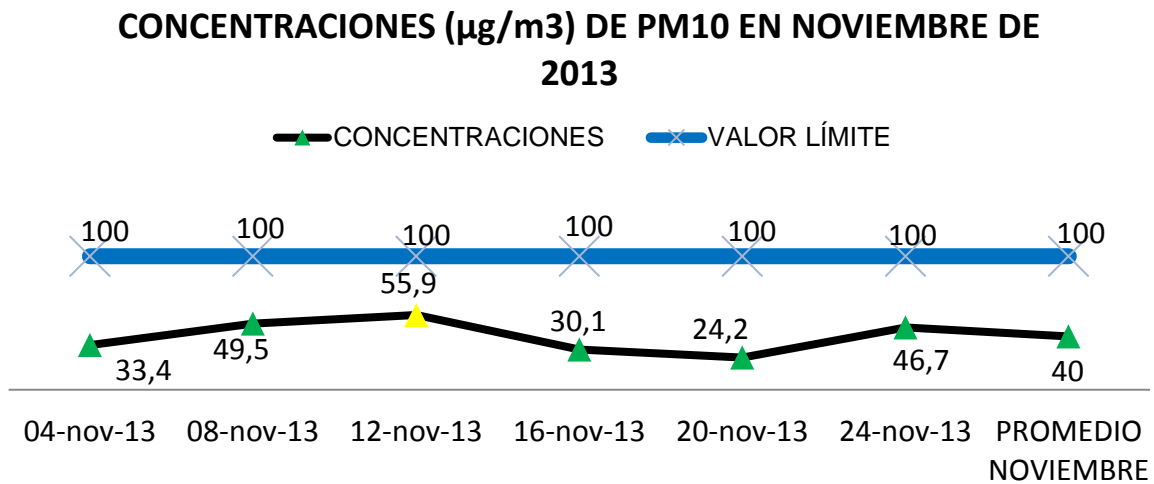


Figura 4.1.3. Concentraciones ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) de PM10 en noviembre de 2013

4.1.2 RESULTADOS DE MONITOREOS DIARIOS EN LA SEGUNDA ESTACIÓN, “TERMINAL TERRESTRE”

El segundo punto de monitoreo fue en la zona sur de la ciudad, en la terraza del Terminal Terrestre, lugar en el cual existe un tráfico vehicular elevado.

La tabla 4.1.4 muestra las concentraciones diarias de PM10. Todos los valores corresponden a concentraciones bajas de PM10, los cuales cumplen con la normativa ecuatoriana, asignándole una calidad de “BUENO”.

Tabla 4.1.4 Concentración de PM10 en el mes de diciembre de 2013

TABLA DE RESULTADOS MENSUAL				
CONCENTRACIÓN DE PM10 EN AZOGUES				
MES: DICIEMBRE DE 2013				
PUNTO DE MUESTREO	FECHA	CONCENTRACIÓN DE PM10 DE LA MUESTRA	\bar{x}	OBSERVACIONES
		$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	
TERMINAL TERRESTRE	01-dic-13	9,45662419	37,6	Concentración mínima
	05-dic-13	41,32895016		
	09-dic-13	51,13581969		
	13-dic-13	52,06980727		Concentración máxima
	17-dic-13	28,01962723		
	21-dic-13	43,6639191		

En la figura 4.1.4 se visualiza el comportamiento diario de las concentraciones frente al valor límite máximo permitido por la normativa ecuatoriana (línea azul). El último valor muestra el promedio mensual, cuyo valor es muy inferior que el exigido por la norma. Según el índice de Calidad de Aire, que se indica en la Tabla 2.11.1, el aire de Azogues en el mes de octubre de 2013 se ubica en la clasificación “BUENO”.

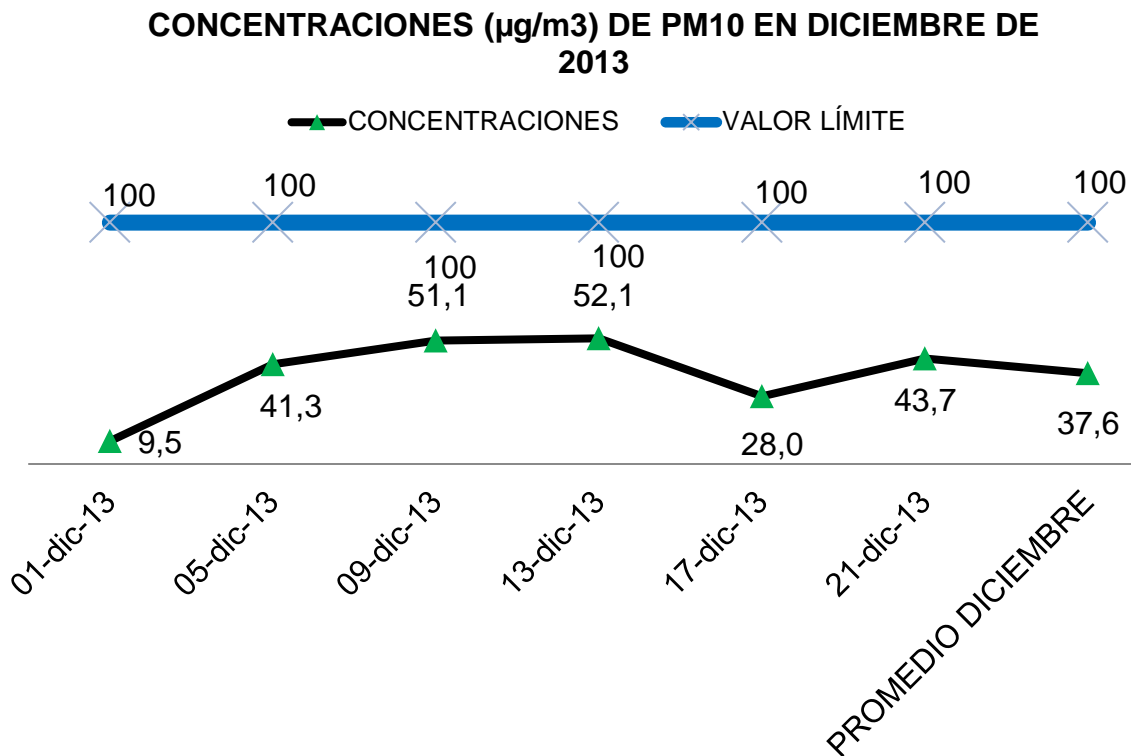


Figura 4.1.4 Concentraciones ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) de PM10 en diciembre de 2013

Durante el mes de enero de 2014 no se realizaron monitoreos debido a que el equipo muestreador fue sometido a mantenimiento de operación.

La tabla 4.1.5 muestra las concentraciones diarias de PM10, el valor con fondo rojo corresponde a concentraciones que sobrepasan la normativa ecuatoriana de $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y le atribuyen una calidad de aire como “DESFAVORABLE PARA GRUPOS SENSIBLES”. En éste mes se puede apreciar que las concentraciones de PM10 son demasiadas altas, muy por encima de lo establecido por la normativa, esto muy posiblemente se debe a que el día 1 de febrero de 2014 el volcán Tungurahua erupcionó a tal punto que las cenizas fueron llevadas por el viento hasta la zona austral del país, viajando una distancia aproximada de 272 Km. Nótese que conforme transcurren los días, los valores de PM10 se va reduciendo paulatinamente hasta llegar a fin de mes que pese a registrar los valores más bajos, también sobrepasan la normativa.

TABLA DE RESULTADOS MENSUAL				
CONCENTRACIÓN DE PM10 EN AZOGUES				
MES: FEBRERO DE 2014				
PUNTO DE MUESTREO	FECHA	CONCENTRACIÓN DE PM10 DE LA MUESTRA	MEDIA ARITMÉTICA DIARIA EN EL MES	OBSERVACIONES
		µg/m ³	µg/m ³	
TERMINAL TERRESTRE	02-feb-14	323,2764492	139,0	Concentración máxima
	06-feb-14	108,5760555		
	10-feb-14	117,7991828		
	14-feb-14	117,9159313		
	18-feb-14	106,357835		
	22-feb-14	100,870658		
	26-feb-14	98,0686953		Concentración mínima

Tabla 4.1.5 Concentración de PM10 en el mes de febrero de 2014

En la figura 4.1.5 se visualiza el comportamiento diario de las concentraciones frente al valor límite máximo permitido por la normativa ecuatoriana (línea azul). EL último valor muestra el promedio mensual, cuyo valor es muy superior al exigido por la norma por las razones ya expuestas. Según el índice de Calidad de Aire, que se indica en la Tabla 2.11.1, el aire de Azogues en el mes de febrero de 2014 se ubica en la clasificación “DESFAVORABLES PARA GRUPOS SENSIBLES”



CONCENTRACIONES ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) DE PM10 EN FEBRERO DE 2014

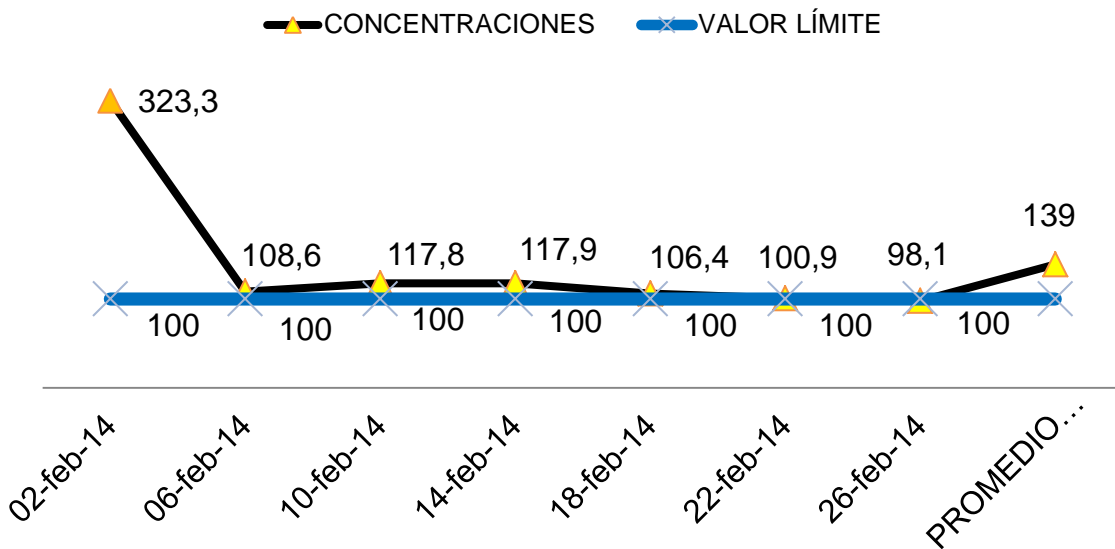


Figura 4.1.5 concentraciones ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) de PM10 en febrero de 2014

La tabla 4.1.6 muestra las concentraciones diarias de PM10, todos los valores cumplen con la normativa ecuatoriana de $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Tabla 4.1.6 Concentración de PM10 en el mes de marzo de 2014

TABLA DE RESULTADOS MENSUAL				
CONCENTRACIÓN DE PM10 EN AZOGUES				
MES: MARZO DE 2014				
PUNTO DE MUESTREO	FECHA	CONCENTRACIÓN DE PM10 DE LA MUESTRA	MEDIA ARITMÉTICA DIARIA EN EL MES	OBSERVACIONES
		$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	
TERMINAL TERRESTRE	02-mar-14	96,43421705	83,3	Concentración máxima
	06-mar-14	92,69826675		
	10-mar-14	95,50022947		
	14-mar-14	85,22636615		
	18-mar-14	77,28747177		
	22-mar-14	78,22145935		
	26-mar-14	76,23673575		
	30-mar-14	75,88649041		
	03-abr-14	72,50078545		Concentración mínima

En éste mes se continúa apreciando los efectos de la erupción del volcán Tungurahua ocurrido el 1 de febrero de 2014, ya que las concentraciones de PM10 siguen siendo altas, manteniéndose muy cerca del límite permitido. Sin embargo se aprecia que las concentraciones se van reduciendo paulatinamente con el transcurso del tiempo, ya que a inicio de mes se registra el valor más alto y el más bajo al final.

En figura 4.1.6 se visualiza el comportamiento diario de las concentraciones frente al valor límite máximo permitido por la normativa ecuatoriana (línea azul). El último valor muestra el promedio mensual, cuyo valor se encuentra dentro de la exigida por la norma. Según el índice de Calidad de Aire, que se indica en la Tabla 2.11.1, el aire de Azogues en el mes de marzo de 2014 se ubica en la clasificación “MODERADO”.

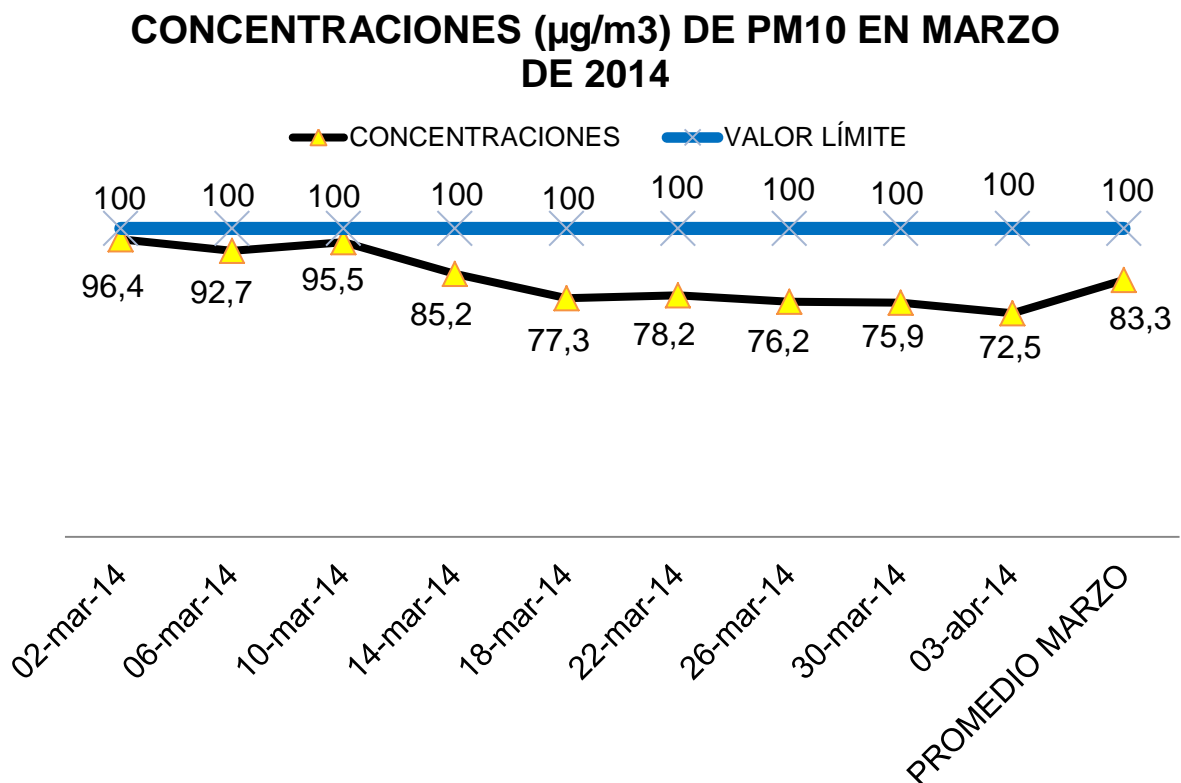


Figura 4.1.6 concentraciones ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) de PM10 en marzo de 2014

La tabla 4.1.7 muestra la variación mensual de la concentración de PM10 durante los seis meses de monitoreo, el valor obtenido en febrero sobrepasa la normativa ecuatoriana y le corresponde una calidad de “MODERADO”; en septiembre de 2013 y marzo de 2014 las concentraciones se encuentran dentro de la norma legal y le



asignan una calidad de “MODERADO”, mientras que los valores con fondo verde, que se obtuvieron en octubre, noviembre y diciembre de 2014, indican bajas concentraciones que sí cumplen con la normativa nacional, asignándole una calidad de “BUENO”. Los valores subrayados corresponden a los valores máximos y mínimos. La máxima concentración se ubica en el mes de febrero debido probablemente a la erupción del volcán Tungurahua, cuyas cenizas llegaron hasta la región austral. En diciembre se dieron las menores concentraciones, probablemente porque en esas fechas existe un largo feriado de fin de año, donde se reduce el tráfico vehicular, ya sea porque las familias deciden permanecer en casa o salir de la ciudad.

Tabla 4.1.7 Concentración mensual de PM 10 en los seis meses de monitoreo

CONCENTRACIÓN MENSUAL PROMEDIA DE PM10 EN LA CIUDAD DE AZOGUES EN LOS MESES COMPRENDIDOS ENTRE SEPTIEMBRE DE 2013 Y MARZO DE 2014						
	SEPTIEMBRE DE 2013	OCTUBRE DE 2013	NOVIEMBRE DE 2013	DICIEMBRE DE 2013	FEBRERO DE 2014	MARZO DE 2014
CONCENTRACIÓN PROMEDIA DE PM10	61,2	51,9	40,0	37,6	<u>139,0</u>	83,3

En figura 4.1.7 se aprecia con mayor facilidad las concentraciones mensuales. La barra color naranja indica incumplimiento de la norma; el amarillo que cumplen ligeramente, mientras que el verde indica total cumplimiento. La línea horizontal punteada de color azul se refiere al valor máximo permitido, de $100\mu\text{g}/\text{m}^3$:

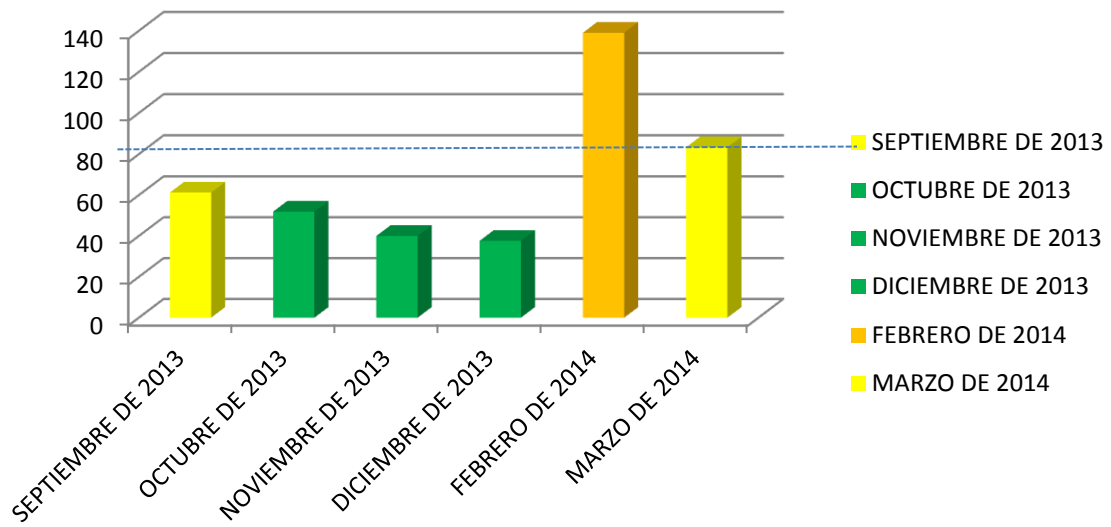


Figura 4.1.7 Concentración mensual ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) de PM 10 en los seis meses de monitoreo



La figura 4.1.8 muestra las concentraciones diarias de PM10 durante el primer trimestre de monitoreo, la línea horizontal azul representa el valor límite máximo permitido por la norma ecuatoriana de $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$, se puede apreciar que el valor promedio de concentración de PM10 cumple satisfactoriamente al permitido. Según el índice de Calidad de Aire, el aire de Azogues se ubica en la clasificación “MODERADO” para el primer trimestre de monitoreo.

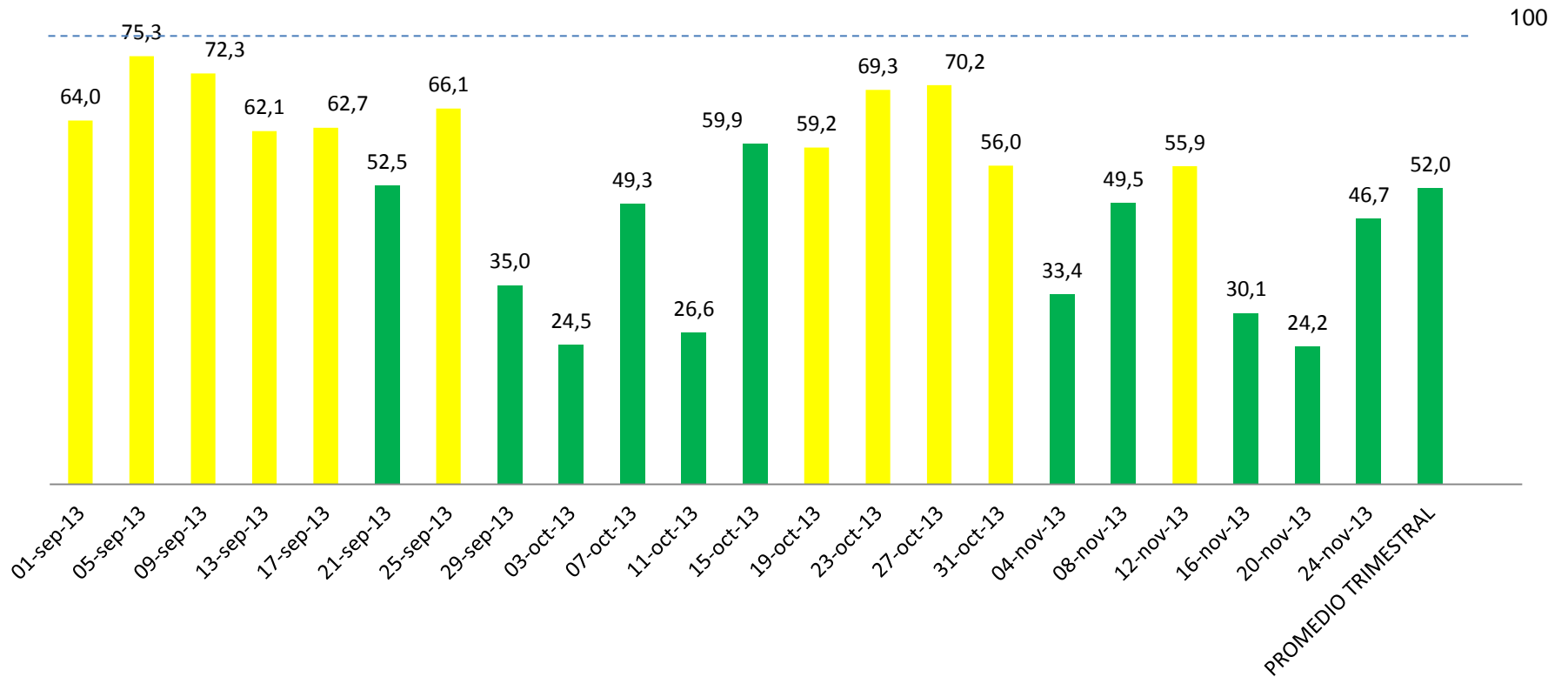


Figura 4.1.8 Concentración diaria ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) de PM10 en el primer trimestre de monitoreo, Unidad Educativa “La Salle”



La figura 4.1.9 muestra las concentraciones diarias de PM10 durante el segundo trimestre de monitoreo, la línea horizontal azul representa el valor límite máximo permitido por la norma ecuatoriana de $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$, se puede apreciar que el valor promedio de concentración de PM10 es ligeramente inferior al permitido. Según el índice de Calidad de Aire, que se indica en la Tabla 2.11.1, el aire de Azogues en el mes de octubre de 2013 se ubica en la clasificación “MODERADO”.

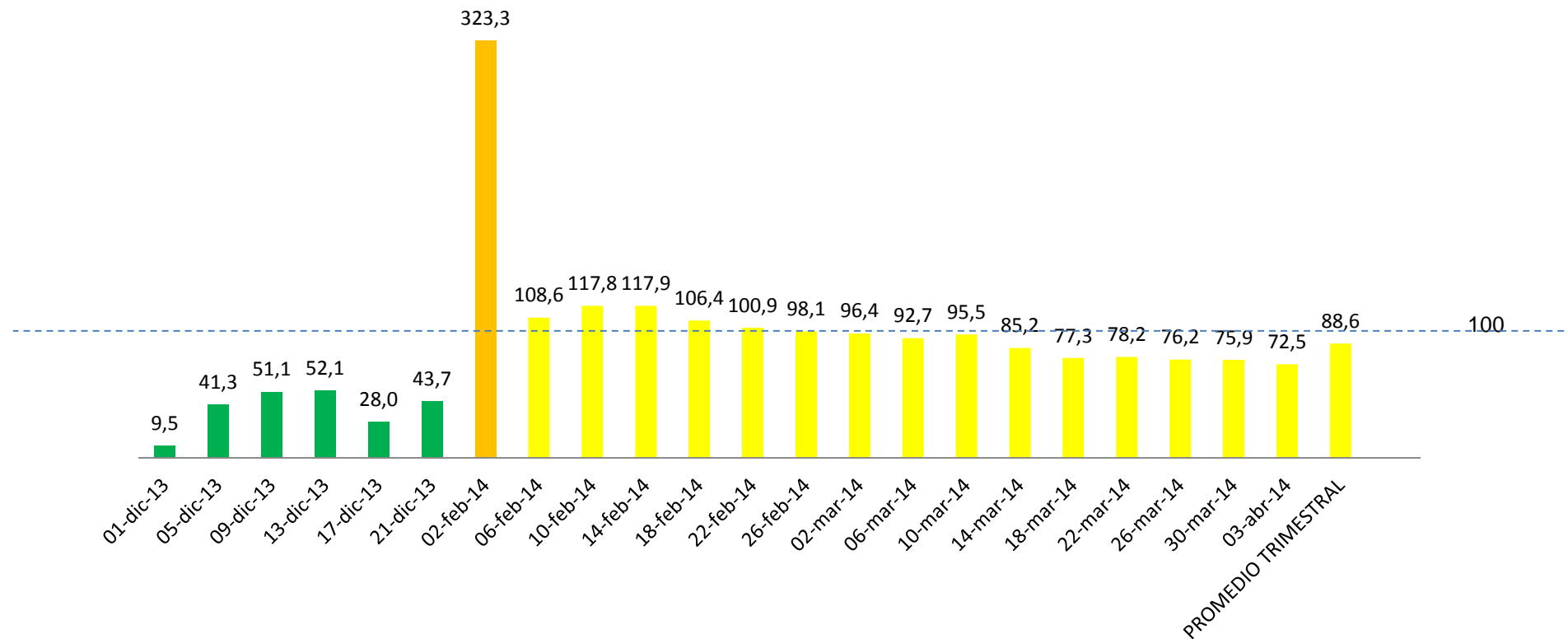


Figura 4.1.9 Concentración diaria ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) de PM10 en el segundo trimestre de monitoreo, “Terminal Terrestre”



La figura 4.1.10 muestra las concentraciones diarias de PM10 durante los seis meses de monitoreo. Según el índice de Calidad de Aire, que se indica en la Tabla 2.11.1, el aire de Azogues en los seis meses de monitoreo se ubica en la clasificación “MODERADO”

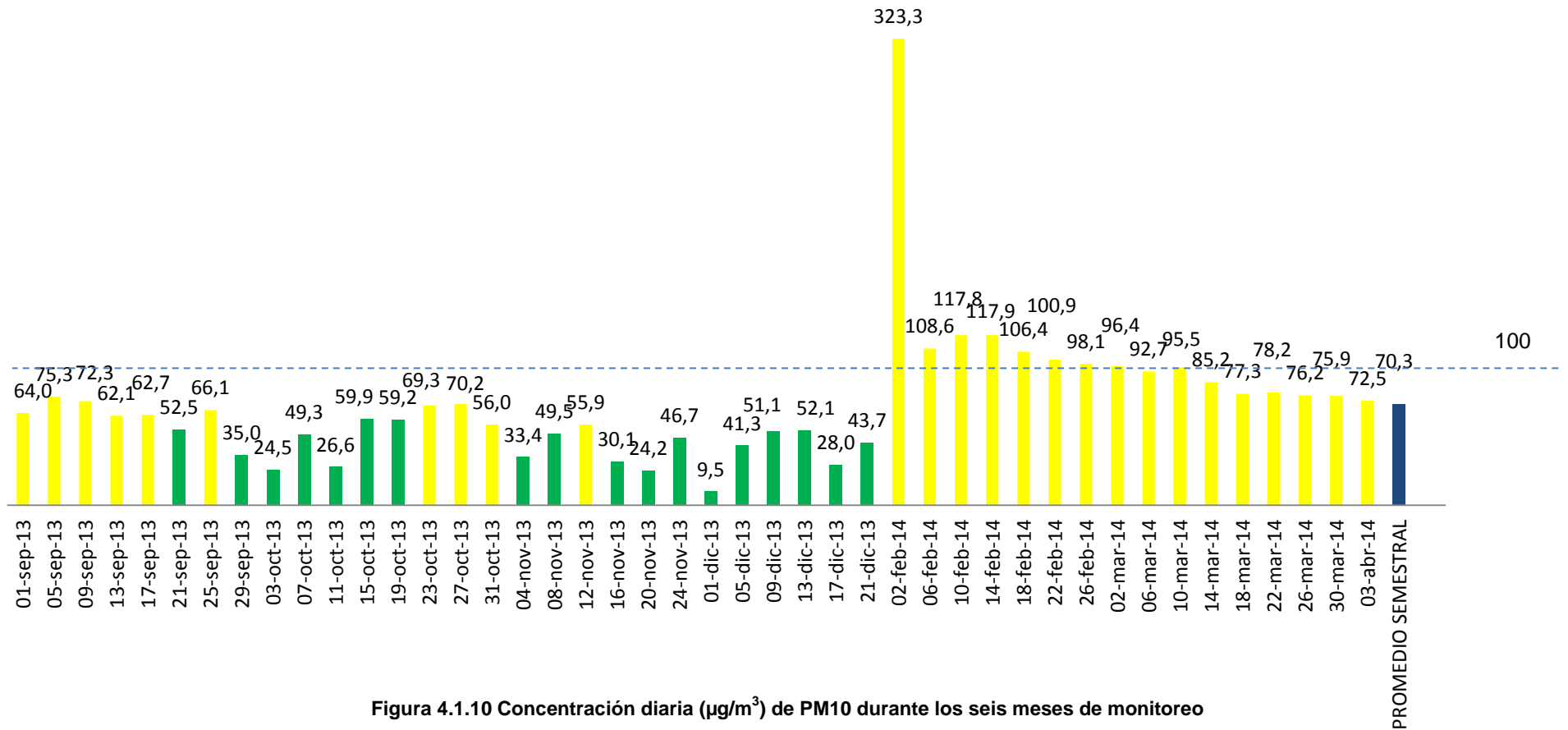


Figura 4.1.10 Concentración diaria (µg/m³) de PM10 durante los seis meses de monitoreo



En las figuras, la línea horizontal azul representa el valor límite máximo permitido por la norma ecuatoriana, se puede apreciar que el valor promedio de concentración de PM10 es ligeramente inferior al límite máximo permitido de $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Debido a que únicamente se disponía de un equipo muestreador, no fue factible comparar la concentración de PM10 de manera simultánea en los dos puntos de monitoreo. En la gráfica 4.1.10 se observa que durante los dos últimos meses las concentraciones de PM10 son elevadas, ello se debe muy probablemente a las cenizas provenientes de la erupción del volcán Tungurahua, el cual se activó durante estas fechas y debido a la dispersión, se registró presencia de material particulado en la zona sur del Ecuador, son circunstancias que escapan del control del ser humano, por lo que afectaría de alguna manera al objetivo planteado en la presente investigación, que perseguía el determinar la concentración de PM10 en la ciudad de Azogues pero en condiciones normales, sin la intervención de éste agente externo que se presentó de manera fortuita.

También se aprecia que el promedio de la concentración de PM10 en cada estación de monitoreo, se encuentra relativamente cerca del límite máximo permitido por la legislación ecuatoriana, por consiguiente, el aire de inmisión de la ciudad de Azogues al ubicarse en la calidad de “MODERADO” no puede considerarse como apropiado para la salud del ser humano, ya que según el ICA, se da a conocer los efectos adversos en la salud de la población afectada.

Todas las comparaciones realizadas hasta este punto han sido referentes a la legislación ecuatoriana, mas, si lo hacemos referente a la establecida por la OMS, que estipula un valor de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, todos los juicios de valor cambiarían de alguna forma ya que la mayor parte de las concentraciones obtenidas **NO** cumplirían con dicha normativa, consecuentemente, amerita una inmediata implementación de políticas ambientales para controlar y prevenir que el aire continúe contaminándose, mismo que podría obedecer a diversas fuentes que existen en la ciudad de Azogues, tanto naturales como antropogénicas.

Fuentes naturales: se pueden mencionar los incendios forestales, vientos, polvo procedente de las zonas áridas.

Las fuentes antropogénicas: como en todas las ciudades son muy variadas y comunes en su mayoría:

- Fábrica cementera Industrias Guapán, ubicada a 1,4 km al norte de la ciudad. Utilizan una tecnología del tipo de vía seca, con una capacidad productiva promedio de 1100 toneladas métricas por día, a través de siete áreas de producción.



Figura 4.1.11 Fábrica de Cemento Industrias Guapán.

- El tráfico vehicular de motos, autos y buses constituyen una de las principales fuentes de PM. Según la Agencia Nacional de Tránsito - Azogues (Ofc.Nº 011 TH (E)-ANRCTTSV-AA-2014, en el año 2013 se matricularon 19 048 vehículos, y éste número va en aumento cada año.



Figura 4.1.12 Tráfico vehicular en Azogues

- Ebanisterías y talleres que trabajan con material MDF, funcionan principalmente a 3 Km al sur de la ciudad junto a la autopista Azogues-Cuenca, constituyen una importante fuente de PM.



Figura 4.1.13 Ebanisterías que funcionan en Azogues

- Las emisiones de la Central Termoeléctrica ubicada en el sector El Descanso, a 13,5 km del sur de la ciudad. En la fotografía puede apreciarse los gases contaminantes emitidos a la atmósfera



Figura 4.1.14 Central Termoeléctrica El Descanso

- Fábricas de bloques. Existen alrededor de 10 fábricas artesanales ubicadas especialmente en el cinturón sur de la ciudad.

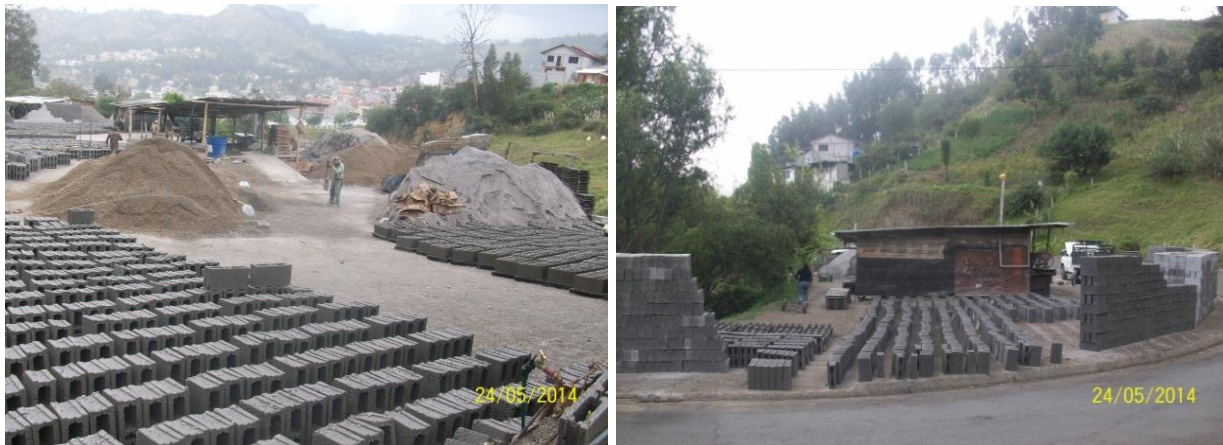


Figura 4.1.15 Fábricas artesanales de Bloques

- Talleres de labrado de piedra, ubicadas a 6,5 km al sur de la ciudad, especialmente en el sector de Rumihurco.



Figura 4.1.16 Talleres de labrado de piedra andesita.



- Las obras de construcción, demolición de pavimento y especialmente la producción de áridos, contribuyen en la generación de PM a 13,5 Km al sur de la ciudad se encuentran dos grandes productoras de áridos.



Figura 4.1.17 Generación de PM por obras de construcción y áridos

- Minas de lastre, ubicadas en el sector sur este de la ciudad, a una distancia de 2,7 km en la vía a la parroquia Luís Cordero.



Figura 4.1.18 Canteras de Lastre

- Fábrica de ladrillos, ubicada a 2,4 km al norte de la ciudad de Azogues



Figura 4.1.19 Fábrica ladrillera

- La Avenida 16 de abril, tiene una longitud aproximada de 5,4 km, atraviesa la zona occidental de la ciudad. La primera imagen corresponde a la primera fase de la obra y que se encuentra concluida, fue construida desde el año 2012 hasta enero de 2014. La segunda imagen corresponde al tramo que aún está con construirse, los trabajos iniciaron en junio de 2014 y se espera que culmine en octubre de 2014. Esta obra de construcción definitivamente también constituye una importante fuente de Pm en Azogues.



Figura 4.1.20 Avenida 16 de abril

- Vías sin asfaltar. Existen muchas carreteras circundantes a la ciudad que no cuentan con carpeta asfáltica ni pavimento. El tránsito de vehículos y el viento provocan el levantamiento de polvo.



Figura 4.1.21 Vías sin asfaltar

- La construcción de la ampliación de la autopista Azogues – El Descanso que atraviesa el sector sur occidental de la ciudad, se inició a septiembre de 2013, tiene una longitud aproximada de 13,5 Km y el plazo de culminación es diciembre 2015. En la presente fecha constituye una fuente muy importante de PM.



Figura 4.1.22 Autopista Azogues – El Descanso

- Las actividades domésticas y negocios de comida como asaderos y pollerías ubicadas tanto en el centro como a las afueras de la ciudad constituyen también fuente de PM10.



Figura 4.1.23 Negocios de comida que funcionan en Azogues

Cada una de estas fuentes determina las características del material particulado.

4.2 POSIBLES EFECTOS DEL PM10 EN LA POBLACIÓN DE AZOGUES

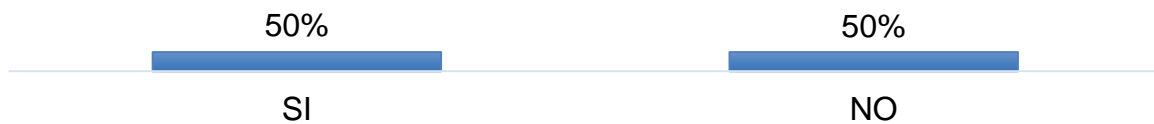
A fin de relacionar las concentraciones de PM10 con las afecciones respiratorias, se aplicó una encuesta a una población de 100 personas, cuyos resultados se mencionan a continuación:



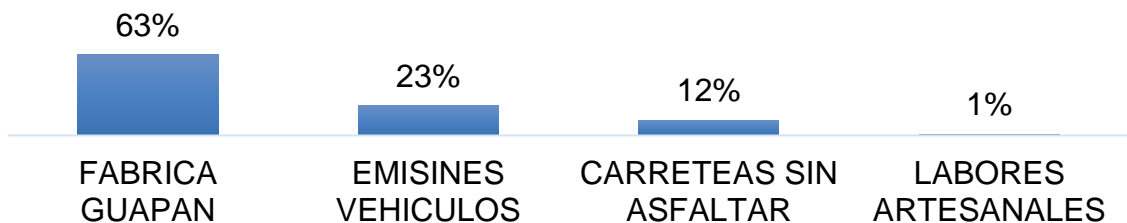
1. ¿EL AIRE QUE SE RESPIRA EN AZOGUES GARANTIZA LA SALUD DE LA POBLACIÓN?



2. ¿ESTIMA QUE LA CANTIDAD DE POLVO QUE SE RESPIRA EN AZOGUES ES MAYOR QUE EN EL RESTO DE LAS CIUDADES DEL ECUADOR?



3. FUENTE DEL POLVO PRESENTES EN EL AIRE QUE SE RESPIRA EN AZOGUES

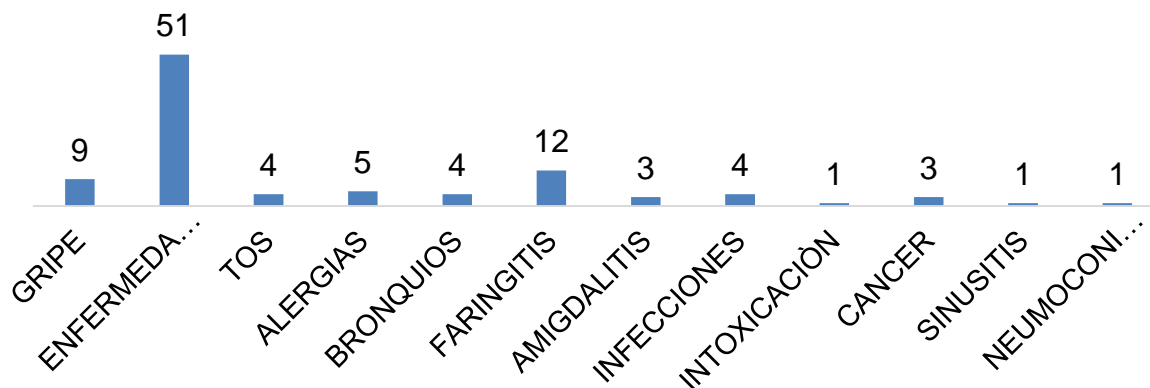


4. CONOCIMIENTO SOBRE LOS RIESGOS DE RESPIRAR AIRE CON POLVO POR TIEMPOS PROLONGADOS





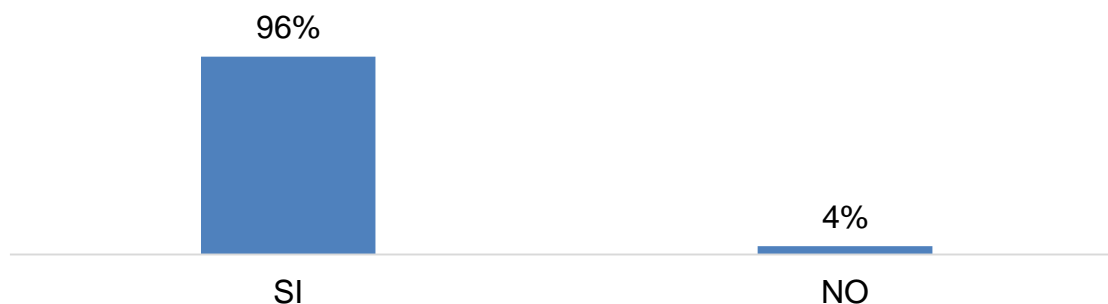
5. LOS RIESGOS QUE LA POBLACIÓN CONOCE SOBRE EL RESPIRAR AIRE CON POLVO



6. CONOCIMIENTO DE LA POBLACIÓN SOBRE LA EXISTENCIA DE ESTUDIOS SOBRE LA CALIDAD DEL AIRE EN AZOGUES

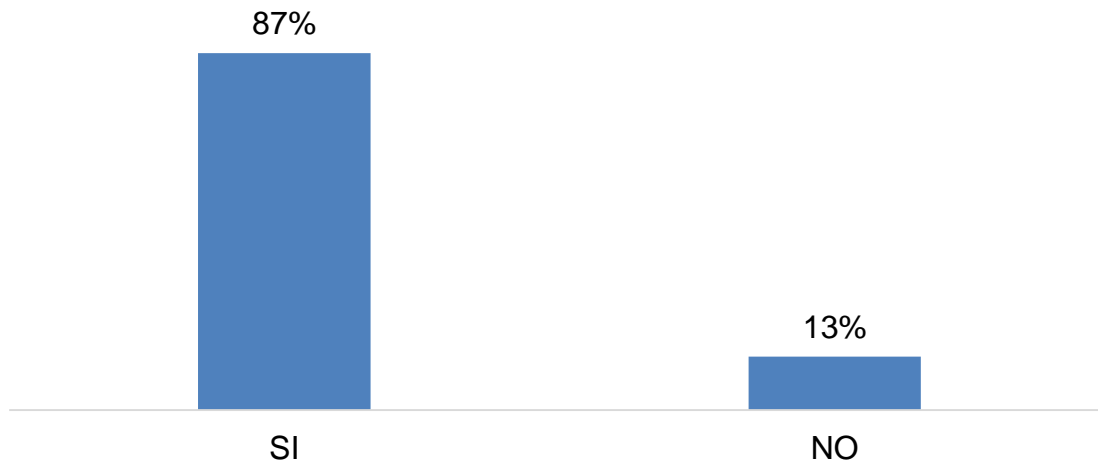


7. ESTIMA QUE ES NECESARIO LA REALIZACIÓN DE ESTUDIOS SOBRE LA CALIDAD DEL AIRE EN AZOGUES

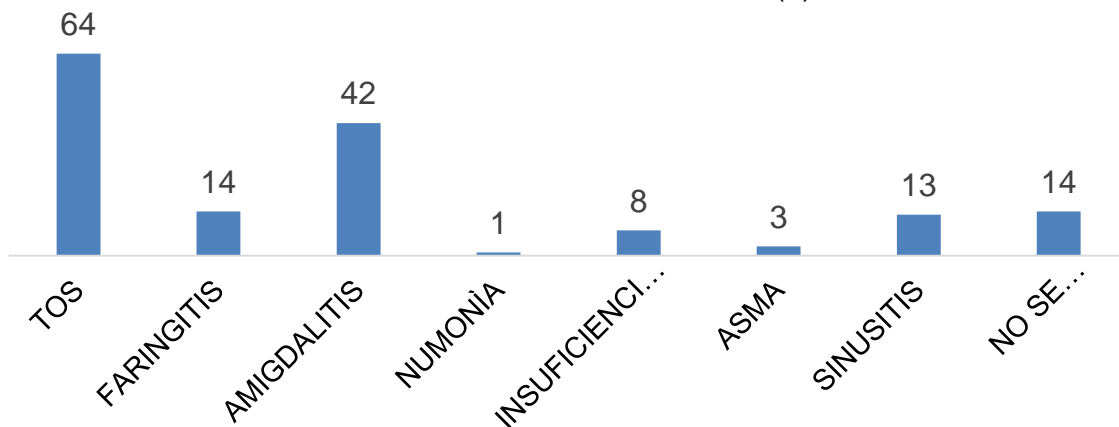




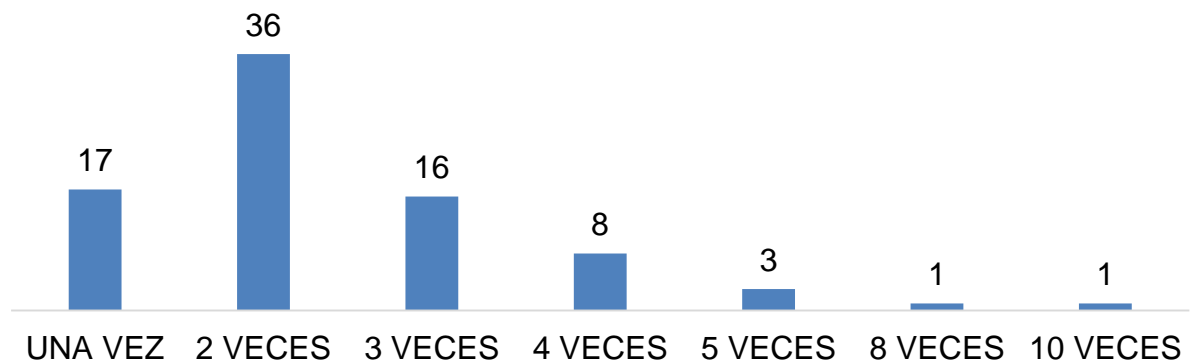
8. PERSONAS QUE SE HAN ENFERMADO EN LOS ÚLTIMOS SIETE (7) MESES



9. FRECUENCIA DE ENFERMEDADES QUE HA PADECIDO LA POBLACIÓN EN LOS ÚLTIMOS SIETE (7) MESES

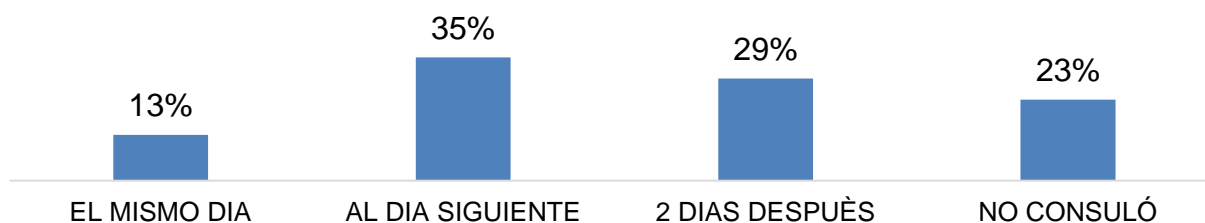


10. FRECUENCIA EN QUE SE HA ENFERMADO EN LOS ÚLTIMOS SIETE MESES

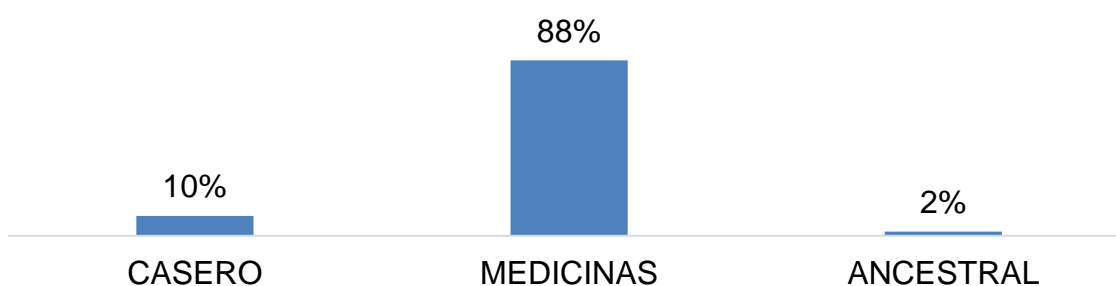




11. NÚMERO DE DÍAS POSTERIORES A LA ENFERMEDAD EN QUE ACUDIÓ AL MÉDICO



12. TRATAMIENTO QUE RECIBIÓ



De lo anterior se deduce la necesidad de realizar estudios sobre la calidad del aire, pues un alto porcentaje de los entrevistados han contraído enfermedades de tipo respiratorio que podrían estar vinculadas con el PM10.

La aplicación de la encuesta descrita en el numeral 3.4 brinda resultados que corresponden precisamente a los índices de morbilidad reportados por el Ministerio de Salud Pública del Cañar.

Según información proporcionada por la Dirección Provincial de Salud del Cañar, mediante Ofc. No. 17.DEST-2014 de fecha 28 de agosto de 2014, se indican los CUADROS ESTADÍSTICOS DE LOS ÚLTIMOS CINCO AÑOS (hasta mediados de 2014) DE LAS ENFERMEDADES DE TIPOS RESPIRATORIOS Y CARDIOVASCULARES de los pacientes que recibieron tratamiento en el Hospital Homero Castanier de la ciudad de Azogues. A continuación se presenta dicha información:



CUADROS ESTADÍSTICOS DE ENFERMEDADES DE TIPO RESPIRATORIO Y CARDIOVASCULARES												
AÑOS	Grupos de edad									Total	FEMENINO	MASCULINO
	< 1 MES	1 -11 MESES	1-4	5-9	10-14	15-19	20-49	50-64	65Y+			
2010	0	0	0	0	1	0	2	0	11	14	6	8
2011	1	0	0	0	1	1	6	38	41	88	37	51
2012	0	0	0	0	2	2	13	14	75	106	52	54
2013	0	0	0	0	1	0	6	11	38	56	22	34
2014	0	0	0	0	1	0	2	0	11	14	6	8

Tabla 4.4.1. Enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC)

FUENTE: EPI 2. Estadística D.P.S.Cañar

Se aprecia el aumento paulatino de ésta enfermedad hasta el año 2012 para luego disminuir de la misma forma hasta el presente año. Los datos reportados son hasta mediados de 2014.



Tabla 4.4.2 Infecciones Respiratorias Agudas (IRA)

AÑOS	Grupos de edad									Total	FEMENINO	MASCULINO
	< 1 MES	1 -11 MESES	1-4	5-9	10-14	15-19	20-49	50-64	65Y+			
2010	0	0	801	930	294	171	20	14	7	2237	1132	1105
2011	148	742	1432	591	158	29	48	27	7	3182	1509	1674
2012	31	581	1797	337	57	24	31	9	4	2871	1452	1419
2013	29	564	1332	288	41	9	20	14	11	2308	1092	1216
2014	14	88	203	35	5	1	7	3	4	360	146	214

FUENTE: EPI 2. ESTADÍSTICA D.P.S.CAÑAR

Igual que en el cuadro anterior, en el año 2011 se presentaron el mayor número de casos, mientras que en el 2014 se presentaron en menor cantidad. Los datos reportados son hasta mediados de 2014.



Tabla 4.4.3. Egresos Hospitalarios. Quinquenio 2009 – 2013

EGRESOS HOSPITALARIOS. QUINQUENIO 2009 - 2013.					
	NUMERO CAUSA	CODIGO	DIAGNOSTICO	NUMERO CASOS	%
2009	1	J18,0	Bronconeumonia	594	7,33
	3	J00-J06	Infección Respiratoria Aguda	345	4,26
2010	6	J00-J06	Infección Respiratoria Aguda	253	3,46
	11	J18,0	Bronconeumonia	169	2,14
2011	7	J00-J06	Infección Respiratoria Aguda	174	2,17
	9	J18,0	Bronconeumonia	164	2,04
2012	3	J00-J06	Infección Respiratoria Aguda	285	3,27
	8	J18,0	Bronconeumonia	147	1,69
2013	3	J00-J06	Infección Respiratoria Aguda	269	3,01
	8	J18,0	Bronconeumonia	163	1,83

FUENTE: EPI 2. ESTADÍSTICA D.P.S.CAÑAR

En el cuadro anterior, la columna NUMERO DE CAUSA, se refiere al orden de importancia de la enfermedad durante el año indicado, es decir la enfermedad con mayor número de casos. Se puede apreciar que en el 2009, la “bronconeumonía” fue la enfermedad más importante de todas, mientras que la “infección respiratoria aguda” ocupó el tercer lugar en los años 2009, 2012 y 2013. Consecuentemente, las enfermedades de tipo respiratorio representan un problema muy grave en la ciudad de Azogues.



Resulta difícil relacionar los resultados de esta investigación con otros realizados en el Ecuador, debido a la falta de éstos; tan solo se han reportado estudios en las ciudades de Quito, Guayaquil y Cuenca; En la ciudad de Quito, en los años 2005 y 2006, el PM fue uno de los contaminantes que tuvo el 75% de excedencias respecto a la norma ecuatoriana [32]; los resultados de la medición de concentración de PM₁₀ realizados en el sector de TRINITARIA, Guayaquil, no sobrepasan el límite máximo de concentración de PM₁₀ para una exposición de 24 horas y para una exposición de un año [33]; en la ciudad de Cuenca, el estudio de PM₁₀ realizado por el Centro de Estudios Ambientales CEA, desde noviembre de 2008 hasta agosto de 2009, demuestra que su concentración es de 36,7 µg/m³, se encuentra por debajo de los límites permitidos [34]. Los resultados de la presente investigación demuestran que el aire de la ciudad de Azogues constituiría un riesgo para la población debido al valor promedio diario durante los seis meses de monitoreo de 70,3 µg/m³, valor que si bien no sobrepasa la normativa ecuatoriana, en cambio sí rebasa la establecida por la regulada por la OMS. Los valores mínimos ocurrieron en diciembre de 2014, posiblemente por el feriado que se vive en la ciudad, donde la población acostumbra a salir de la ciudad o a permanecer en sus hogares; mientras que la máxima concentración se dio durante el mes de febrero, posiblemente por las cenizas provenientes de la erupción del volcán Tunguragua ocurrido el 1 de febrero de 2014.

Una persona sin tener una fábrica, pero al poseer un vehículo, ya está siendo parte de una fuente de PM₁₀, más aún si consideramos que varias familias poseen más de un vehículo. Esta contaminación deriva en varios riesgos para la salud y se estiman que provoca millones de muertes prematuras al año, tanto en países desarrollados como en desarrollo. Pese a que el PM es uno de los contaminantes del aire más estudiados en todo el mundo, sin embargo, en el Ecuador son pocas las investigaciones sobre sus efectos en la salud de las personas.

La presente investigación representa el primer estudio sobre la calidad del aire de la ciudad de Azogues, que puede ser conocida por el GAD municipal, Ministerio del Ambiente, Ministerio de Salud Pública y Universidad, para aunar esfuerzos e



implementar políticas ambientales para la protección del medio ambiente y la salud de la población.



CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



5.1 CONCLUSIONES

A través de la presente investigación se concluye lo siguiente:

1. La hipótesis planteada se acepta, pues éste estudio ha determinado concentraciones diarias de PM10 que superan en reiteradas ocasiones el límite máximo permitido por la normativa legal ecuatoriana de $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y con mayor razón el límite establecido por la OMS de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, lo que determina el riesgo de la población a contraer varios tipos de enfermedades especialmente respiratorias y cardiovasculares, ya que incluso en concentraciones relativamente bajas se han relacionado con efectos adversos en la salud.
2. El monitoreo frecuente de 4 días, ha generado una importante base de datos de las concentraciones de PM10, así como un conjunto de muestras que servirán de ayuda a futuras investigaciones en este campo, como puede ser la caracterización de elementos presentes en el polvo, a fin de tratar de identificar sus fuentes.
3. Se evidenció que tanto la norma ecuatoriana de PM10 diaria como de la OMS, fue superada por varias ocasiones en la ciudad de Azogues, por lo tanto la calidad del aire en esta ciudad no cumple con la legislación vigente.
4. De acuerdo a la concentración de PM10 en el aire de Azogues ($70,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$), según el Índice de la Calidad del Aire ICA, el aire de Azogues se encontraría en la categoría de MODERADO, en donde la población afectada serían todos los niños menores de 12 años, los fumadores, adultos mayores de 60 años y población que realiza ejercicio o labora al aire libre. Su salud se vería afectada en síntomas respiratorios como irritación de mucosas, dolor de cabeza, malestar general y tos en personas sensibles, con enfermedades respiratorias y/o cardiovasculares. En cuanto a las personas sanas hay irritación de mucosas. Se sugiere la reducción de actividades físicas fuertes o prolongadas.
5. Similares situaciones suceden en otras ciudades del planeta, como en Santiago de Cali, en Santa Marta, en Mexicali baja California, en Bilbao, Madrid, Sevilla, etc. Debido a la escasa investigación de la calidad del aire en el Ecuador, se vuelve complicado comparar la calidad del aire de Azogues con el resto del país sin embargo se conoce que la ciudad de Quito también adolece de este problema, mientras que en la ciudad de Cuenca, se encuentra dentro de los límites permitidos.



6. La concentración de PM10 el promedio mensual varía desde un límite inferior de $37,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ocurrido en el mes de diciembre de 2013, hasta un superior de $139\mu\text{g}/\text{m}^3$ ocurrido en febrero de 2014.
7. Las enfermedades de tipo respiratorias que sufren los habitantes son muy frecuentes, incluso llegando a ocupar el primer lugar en cantidad de enfermedades, esto puede evidenciarse en la tabla 4.3.4 en donde se aprecia que enfermedades como la bronconeumonía y las infecciones respiraciones agudas han sido predominantes en la población durante el último quinquenio. Por otro lado, en la encuesta realizada a la población se evidencia que las enfermedades más frecuentes fueron: la tos, la faringitis y la amigdalitis.



5.2 RECOMENDACIONES

El estudio se limitó a la cuantificación de PM₁₀ por lapso de seis meses, por lo que se recomienda continuarlos por un tiempo más prolongado y complementarlos con estudios de PM_{2,5} y su caracterización para determinar su composición y establecer las fuentes principales que lo provocan, así como para pronosticar las potenciales enfermedades que se derivarían de dicha contaminación.

Sería interesante determinar la presencia de hidrocarburos dado su existencia en los combustibles y su alto grado de toxicidad. De dichos estudios se concluirán la existencia de compuestos cancerígenos y muta génicos, mismos que se incrementan con las concentraciones y tiempos de exposición.

El monitoreo de la contaminación atmosférica está generalmente fuera del control ciudadano, por lo que en Azogues, amerita una incorporación de la percepción de su riesgo, donde el ciudadano actúe como un actor social y no solo como un espectador de la política, ello requiere crear una visión de los riesgos ambientales que constituyan retos para las autoridades y la comunidad científica.

Lo mencionado contribuirá por un lado al mejoramiento de la calidad de vida de la población, y por otro, reducirán los gases de efecto invernadero, contribuyendo a mitigar el calentamiento global. Se recomienda que éstas medidas se tomen en el menor plazo posible, ya que varios contaminantes podrían provocar efectos irreversibles en la salud.

Debido a que se desconoce el umbral de PM₁₀ por debajo del cual desaparezcan los efectos nocivos para la salud, debe procurarse cumplir con el valor recomendado por la normativa vigente de la OMS de 50 µg/m³ a fin de minimizar dichos efectos.

En cuanto al uso de combustibles, debe evitarse el uso de sólidos ya que contaminan más que los líquidos y éstos más que los gaseosos, consecuentemente se recomienda emplear combustibles gaseosos.

En cuanto a los vehículos motorizados, las autoridades de tránsito deberán procurar una mayor exigencia en el mantenimiento de los mismos por parte de los



propietarios, pues los vehículos que no se encuentran en perfecto estado de funcionamiento contaminan en mayor grado que los demás. Por otro lado se debe considerar que dado la ubicación geográfica de 2 518 m sobre el nivel del mar, la escasa concentración de oxígeno impide la total combustión de los combustibles fósiles, dando lugar a una mayor generación de gases tóxicos.

Si bien no puede especificarse la causa potencial de la generación de PM10 en la ciudad de Azogues, dado las variadas fuentes, sin embargo puede manifestarse que dado a que todos los agentes mencionados tienen una tendencia hacia el alza, se recomienda controlar todas las fuentes existentes, desde el artesano que trabaja en el labrado de piedra hasta la gran industria cementera Guapán y muy especialmente el provocado por los vehículos que circulan por la ciudad, y de éstos particularmente los que funcionan a diésel.

Finalmente, se recomienda formar equipos de trabajo entre el GADM de Azogues, autoridades de Salud, Ministerio del Ambiente y Universidad, para implementar sistemas de control de la calidad del aire como existen en otras ciudades, tales como Bogotá, México, etc, que estén informando permanentemente sobre el grado de contaminación y nivel de riesgo que estos representan para la salud humana, así como las acciones y recomendaciones que pueden realizar para su protección, en un lenguaje comprensible para la población, todo esto tendiente hacia la protección del medio ambiente y mejoramiento de la calidad de vida de la población.



REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] *Registro Oficial No 464 del martes 7 de año de 2011.*
- [2] Gil, L., *Efectos toxicológicos de la contaminación atmosférica en la salud humana.* Santiago, Chile.
- [3] Ramanathan, V., Feng, Y., 2009. *Air pollution, greenhouse gases and climate change: global and regional perspectives.*
- [4] CONPES 3550, 2008. *Lineamientos para la formulación de la política integral de salud ambiental con énfasis en los componentes de calidad de aire, calidad de agua y seguridad química en Colombia.* Bogotá, Colombia.
- [5] Aguilar G. 2002. *Contaminación Ambiental y Salud de los niños en América Latina y el Caribe: contaminación del aire exterior.* México
- [6] Miranda K, Ortiz L. 2008. Evaluación de la concentración de material particulado suspendido pm10 y su relación con la morbilidad asociados a era`s en niños menores a catorce años por enfermedad respiratoria aguda en el municipio de toluviejo
- [7] *Registro Oficial No 464 del martes 7 de año de 2011*
- [8] Aerosoles atmosféricos: problemas ambientales
- Teresa Moreno. Disponible en: www.aulados.nettemasambientales2007
- [9] Organización mundial de la salud (consulta 21 de abril de 2014). Disponible en: <http://www.ecodes.org/salud-calidad-aire/201302176117/Impactos-sobre-la-salud-de-la-contaminacion-atmosferica>
- [10] Pérez, H.,Vidal., Lunagómez, M., Rocha, Acosta, L.Pérez. *Análisis de partículas suspendidas totales (Pst) y partículas fracción respirable (PM10).* Cunduacán, Tabasco.



- [11] Miranda, A., Ortiz, L. 2008. *Evaluación de la concentración de material particulado suspendido pm10 y su relación con la morbilidad asociados a era's en niños menores a catorce años por enfermedad respiratoria aguda en el municipio de toluviejo (Sucre)*. Bogotá.
- [12] Seinfeld, J.H., Pandis, S.N, 2006. *Atmospheric chemistry and physics: From air pollution to climate change*. John Wiley & Sons, Inc, Hoboken, New Jersey.
- [13] Organización mundial de la salud (consulta 21 de abril de 2014). Disponible en: <http://www.ecodes.org/salud-calidad-aire/201302176117/Impactos-sobre-la-salud-de-la-contaminacion-atmosferica>
- [14] Sbarato, V., Sbarato, D., Basán R., Manzo, P. Ortega, J., Campos, M, Salort, R. *Análisis y Caracterización del Material Particulado Atmosférico*. Ciudad de Córdoba, Argentina.
- [15] De La Rosa, M., Mosso, M., Ullan, C. 2002. *El aire: hábitat y medio de transmisión de microorganismos*. Observatorio Medioambiental. ISSN: 1139-1987
Vol. 5 : 375-402
- [16] Salvador K. 2010. Tesis: *Estudio microbiológico del material particulado atmosférico de santiago mediante herramientas de biología molecular*. Saniago, Chile.
- [17] Atlas R., y Bartha, R. 2002 *Ecología microbiana y Microbiología ambiental*. Pearson Educación. ISBN: 84-7829-039-7. Madrid.
- [18] Who. 2006. *Air quality guidelines particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulphur dioxide Summary of risk assessment*
- [19] Aldabe, J. 2011. *Caracterización físico-química del material particulado en la comunidad foral de Navarra*. ISBN 84-8081-106-4.
- [20] Godish, T., 1997. *Air Quality*. Lewis Publishers, New York, United States of America.



[21] US EPA. 2009. *Air Quality Index. A Guide to Air Quality and Your Health*. Office of Air Quality Planning and Standards

[22] Morales, I., Blanco, V., García, . 2010. *Calidad del aire interior en edificios de uso publico*.

[23] Daniels, F., Martínez, E., Quinchía., Morales, O., Romero, A., Marín, A., Arbeláez, P. 2007. *Contaminación atmosférica y efectos sobre la salud de la población de Medellín y su área metropolitana*.

[24] Cuesta, O., Wallo, A., Colazo, A. *El uso del índice de calidad del aire (ICA) en la gestión ambiental*. Cuba.

[25] Díaz, V., Páez, C. 2006. *Corporación para el Mejoramiento del Aire de Quito – CORPAIRE*. Quito, Ecuador.

[26] Instituto de Diagnóstico Ambiental y Estudios del Agua, Instituto de Salud Carlos III, Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. 2013. *Niveles, Composición y Fuentes de PM10 y PM2,5 en España: Aragón, Asturias, Castilla La Mancha, y Madrid*

[27] Alastuey , A., MANTILLA, E., RODRIGUEZ, S. 2000. *Necesidades derivadas de la propuesta de la directiva del consejo relativa a partículas pm10 y pm2.5 e implicaciones en la industria cerámica*.

[28]

http://es.wikipedia.org/wiki/Azogues#Poblaci.C3.B3n_de_las_parroquias_del_cant.C3.B3n_de_Azogues. Fecha de consulta 8 de junio de 2014

[29] <http://www.trenandino.org/rehabilitaciondeltren/azoguez.php>.

[30] Thermo Andersen. *Manual de operación Muestreador de Alto Volumen PM10 (HVPM10)*.



- [31] Balcarce. E., Red de Monitoreo de Calidad del Aire de la Secretaría Regional Ministerial de Salud de la Región Metropolitana. 2009. *Manual de procedimientos para determinación de material particulado.*
- [32] Díaz, V., Páez, C. 2006. *Contaminación por material particulado en Quito y aracterización química de las muestras.*
- [33] Angulo M., Patiño, M. *Medición y Evaluación de la Calidad del Aire en los Sectores de Fertisa y Trinitaria de la Ciudad de Guayaquil debido a la Presencia de Material Particulado Menor a 10 y 2.5 um*
- [34] Universidad de Cuenca., Centro de Estudios Ambientales. *Evaluación del riesgo de exposición a sustancias toxicas procedentes de la contaminación atmosférica en la ciudad de Cuenca.*



ANEXOS



ANEXO 1: TABLA DE DATOS Y RESULTADOS

TABLA DE DATOS Y RESULTADOS																	
CUANTIFICACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE MATERIAL PARTICULADO PM10 EN DOS ZONAS DE LA CIUDAD DE AZOGUES																	
CONDICIONES DEL LABORATORIO: TEMPERATURA = 25 C ; HUMEDAD= 42 %																	
PUNTO DE MUESTREO	FECHA	# FILTRO	MASA				RELOJ CONTADOR DIGITAL		HORA DE MONITOREO		TIEMPO DE MUESTREO		CONTADOR			FLUJO ESTANDAR "Qest"	VELOCIDAD ESTANDAR "Vest"
			INICIAL (g)	FINAL (g)	NETA (g)	NETA (µg)	INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL	h	min	INICIO	FINAL	EFEC.	m ³ /minuto	m3
UNIDAD EDUCATIVA LA SALLE	01-sep-13	1	2,7865	2,84	0,055	54800	21:59	2:59	15h03	15h03	24	1440	177010	179410	2400	0,59482114	856,5424445
	05-sep-13	2	2,8125	2,88	0,064	64500	3:27	3:27	20h20	20h20	24	1440	179410	181810	2400	0,59482114	856,5424445
	09-sep-13	3	2,8221	2,88	0,062	61900	16:58	16:58	9h57	9h57	24	1440	181810	184210	2400	0,59482114	856,5424445
	13-sep-13	4	2,787	2,84	0,053	53200	23:45	23:45	16h45	16h45	24	1440	184210	186610	2400	0,59482114	856,5424445
	17-sep-13	5	2,7963	2,85	0,054	53700	0:00	0:00	17h00	17h00	24	1440	186610	189010	2400	0,59482114	856,5424445
	21-sep-13	6	2,7955	2,84	0,045	45000	0:10	0:10	17h08	17h08	24	1440	189010	191410	2400	0,59482114	856,5424445
	25-sep-13	7	2,8033	2,86	0,057	56600	0:20	0:20	17h18	17h18	24	1440	191413	193813	2400	0,59482114	856,5424445
	29-sep-13	8	2,794	2,82	0,03	30000	2:54	2:54	19h52	19h52	24	1440	193813	196213	2400	0,59482114	856,5424445
	03-oct-13	9	2,8026	2,82	0,021	21000	3:09	3:09	20h07	20h07	24	1440	196213	198613	2400	0,59482114	856,5424445
	07-oct-13	10	2,7716	2,81	0,042	42200	3:21	3:21	20h19	20h19	24	1440	198613	201013	2400	0,59482114	856,5424445
	11-oct-13	11	2,7852	2,81	0,023	22800	19:02	19:02	12h00	12h50	24	1440	201013	203413	2400	0,59482114	856,5424445
	15-oct-13	12	2,8136	2,86	0,051	51300	21:57	21:57	14h57	14h57	24	1440	203413	205813	2400	0,59482114	856,5424445
	19-oct-13	13	2,8055	2,86	0,051	50700	22:08	22:08	15h05	15h05	24	1440	205813	208213	2400	0,59482114	856,5424445
	23-oct-13	14	2,7921	2,85	0,059	59400	21:39	21:39	15h10	15h10	24	1440	208291	210691	2400	0,59482114	856,5424445
	27-oct-13	15	2,7992	2,86	0,06	60100	22:23	22:23	15h20	15h20	24	1440	210691	213091	2400	0,59482114	856,5424445
	31-oct-13	16	2,7825	2,83	0,048	48000	22:50	22:50	15h47	15h47	24	1440	213091	215491	2400	0,59482114	856,5424445
	04-nov-13	17	2,7924	2,82	0,029	28600	23:12	23:12	16h08	16h08	24	1440	215491	217891	2400	0,59482114	856,5424445
	08-nov-13	30	2,7917	2,83	0,042	42400	23:25	23:25	14h30	14h30	24	1440	254012	256412	2400	0,59482114	856,5424445
12-nov-13	32	2,7967	2,84	0,048	47900	23:35	23:35	14h40	14h40	24	1440	256423	258823	2400	0,59482114	856,5424445	
16-nov-13	35	2,787	2,81	0,026	25800	0:15	0:15	15h20	15h20	24	1440	263624	266044	2420	0,59482114	856,5424445	
20-nov-13	37	2,8133	2,83	0,021	20700	1:25	1:25	16H30	16H30	24	1440	268457	270857	2400	0,59482114	856,5424445	
24-nov-13	38	2,8032	2,84	0,04	40000	2:01	2:01	17H07	17H07	24	1440	270876	273276	2400	0,59482114	856,5424445	



TABLA DE DATOS Y RESULTADOS

CUANTIFICACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE MATERIAL PARTICULADO PM10 EN DOS ZONAS DE LA CIUDAD DE AZOGUES

PUNTO DE MUESTREO	FECHA	# FILTRO	MASA				RELOJ CONTADOR DIGITAL		HORA DE MONITOREO		TIEMPO DE MUESTREO		CONTADOR			FLUJO ESTANDAR "Qest"	VELOCIDAD ESTANDAR "Vest"
			INICIAL (g)	FINAL (g)	NETA (g)	NETA (µg)	INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL	h	min	INICIO	FINAL	EFEC.	m ³ /minuto	m ³
TERMINAL TERRESTRE	01-dic-13	39	2,819	2,83	0,01	8100	2:25	2:25	17H30	17H30	24	1440	273276	275676	2400	0,5948211	856,54244
	05-dic-13	40	2,814	2,85	0,04	35400	2:31	2:31	17H36	17H36	24	1440	275676	278076	2400	0,5948211	856,54244
	09-dic-13	41	2,808	2,85	0,04	43800	2:42	2:42	17h47	17h47	24	1440	278076	280476	2400	0,5948211	856,54244
	13-dic-13	42	2,796	2,84	0,04	44600	2:51	2:51	17h55	17h55	24	1440	280476	282876	2400	0,5948211	856,54244
	17-dic-13	43	2,799	2,82	0,02	24000	3:02	3:02	18h05	18h05	24	1440	282876	285276	2400	0,5948211	856,54244
	21-dic-13	45	2,824	2,86	0,04	37400	3:21	3:21	18h25	18h25	24	1440	287676	290076	2400	0,5948211	856,54244
	02-feb-14	18	2,818	3,09	0,28	276900	13:03	13:03	11h42	11h42	24	1440	225152	227552	2400	0,5948211	856,54244
	06-feb-14	29	2,785	2,88	0,09	93000	23:04	23:04	14h10	14h10	24	1440	249212	251612	2400	0,5948211	856,54244
	10-feb-14	31	2,788	2,89	0,1	100900	23:16	23:16	14h20	14h20	24	1440	251612	254012	2400	0,5948211	856,54244
	14-feb-14	24	2,792	2,89	0,1	73000	21:55	21:55	13h01	13h01	24	1440	237193	239593	2400	0,5948211	856,54244
	18-feb-14	20	2,792	2,88	0,09	91100	21:09	21:09	12h16	12h16	24	1440	229976	232376	2400	0,5948211	856,54244
	22-feb-14	26	2,804	2,89	0,09	86400	22:25	22:25	13h30	13h30	24	1440	242008	244408	2400	0,5948211	856,54244
	26-feb-14	23	2,82	2,9	0,08	84000	21:43	21:43	12h50	12h50	24	1440	234793	237193	2400	0,5948211	856,54244
	02-mar-14	19	2,818	2,9	0,08	82600	20:57	20:57	12h06	12h06	24	1440	227576	229976	2400	0,5948211	856,54244
	06-mar-14	25	2,795	2,87	0,08	79400	22:04	22:04	13h10	13h10	24	1440	239608	242008	2400	0,5948211	856,54244
	10-mar-14	27	2,803	2,88	0,08	81800	22:37	22:37	13h43	13h43	24	1440	244412	246812	2400	0,5948211	856,54244
	14-mar-14	28	2,801	2,87	0,07	73000	22:50	22:50	13h56	13h56	24	1440	246812	249212	2400	0,5948211	856,54244
	18-mar-14	33	2,794	2,86	0,07	66200	23:55	23:55	15h00	15h00	24	1440	258822	261224	2402	0,5948211	856,54244
	22-mar-14	34	2,806	2,87	0,07	67000	0:05	0:05	15h10	15h10	24	1440	261224	263624	2400	0,5948211	856,54244
	26-mar-14	21	2,8	2,86	0,07	65300	21:34	21:34	12h40	12h40	24	1440	232393	234793	2400	0,5948211	856,54244
30-mar-14	44	2,806	2,87	0,06	65000	3:11	3:11	18h15	18h15	24	1440	285276	287676	2400	0,5948211	856,54244	
03-abr-14	36	2,785	2,85	0,06	62100	0:06	0:06	16h10	16h20	24	1440	266057	268457	2400	0,5948211	856,54244	

