


UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y FARMACIA

The seal of the University of San Carlos of Guatemala is a large, circular emblem. It features a central shield with a figure on horseback, a crown above, and various symbols including a castle, a lion, and a cross. The shield is flanked by two columns. The outer ring of the seal contains the Latin text "ACADEMIA CAROLINA CONSPICUA COACTEMALENSIS INTER CETERA" and "ORBIS CONSPICUA CAROLINA ACADEMIA COACTEMALENSIS INTER CETERA".


Determinación de las concentraciones de Material Particulado con diámetro aerodinámico menor a 2.5 micrómetros ($PM_{2.5}$) presentes en el aire de ocho cabeceras departamentales de la República de Guatemala.

Juan José Ixcamparij López

Químico

Guatemala, marzo de 2015.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y FARMACIA



Determinación de las concentraciones de Material Particulado con diámetro aerodinámico menor a 2.5 micrómetros ($PM_{2.5}$) presentes en el aire de ocho cabeceras departamentales de la República de Guatemala.

Juan José Ixcamparij López

Químico

Guatemala, marzo de 2015.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y FARMACIA

Determinación de las concentraciones de Material Particulado con diámetro aerodinámico menor a 2.5 micrómetros ($PM_{2.5}$) presentes en el aire de ocho cabeceras departamentales de la República de Guatemala.

Informe de Tesis

Presentado por:

Juan José Ixcamparij López

Para optar al título de:

Químico

Guatemala, marzo de 2015.

JUNTA DIRECTIVA

Dr. Rubén Dariel Velásquez Miranda	Decano
Licda. Elsa Julieta Salazar Meléndez de Ariza, M.A.	Secretaria
MSc. Miriam Carolina Guzmán Quilo	Vocal I
Dr. Sergio Alejandro Melgar Valladares	Vocal II
Br. Michael Javier Mó Leal	Vocal IV
Br. Blanqui Eunice Flores De León	Vocal V

DEDICATORIA

En memoria de Jhoni Álvarez...

*Buen catedrático, comprensivo jefe,
solidario compañero y entrañable amigo.*

AGRADECIMIENTOS

Ciudad de Guatemala: German Ixcampary, Joel Ixcamparij, Edwin Axpuaça, Edgar Gamboa, Eduardo Saquilmer, Lucrecia Ixcamparij, Pablo Oliva, Elisandra Hernández, Francisco García, William Quiroa, Balmore Valladares, Berly Gamboa, Walda Salazar y Anival Ruiz **Escuintla:** Enio Cano Lima, Marco Pereira (Gobernación Departamental), Benjamín Gomez, Allan Concuera, Melani y Nicole. **Quetzaltenango:** Ingrid Mull (Biblioteca del Banco de Guatemala), Juan (Dr. Nativo) y Lea (Casa Nativos). Bomberos Voluntarios: Carlos Juarez Diaz (Director CBV, Quetzaltenango), Carlos Juarez Izquierdo, Guadalupe Sigüenza, Ricardo Rojas, Josue Calderon, Otto Mendez, Abraham Racancoj y José Maldonado. **Quiché:** Bomberos Voluntarios: Francisco Urizar (Director CBV, Santa Cruz del Quiché), Fernando Cifuentes, Marlon Gamaro, Daniel Cifuentes y Selvin de la Cruz. Lester Gil (Coordinador RRHH de la Municipalidad de Santa Cruz del Quiché). Bomberos Municipales: Arturo Giron, Alvaro Leona y Eduardo Pineda. **Santa Rosa:** Carmen Morales de Paz y Jose Antonio Lopez. Bomberos Voluntarios: Ana Lucia Ponciano y Fabiola Granados. **Cobán:** Jazmin Hercules, Mario Coy, Cesar Delgado y Rudy José Perez. **Flores:** José Francisco Razo (Secretario, Municipalidad de Flores, Peten), Agentes: Domingo Mucu Chub y Rigoberto Rodriguez Cruz y J. Sierra (Hotel Los Estudiantes). **Puerto Barrios:** Bomberos Voluntarios: Juan Pineda (Director CBV), Raúl Pedroza, Mario Miranda, Magaly López. Milvia Sarmiento (Coordinadora Departamental del Ministerio de Desarrollo Social) y Rebeca Valenzuela. **Otras altitudes y latitudes:** Jorge Raúl Ixcamparij (Huehuetenango), Wojciech Lopaciński (Polonia) y su hermosa familia, Verónica Oliva (Zacapa), Stephany (Toulouse, Francia) y Elisa Mateo Mateo (San Pedro Ayampuc).

ÍNDICE

I. RESUMEN.....	7
II. INTRODUCCIÓN.....	9
III. ANTECEDENTES.....	11
A. Descripción del Área de Estudio.....	11
1. Ubicación.....	11
2. Límites.....	11
3. Topografía.....	11
4. Clima.....	12
a) Clasificación Climática de Köppen.....	12
b) Clasificación Climática de Thornthwaite.....	12
5. División Política.....	13
6. Situación Demográfica.....	13
B. Estudios Previos.....	14
C. Trabajos Similares Realizados en Otros Países de la Región.....	20
D. Material Particulado Presente en el Aire.....	22
1. Naturaleza y Fuentes.....	22
2. Clasificación del Material Particulado.....	22
a) Partículas Totales en Suspensión (PTS).....	23
b) Material Particulado con diámetro aerodinámico menor a 10 micrómetros (PM ₁₀).....	23
c) Material Particulado con Diámetro Aerodinámico Menor a 2.5 micrómetros (PM _{2.5}).....	24
IV. JUSTIFICACIÓN.....	26
V. OBJETIVOS.....	28
A. General.....	28
B. Específicos.....	28
VI. HIPÓTESIS.....	29
VII. MATERIALES Y MÉTODOS.....	30
A. Universo y Muestra.....	30
B. Reactivos.....	31
C. Material y Equipo.....	31
1. Equipo de Laboratorio.....	31
2. Equipo de Muestreo.....	31
3. Material de Muestreo.....	32
4. Material de Laboratorio.....	32
D. Métodos.....	33
1. Alcance y Aplicabilidad.....	33
2. Resumen del método.....	33
3. Advertencias de Salud y Seguridad.....	34

4. Precauciones Tomadas Durante los Procedimientos Gravimétricos.....	35
5. Interferencias.....	35
6. Procedimiento.....	36
a) Acondicionado del Lote de Filtros Seleccionado Para el Muestreo.....	36
b) Pesado de filtros (Antes del muestreo).....	38
c) Muestreo.....	39
d) Hoja de Campo.....	40
e) Pesado de filtros (Después del muestreo).....	40
f) Cálculos.....	41
E. Diseño de la Investigación.....	43
1. Variables Dependiente e Independiente.....	43
2. Muestreo.....	43
3. Temporalidad.....	44
4. Análisis Estadístico.....	44
5. Limitaciones.....	44
6. Selección del Período Estacional.....	45
VIII. RESULTADOS.....	47
A. Registro gravimétrico del acondicionamiento de los filtros (Previo al Muestreo).....	47
B. Escuintla.....	49
C. Quetzaltenango.....	50
D. Santa Cruz del Quiché.....	51
E. Cuilapa.....	52
F. Cobán.....	53
G. Ciudad de Guatemala.....	54
H. Ciudad Flores.....	55
I. Puerto Barrios.....	56
J. Concentraciones PM _{2.5} para todas las estaciones.....	57
IX. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	61
X. CONCLUSIONES.....	66
XI. RECOMENDACIONES.....	68
XII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	69
XIII. ANEXOS.....	73

ÍNDICE DE MAPAS

No.	Título	Página
1	División regional utilizada para este estudio	74
2	Ubicación de Guatemala	75
3	Límites de Guatemala	76

ÍNDICE DE TABLAS

No.	Título	Página
1	Tipos de Clima en la República de Guatemala según la clasificación de Thornthwaite.	13
2	Contaminantes estudiados en la “Investigación Preliminar de los Contaminantes Gaseosos y Sólidos en las zonas de mayor tráfico del área urbana de la Ciudad de Guatemala”.	14
3	Resultados del estudio “Investigación de la contaminación del aire en el área central de la Ciudad de Guatemala”.	16
4	Puntos de Muestreo de alta densidad de tráfico monitoreados por el LMA.	17
5	Puntos de Muestreo de baja densidad de tráfico monitoreados por el LMA.	18
6	División regional de la República de Guatemala utilizada para esta investigación.	30
7	Cálculos realizados en el análisis gravimétrico de PM _{2.5} .	42
8	Registro de pesos (mg) durante el proceso de acondicionamiento de los filtros previo a su exposición (Muestreo).	47
9	Datos generales y resultados obtenidos en las estaciones colocadas en Escuintla.	49
10	Datos generales y resultados obtenidos en las estaciones colocadas en Quetzaltenango.	50
11	Datos generales y resultados obtenidos en las estaciones colocadas en Quiché.	51
12	Datos generales y resultados obtenidos en las estaciones colocadas en Santa Rosa.	52
13	Datos generales y resultados obtenidos en las estaciones colocadas en Alta Verapaz.	53
14	Datos generales y resultados obtenidos en las estaciones colocadas en la Ciudad de Guatemala.	54
15	Datos generales y resultados obtenidos en las estaciones colocadas en la cabecera departamental de Petén.	55
16	Datos generales y resultados obtenidos en las estaciones colocadas en Izabal.	56
17	Concentraciones de PM _{2.5} obtenidas en cada una de las veinticuatro estaciones.	57
18	Interpretación de resultados de las 24 estaciones.	59

ÍNDICE DE FIGURAS

No.	Título	Página
1	Distribución porcentual de las diez principales causas de muerte en Guatemala en el año 2012.	19
2	Comparación de tamaño entre el material particulado PM ₁₀ y PM _{2.5} .	24
3	Determinación de la masa inicial de los filtros.	34
4	Búsqueda del lugar óptimo para la colocación del equipo en una de las estaciones colocadas en Puerto Barrios, Izabal.	35
5	Filtro colocado dentro de la desecadora previo a su pesada.	37
6	Colocación de los filtros dentro del horno durante el procedimiento de “pesaje-equilibrio” a veinticuatro horas.	37
7	Equipo colocado para muestreo activo de 24 horas en una de las tres estaciones colocadas en la ciudad de Cobán, Alta Verapaz	39
8	Disco suministrado por el fabricante con el software para Monitor de Partículas FRM (Método del Filtro de Referencia) OMNI, BGI Air Sampling System, versión 1.0.01K	42
9	Tendencia de pérdida de masa observada para los filtros durante el proceso de acondicionamiento previo a su exposición (Muestreo).	48
10	Resultados de PM _{2.5} para la cabecera departamental de Escuintla.	49
11	Resultados de PM _{2.5} para la cabecera departamental de Quetzaltenango.	50
12	Resultados de PM _{2.5} para la cabecera departamental de Quiché.	51
13	Resultados de PM _{2.5} para la cabecera departamental de Santa Rosa.	52
14	Resultados de PM _{2.5} para la cabecera departamental de Alta Verapaz.	53
15	Resultados de PM _{2.5} para la Ciudad de Guatemala.	54
16	Resultados de PM _{2.5} para la cabecera departamental de Petén.	55
17	Resultados de PM _{2.5} para la cabecera departamental de Izabal.	56
18	Resultados de PM _{2.5} para todas las estaciones monitoreadas.	58
19	Concentraciones promedio de PM _{2.5} .	60
20	Dispersión de las concentraciones de PM _{2.5} a nivel departamental.	60

ÍNDICE DE FIGURAS

No.	Título	Página
21	Topografía de la República de Guatemala.	77
22	Muestreo en la estación P0101 (Gobernación departamental, Escuintla).	78
23	Muestreo en la estación P0102 (Hospital Privado, Escuintla).	78
24	Muestreo en la estación P0202 (Quinta Compañía de Bomberos Voluntarios, Quetzaltenango).	79
25	Muestreo en la estación P0203 (Estación de apoyo de Bomberos Voluntarios, Quetzaltenango).	79
26	Muestreo en la estación P0301 (Décimo segunda compañía de Bomberos Voluntarios, Santa Cruz del Quiché).	80
27	Muestreo en la estación P0302 (Cuadragésimo cuarta compañía de Bomberos Municipales, Santa Cruz del Quiché).	80
28	Muestreo en la estación P0401 (Vigésimo cuarta compañía de Bomberos Voluntarios, Cuilapa).	81
29	Muestreo en la estación P0402 (Casa Particular, Cuilapa).	81
30	Muestreo en la estación P0501 (Servicios Auxiliares de Administración de Justicia Penal, Cobán).	82
31	Muestreo en la estación P0502 (Casa Particular, Cobán).	82
32	Muestreo en la estación P0701 (Edificio Municipal, Flores).	83
33	Muestreo en la estación P0702 (Hotel Los Estudiantes, Flores).	83
34	Muestreo en la estación P0801 (Séptima Compañía de Bomberos Voluntarios, Puerto Barrios).	84
35	Muestreo en la estación P0802 (Sede del Ministerio de Desarrollo Social, Puerto Barrios).	84
36, 37 y 38.	Hojas de cálculo utilizadas para determinar las concentraciones de $PM_{2.5}$ en las estaciones colocadas en Escuintla.	85
39, 40 y 41.	Hojas de cálculo utilizadas para determinar las concentraciones de $PM_{2.5}$ en las estaciones colocadas en Quetzaltenango.	86

ÍNDICE DE FIGURAS

No.	Título	Página
42, 43 y 44.	Hojas de cálculo utilizadas para determinar las concentraciones de PM _{2.5} en las estaciones colocadas en Quiché.	87
45, 46 y 47.	Hojas de cálculo utilizadas para determinar las concentraciones de PM _{2.5} en las estaciones colocadas en Cuilapa.	88
48, 49 y 50.	Hojas de cálculo utilizadas para determinar las concentraciones de PM _{2.5} en las estaciones colocadas en Cobán.	89
51, 52 y 53.	Hojas de cálculo utilizadas para determinar las concentraciones de PM _{2.5} en las estaciones colocadas en la Ciudad de Guatemala.	90
54,55 y 56.	Hojas de cálculo utilizadas para determinar las concentraciones de PM _{2.5} en las estaciones colocadas en la Ciudad de Flores.	91
57, 58 y 59.	Hojas de cálculo utilizadas para determinar las concentraciones de PM _{2.5} en las estaciones colocadas en Puerto Barrios.	92
60	Filtro No. 01 colocado en la estación P0101 (Escuintla).	93
61	Filtro No. 02 colocado en la estación P0102 (Escuintla).	93
62	Filtro No. 04 colocado en la estación P0202 (Quetzaltenango).	94
63	Filtro No. 05 colocado en la estación P0203 (Quetzaltenango).	94
64	Filtro No. 07 colocado en la estación P0301 (Quiché).	95
65	Filtro No. 08 colocado en la estación P0302 (Quiché).	95
66	Filtro No. 19 colocado en la estación P0701 (Flores).	96
67	Filtro No. 20 colocado en la estación P0702 (Flores).	96
68	Filtro No. 22 colocado en la estación P0801 (Puerto Barrios).	97
69	Filtro No. 23 colocado en la estación P0802 (Puerto Barrios).	97
70	Hoja de Campo utilizada en la estación P0802 (Puerto Barrios).	98
71	Hoja de Campo utilizada en la estación P0301 (Santa Cruz del Quiché).	99
72	Hoja de Campo utilizada en la estación P0401 (Cuilapa).	100
73	Hoja de Campo utilizada en la estación P0203 (Quetzaltenango).	101

I. RESUMEN

El aire es un elemento vital para la supervivencia del ser humano y es importante que el mismo cumpla con los requerimientos mínimos de calidad establecidos por organizaciones nacionales e internacionales (COGUANOR, OMS, EPA) a fin de que la salud de la población no se vea afectada de forma negativa.

En Guatemala el porcentaje de la población que tiene consciencia de la importancia del monitoreo periódico de la calidad del aire que se respira en su ciudad es muy bajo y pocas son las entidades que se ocupan de dicho trabajo. El Laboratorio de Monitoreo del Aire (LMA) ha generado un registro periódico de datos que permiten tener una perspectiva amplia respecto a la Calidad del Aire de la capital. No ocurre lo mismo con los demás departamentos en los cuales pocas han sido las mediciones realizadas para evaluar la calidad del aire que respiran los habitantes del interior del país.

El principal objetivo de este estudio, de naturaleza exploratoria, es establecer una línea base de datos de material particulado menor a 2.5 micrómetros ($PM_{2.5}$) que permita tener una mejor perspectiva de la calidad del aire a nivel nacional. En esta investigación se realizaron las primeras mediciones de $PM_{2.5}$ en el interior de la República de Guatemala, seleccionando una cabecera departamental para cada una de las ocho regiones delimitadas por el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN).

Las cabeceras departamentales fueron seleccionadas en base a los resultados de PM_{10} obtenidos en el primer estudio de calidad del aire a nivel departamental, investigación ejecutada en el año 2013 por el LMA en coordinación con la Unidad de Cambio Climático del MARN. Se escogió para cada una de las ocho regiones la cabecera departamental que reportó los datos más altos de PM_{10} en dicho estudio.

Se colocaron tres estaciones en cada una de las ocho cabeceras departamentales seleccionadas, procurando abarcar locaciones ubicadas en calles y avenidas principales, así como también las zonas residenciales.

En cada una de las estaciones se realizó un muestreo activo utilizando un Monitor de Partículas FRM (Método del Filtro de Referencia) OMNI para bombear aire a un flujo aproximado de cinco litros por

minuto a través de filtros de Politetrafluoroetileno (PTFE) durante un período de 24 horas. Las muestras colectadas se analizaron por métodos gravimétricos y las concentraciones de $PM_{2.5}$ se calcularon utilizando el software suministrado por el fabricante para el equipo.

Las cabeceras departamentales que presentaron las concentraciones más altas de $PM_{2.5}$ fueron: la Ciudad de Guatemala, Escuintla, Cuilapa y Quetzaltenango. En estos lugares se registró por lo menos una medición que excedía los valores guías recomendados por la OMS para mediciones de veinticuatro horas.

Las cabeceras departamentales de Alta Verapaz, Puerto Barrios y Quiché reportaron concentraciones de $PM_{2.5}$ aceptables en lo que respecta a material particulado fino y ninguna de las mediciones realizadas en estos lugares sobrepasó los valores guías de la OMS.

La ciudad de Flores, Petén, reportó los valores más bajos de $PM_{2.5}$ de todas las cabeceras departamentales evaluadas en este estudio.

Solamente ocho de las 24 mediciones de $PM_{2.5}$ realizadas a en este estudio sobrepasaron el valor guía sugerido por la OMS para mediciones de 24 horas y se encontró que las concentraciones de $PM_{2.5}$ no siempre están relacionadas, o por lo menos no siempre de forma directamente proporcional, con su cercanía a terminales de buses y mercados, como se planteó en la hipótesis.

Se recomienda hacer mediciones de $PM_{2.5}$ en aquellas cabeceras departamentales que no se incluyeron en este estudio así como también sería oportuno hacer mediciones periódicas de calidad del aire en aquellas cabeceras departamentales que reportaron altas concentraciones de material particulado fino.

II. INTRODUCCIÓN

En Guatemala al igual que en muchos países de América Latina el deterioro de la calidad del aire es una indeseable consecuencia de diversos factores entre los cuales es pertinente mencionar: el incremento de las actividades industriales, el crecimiento del parque automotor, el funcionamiento de un sistema de transporte público ineficiente (unidades muy antiguas que emiten contaminantes en cantidades peligrosas) y la pésima gestión de las autoridades con recursos limitados y en la mayoría de los casos mal administrados.

La baja calidad del aire ha empezado a repercutir en la salud de la población más vulnerable (niños, adultos mayores y personas susceptibles a padecer afecciones respiratorias), de cuenta que según datos del Instituto Nacional de Estadística (INE) en el año 2012 las afecciones respiratorias (neumonía y bronconeumonía) ocuparon la posición número uno entre las 10 principales causas de muerte, superando incluso el número de muertes causadas por agresiones con arma de fuego (Narciso R., 2013, p. 17).

En 1994 buscando responder a esta problemática y gracias al apoyo de la fundación Suiza Swisscontact en cooperación con la Universidad de San Carlos de Guatemala (USAC) se implementó el Laboratorio de Monitoreo del Aire (LMA). Esta entidad ha estado evaluando y reportando periódicamente la calidad del aire en la Ciudad de Guatemala durante los últimos veinte años, generando un amplio registro de datos en lo que respecta a gases (dióxido de azufre y dióxido de nitrógeno), sedimentación ácida y material particulado (Partículas Totales en Suspensión [TPS] y Partículas con diámetro aerodinámico menor a $10\mu\text{m}$ [PM_{10}]), parámetros que en conjunto se denominan contaminantes criterio.

Recientemente la medición de TPS ha sido relevada en importancia por las mediciones de material particulado más fino. Tal es el caso de las partículas con diámetro aerodinámico menor a $2.5\mu\text{m}$ ($\text{PM}_{2.5}$), las cuales son más peligrosas debido a que su diminuto tamaño les permite penetrar profundamente en el tracto respiratorio y llegar hasta los pulmones.

Hasta hace poco la información sobre las $PM_{2.5}$ era escasa, pero a medida que se van realizando más estudios también se va haciendo más evidente el hecho de que están íntimamente relacionadas con muertes por enfermedades respiratorias y cardiovasculares. El LMA realizó las primeras mediciones periódicas de este parámetro a partir del año 2012 en algunos puntos de la Ciudad de Guatemala.

Tomando en cuenta que la labor del LMA se ha desarrollado casi exclusivamente en la Ciudad de Guatemala el principal objetivo de esta investigación fue generar, por primera vez, información sobre las concentraciones de $PM_{2.5}$ a nivel departamental. Para cumplir con este objetivo se seleccionó una cabecera departamental para cada una de las ocho regiones en que se ha dividido el total de la extensión territorial por el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN) (ver mapa No. 1 en anexos).

Se llevaron a cabo un total de 24 mediciones, tres por cada una de las cabeceras departamentales seleccionadas, colectando todas las muestras durante el mismo período estacional (época lluviosa), de modo que el tiempo de la colecta no fuera menor a 30 días ni mayor a 45.

III. ANTECEDENTES

A. Descripción del Área de Estudio

1. Ubicación

La República de Guatemala está localizada en América Central, en el sector septentrional del istmo centroamericano, al sur del trópico del cáncer y al norte del ecuador, en la región conocida como Franja Tropical o Zona tórrida (ver mapa No. 2 en anexos). Su referencia geográfica se localiza entre los paralelos 13° 30' a 18°00' norte y los meridianos 88°00' a 92°30' oeste.

2. Límites

Limita al oeste y al norte con México, al este con Belice y el Golfo de Honduras, al sureste con Honduras y El Salvador y al sur con el Océano Pacífico (ver mapa No. 3 en anexos). Posee una extensión territorial de 108,889 Km², además cuenta con una extensión marina de aproximadamente, 118,506 Km², la cual no se detalla con exactitud debido al litigio con Belice y la falta de acuerdo en los límites marinos con Honduras.

3. Topografía

La topografía del territorio es muy variable (ver figura No. 21 en anexos), pero un alto porcentaje (60% aproximadamente), es montañoso, sobre todo en la región central del país, en esta cadena montañosa se encuentran los 37 volcanes reconocidos por el Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH), seis de los cuales han presentado actividad recientemente y 3 están permanentemente activos (Fuego, Pacaya y Santiaguito), los más altos son el Tajumulco y Tacaná con 4,220 y 4,093 metros sobre el nivel del mar respectivamente, la parte plana se encuentra tanto en el litoral pacífico como en la parte norte del país (MARN. 2013, págs. 23-26).

4. Clima

La descripción y predicción de las condiciones climáticas locales ha sido importante desde tiempos antiguos cuando los mayas aprendieron a reconocer, por razones evidentemente agrícolas, las épocas secas y lluviosas gracias a sus minuciosas y bastante acertadas observaciones astronómicas.

Actualmente para describir el comportamiento climático de una región es necesario tomar en cuenta diferentes variables como: presencia y desplazamiento del viento, índice de humedad, temperatura, criterios hidrológicos, topografía, e incluso algunos valores arbitrarios. Estas variables deben escogerse a conveniencia y en base a esta selección es posible establecer clasificaciones climáticas. Actualmente dos de las clasificaciones más utilizadas son la de Köppen y la de Thornthwaite, las cuales se describirán brevemente a continuación.

a) Clasificación Climática de Köppen

Establece una coincidencia con los términos utilizados en la geografía botánica tales como: selva, sabana, estepa, desierto, bosque, tundra, etc. Esta clasificación fue concebida para describir amplias zonas climáticas que se extienden esencialmente en latitud y no en elevación y es por esta razón que al aplicarse al territorio de Guatemala, no muy extenso pero si con variaciones topográficas significativas, no logra resolver satisfactoriamente la enorme cantidad de climas y microclimas presentes (Herrera, 2003, p. 22).

b) Clasificación Climática de Thornthwaite

La clasificación Thornthwaite ha sido ampliamente asumida dadas las aportaciones de su autor al edafoclima e hidrología, desde una perspectiva geográfica. Se basa en la consideración de la eficacia térmica y la humedad disponible. Está clasificación define unos tipos según la humedad y su variación estacional y otros tipos según la eficacia térmica y su concentración estival. (MARN, 2013, p. 29) Al aplicar la clasificación Thornthwaite a Guatemala se resuelve más apropiadamente la variedad de climas y microclimas existentes, lográndose distinguir 13 tipos de clima (Tabla No. 1).

Tabla No. 1 Tipos de Clima en la República de Guatemala según la clasificación de Thornthwaite.

No.	Símbolo	Jerarquía de Humedad	Jerarquía de Temperatura	Vegetación Natural Característica
1	AA'	Muy Húmedo	Cálido	Selva
2	AB"	Muy Húmedo	Semi-Cálido	Selva
3	AB'2	Muy Húmedo	Templado	Selva
4	AB"3	Muy Húmedo	Semi-Frío	Selva
5	BA'	Húmedo	Cálido	Bosque
6	BB'	Húmedo	Pastizal	Bosque
7	BB'2	Húmedo	Pastizal	Bosque
8	BB'3	Húmedo	Pastizal	Bosque
9	CA'	Semi-Seco	Cálido	Pastizal
10	CB'	Semi-Seco	Semi-Cálido	Pastizal
11	CB'2	Semi-Seco	Templado	Pastizal
12	CB'3	Semi-Seco	Semi-Frío	Pastizal
13	DA'	Seco	Cálido	Estepa

Fuente: Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA). Guatemala, agosto de 2001.

5. División Política

El territorio de la República de Guatemala se divide en 22 departamentos los cuales están subdivididos en municipios que suman un total de 338. El municipio con mayor extensión territorial es San Luis, ubicado en el departamento del Petén (8,059.65 Km²) y el de menor extensión territorial es el de Santa Catarina Palopó (4.73 Km²) del departamento de Sololá (Narciso, 2013, p.13).

6. Situación Demográfica

Según las proyecciones de población basadas en los Censos Nacionales XI de Población y VI de Habitación 2002, el número de habitantes para la República de Guatemala, al 30 de Junio de 2012, fue de 15,073,375. La población creció 2.44% entre 2011 y 2012. Del total de la población, 48.8% son hombres y 51.2% son mujeres. A nivel nacional el porcentaje de población que se identifica como

indígena es de 40% y la república es mayoritariamente rural debido a que el 51.0% de la población habita en esta área (Narciso, 2013, p. 13).

B. Estudios Previos

Los primeros estudios realizados en Guatemala sobre la contaminación del aire datan del año 1971 y se ejecutaron a través del proyecto: *“Investigación Preliminar de los Contaminantes Gaseosos y Sólidos en las zonas de mayor tráfico del área urbana de la Ciudad de Guatemala”*. Este proyecto estuvo a cargo de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria (ERIS) de la USAC. Los contaminantes estudiados se presentan con detalle en la Tabla No. 2.

Tabla No. 2 Contaminantes estudiados en la *“Investigación Preliminar de los Contaminantes Gaseosos y Sólidos en las zonas de mayor tráfico del área urbana de la Ciudad de Guatemala”*.

Contaminantes Gaseosos	Contaminantes Sólidos
Dióxido de Nitrógeno (NO ₂)	Plomo (Pb)
Ácido Fluorhídrico (HF)	Cobre (Cu)
Cloro (Cl)	Mercurio (Hg)
Anhídrido Sulfuroso (SO ₂)	Cromatos
Ozono (O ₃)	Selenio (Se)
Amoníaco (NH ₃)	Hierro (Fe)
Formaldehído (HCOH)	Níquel (Ni)
	Fosfatos
Ácido Sulfúrico (H ₂ SO ₄)	Arsénico (As)

Fuente: Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria (ERIS). Guatemala, 1972.

Entre las principales conclusiones de esta investigación, (citado en Oliva, 2008, p. 11) destacan: los únicos contaminantes que sobrepasaron los valores guía sugeridos por la OMS (70µg/m³) fueron los gases NO₂ y SO₂. En lo que respecta a los sólidos el hallazgo más significativo fue la presencia de plomo.

Posteriormente la Red Panamericana de Muestreo Normalizado de la Contaminación del Aire (REDPANAIRE), una entidad patrocinada por la Organización Panamericana de la Salud (OPS) y que

había iniciado sus operaciones en junio de 1967, incluyó a Guatemala en sus estudios como parte de un ambicioso proyecto continental que para diciembre de 1973 contabilizaba 88 estaciones, distribuidas en 26 ciudades de 14 países. El programa colectó muestras mensuales de polvo sedimentable, muestras diarias de partículas en suspensión y dióxido de azufre (SO₂). Se seleccionaron estos tres contaminantes por ser los únicos para los cuales se disponía de técnicas de muestreo y análisis precisas y suficientemente sencillas como para poder ser empleadas por personal no especializado, lo cual resultó conveniente para una entidad cuyos países miembros poseían presupuestos limitados (Haddad, 1974, p. 130).

De acuerdo a los informes publicados por la REDPANAIRE, el primero en 1971 y el segundo en 1974, la mayoría de las ciudades incluidas en la red presentaron resultados elevados que duplicaban e incluso triplicaban los niveles de referencia recomendados para los contaminantes medidos. También se observó en estos resultados una tendencia al incremento en los niveles de contaminación del aire de muchas de las ciudades monitoreadas (Haddad, 1974, p. 130).

La estación colocada en Guatemala por la REDPANAIRE empezó a operar (como se cita en Oliva, 2008, p.12) en enero de 1973 y dejó de coleccionar datos en abril de 1981. La estación estuvo ubicada en el segundo nivel de la Dirección General de Servicios de Salud, en la catorce calle de la zona uno de la Ciudad de Guatemala. Los resultados para esta estación muestran que el único contaminante que sobrepasó los límites de referencia de la OMS fue el de Polvo Sedimentable.

En 1975 aparece la publicación “ERIS ante los problemas de contaminación”, en la cual se reportan los resultados de un estudio denominado “Investigación de monóxido de carbono en las zonas de mayor tráfico del área urbana de la ciudad de Guatemala”. Esta investigación arrancó en marzo de 1974 y con sus resultados se llegó a la conclusión de que los niveles de monóxido de carbono no superaban el valor máximo admisible (100 partes por millón) para la industria (Saravia, 1983, p. 6).

En 1983 se publicaron los resultados del estudio: “Investigación de la contaminación del aire en el área central de la Ciudad de Guatemala”. En este trabajo se determinaron las concentraciones de dióxido de azufre, polvo y metales pesados, presentes en diferentes puntos de muestreo ubicados en las zonas 7, 12, 4, 3, 1, 9, 2 y 10 de la Ciudad de Guatemala (Tabla No. 3) durante dos periodos de muestreo. En el

informe se reportó la presencia de altos niveles de plomo (Pb) especialmente en las estaciones No. 4 (3.23 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 3.50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), ubicada en la quinta avenida y novena calle de la zona 4, y No. 3 (1.88 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 1.37 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), ubicada al final de la avenida Bolívar (Saravia, 1983, p. 17).

En lo que respecta al SO_2 , en este estudio se encontraron altas concentraciones, particularmente en los puntos de mayor afluencia vehicular, siendo los más significativos los siguientes (valores promedio de la tabla No. 3): Zona 12 (2.24 ppm/mes), zona 3 (2.31 ppm/mes), zona 4 (2.46 ppm/día) y zona 9 (2.34 ppm/día) (Saravia, 1983, p. 27).

Tabla No. 3 Resultados del estudio “Investigación de la contaminación del aire en el área central de la Ciudad de Guatemala”.

Estación	Ubicación	Polvo Sedimentable mg/cm^2	pH	Plomo mg/m^3	SO_2 ppm/mes
1	Zona 7	1.46, ---	7.4, ---	0.51, ---	1.64, 2.39
2	Zona 12	1.14, 1.70	6.7, 7.4	0.19, 0.78	2.27, 2.21
3	Zona 3	3.20, 2.44	7.6, 7.5	1.88, 1.37	2.46, 2.30
4	Zona 4	1.24, 1.90	7.3, 7.8	3.23, 3.50	2.46, ---
5	Zona 3	0.90, 1.99	7.6, 7.7	0.49, 0.27	2.41, 2.08
6	Zona 1	2.21, 2.40	7.4, 7.6	0.44, 0.22	1.08, 2.64
7	Zona 9	2.51, 0.98	6.5, 7.5	0.73, 0.22	2.44, 2.24
8	Zona 1	0.41, 0.83	6.5, 7.5	0.36, 0.15	1.68, 1.48
9	Zona 2	1.70, 2.21	7.4, 7.5	0.49, 1.05	2.394, 1.52
10	Zona 10	0.12, 0.78	7.6, 7.5	0.36, 0.34	0.54, 1.06

Fuente: Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria (ERIS). Guatemala, 1983.

En los años noventa la fundación Suiza Swisscontact ejecutó varios programas de apoyo con el objetivo de contribuir al mejoramiento de las condiciones ambientales en la región centroamericana. En 1993 uno de estos estudios enfocado en la medición de las emisiones vehiculares evidenció el mal estado del parque vehicular y la necesidad de realizar mediciones periódicas con el fin de evaluar la calidad del aire en la Ciudad de Guatemala (Oliva, 2008, p. 14).

En 1994 se llegó a un convenio entre Swisscontact y la USAC en el cual ambas partes se comprometieron a trabajar en conjunto para la implementación de un Laboratorio que se encargaría de hacer las mediciones periódicas de algunos contaminantes en el aire de la Ciudad de Guatemala.

La Escuela de Química de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia aportó el espacio ubicando al laboratorio en el tercer nivel del edificio T-10; y el personal, estudiantes de la carrera de química, mientras que Swisscontact proporcionó el equipo, los materiales, los reactivos y los recursos económicos necesarios para la capacitación del personal que usaría los equipos. A partir de ese momento se estableció un plan piloto en el cual se seleccionó la ubicación de las estaciones de muestreo así como las metodologías que se implementarían en el laboratorio que se denominó Laboratorio de Monitoreo del Aire (LMA).

Actualmente el LMA cuenta con una estación central en su sede ubicada en el campus central de la USAC, tercer nivel del edificio T-10, y cinco estaciones (Tabla No. 4 y Tabla No. 5) distribuidas en diferentes puntos de la Ciudad de Guatemala. Gracias al apoyo de otras instituciones nacionales el LMA ha recolectado datos de las concentraciones de material particulado (especialmente PM_{10} y $PM_{2.5}$) y gases (principalmente NO_2 y SO_2 , O_3) presentes en el aire de la Ciudad de Guatemala desde que inició operaciones hasta la fecha actual (Oliva, 2011, p. 9).

Tabla No. 4 Puntos de Muestreo de alta densidad de tráfico monitoreados por el LMA.

Código	Nombre de la Estación	Dirección	Parámetros Medidos
02	Instituto de Nutrición de Centroamérica y Panamá (INCAP)	Calzada Roosevelt, 6-25 zona 11.	PM_{10} , $PM_{2.5}$, NO_2 , SO_2 y Sedimentación Ácida
04	Museo de la Universidad de San Carlos (MUSAC)	9 avenida, 10 calle, zona 1.	PM_{10} , $PM_{2.5}$, NO_2 , SO_2 y Sedimentación Ácida
05	Escuela de Formación de Profesores de Enseñanza Media (EFPEM)	Avenida Petapa, Entrada a la USAC Zona 12.	$PM_{2.5}$ y NO_2 .
06	Calzada San Juan (CSJ)	Motores Hino de Guatemala S.A., Calzada San Juan, Zona 7.	$PM_{2.5}$ y NO_2 .

Fuente: Laboratorio de Monitoreo del Aire “Lic. Jhoni Frank Álvarez Castañeda”.

Tabla No. 5 Puntos de Muestreo de baja densidad de tráfico monitoreados por el LMA.

Código	Nombre de la Estación	Dirección	Parámetros medidos
03	Instituto de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH)	7 Avenida, 14-57, zona 13.	PM ₁₀ , PM _{2.5} , NO ₂ y Sedimentación Ácida
01	Universidad de San Carlos de Guatemala (USAC)	Tercer Nivel, Edificio T-10, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Ciudad Universitaria, Zona 12.	PM ₁₀ , PM _{2.5} , NO ₂ , SO ₂ y Sedimentación Ácida

Fuente: Laboratorio de Monitoreo del Aire “Lic. Jhoni Frank Álvarez Castañeda”.

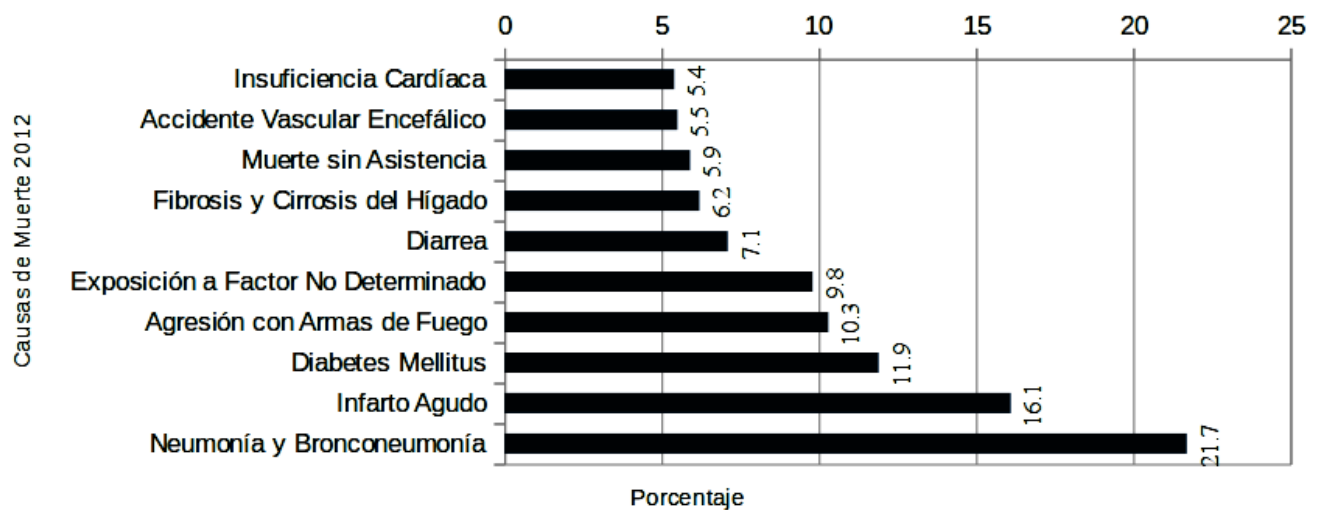
En agosto de 2011 en un esfuerzo conjunto entre la USAC, la Secretaría Nacional de Ciencia y Tecnología (SENACYT) y el MARN, se llevaron a cabo las primeras mediciones de PM_{2.5} en la Ciudad de Guatemala. Según el informe anual de LMA correspondiente al año 2012, el cual presenta los primeros datos de este proyecto, el 61% de los resultados obtenidos para PM_{2.5} sobrepasó los límites recomendados por la OMS en el 2005, para un muestreo de 24 horas.

En la actualidad el LMA ya no cuenta con el apoyo del MARN para la realización de los muestreos, sin embargo las mediciones periódicas de gases y material particulado en la Ciudad de Guatemala, incluyendo ahora PM_{2.5}, siguen llevándose a cabo ininterrumpidamente, lo cual resulta conveniente tomando en cuenta que la salud de la población está relacionada directamente con la calidad del aire que respira.

Solamente por mencionar algunas cifras, según el informe del Instituto Nacional de Estadística (INE) correspondiente al año 2012, las afecciones respiratorias (neumonía y bronconeumonía) ocuparon la posición número uno (Figura No. 1) entre las diez principales causas de muerte para aquel año, superando incluso el número de muertes causadas por agresiones con armas de fuego (10.3%) (Narciso, 2013, p.17).

También es importante mencionar que según datos de la OMS anualmente más de dos millones de muertes prematuras, a nivel mundial, se pueden atribuir a los efectos de la contaminación del aire en espacios abiertos urbanos y en espacios cerrados (producida por la quema de combustibles sólidos). Más de la mitad de esta carga de enfermedad recae en las poblaciones de los países en desarrollo (OMS, 2005, p. 5).

Figura No. 1 Distribución porcentual de las diez principales causas de muerte en Guatemala en el año 2012.



Fuente: Instituto Nacional de Estadística (INE). Estadísticas de Salud.

La calidad del aire en Guatemala también es periódicamente monitoreada por el Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH), entidad que maneja una red de monitoreo formada por una estación central de recolección de datos, ubicada dentro de las instalaciones de la institución en la Ciudad de Guatemala, y cuatro estaciones remotas, una de ellas ubicada en la Ciudad de Guatemala y las otras tres distribuidas en diferentes departamentos, siendo estos Escuintla, Quetzaltenango e Izabal. A través de esta red se monitorean las concentraciones de gases (NO , NO_2 , SO_2 y CO) y material particulado (PM_{10}) presentes en el aire (INSIVUMEH, 2010).

En enero de 2013 se realizaron las primeras mediciones correspondientes a un estudio que podría revelar datos interesantes respecto a la relación entre la exposición a $\text{PM}_{2.5}$ y pacientes con Leucemia Linfocítica Aguda (Universidad Mariano Gálvez de Guatemala [UMG], 2014).

En septiembre de 2013 se publicó el informe que presenta los resultados del primer estudio de calidad del aire a nivel departamental. Las mediciones de este estudio se hicieron en 21 de las 22 cabeceras departamentales del país. Las muestras fueron colectadas por el LMA en coordinación con la Unidad del Cambio Climático del MARN durante los meses de febrero a julio de 2013 y se encontró que las concentraciones de Partículas Totales en Suspensión en las cabeceras departamentales, se encuentran por debajo del límite establecido por la OMS ($210 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para mediciones de 24 horas). En cuanto a las partículas menores a $10 \mu\text{m}$ las cabeceras que superaron los valores sugeridos por la OMS corresponden a los departamentos de: Santa Rosa, Jutiapa, Jalapa, Quetzaltenango, Quiché e Izabal (Pérez, 2013, p. 2).

Por último, en el informe anual de LMA correspondiente al año 2013 se reportó, en lo que respecta a material particulado menor a $10 \mu\text{m}$, que el 56% de las mediciones hechas en el 2013 sobrepasó el valor guía recomendado por la OMS para mediciones de 24 horas ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$). En este mismo informe se reportó, en lo que respecta a material particulado menor a $2.5 \mu\text{m}$, que en las estaciones de INCAP, EFPEM y CSJ (Tabla No. 5) todas las mediciones realizadas durante el año 2013 sobrepasaron los valores guía estipulados por la OMS, tanto para mediciones de 24 horas ($25 \mu\text{g}/\text{m}^3$) como para promedios anuales ($10 \mu\text{g}/\text{m}^3$) (Hernández, 2014, p. 28).

C. Trabajos Similares Realizados en Otros Países de la Región

En octubre de 2005 se publicó un compendio de datos de Calidad del Aire para América Latina y el Caribe (LAC por sus siglas en inglés) que aborda el tema de la contaminación del aire no solamente desde el punto de vista de calidad ambiental, sino más bien desde la perspectiva de salud pública y la carga económica que está representa para los presupuestos de las naciones. Los datos recopilados en este estudio regional corresponden a material particulado PM_{10} , por ser estos datos, en la mayoría de los casos, los únicos que están disponibles para su uso en muchas ciudades de LAC, sin olvidar en inconveniente de que muchos de ellos son de una calidad muy incierta (Cifuentes, 2005, págs. 7 y 68).

En El Salvador el Ministerio de Medio Ambiente y Recurso Naturales (MARN) ha implementado desde 2008 la Red de Monitoreo de Calidad del Aire (REDCA) para el área metropolitana de San Salvador (AMSS). Según el informe de 2009 ninguno de los resultados de la concentración promedio diarios de $\text{PM}_{2.5}$ para la zona de Soyapango y San Salvador Centro, en el período de diciembre de 2008

e inicio de enero de 2009, sobrepasa los valores guía para mediciones de 24 horas (Fabián, 2010, p. 4).

En México, en 1999 se publicó un informe cuyos datos fueron obtenidos con equipo TEOM en las estaciones de Azcapotzalco y Santa Ursula de la RAMA, del 7 de diciembre de 1998 al 20 de mayo de 1999 y del 2 de febrero al 20 de mayo de 1999, respectivamente. Al comparar los resultados de ambas estaciones se observó, que Santa Ursula registró los niveles máximos de $PM_{2.5}$ en el período de análisis, obteniendo estos en mayo; sin embargo en Azcapotzalco se presentaron las concentraciones más altas en diciembre y decrecieron a lo largo del período (Muñoz, 1999, p. 1).

En Honduras a partir del año 1995 el Centro de Estudios y Control de Contaminantes realiza el monitoreo de Contaminantes del Aire debido a emisiones vehiculares. Los resultados evidencian que en sitios aledaños a calles y avenidas de alto flujo vehicular (mayor de 25,000 vehículos por día) algunos de los contaminantes sobrepasan continuamente las concentraciones límites de referencia (Panting, 2005, p. 48).

En Costa Rica, según un informe correspondiente al año 2011, se reporta que las mayores concentraciones de partículas $PM_{2.5}$ fueron detectadas en zonas industriales ($31 \mu\text{m}/\text{m}^3$) frente a los niveles muy inferiores registrados en las zonas residenciales ($11 \mu\text{m}/\text{m}^3$) (Herrera, 2012, p. 21).

En Nicaragua la Universidad Nacional de Ingeniería de Nicaragua (UNI) con el apoyo de Swisscontact ha realizado mediciones periódicas de calidad del aire y de acuerdo a sus informes, en lo que respecta a material particulado, para el año 2000 las partículas menores a $10\mu\text{m}$ (PM_{10}) presentan un comportamiento irregular, alcanzando las mayores concentraciones en los meses de mayor insolación (MARENA, 2001, p. 89).

En Panamá se cuenta con más de treinta estaciones a nivel nacional distribuidas de la siguiente manera: 13 estaciones fijas en el Distrito de Panamá, 3 estaciones fijas en la provincia de Colón, 9 estaciones fijas administradas por la Autoridad del Canal de Panamá y 14 estaciones de monitoreo manual. En donde se miden, según conveniencia y disponibilidad de equipo, los siguientes parámetros: SO_2 , NO_2 , CO, NO, O_3 , PM_{10} , $PM_{2.5}$ y PTS (Young, 2006, p. 7).

En Colombia la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá (RMCAB) cuenta actualmente con 5 estaciones en las que se hace medición de $PM_{2.5}$. A partir de los registros de la estación que monitorea este contaminante se obtuvieron 302 promedios de concentración 24 horas de $PM_{2.5}$ para el año 2011, lo que corresponde a un 83% de representatividad temporal (RMCAB, 2012, p. 42).

D. Material Particulado Presente en el Aire

1. Naturaleza y Fuentes

El material particulado es una mezcla bastante compleja de partículas suspendidas en el aire. Pueden ser sólidas o líquidas y su naturaleza puede ser orgánica o inorgánica. Los principales componentes del material particulado son los nitratos, sulfatos y amoníaco, cloruro de sodio, carbón y minerales en polvo. Su origen puede ser natural (polen, esporas, procesos geológicos e incendios forestales) o antropogénico (quema de combustibles fósiles, industrias e incluso la fertilización de campos agrícolas) (Hernández, 2014, p.6).

Las fuentes pueden clasificarse en fuentes móviles y fuentes fijas. Las fuentes móviles son los vehículos automotores, vehículos ferroviarios motorizados, aviones, equipos o maquinarias no fijas con motores de combustión y similares, que en su operación puedan emitir contaminantes a la atmósfera. Las fuentes fijas son las edificaciones o instalaciones, temporales o permanentes donde se realizan operaciones que dan origen a la emisión de contaminantes del aire. Entre las fuentes móviles también se incluye a fuentes de emisiones naturales como volcanes, océanos y vegetación. (INSIVUMEH, 2010)

2. Clasificación del Material Particulado

Es conveniente clasificar al material particulado de acuerdo a su diámetro aerodinámico ya que es en función de este diámetro que el mismo puede producir efectos nocivos en la salud de la población. Las partículas de mayor tamaño, por ejemplo, son responsables principalmente de afecciones a nivel respiratorio, pero a medida que el diámetro aerodinámico de las partículas disminuye, sus efectos pueden ser más peligrosos.

A continuación se describen las fracciones en las cuales se clasifica el material particulado para su medición en el LMA (Oliva, 2013, p. 7) así como los valores guía recomendados por la OMS y los principales efectos negativos observados en la salud de la población cuando se exceden dichos valores.

a) Partículas Totales en Suspensión (PTS)

Se clasifica aquí a los contaminantes sólidos o líquidos con diámetro menor a 100 μm y mayor a 10 μm . Las PTS están compuestas principalmente por el polvo, la neblina y los humos (INSIVUMEH, 2010).

Entre los principales efectos adversos que puede padecer la población expuesta a altas concentraciones de PTS pueden mencionarse: irritación de las vías respiratorias, aumento en la susceptibilidad al asma y el resfriado común. También se atribuye a las PTS el deterioro de materiales y monumentos históricos, algunas interferencias con la fotosíntesis y disminución de la visibilidad.

La EPA recomienda que las concentraciones detectadas no excedan el valor guía de 240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para un muestreo de 24 horas y que el valor promedio anual no exceda los 75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Oliva, 2013, págs. 12 y 13).

La medición de las concentraciones de TPS fue utilizada como criterio para evaluar la calidad del aire a nivel mundial durante mucho tiempo. Actualmente esta medición está siendo relevada por mediciones de material particulado más fino.

b) Material Particulado con diámetro aerodinámico menor a 10 micrómetros (PM_{10})

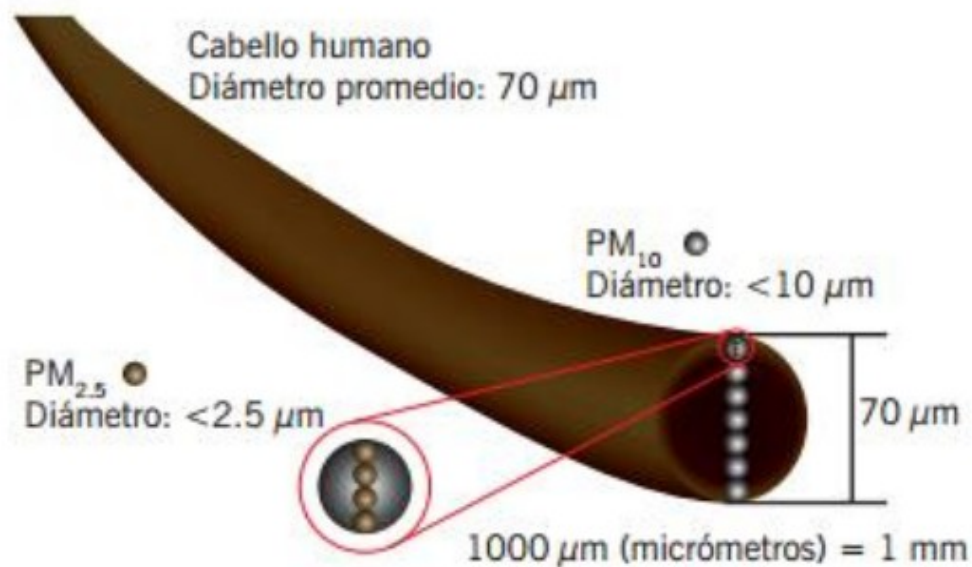
Se incluye en esta clasificación a todas aquellas partículas sólidas o líquidas dispersas en el aire cuyo diámetro aerodinámico se encuentre entre el rango de los 10 μm y los 2.5 μm (INSIVUMEH, 2010).

Generalmente las PM_{10} están formadas por polvo, cenizas, hollín, partículas metálicas, cemento y polen. Se originan principalmente en los procesos de combustión industrial, doméstica y de transporte. Sus principales fuentes naturales son la erosión, las erupciones volcánicas y los incendios forestales.

Debido a su reducido diámetro aerodinámico (Figura No. 2) son capaces de ingresar más profundamente al tracto respiratorio y producir irritaciones a nivel de vías respiratorias, agravar el asma y las enfermedades cardiovasculares.

La OMS recomienda que las concentraciones presentes en el aire no excedan el valor de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para una medición de 24 horas y un promedio anual que no exceda el valor de $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Oliva, 2013, p. 16).

Figura No. 2 Comparación de tamaño entre el material particulado PM_{10} y $\text{PM}_{2.5}$.



Fuente: www.sma.df.gob.mx.

c) Material Particulado con Diámetro Aerodinámico Menor a 2.5 micrómetros ($\text{PM}_{2.5}$)

Acá se incluye a todas aquellas partículas que se encuentran disueltas en el aire y cuyo diámetro aerodinámico es menor a $2.5 \mu\text{m}$. Esta fracción de material particulado es conocida como partículas finas y procede principalmente de fuentes de combustión. En algunas zonas la quema de leña y otros combustibles de biomasa puede ser una fuente importante de esta fracción de material particulado (OMS, 2006, p. 8).

El material particulado fino (como se cita en Liu, 2004, p. 189) contiene típicamente una mezcla de partículas resultantes de diferentes tipos de combustión y partículas secundarias generadas por reacciones químicas en la atmósfera (condensación de ácidos, sulfatos y nitratos).

Hasta hace poco la información sobre la relación entre los niveles de $PM_{2.5}$ y las tasas de mortandad era relativamente escasa debido a la limitada disponibilidad de mediciones. Menor aún era la cantidad de información concerniente a los efectos nocivos sobre la salud, atribuidos a las $PM_{2.5}$, sin embargo a medida que se van obteniendo más mediciones se va haciendo más evidente que tanto las PM_{10} como las $PM_{2.5}$ están íntimamente relacionadas con muertes por enfermedades respiratorias y cardiovasculares, afectando especialmente a la población más susceptible como las personas de la tercera edad, pacientes asmáticos y personas susceptibles a padecer cuadros alérgicos.

La OMS recomienda que las concentraciones de $PM_{2.5}$ en el aire no deben exceder el valor guía de $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para una medición de 24 horas y un valor para un promedio anual de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (OMS, 2006, p. 15).

IV. JUSTIFICACIÓN

A pesar de que la calidad del aire en la Ciudad de Guatemala ha sido monitoreada durante los últimos 20 años por el Laboratorio de Monitoreo del Aire (LMA) de la Universidad de San Carlos (USAC) y actualmente existe una gran cantidad de datos que pueden utilizarse para diagnosticar el estado actual del aire que respiran los habitantes de la capital aún existen pocos datos en lo que respecta a la calidad del aire de los departamentos.

Partiendo del estudio exploratorio efectuado a nivel nacional por el MARN y el LMA en el año 2013, se consideró oportuno efectuar mediciones de material particulado fino ($PM_{2.5}$), parámetro que no fue medido en dicho estudio y que sin embargo ha cobrado relevancia por los efectos negativos que puede causar en la salud de la población.

Tomando en cuenta que el país está dividido en 22 departamentos y cada uno posee diferencias significativas en lo que corresponde a áreas y condiciones topográficas, traduciéndose esto en una diversidad climática relevante de acuerdo a la cual se puede diferenciar 13 tipos de microclimas según Köpen y 13 completamente diferentes según Thorntwhaite , y esto sin olvidar otros factores humanos como la situación demográfica y el desarrollo urbano, diferentes en cada departamento, en la presente investigación se utilizó la división regional hecha por el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN) la cual divide el territorio nacional en ocho regiones (ver mapa No.1 en anexos).

Por razones de conveniencia, logística y disponibilidad de recursos, para cada una de las regiones delimitadas por el MARN se seleccionó una cabecera departamental y en esta se distribuyeron tres puntos donde se hicieron las mediciones. Se realizaron 24 mediciones en un periodo de un mínimo de 30 y un máximo de 45 días durante la misma estación climática (lluviosa).

Es importante aclarar que los resultados de este estudio no podrán extrapolarse a zonas periféricas (municipios aledaños a las áreas muestreadas) debido a que cada lugar cuenta con sus características propias (tráfico vehicular, actividad comercial y presencia de industrias) y por lo tanto el estudio tiene esencialmente una naturaleza exploratoria.

Su contribución principal fue generar, por primera vez, información sobre las concentraciones de material particulado fino en el interior del país estableciendo una línea base que permitirá tener una mejor perspectiva sobre la calidad del aire a nivel nacional, específicamente en regiones que pocas veces son tomadas en cuenta por las autoridades encargadas de velar por mantener los niveles de contaminación ambiental dentro de los valores que sean seguros para la salud de la población.

V. OBJETIVOS

A. General

Determinar las concentraciones de Material Particulado con diámetro aerodinámico menor a 2.5 micrómetros ($PM_{2.5}$) presentes en el aire de las cabeceras de los departamentos de Guatemala, Alta Verapaz, Izabal, Santa Rosa, Escuintla, Quetzaltenango, Quiché y Petén.

B. Específicos

1. Comparar los resultados obtenidos para las concentraciones de Material Particulado con diámetro aerodinámico menor a 2.5 micras ($PM_{2.5}$) presente en el aire de ocho cabeceras departamentales de la República de Guatemala con los límites máximos permisibles establecidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS) para una medición de 24 horas.
2. Establecer una línea base en lo concerniente a las concentraciones de material particulado fino presentes en el aire de la República de Guatemala haciendo, por primera vez, mediciones de $PM_{2.5}$ en ocho regiones del interior del país.
3. Generar datos que permitan tener una mejor perspectiva sobre la calidad del aire a nivel nacional, particularmente en lugares que pocas veces son tomados en cuenta por las autoridades encargadas de velar por mantener los niveles de contaminación ambiental dentro de los valores que sean seguros para la salud de la población.

VI. HIPÓTESIS

Las concentraciones de material particulado con diámetro aerodinámico menor a 2.5 μm presentes en las estaciones colocadas en puntos cercanos a terminales de buses y mercados de las cabeceras de los departamentos de: Escuintla, Quetzaltenango, Quiché, Santa Rosa, Alta Verapaz, Guatemala, Petén y Puerto Barrios, exceden los valores guías sugeridos por la OMS ($25 \mu\text{g}/\text{m}^3$) para mediciones de 24 horas.

VII. MATERIALES Y MÉTODOS

A. Universo y Muestra

El universo estuvo comprendido por el aire de las cabeceras de los departamentos de: Guatemala (Guatemala), Alta Verapaz (Cobán), Izabal (Puerto Barrios), Santa Rosa (Cuilapa), Escuintla (Escuintla), Quetzaltenango (Quetzaltenango), Quiché (Santa Cruz del Quiché) y Peten (Flores).

La muestra estuvo constituida por el Material Particulado con diámetro aerodinámico menor a 2.5 μm (PM_{2.5}) y se colectó utilizando un Monitor de Partículas FRM (Método del Filtro de Referencia) OMNI para bombear aire a un flujo aproximado de cinco litros por minuto a través de unos filtros de PTFE durante un período de 24 horas. Después de la exposición los filtros fueron llevados de vuelta al laboratorio para su análisis por gravimetría.

Tabla No. 6 División regional de la República de Guatemala utilizada para esta investigación.

No.	Región	Área Región (Km ²)	Departamentos
I	Metropolitana	2,253	Guatemala.
II	Norte	13,738	Alta Verapaz y Baja Verapaz.
III	Nororiente	14,876	El Progreso, Izabal, Zacapa y Chiquimula.
IV	Suroriente	8,548	Santa Rosa, Jalapa y Jutiapa.
V	Central ¹	6,988	Sacatepéquez, Chimaltenango y Escuintla.
VI	Suroccidente	11,953	Sololá, Totonicapán, Quetzaltenango, Suchitepéquez, Retalhuleu y San Marcos.
VII	Noroccidente	14,644	Huehuetenango y Quiché.
VIII	Petén	35,889	Petén

Fuente: Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN). Guatemala, agosto de 2013.

¹La tabla del MARN presenta un dato de 6,987 Km² para la región central, pero el área real es de 6,988 Km² si se suman correctamente las áreas de los departamentos de Sacatepéquez (537Km²), Chimaltenango (1865Km²) y Escuintla (4,586Km²).

B. Reactivos

- Sílica gel con indicador de humedad.

C. Material y Equipo

1. Equipo de Laboratorio

- Horno Convencional marca PREMLAB Ovens ®.
- Balanza Analítica marca Mettler Toledo®, modelo Excellence XS, capacidad 210 gramos, sensibilidad de 0.01mg/0.1mg (cinco decimales).
- Desecadora.

2. Equipo de Muestreo

- Monitor de Partículas FRM (Método del Filtro de Referencia) OMNI con mini Inlet PM_{10.0} y Cassette (contenedor) para filtro, conector a corriente eléctrica, batería interna para funcionar hasta veinticuatro horas y selectores de partículas TPS, PM_{4.0}, PM_{2.5}, PM_{1.0} para mini PM Inlet y trípode.
- Medidor de Temperatura y Humedad.
- Samsung Galaxy Tab 3 (8.0”) WXGA Super Clear LCD con aplicación de Sistema de Posicionamiento Global (GPS).
- Computadora marca Compac-Mini-CQ-10-500 con procesador Intel® Atom™ CPU N455 @ 1.66GHz × 2, memoria de 990.2 MiB, Gráficos Intel® IGD x86/MMX/SSE2 y disco duro de 156.3 GB. Sistema operativo: Ubuntu 14.04 LTS (Trusty Tahr) (32 bit).

3. Material de Muestreo

- Filtros de membrana politetrafluoroetileno (PTFE) para monitoreo de aire PM_{2.5} Marca Whatman®, 47 mm de diámetro.
- Pinzas de Acero Niquelado, punta chata, 105 mm de largo.
- Extensiones de 50 pies de largo para exteriores calibre 16.
- Mochila impermeable con capacidad para 40 litros.
- Escalera de aluminio, plegable para exteriores.
- Bolsas Ziploc®.
- Capa Impermeable.

4. Material de Laboratorio

- Cajas de Petri (94 X 16mm), estériles, de plástico.
- Dispositivo Abre cassette (contenedor).
- Papel Mayordomo.
- Software para Monitor de Partículas FRM (Método del Filtro de Referencia) OMNI, BGI Air Sampling System, versión 1.0.01K.
- Bata de Laboratorio.

- Cable con conector de USB a RS232.
- Guantes libres de polvo (talco).
- Cuaderno de laboratorio.
- Hojas de Campo.
- Lapiceros rojo, azul y negro.

D. Métodos

Procedimiento Estándar de Operación (PEO) para muestreo y análisis gravimétrico de PM_{2.5}.

1. Alcance y Aplicabilidad

El procedimiento estándar de operación describe la preparación, la exposición (muestreo) de los filtros de PTFE y las operaciones de análisis gravimétrico que se ejecutaron en el LMA a fin de determinar las concentraciones de material particulado.

2. Resumen del método

- Obtención de los filtros y selección del lote a utilizar.
- Acondicionamiento y determinación de la masa inicial (antes del muestreo) de cada uno de los filtros. (Figura No. 3)
- Codificación de los filtros a utilizar en el muestreo de material particulado.
- Exposición de los filtros durante un periodo de veinticuatro horas (Muestreo).
- Determinación de la masa final (después del muestreo) de cada uno de los filtros.
- Cálculos y elaboración de los reportes.
- Almacenamiento los filtros.

3. Advertencias de Salud y Seguridad

- Las operaciones de pesada de $PM_{2.5}$ no representaban riesgos inusuales de manejo de equipo eléctrico o exposición a sustancias químicas peligrosas. Se siguieron, sin embargo, las precauciones de salud y seguridad utilizadas en un laboratorio convencional.
- Antes de colocar el equipo, Monitor de Partículas FRM (Método del Filtro de Referencia) OMNI, se buscó un lugar seguro y conveniente para la colecta (Figura No. 4). Fue necesario subir a algunas terrazas utilizando escaleras para exteriores. Esto representaba un riesgo por varias razones (lugares inaccesibles, exposición a cables de alta tensión) y fue necesario solicitar el apoyo de los Bomberos (Voluntarios y Municipales) a fin de hacerlo de la forma más segura.

Figura No. 3 Determinación de la masa inicial de los filtros.



Fuente: Fotografía tomada por Elisandra Hernández.

Figura No. 4 Búsqueda del lugar óptimo para la colocación del equipo en una de las estaciones colocadas en Puerto Barrios, Izabal.



Fuente: Fotografía tomada por el Bombero Voluntario Raúl Pedroza.

4. Precauciones Tomadas Durante los Procedimientos Gravimétricos

- La manipulación de los filtros se realizó con las manos limpias, usando guantes y bata de laboratorio para minimizar la contaminación debida a factores externos.
- Antes de llevar a cabo cualquier operación gravimétrica se procuró utilizar ropa limpia y después de terminar las pesadas se tuvo el cuidado de lavar bien todas las partes del cuerpo que fueron expuestas durante el procedimiento (especialmente las manos, los brazos, la cara y el pelo) con jabón adecuado y en un período de tiempo lo más cercano posible al momento en que realizaron las pesadas.

5. Interferencias

Los resultados gravimétricos para $PM_{2.5}$ son altamente sensibles a ciertos factores y condiciones. La siguiente lista describe las precauciones que se tomaron a fin de evitar interferencias.

- Debido a que se ha determinado que algunos filtros nuevos de Teflon® pueden presentar una pérdida de peso de hasta 150 µg durante un periodo de tiempo mayor a seis semanas después de haber sido retirados de sus contenedores originales. Se procuró no utilizar los filtros hasta que sus pesos se consideraron estables.
- Las pérdidas de peso debidas a remociones mecánicas de partículas y/o material del filtro fueron minimizadas manipulando cuidadosamente los mismos al ser retirados de su cassette (contenedor), durante su acondicionamiento y cualquier otro tipo de manipulación previa al procedimiento de pesada.

6. Procedimiento

a) Acondicionado del Lote de Filtros Seleccionado Para el Muestreo

Antes de utilizar cada uno de los filtros del lote seleccionado se determinó cual era el tiempo mínimo requerido para equilibrar su masa, sacando cada uno de los filtros de la caja y colocándolos, en una caja de Petri, dentro del horno a una temperatura de 40°C durante un periodo de 24 horas.

Después de las veinticuatro horas de secado se sacó la caja de petri del horno y se dejó que los filtros alcanzaran la temperatura del ambiente de pesaje dentro de una desecadora que contenía sílica gel (Figura No. 5) con indicador de humedad.

Se pesó cada uno de los filtros y se volvió a colocar en su caja de Petri dentro del horno a 40°C (Figura No. 6) por veinticuatro horas más.

Al día siguiente se continuó el proceso de “pesaje-equilibrio a veinticuatro horas” y este volvió a repetirse hasta que se obtuvo un peso constante.

Figura No. 5 Filtro colocado dentro de la desecadora previo a su pesada.



Fuente: Fotografía tomada por Juan José Ixcamparij

Figura No. 6 Colocación de los filtros dentro del horno durante el procedimiento de “pesaje-equilibrio” a veinticuatro horas.



Fuente: Fotografía tomada por Elisandra Hernández.

Con la información obtenida se trazó una gráfica de la tendencia de pérdida de masa (figura No. 9) a lo largo de los cinco días de experimentación, logrando establecerse un tiempo mínimo de cuatro días para la estabilización de la masa de los filtros del lote seleccionado.

Después de cuatro días del procedimiento de acondicionamiento ninguno de los filtros del lote seleccionado presentó una tendencia significativa de pérdida de peso.

b) Pesado de filtros (Antes del muestreo)

Para cada uno de los filtros nuevos se siguió el siguiente procedimiento:

- 1.1 Se sacó el filtro de la caja y se colocó dentro del horno en una caja de Petri a una temperatura de 40°C durante un periodo de veinticuatro horas.
- 1.2 Se sacó la caja de Petri del horno y se colocó en la desecadora (provista con Sílica gel con indicador de humedad) hasta que alcanzó la temperatura del ambiente.
- 1.3 Se sacó la caja de Petri de la desecadora.
- 1.4 Utilizando las pinzas de acero niquelado se colocó el filtro de PTFE en el panel de pesado.
- 1.5 Se esperó hasta que la balanza diera una lectura estable durante un tiempo de 20 segundos.
- 1.6 Utilizando una vez más las pinzas de acero niquelado se removió el filtro del panel de pesado.
- 1.7 Se esperó un tiempo prudencial (20 segundos) hasta que la balanza regresara a cero por si sola.
- 1.8 Si después de 20 segundos la balanza no regresaba a cero hubo necesidad de presionar la tecla "Tara".
- 1.9 Se colocó el filtro dentro del horno en su respectiva caja de Petri.

1.10 Se repitió este procedimiento (desde el inciso 1.2) para el mismo filtro hasta que ya no se registró una variación significativa de peso.

Notas:

Antes de hacer las pesadas se verificó que la burbuja de nivel de la balanza estaba posicionada exactamente en el centro del círculo indicador.

c) Muestreo

Para la colecta de muestras se utilizó el muestreo activo. La muestra de Material Particulado con diámetro aerodinámico menor a $2.5 \mu\text{m}$ ($\text{PM}_{2.5}$) se colectó utilizando un Monitor de Partículas FRM (Método del Filtro de Referencia) OMNI para bombear aire a un flujo aproximado de cinco litros por minuto a través de filtros de PTFE durante un período de 24 horas (Figura No. 7) .

Figura No. 7 Equipo colocado para muestreo activo de 24 horas en una de las tres estaciones colocadas en la ciudad de Cobán, Alta Verapaz



Fuente: Fotografía tomada por Juan José Ixcamparij.

Después de la exposición los filtros fueron llevados de vuelta al laboratorio para su análisis por gravimetría.

d) Hoja de Campo

Como cualquier estudio ambiental, cuyos resultados son susceptibles a los diminutos cambios del entorno y las azarosas condiciones climáticas, en esta investigación se consideró oportuno llevar un registro que incluyó todos los datos concernientes al sitio de muestreo y las condiciones climáticas del día de la colecta de la muestra.

Estos datos se anotaron en las hojas de campo (ver figuras No. 70, 71, 72 y 73 en anexos), registro que fue indispensable cuando llegó el momento de hacer la interpretación de los resultados.

e) Pesado de filtros (Después del muestreo)

Para cada uno de los filtros expuestos se siguió el siguiente procedimiento:

- 1.1 Se removió cuidadosamente el filtro del cassette (contenedor).
- 1.2 Se colocó el filtro dentro del horno en una caja de Petri a una temperatura de 40°C durante un periodo de 24 horas.
- 1.3 Se sacó la caja de Petri del horno y se colocó en la desecadora (provista con Sílica gel con indicador de humedad) hasta que alcanzó la temperatura del ambiente.
- 1.4 Se sacó la caja de Petri de la desecadora.
- 1.5 Utilizando las pinzas de acero niquelado se colocó el filtro de PTFE en el panel de pesado.
- 1.6 Se esperó hasta que la balanza diera una lectura estable durante un tiempo de 20 segundos.

- 1.7 Utilizando una vez más las pinzas de acero niquelado se removió el filtro del panel de pesado.
- 1.8 Se esperó un tiempo prudencial (20 segundos) hasta que la balanza regresara a cero por si sola.
- 1.9 Si después de 20 segundos la balanza no regresaba a cero hubo necesidad de presionar la tecla "Tara".
- 1.10 Se colocó el filtro dentro del horno en su respectiva caja de Petri.
- 1.11 Se repitió este procedimiento (desde el inciso 1.3) para el mismo filtro hasta que ya no se registró una variación significativa de peso.

Notas:

Los pesos, inicial y final, del filtro utilizado como blanco de laboratorio no presentaron variaciones significativas (de más de 15 μg). Un peso ganado en un orden de más de 15 μg habría indicado contaminación de la cámara de pesado. Una pérdida de peso en un orden de más de 15 μg habría indicado que el filtro no fue equilibrado adecuadamente antes del traslado a los sitios de muestreo.

Los pesos, inicial y final, del filtro utilizado como blanco de campo no presentaron variaciones significativas (de más de 30 μg). Un peso ganado en un orden de más de 30 μg habría indicado la posible contaminación en el campo en los filtros. Una pérdida de peso en un orden de más de 30 μg habría indicado que el filtro no fue equilibrado adecuadamente antes del traslado a los sitios de muestreo.

f) Cálculos

Los cálculos se realizaron utilizando el software para Monitor de Partículas FRM (Método del Filtro de Referencia) OMNI, BGI Air Sampling System, versión 1.0.01K, suministrado por el fabricante (Figura No. 8). La descripción de los cálculos necesarios para determinar las concentraciones de $\text{PM}_{2.5}$ se detalla en la tabla No. 7.

Figura No. 8 Disco suministrado por el fabricante con el software para Monitor de Partículas FRM (Método del Filtro de Referencia) OMNI, BGI Air Sampling System, versión 1.0.01K



Fuente: Fotografía tomada por Juan José Ixcamparij.

Tabla No. 7 Cálculos realizados en el análisis gravimétrico de PM_{2.5}.

PARÁMETRO	UNIDADES	TIPO DE CONVERSION	ECUACIÓN
Volumen del filtro (V _a)	m ³	Calculado del promedio del flujo (Q _{ave}) en L/min y el tiempo total (t)	$V_a = Q_{ave} \times t \times 10^{-3}$
Masa del filtro (M _{2.5})	μg	Calculado a partir del peso del filtro final (M _f) y el peso del filtro inicial (M _i) en mg. Multiplicado por la unidad de conversión (μg/mg)	$M_{2.5} = (M_f - M_i) \times 10^3$
Concentración de PM _{2.5} (C _{pm2.5})	μg/m ³	Calculado de los datos del laboratorio y el impactor de volumen.	$PM_{2.5} = M_{2.5} / V_a$

Fuente: Laboratorio de Monitoreo del Aire “Lic. Jhoni Frank Álvarez Castañeda”.

E. Diseño de la Investigación

Esta investigación fue de naturaleza descriptiva, no experimental y el diseño de investigación se planteó de forma transversal en el tiempo. De una forma más específica, se trató de un estudio exploratorio con sus características propias, las cuales se detallan a continuación:

1. Variables Dependiente e Independiente

La variable dependiente (lo que se midió) fueron las concentraciones de partículas con diámetro aerodinámico menor a 2.5 μm presentes en el aire de las cabeceras departamentales seleccionadas. Estas concentraciones se midieron en microgramos por metro cúbico ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

La variable independiente (aquella que se utilizó como sujeto de experimentación) fue de una forma general el aire de las cabeceras departamentales seleccionadas para este estudio.

La variable independiente se clasificó en varias categorías, las cuales fueron los puntos en los cuales se distribuyeron las estaciones de muestreo. Estos puntos fueron seleccionados por el investigador aleatoriamente y bajo el criterio (subjetivo) de susceptibilidad de presentar altas, medianas y bajas concentraciones de material particulado.

2. Muestreo

Para la captura de la muestra se utilizó un monitor de partículas FRM OMNI, aparato que bombeo aire de forma continua (Muestreo Activo) a un flujo aproximado de cinco litros por minuto (5 lpm) a través de los filtros de PTFE durante un período aproximado de veinticuatro horas.

El muestreo fue único y a conveniencia, se dividió el total de la extensión territorial en ocho regiones (ver mapa No. 1 en anexos), escogiéndose una cabecera departamental por cada región.

La distribución de los tres puntos que se muestrearon en cada una de las cabeceras seleccionadas respondió a cuestiones logísticas (principalmente la protección del equipo) y a una diferenciación

subjetiva de susceptibilidad a presentar altas, medianas y bajas concentraciones de material particulado).

3. Temporalidad

Se realizaron un total de veinticuatro mediciones, tres por cada cabecera seleccionada, en un periodo de un mínimo de 30 y un máximo de 45 días a fin de coleccionar todas las muestras durante la misma estación climática (lluviosa).

4. Análisis Estadístico

El análisis de los datos obtenidos se realizó con estadística descriptiva utilizando medidas de tendencia central y de dispersión. Los resultados obtenidos, las concentraciones de $PM_{2.5}$ en $\mu g/m^3$, variables continuas susceptibles a ser promediadas, se colocaron de forma conveniente en tablas y gráficos que permitieron visualizar mejor los datos obtenidos.

Por último, las concentraciones de $PM_{2.5}$ obtenidas fueron comparadas con los valores guía recomendados por la OMS, como un criterio de clasificación a fin de definir qué porcentaje de los puntos muestreados cumple o no con este criterio.

5. Limitaciones

La división regional adoptada en este estudio responde a limitaciones económicas, ya que se contaba únicamente con veinticinco filtros para la captura del material particulado y con un solo monitor de partículas FRM (Método del Filtro de Referencia) OMNI

Otra limitación que es importante mencionar es el hecho de que solamente se coleccionaron muestras durante la época lluviosa. En el siguiente inciso se detallan las razones de la selección del periodo estacional.

6. Selección del Período Estacional

Se seleccionó la época lluviosa para hacer la colecta de las muestras por las razones que se enumeran a continuación:

a) El Monitor de partículas FRM OMNI utilizado para la colecta de las muestras es un equipo costoso y la autorización para utilizarlo por parte de la coordinación del LMA estuvo condicionada a la autorización de este trabajo por parte de las autoridades pertinentes. El dictamen de aprobación fue emitido por la dirección de la Escuela de Química el 3 de abril del año 2014, aproximadamente seis semanas antes del inicio de la estación lluviosa.

b) Como cualquier investigación científica, en Guatemala o en cualquier lugar del mundo, la ejecución de la parte experimental estuvo sujeta a la disponibilidad de los recursos económicos necesarios. En este caso particular, el financiamiento para el transporte del equipo de forma segura y los gastos de hospedaje y alimentación del investigador estuvieron disponibles ocho semanas después de la aprobación, al inicio de la temporada lluviosa.

c) La obtención de los permisos necesarios para colocar el equipo en cada una de las tres estaciones ubicadas en las cabeceras seleccionadas (Estaciones de Bomberos Voluntarios y Municipales, sedes departamentales del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, Dependencias del Organismo Judicial y Edificios Municipales) tomó el tiempo necesario para que iniciara la época lluviosa.

d) La disponibilidad de tiempo del investigador (por razones laborales y personales) para hacer un muestreo en un periodo que no exceda los 45 días solamente hacía factible la colecta de muestras a finales de mayo, durante todo el mes de junio y principios de julio (época lluviosa).

e) La disponibilidad del equipo para ejecutar los muestreos estuvo sujeta a la programación de las actividades de rutina del LMA en la Ciudad de Guatemala cuya prioridad prevaleció sobre la ejecución de los muestreos de esta investigación. Tomando en cuenta que el mes de junio (época lluviosa) es un mes de vacaciones en la Universidad de San Carlos y el LMA es una entidad que funciona dentro de la USAC, el mes de junio resultó ideal para llevar a cabo la mayoría de los muestreos de esta

investigación sin interferir con las actividades del LMA.

f) El principal inconveniente que señalan los detractores de coleccionar las muestras en una sola estación es el hecho de que de esta forma no es posible obtener una muestra representativa, sin embargo en este caso particular aun planteando un muestreo en dos etapas habría sido muy difícil obtener una muestra representativa debido a las azarosas condiciones climáticas (chubascos en verano, canícula, sequías en invierno) y principalmente a la heterogénea naturaleza de las unidades de muestreo (cabeceras departamentales).

g) Aunque no fue posible obtener muestras representativas, el principio de la representatividad es la aleatorización y el principio de la aleatorización es que las unidades de análisis sean homogéneas (lo cual no se cumple), los datos obtenidos son significativos porque establecen una línea base en lo que respecta a concentraciones de material particulado fino en el interior del país, permitiendo así tener una mejor perspectiva sobre la calidad del aire a nivel nacional.

VIII. RESULTADOS

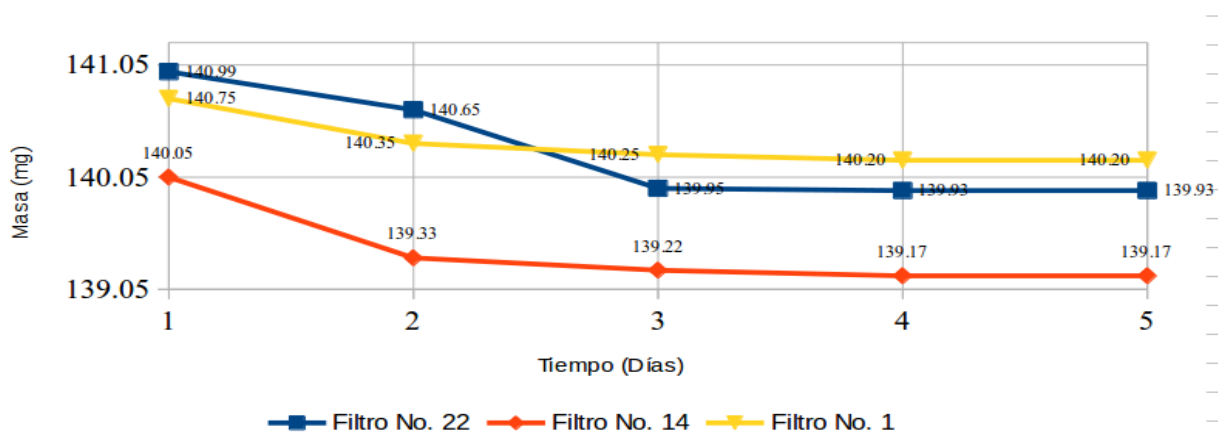
A. Registro gravimétrico del acondicionamiento de los filtros (Previo al Muestreo)

Tabla No. 8 Registro de pesos (mg) durante el proceso de acondicionamiento de los filtros previo a su exposición (Muestreo).

Código	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5
01	140.75	140.35	140.25	140.20	140.20
02	139.12	139.08	139.08	139.08	-----
03	141.44	141.39	141.39	141.39	-----
04	141.97	141.88	141.85	141.85	141.85
05	142.39	142.33	142.25	142.25	142.25
06	139.08	139.03	139.03	139.03	-----
07	138.79	138.77	138.77	138.77	-----
08	140.20	140.17	140.17	140.17	-----
09	141.91	141.86	141.81	141.81	141.81
10	141.79	141.73	141.73	141.73	-----
11	139.49	139.46	139.44	139.44	139.44
12	141.77	141.69	141.68	141.68	141.68
13	139.35	139.26	139.28	139.28	139.28
14	140.05	139.33	139.22	139.17	139.17
15	142.79	142.73	142.71	142.71	142.71
16	140.39	140.37	140.36	140.36	140.36
17	143.88	143.81	143.79	143.79	143.79
18	141.02	141.00	140.95	140.95	140.95
19	141.60	141.55	141.53	141.53	141.53
20	140.89	140.84	140.84	140.84	-----
21	145.00	144.91	144.91	144.91	-----
22	140.99	140.65	139.95	139.93	139.93
23	139.15	139.09	139.09	139.09	-----
24	141.12	141.04	141.04	140.04	-----

Fuente: Datos experimentales obtenidos en el Laboratorio de Monitoreo del Aire.

Figura No. 9 Tendencia de pérdida de masa observada para los filtros durante el proceso de acondicionamiento previo a su exposición (Muestreo).



Fuente: Datos experimentales obtenidos en el Laboratorio de Monitoreo del Aire.

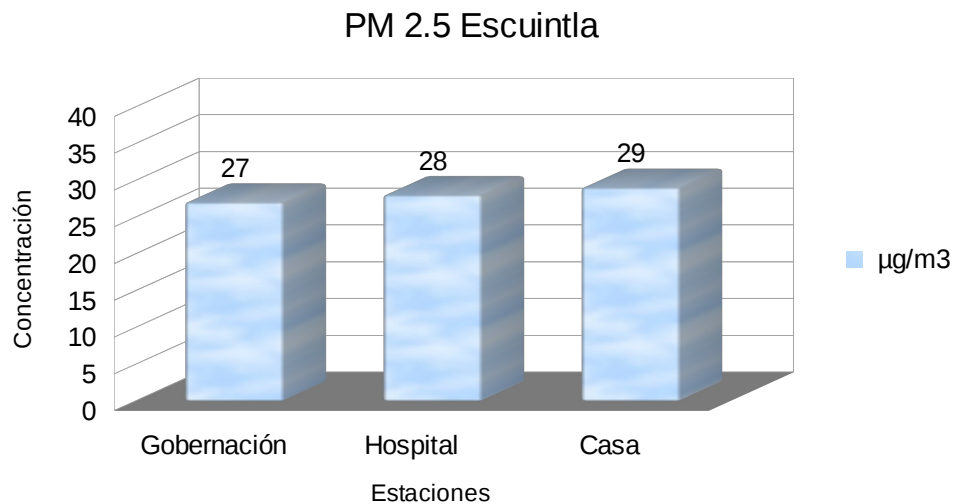
B. Escuintla

Tabla No. 9 Datos generales y resultados obtenidos en las estaciones colocadas en Escuintla.

Código	P0101	P0102	P0103
Descripción	Gobernación Departamental	Hospital Privado	Casa Particular
Actividad Vehicular Observada	Vehículos Livianos.	Buses, vehículos livianos y transporte pesado.	Buses, vehículos livianos y transporte pesado.
Dirección	9 calle 3-41 zona 1	14 Calle 1-41 Zona 3	1 avenida Zona 1
Coordenadas	N: 14° 18' 025" W: 90° 47' 145"	N: 14° 17' 697" W: 90° 47' 016"	N: 14° 18' 18" W: 90° 47' 18"
Concentración PM _{2.5} (µg/m ³)	27	28	29
Fecha de Muestreo	23 al 24 de mayo.	24 al 25 de mayo.	25 al 26 de mayo.
Observaciones	El equipo se colocó con batería.	Se conectó el equipo a una toma de corriente.	Se conecto el equipo a una toma de corriente.

Fuente: Hojas de campo utilizadas en los muestreos.

Figura No. 10 Resultados de PM_{2.5} para la cabecera departamental de Escuintla.



Fuente: Datos Calculados en el Laboratorio de Monitoreo del Aire.

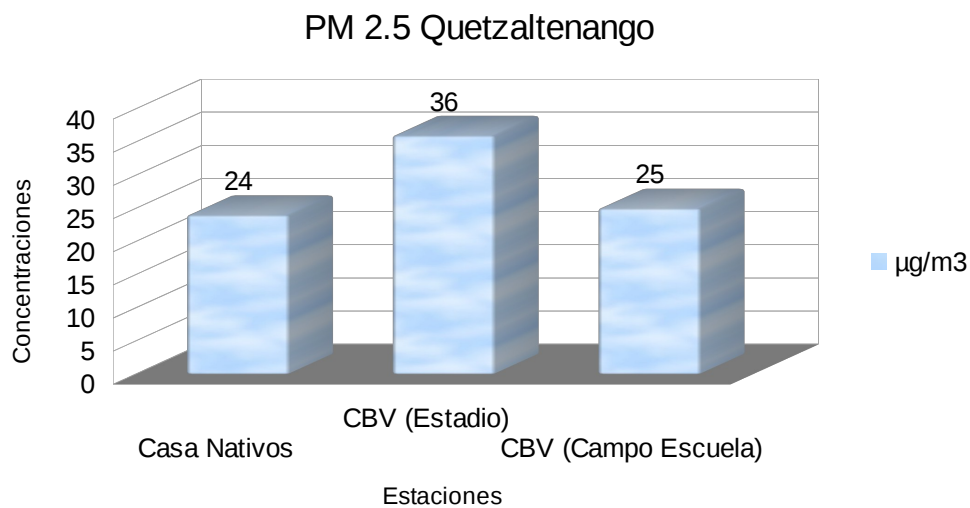
C. Quetzaltenango

Tabla No. 10 Datos generales y resultados obtenidos en las estaciones colocadas en Quetzaltenango.

Código	P0201	P0202	P0203
Descripción	Casa Nativos	Quinta Compañía de Bomberos Voluntarios (Estadio M.C.)	Estación de Apoyo de Bomberos Voluntarios (Campo Escuela)
Actividad Vehicular Observada	Vehículos livianos, transporte colectivo liviano.	Buses, vehículos livianos y transporte colectivo liviano.	Buses, vehículos livianos y transporte colectivo liviano.
Dirección	13 Avenida Pasaje Enriquez Zona 1	1 calle 12-89 zona 3	29 Avenida 7-25 zona 3
Coordenadas	N: 14° 50' 6" W: 91° 31' 8"	N: 14° 50' 28" W: 91° 31' 0"	N: 14° 50' 59" W: 91° 32' 2"
Concentración PM _{2.5} (µg/m ³)	24	36	25
Fecha de Muestreo	28 al 29 de mayo	29 al 30 de mayo	30 al 31 de mayo.
Observaciones	Se conectó el equipo a una toma de corriente.	Se conectó el equipo a una toma de corriente.	Se conectó el equipo a una toma de corriente.

Fuente: Hojas de campo utilizadas en los muestreos.

Figura No. 11 Resultados de PM_{2.5} para la cabecera departamental de Quetzaltenango.



Fuente: Datos Calculados en el Laboratorio de Monitoreo del Aire.

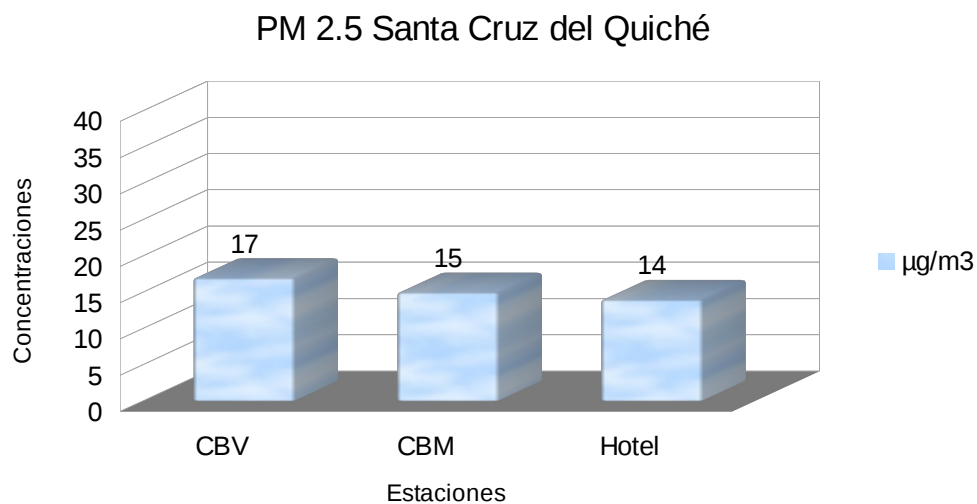
D. Santa Cruz del Quiché

Tabla No. 11 Datos generales y resultados obtenidos en las estaciones colocadas en Quiché.

Código	P0301	P0302	P0303
Descripción	Décimo segunda estación de Bomberos Voluntarios.	Cuadragésima cuarta estación de Bomberos Municipales	Hotel Rey K'ich'e
Actividad Vehicular Observada	Vehículos livianos, transporte colectivo liviano.	Buses, vehículos livianos y transporte colectivo liviano.	Vehículos livianos y transporte colectivo liviano.
Dirección	5 Avenida entre 2 y 3 calle	2 Avenida 10 Calle Zona 5	8 Calle 0-39 Zona 5
Coordenadas	N: 15° 01' 50" W: 91° 09' 4"	N: 15° 01' 605" W: 91° 08' 803"	N: 15° 1' 36" W: 91° 8' 53"
Concentración PM _{2.5} (µg/m ³)	17	15	14
Fecha de Muestreo	01 al 02 de junio.	02 al 03 de junio.	03 al 01 de junio.
Observaciones	Depresión Tropical 2-E. El equipo se colocó con batería.	Depresión Tropical 2-E. Se conectó el equipo a una toma de corriente.	Depresión Tropical 2-E. Se conectó el equipo a una toma de corriente.

Fuente: Hojas de campo utilizadas en los muestreos.

Figura No. 12 Resultados de PM_{2.5} para la cabecera departamental de Quiché.



Fuente: Datos Calculados en el Laboratorio de Monitoreo del Aire.

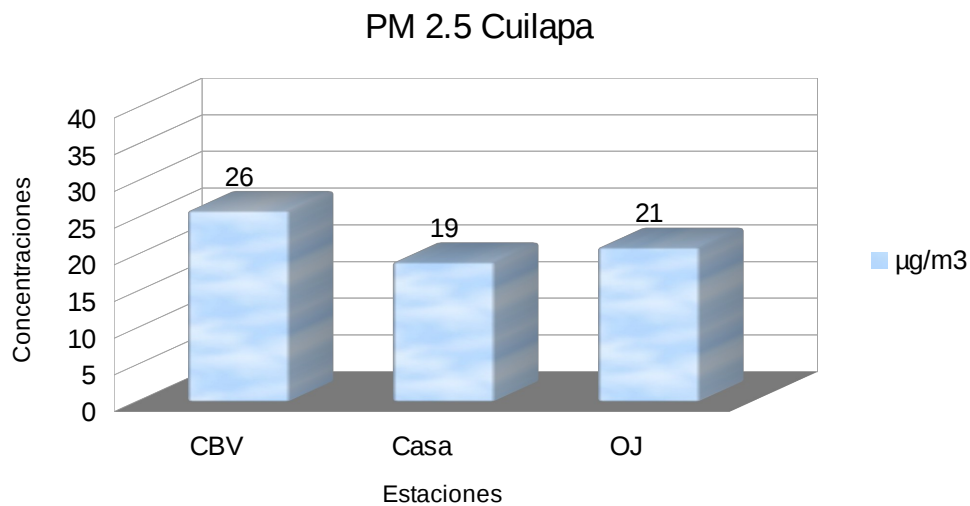
E. Cuilapa

Tabla No. 12 Datos generales y resultados obtenidos en las estaciones colocadas en Santa Rosa.

Código	P0401	P0402	P0403
Descripción	Vigésimo cuarta estación de Bomberos Voluntarios.	Casa Particular.	Organismo Judicial Juzgado de 1era. Instancia de Familia.
Actividad Vehicular Observada	Vehículos livianos y transporte colectivo liviano.	Vehículos livianos, buses y transporte colectivo liviano.	Vehículos livianos y transporte colectivo liviano.
Dirección	2 Avenida 3-36 Zona 3 Barrio la Parroquia	1 calle Barrio el centro	1 Avenida 1-77 Zona 3
Coordenadas	N: 14° 47' 56" W: 90° 5' 26 "	N: 14° 16' 34" W: 90° 17' 53"	N: 14° 16' 42" W: 90° 17' 58"
Concentración PM _{2.5} (µg/m ³)	26	19	21
Fecha de Muestreo	06 al 07 de junio.	07 al 08 de junio.	08 al 09 de junio.
Observaciones	Se conectó el equipo a una toma de corriente.	Se conectó el equipo a una toma de corriente.	Se conectó el equipo a una toma de corriente.

Fuente: Hojas de campo utilizadas en los muestreos.

Figura No. 13 Resultados de PM_{2.5} para la cabecera departamental de Santa Rosa.



Fuente: Datos Calculados en el Laboratorio de Monitoreo del Aire.

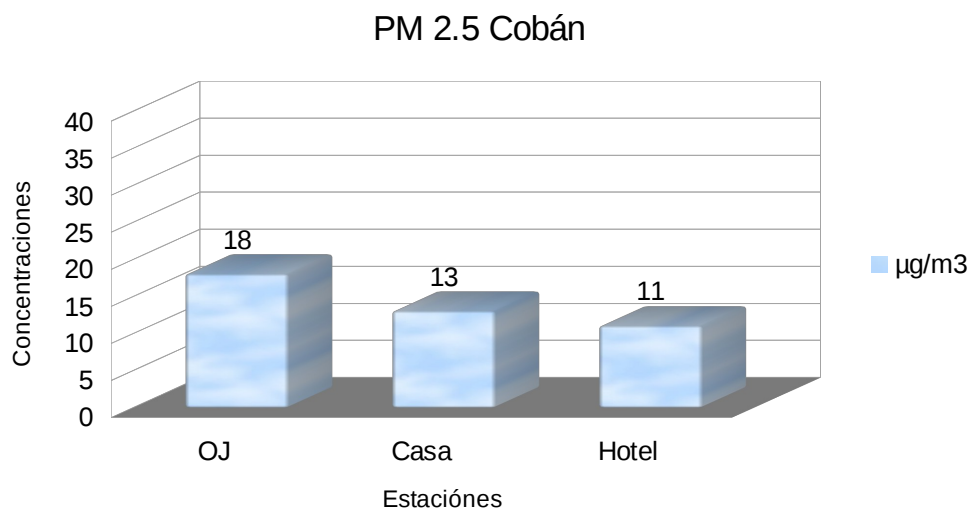
F. Cobán

Tabla No. 13 Datos generales y resultados obtenidos en las estaciones colocadas en Alta Verapaz.

Código	P0501	P0502	P0503
Descripción	Servicios Auxiliares de Administración de Justicia Penal (OJ)	Casa Particular (Cerca Estadio)	Hotel Central
Actividad Vehicular Observada	Vehículos livianos y transporte colectivo liviano.	Vehículos livianos y transporte colectivo liviano.	Vehículos livianos y transporte colectivo liviano.
Dirección	1 calle 1-23 Zona 1	3 calle 5-19 zona1	1 calle 1-79 zona 4
Coordenadas	N: 15° 28' 14" W: 90° 22' 26"	N: 15° 28' 34" W: 90° 22' 38"	N: 15° 28' 13" W: 90° 22' 24"
Concentración PM _{2.5} (µg/m ³)	18	13	11
Fecha de Muestreo	13 al 14 de junio.	14 al 15 de junio.	15 al 16 de junio.
Observaciones	Se conectó el equipo a una toma de corriente.	Se conectó el equipo a una toma de corriente.	Se conectó el equipo a una toma de corriente.

Fuente: Hojas de campo utilizadas en los muestreos.

Figura No. 14 Resultados de PM_{2.5} para la cabecera departamental de Alta Verapaz.



Fuente: Datos Calculados en el Laboratorio de Monitoreo del Aire.

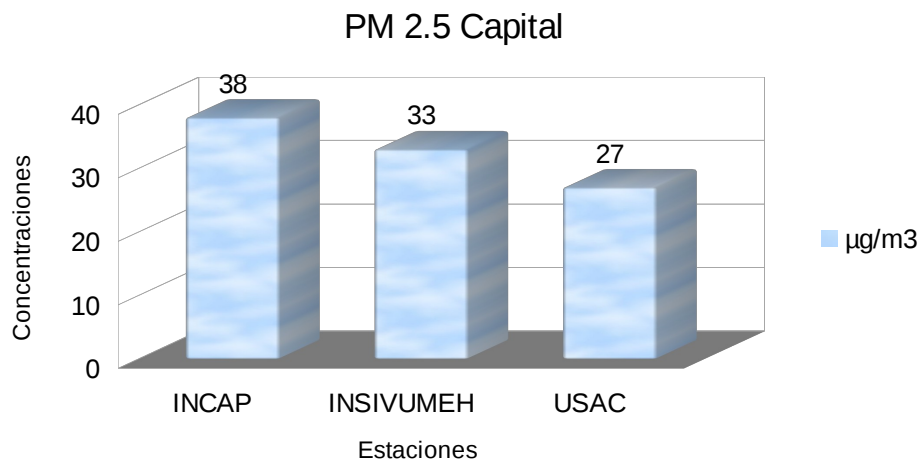
G. Ciudad de Guatemala

Tabla No. 14 Datos generales y resultados obtenidos en las estaciones colocadas en la Ciudad de Guatemala.

Código	P0601	P0602	P0603
Descripción	Instituto de Nutrición de Centroamerica y Panamá.	Instituto de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología.	Universidad de San Carlos de Guatemala Edificio T-10
Actividad vehicular observada.	Buses y vehículos livianos.	Buses y vehículos livianos.	Vehículos livianos y transporte colectivo liviano.
Dirección	Calzada Roosevelt, 6-25 Zona 11	7 Avenida 14-57, Zona 13.	Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Ciudad Universitaria.
Coordenadas	N: 14° 36' 968" W 90° 32' 393"	N: 14° 35' 243" W: 90° 31' 959"	N 14° 35' 101" W 90° 33' 284"
Concentración PM _{2.5} (µg/m ³)	38	33	27
Fecha de Muestreo	17 y 18 de junio.	18 y 19 junio.	19 y 20 de junio.
Observaciones	Se conectó el equipo a una toma de corriente.	Se conectó el equipo a una toma de corriente.	Se conectó el equipo a una toma de corriente.

Fuente: Hojas de campo utilizadas en los muestreos.

Figura No. 15 Resultados de PM_{2.5} para la Ciudad de Guatemala.



Fuente: Datos Calculados en el Laboratorio de Monitoreo del Aire.

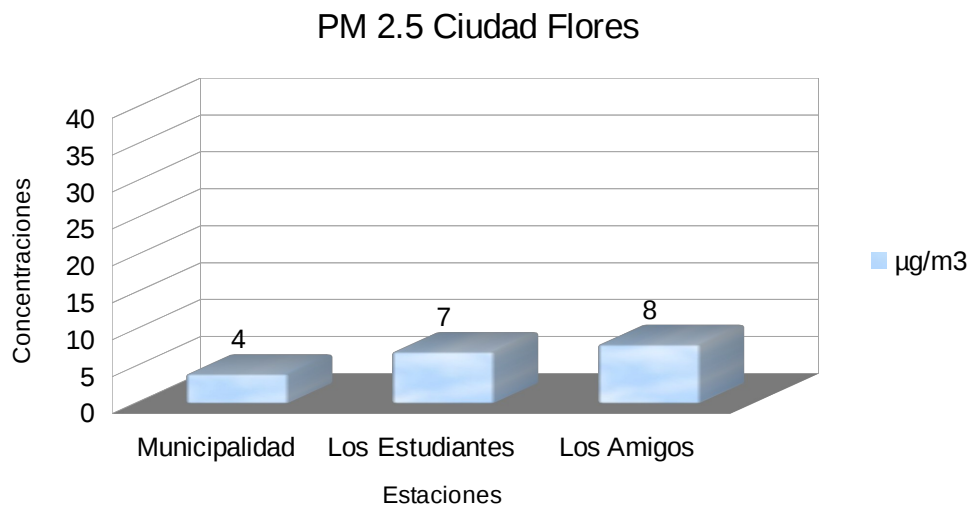
H. Ciudad Flores

Tabla No. 15 Datos generales y resultados obtenidos en las estaciones colocadas en Petén.

Código	P0701	P0702	P0703
Descripción	Edificio Municipal	Hotel Los Estudiantes	Hostal Los Amigos
Actividad vehicular observada.	Vehículos livianos y transporte colectivo liviano.	Vehículos livianos y transporte colectivo liviano.	Vehículos livianos y transporte colectivo liviano.
Dirección	Avenida Barrios	Calle 30 de junio	Calle Central
Coordenadas	N: 16° 55' 43" W: 89° 53' 35"	N: 16° 55' 48" W: 89° 53' 31"	N: 16° 55' 46" W: 89° 53' 29"
Concentración PM _{2.5} (µg/m ³)	4	7	8
Fecha de Muestreo	26 y 27 de junio.	27 y 28 de junio.	28 y 29 de junio.
Observaciones	Se conectó el equipo a una toma de corriente.	Se conectó el equipo a una toma de corriente.	El equipo se colocó con batería.

Fuente: Hojas de campo utilizadas en los muestreos.

Figura No. 16 Resultados de PM_{2.5} para la cabecera departamental de Petén.



Fuente: Datos Calculados en el Laboratorio de Monitoreo del Aire.

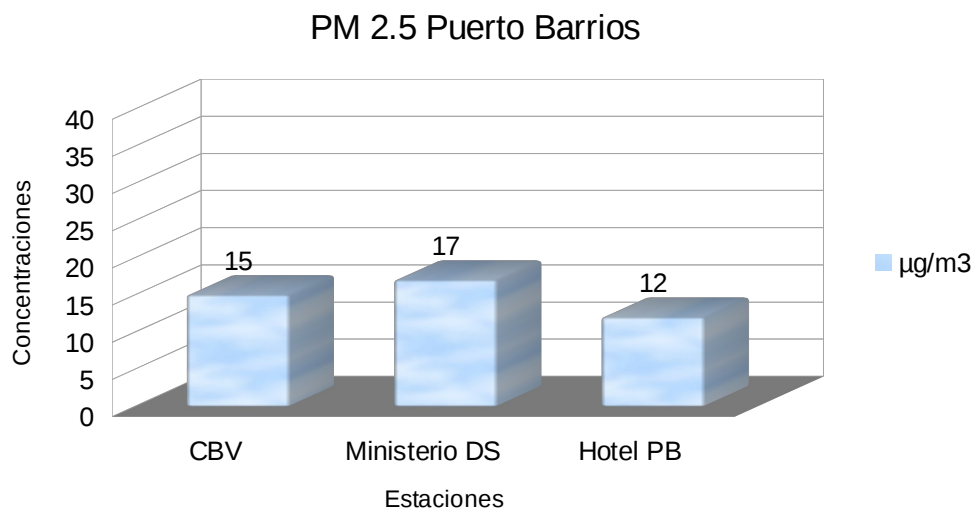
I. Puerto Barrios

Tabla No. 16 Datos generales y resultados obtenidos en las estaciones colocadas en Izabal.

Código	P0801	P0802	P0803
Descripción	Séptima Compañía de Bomberos Voluntarios	Ministerio de Desarrollo Social	Hotel Puerto Barrios
Actividad vehicular observada.	Transporte Pesado y vehículos livianos.	Buses y vehículos livianos.	Buses y vehículos livianos.
Dirección	5 Avenida entre 5y 6 calle.	12 calle entre 6 y 7 avenida.	6 Avenida entre 11 y 12 calle
Coordenadas	N: 15° 44' 11" W: 88° 35' 60"	N: 15° 43' 46" W: 88° 35' 58"	N: 15° 43' 57" W: 88° 35' 60"
Concentración PM _{2.5} (µg/m ³)	15	17	12
Fecha de Muestreo	3 y 4 de julio.	4 y 5 de julio.	5 y 6 de julio.
Observaciones	Se conectó el equipo a una toma de corriente.	Se conectó el equipo a una toma de corriente.	Se conectó el equipo a una toma de corriente.

Fuente: Hojas de campo utilizadas en los muestreos.

Figura No. 17 Resultados de PM_{2.5} para la cabecera departamental de Izabal.



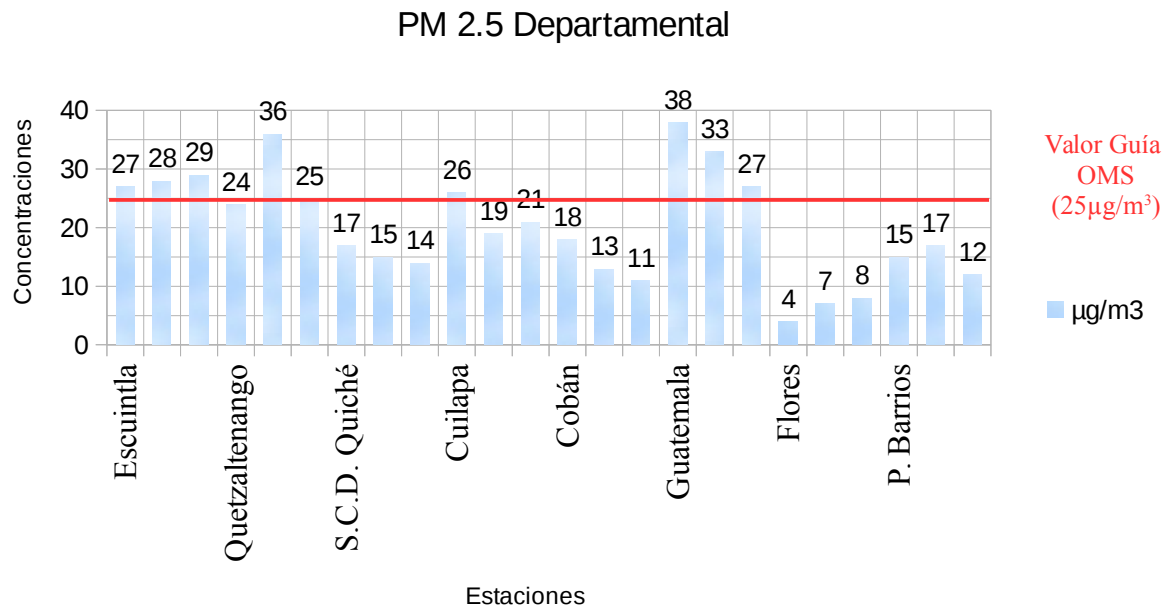
Fuente: Datos Calculados en el Laboratorio de Monitoreo del Aire.

J. Concentraciones PM_{2.5} para todas las estaciones

Tabla No. 17 Concentraciones de PM_{2.5} obtenidas en cada una de las veinticuatro estaciones.

Cabecera Departamental	Concentraciones PM _{2.5}			Valor guía sugerido por la OMS para mediciones de veinticuatro horas.
	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	
Escuintla	27	28	29	25 µg/m ³ Nota: Los valores que aparecen en color rojo superan el valor guía .
Quetzaltenango	24	36	25	
Santa Cruz Del Quiché	17	15	14	
Cuilapa	26	19	21	
Cobán	18	13	11	
Ciudad de Guatemala	38	33	27	
Ciudad Flores	4	7	8	
Puerto Barrios	15	17	12	

Fuente: Datos calculados en el laboratorio de monitoreo del aire.

Figura No. 18 Resultados de PM_{2.5} para todas las estaciones monitoreadas.

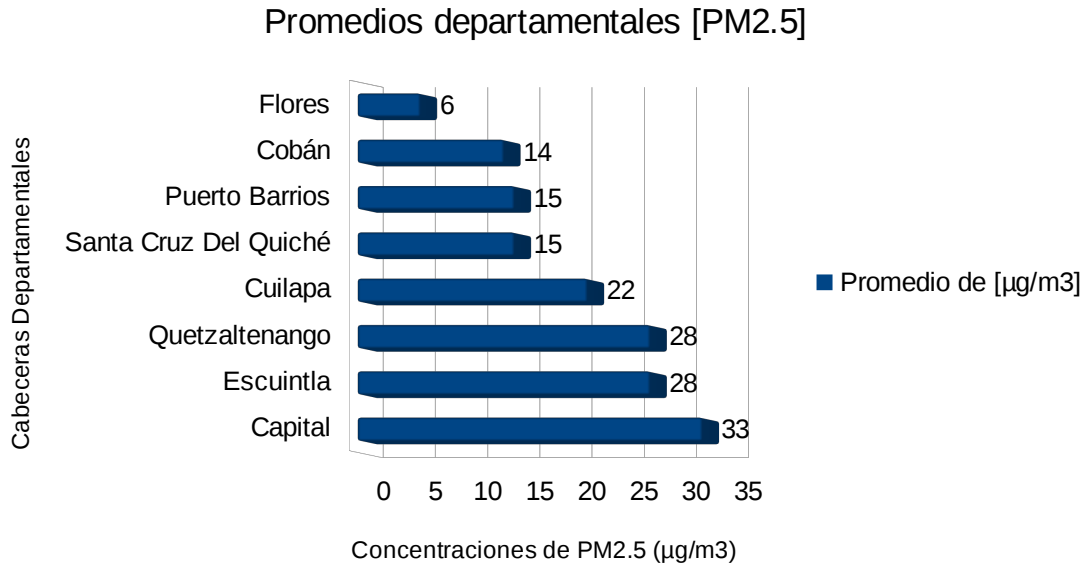
Fuente: Datos Calculados en el Laboratorio de Monitoreo del Aire.

Tabla No. 18 Interpretación de resultados de las 24 estaciones.

Punto más contaminado de todas las mediciones	Ciudad de Guatemala (38 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) P0601: INCAP
Punto menos contaminado de todas las mediciones	Ciudad Flores (4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) P0701: Municipalidad
Punto más contaminado (Departamental)	Ciudad de Quetzaltenango (36 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) P0202: CBV (Estadio MC)
Punto menos contaminado (Departamental)	Ciudad Flores (4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) P0701: Municipalidad
Valor promedio de todas las mediciones	20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Valor promedio (Departamental)	18 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Cabecera departamental más contaminada	Ciudad de Guatemala
Cabecera departamental más contaminada (Después de la Ciudad de Guatemala)	Escuintla
Cabecera departamental menos contaminada	Ciudad Flores
Porcentaje de mediciones que sobrepasaron el valor guía sugerido por la OMS para mediciones de 24 horas (25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).	33%

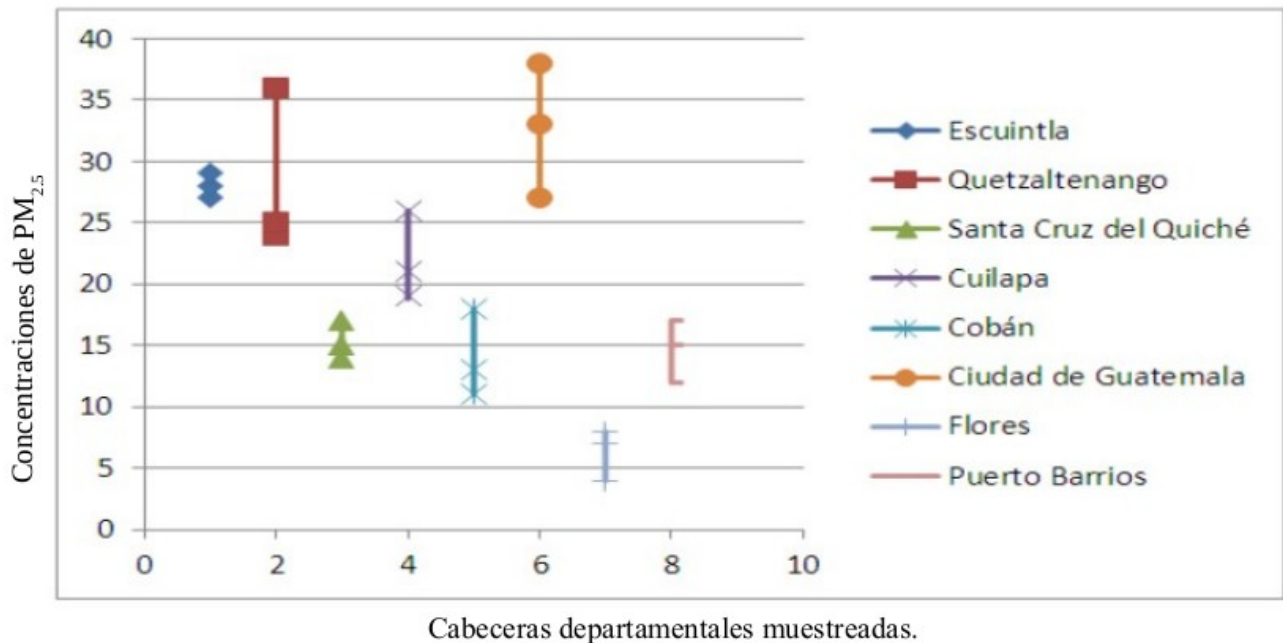
Fuente: Datos calculados en el Laboratorio de Monitoreo del Aire.

Figura No. 19 Concentraciones promedio de PM_{2.5}.



Fuente: Datos Calculados en el Laboratorio de Monitoreo del Aire.

Figura No. 20 Dispersión de las concentraciones de PM_{2.5} a nivel departamental.



Fuente: Datos Calculados en el Laboratorio de Monitoreo del Aire.

IX. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos en la Ciudad de Guatemala (ver tabla No. 17) son alarmantes, aunque era predecible que fueran los más altos si se toma en cuenta que la Capital es el lugar en donde circula la mayor parte de vehículos automotores los cuales, en la mayoría de los casos, son los principales responsables de las emisiones de $PM_{2.5}$.

Las tres mediciones individuales realizadas en las estaciones ubicadas en la Ciudad de Guatemala (ver tabla No. 14) excedieron el valor guía recomendado por la OMS ($25\mu\text{g}/\text{m}^3$ para mediciones de 24 horas), lo cual es coherente con los datos reportados en el informe del Laboratorio de Monitoreo del Aire correspondiente al año 2013, donde se reporta que todas las mediciones de $PM_{2.5}$ realizadas en tres de las estaciones (INCAP, EFPEM y Calzada San Juan), una de las cuales (INCAP) se seleccionó para este estudio, sobrepasaron los valores guía sugeridos por la OMS para mediciones de 24 horas.

En la cabecera departamental de Escuintla (ver figura No. 10) el valor más bajo ($27\mu\text{g}/\text{m}^3$) se obtuvo en la estación P0101 ubicada en el edificio de Gobernación Departamental (ver figura No. 22) frente al parque central de Escuintla, en donde la mayor parte de movimiento vehicular correspondía a vehículos livianos.

Las otras dos estaciones colocadas en Escuintla presentaron concentraciones de $PM_{2.5}$ altas ($28\mu\text{g}/\text{m}^3$ y $29\mu\text{g}/\text{m}^3$) a pesar de que los días de la colecta de la muestra se presentaron lluvias propias de la época, fenómeno que generalmente tiende a disminuir los valores de $PM_{2.5}$. Los valores obtenidos, característicos de lugares que soportan una alta carga vehicular, corresponden a las estaciones P0102, la cual se colocó frente una terminal de buses, y P0103, ubicada en un lugar cercano a la carretera principal.

En la Ciudad de Quetzaltenango se obtuvo el valor de $PM_{2.5}$ más alto ($36\mu\text{g}/\text{m}^3$) de todas las estaciones colocadas en el interior de la República (sin tomar en cuenta la Ciudad de Guatemala), una concentración que corresponde a la estación P0202 (ver figura No. 24), ubicada en la quinta compañía de Bomberos Voluntarios, frente al estadio Mario Camposeco. En este lugar el tráfico vehicular estaba conformado por vehículos livianos y transporte colectivo liviano (microbuses) característico de algunas

ciudades del interior.

Las otras dos estaciones colocadas en la Ciudad de Quetzaltenango se distribuyeron de la siguiente forma: una en las cercanías del parque central, P0201, y la otra cerca de una terminal de buses, P0203 (ver figura No. 25). Ambas estaciones reportaron valores de $PM_{2.5}$ ($24 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente) que si bien no exceden el valor guía sugerido por la OMS ($25\mu\text{g}/\text{m}^3$) para mediciones de 24 horas, se encuentran al borde del mismo. Tomando en cuenta que las mediciones se hicieron en época lluviosa, período estacional durante el cual las concentraciones de material particulado tienden a disminuir, es muy probable que si se hubieran colectado muestras en la época seca los valores obtenidos sobrepasarían los $25\mu\text{g}/\text{m}^3$.

En Santa Cruz del Quiché el valor más alto de $PM_{2.5}$ ($17\mu\text{g}/\text{m}^3$) se obtuvo el primer día de los tres que se muestrearon en Quiché, en la estación colocada en la décimo segunda estación de Bomberos Voluntarios (ver figura No. 26), un lugar en donde el movimiento vehicular estaba conformado por vehículos livianos y transporte colectivo liviano (Tuc Tuc y microbuses) característico del lugar.

La concentración de $PM_{2.5}$ obtenida, al día siguiente en el punto P0302 ubicado en la Estación de Bomberos Municipales de Santa Cruz del Quiché (ver figura No. 27) presentó un valor menor al esperado ($15\mu\text{g}/\text{m}^3$) si se toma en cuenta que el lugar esta muy cerca a la terminal de buses.

La concentración de $PM_{2.5}$ más baja obtenida en Santa Cruz del Quiché ($14\mu\text{g}/\text{m}^3$) se registró en una calle cercana al parque central en donde el parque vehicular estaba conformado por vehículos livianos y transporte colectivo liviano.

Es importante mencionar que durante la colecta de las muestras en Santa Cruz del Quiché el territorio nacional se encontraba experimentando los efectos de la Depresión Tropical 2-E, lluvias intensas e ininterrumpidas que provocaron derrumbes, desbordes de ríos, hundimientos en carreteras e incluso destrucción de puentes en nueve departamentos de la República de Guatemala y esto pudo haber contribuido a que se obtuvieran valores más bajos de $PM_{2.5}$.

En la cabecera departamental de Santa Rosa (ver tabla No. 12) el valor de concentración de $PM_{2.5}$ más alto que se obtuvo ($26\mu\text{g}/\text{m}^3$) excedió el valor guía sugerido por la OMS. Este valor se registró en la estación P0401 colocada en la terraza de la vigésimo cuarta Estación de Bomberos Voluntarios (ver figura No. 28). En este punto se observó la afluencia indiscriminada de vehículos automotores.

Las otras dos estaciones colocadas en Cuilapa, P0402 (ver figura No. 29) y P0403, se colocaron en lugares en donde únicamente se registró la presencia de vehículos livianos (automóviles y motocicletas) y como era de esperarse presentaron concentraciones más bajas de $PM_{2.5}$ ($19\mu\text{g}/\text{m}^3$ y $21\mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente).

En Cobán, Alta Verapaz, ninguna de las estaciones monitoreadas presentó concentraciones de $PM_{2.5}$ que excedieran los valores guía sugeridos por la OMS. El valor más alto de $PM_{2.5}$ ($18\mu\text{g}/\text{m}^3$) se registró en la estación P0501 colocada frente al parque central (ver figura No. 30) en donde se observó la circulación de vehículos livianos y transporte colectivo (microbuses) característico del lugar. Las otras dos estaciones, una de ellas ubicada cerca del estadio Verapaz, P0502 (ver figura No. 31 en anexos) y la otra en un hotel cercano a la catedral, P0503, reportaron valores aún más bajos ($13\mu\text{g}/\text{m}^3$ y $11\mu\text{g}/\text{m}^3$) característicos de lugares con poca afluencia vehicular.

La Ciudad de Flores, Petén, es la cabecera departamental que reportó los valores más bajos de concentraciones de $PM_{2.5}$. Ninguna de las mediciones realizadas en la Isla de Flores superó los valores guía sugeridos por la OMS para mediciones de 24 horas.

A la estación P0701 ubicada en la Municipalidad de Flores (ver figura No. 32 en anexos) corresponde la medición más baja ($4\mu\text{g}/\text{m}^3$) de las veinticuatro mediciones que se hicieron en las ocho cabeceras seleccionadas. En esta estación el tráfico vehicular observado fue muy bajo y estaba compuesto principalmente por transporte colectivo liviano (tuc tuc) característico del lugar.

Las otras dos estaciones colocadas en la Ciudad de Flores, P0702 (ver figura No. 33) y P0703, se distribuyeron procurando abarcar calles con mayor movimiento vehicular (Calle 30 de Junio y Calle central), sin embargo los valores obtenidos fueron semejantes a los de la primera estación ($7\mu\text{g}/\text{m}^3$ y $8\mu\text{g}/\text{m}^3$), en otras palabras, aceptables en lo que respecta a Calidad del Aire.

En Puerto Barrios, Izabal, ninguna de las mediciones (ver tabla No. 16) superó los valores guía establecidos por la OMS para mediciones de veinticuatro horas. El valor más alto de concentración de $PM_{2.5}$ ($17 \mu\text{g}/\text{m}^3$) se registró en la estación P0802 (ver figura No. 35), ubicada en la sede del Ministerio de Desarrollo Social. En este lugar se observó una moderada carga vehicular conformada principalmente por vehículos livianos y buses.

La estación P0801 (ver figura No. 34) colocada en la séptima compañía de Bomberos Voluntarios reportó un valor de concentración de $PM_{2.5}$ más bajo de lo esperado tomando en cuenta que se observó que existía flujo constante de transporte pesado característico de las estaciones portuarias.

La estación P0803, ubicada en un hotel cercano a la avenida principal, reportó el valor más bajo de concentración de $PM_{2.5}$ ($12 \mu\text{g}/\text{m}^3$), probablemente por el hecho de que si bien existía una moderada carga vehicular de buses extraurbanos y vehículos livianos, en general el tráfico era fluido.

Si se saca un valor promedio de las tres mediciones realizadas en cada una de las cabeceras departamentales (ver figura No. 19) es posible darse una idea más clara de la calidad del aire de los lugares visitados y hacer las siguientes observaciones:

El valor promedio más alto corresponde a la ciudad capital mientras que el valor promedio más bajo se reporta en la Ciudad de Flores, Petén.

A nivel departamental, haciendo caso omiso a los datos obtenidos en la Ciudad de Guatemala, la cabecera que reportó las concentraciones más altas de $PM_{2.5}$ fue Escuintla y todas las mediciones realizadas en este lugar sobrepasaron los valores guía sugeridos por la OMS.

Las cabeceras de los departamentos de Cuilapa y Quetzaltenango presentaron al menos una medición que sobrepasó el valor guía sugerido por la OMS para este tipo de mediciones.

La calidad del Aire de las cabeceras departamentales de Alta Verapaz, Izabal y Santa Cruz del Quiché es bastante buena en lo que respecta a material particulado en su fracción $PM_{2.5}$.

La Ciudad de Flores, Petén, posee el aire más limpio, en lo que respecta a $PM_{2.5}$, de las cabeceras estudiadas hasta la fecha.

En lo que respecta a la dispersión de las concentraciones (ver figura No. 20) de $PM_{2.5}$ obtenidas en cada una de las cabeceras departamentales estudiadas se observa que hay cierta heterogeneidad entre las mediciones, particularmente en la Ciudad de Quetzaltenango y Ciudad de Guatemala, y también cierta homogeneidad entre otras, particularmente en Escuintla y Santa Cruz del Quiché.

Esta dispersión se debe a que cada uno de los puntos seleccionados para ubicar las estaciones de muestreo presenta sus propias características de afluencia vehicular y en este punto es importante mencionar que dichas características y las consecuentes concentraciones de $PM_{2.5}$ no siempre están relacionadas, o por lo menos no de forma directamente proporcional, con su cercanía a terminales de buses y mercados, como se planteó en la hipótesis.

De esta cuenta, en la Ciudad de Quetzaltenango la concentración más alta de $PM_{2.5}$ no se obtuvo en la estación P0203, estación ubicada cerca de la terminal de buses y un mercado con alta actividad comercial, sino en la estación P0202 un área con actividad comercial más moderada.

Este mismo fenómeno se observa si se pone atención a los resultados obtenidos en Santa Cruz del Quiché, datos que son más homogéneos que los obtenidos en Quetzaltenango y en donde la concentración más alta de $PM_{2.5}$ no se obtuvo en la estación P0302, estación ubicada frente a la terminal de buses sino en la estación P0301 un área con actividad comercial más moderada.

Por último, a pesar de que solamente el 33% de las mediciones de $PM_{2.5}$ realizadas a en este estudio sobrepasó el valor guía sugerido por la OMS para mediciones de 24 horas, es recomendable hacer mediciones periódicas en las ciudades de Escuintla y Quetzaltenango por haber reportado estas valores muy altos de material particulado fino.

También es necesario realizar mediciones exploratorias de material particulado fino en aquellas cabeceras departamentales que no fueron incluidas en este trabajo.

X. CONCLUSIONES

- 1) Algunas de las concentraciones de $PM_{2.5}$ obtenidas en las cabeceras departamentales de Quetzaltenango, Cuilapa y todas las registradas en Escuintla superaron los valores guía recomendados por la Organización Mundial de la Salud. Estos resultados ameritan la implementación de un plan integral que permita no solamente monitorear periódicamente las concentraciones de material particulado sino también analizar los flujos vehiculares en las vías principales a fin encontrar métodos eficientes para agilizar la circulación e inspeccionar y regular las operaciones de las fuentes fijas.
- 2) Las concentraciones de $PM_{2.5}$ obtenidas en Cobán, Ciudad Flores y Santa Cruz del Quiché no representan ningún peligro para la salud de la población. Si embargo es recomendable verificar por lo menos un par de veces al año que estas concentraciones se mantengan dentro de los valores guía establecidos por la Organización Mundial de la Salud.
- 3) Las tres mediciones realizadas en la Ciudad de Guatemala superaron el valor guía sugerido por la Organización Mundial de la Salud. Debido a que la Ciudad de Guatemala es la única, de las ocho cabeceras departamentales incluidas en este estudio, cuya calidad del aire es monitoreada periódicamente, la importancia de incluir esta cabecera en el estudio radicaba en complementar la información generada en las siete regiones restantes.
- 4) Se demostró que no es posible hacer una generalización sobre la ubicación de los puntos más susceptibles a presentar altas concentraciones de material particulado sin antes hacer un análisis de flujos vehiculares que determine cuales son los puntos de alta y baja densidad. Cada uno de los puntos seleccionados para colocar las estaciones presentó sus propias características de flujo vehicular y como consecuencia las concentraciones de $PM_{2.5}$ obtenidas no siempre estuvieron relacionadas, o por lo menos no de forma directamente proporcional, con su cercanía a terminales de buses y mercados, como se planteó en la hipótesis.
- 5) Todas las concentraciones de $PM_{2.5}$ obtenidas en el interior de la república trazan una línea base que permite formarse una idea preliminar del estado de la calidad del aire a nivel nacional. La mayor contribución de este trabajo es haber determinado por primera vez, con excepción de las mediciones

realizadas en la Ciudad de Guatemala, las concentraciones de material particulado fino en lugares que generalmente son pasados por alto por las autoridades encargadas de velar por el buen estado del ambiente.

XI. RECOMENDACIONES

- 1) Se recomienda establecer un monitoreo periódico completo, que incluya mediciones no solamente de material particulado sino también de sedimentación ácida y gases, semejante al que se hace en la Ciudad de Guatemala, en aquellas cabeceras departamentales que presentaron los valores más altos de concentración de $PM_{2.5}$ (Cuilapa, Escuintla y Quetzaltenango).
- 2) Debido a que las concentraciones de $PM_{2.5}$ son susceptibles a presentar un patrón de variabilidad estacional, que generalmente se manifiesta como valores más altos de concentración de material particulado en la época seca y valores mas bajos en la época húmeda, es recomendable realizar mediciones en las cabeceras departamentales que presentaron valores aceptables de concentración de $PM_{2.5}$ haciendo la colecta de muestras durante la época seca a fin de complementar la información generada en este estudio.
- 3) En la Ciudad de Guatemala se recomienda la caracterización de la composición química del material particulado y la implementación de un plan integral y multidisciplinario que involucre a las autoridades municipales, a expertos en temas ambientales y a la población en general a fin de establecer mesas de trabajo en donde se discutan propuestas que permitan reducir las nocivas emisiones de material particulado.
- 4) Incrementar la línea base de datos trazada en este estudio generando información que complemente los datos aportados incluyendo otros parámetros (PM_{10} , gases y sedimentación ácida), otros periodos estacionales (época seca y época lluviosa) y el resto de cabeceras departamentales que no fueron incluidas en este trabajo por razones de tiempo, disponibilidad de equipo y presupuesto.

XII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Álvarez, J. (2012). Informe Anual 2011, Monitoreo del Aire de la Ciudad de Guatemala. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia.
- American Psychological Association. (2009). Publication Manual of the American Psychological Association (6th. ed.). Washington, DC.
- Castillo, M. (2011). Compendio Estadístico Ambiental 2010. Guatemala: Instituto Nacional de Estadística, Sistema Estadístico Nacional.
- Cifuentes L. A., K. A. (2005). Urban Air Quality and Human Health in Latin America and the Caribbean. Washington DC.: Organización Panamericana de la Salud.
- Dirección de Gestión de Calidad Ambiental, Ministerio de Ambiente y Energía de Costa Rica. (s.f.). DIGECA. Recuperado el 24 de agosto de 2014, de <http://www.digeca.go.cr/aire/airemonitoreo.html>
- Environmental Protection Agency. (2013). National Ambient Air Quality Standards For Particulate Matter, Rules and Regulations. Washington, DC: National Archives And Records Administration.
- Fabián A., A. P. (2010). Informe de Calidad del Aire del Área Metropolitana de San Salvador. San Salvador: Ministerio del Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Green J., S. S. (2013). La Calidad del Aire en América Latina: Una Visión Panorámica. Washington D.C.: Clean Air Institute.

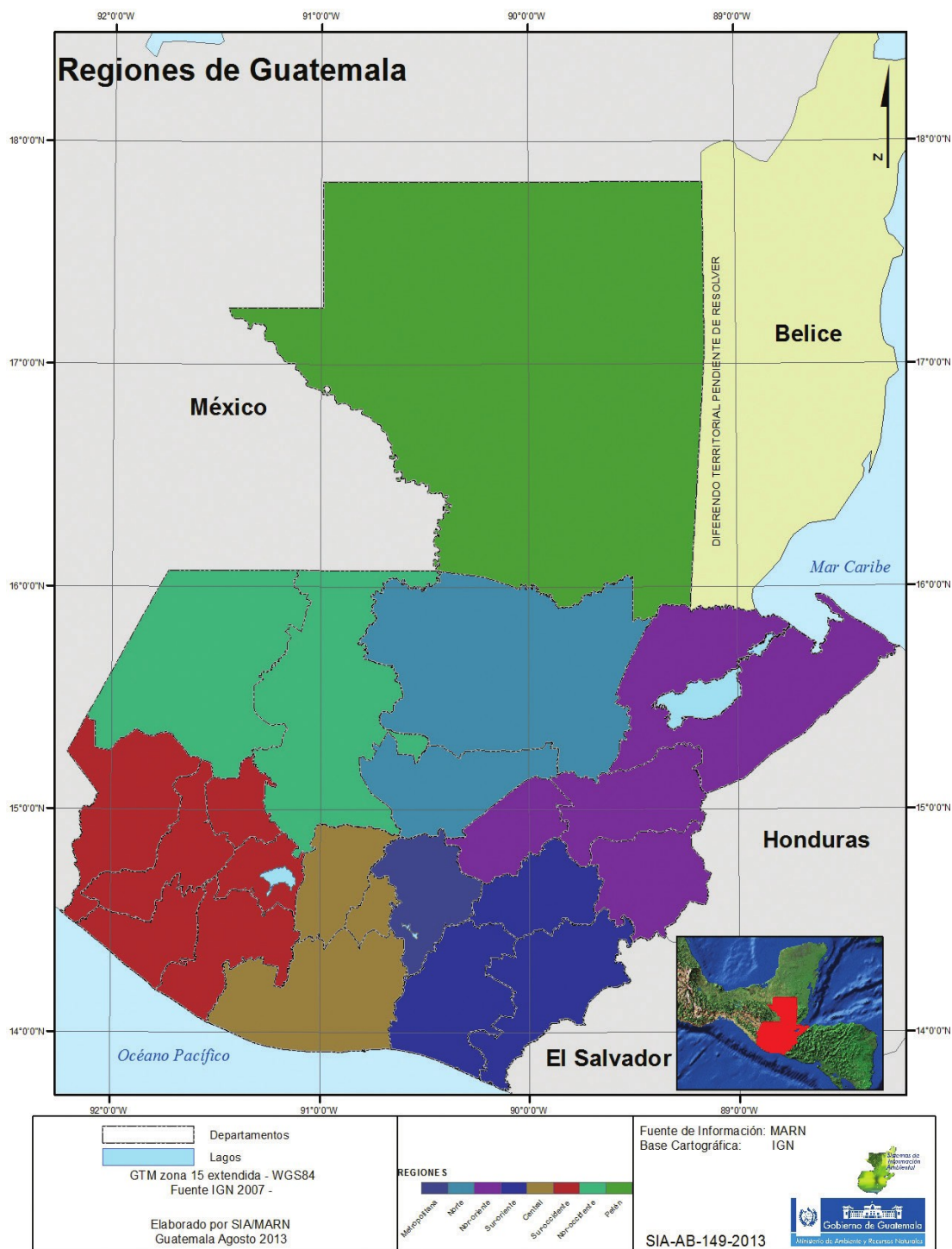
- Haddad, R. (1974). Contaminación del Aire, Situación Actual en America Latina y el Caribe. Washington, DC.: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, OPS/OMS.
- Hernández, E. (2014). Informe Anual de la Calidad del Aire en Guatemala, 2013, 20 Años monitoreando la ciudad. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia.
- Herrera, J. (2012). Cuarto Informe Anual de la Calidad del Aire, Gran Área Metropolitana de Costa Rica, 2011. San José, Costa Rica: Universidad Nacional, Costa Rica.
- Herrera, J. L. (2003). Informe Ambiental de Guatemala y Bases Para la Evaluación Sistemática del Estado del Ambiente, 2002-2005. Guatemala: Instituto de Incidencia Ambiental, Universidad Rafael Landívar, Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas, Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Agrícolas.
- Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH), Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda, Gobierno de Guatemala. (2010). Recuperado el 26 de agosto de 2014, de http://www.insivumeh.gob.gt:8080/calidadaire/red_monitoreo.htm
- Liu Y, C. R. (2004). Wintertime Indoor Air Levels of PM10, PM2.5 and PM1 at Public Places and their Contributions to TSP. *Environmental International*, 189-197.
- Ministerio de Ambiente y Los Recursos Naturales (MARENA). (2001). Informe Estado del Ambiente en Nicaragua 2001, (IEA-MARENA 2001). MANAGUA: IMPRIMATUR.
- Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. (2013). Informe Ambiental del Estado, Guatemala 2012. Guatemala: Gobierno de Guatemala, Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales.

- Muñoz R., C. M. (1999). Análisis de datos de PM_{2.5} registrados con Equipo TEOM en las estaciones Azcapotzalco (AZC) y Santa Ursula (SUR) de la Red Automática de Monitoreo Atmosférico. México, D.F.: Secretaría del Medio Ambiente, Dirección General de Prevención y Control de la Contaminación.
- Murillo, J. H. (2011). Inventario de Emisiones de Contaminantes Criterio del Aire, Guatemala: año 2009. Guatemala: Gobierno de Guatemala, USAID del Pueblo de los Estados Unidos de América, CCAD Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo.
- Narciso R., E. D. (2013). Caracterización Estadística, República de Guatemala 2012. Guatemala: Gobierno de Guatemala, Instituto Nacional de Estadística.
- Oliva, P. E. (2008). Calidad del Aire en Guatemala, Compilación de la Información Existente. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Humanidades.
- Oliva, P. E. (2011). Informe Anual 2010, Monitoreo del Aire de la Ciudad de Guatemala. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia.
- Oliva, P. E. (2013). Informe Anual 2012, Monitoreo del aire de la Ciudad de Guatemala. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia.
- OMS. (2006). Guías de la Calidad del Aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre. Actualización Mundial 2005. OMS.
- Panting P., P. C. (2005). Informe del Estado y Perspectivas del Ambiente. Tegucigalpa: Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente.
- Pérez, A. (2012). Perfil de la Caracterización del Parque Vehicular de Guatemala Año base 2010. Guatemala: Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales.

- Perez, A. (2013). Primer Informe Indicativo de la Medición de la Calidad del Aire Ambiente en las Cabeceras Departamentales de la R[epublica de Guatemala, año 2013. Guatemala:Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Escuela de Química, Laboratorio de Monitoreo del Aire, Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, Unidad del Cambio Climático.
- Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá D.C. (RMCAB), Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual, Dirección control Ambiental, Secretaría Distrital de Ambiente (SDA). (2012). Informe Anual, Calidad del Aire de Bogotá, Año 2011. Bogotá: Alcaldía Mayor de Bogotá D.C.
- Saravia P. (1983). Investigación de la Contaminación del Aire en el Área Central de la Ciudad de Guatemala, Estudio Especial. Ciudad de Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Serrano, D. E. (2000). Determinación de Fuentes Fijas Generadoras de Material Particulado Menor de 10 μm (PM10) en la Ciudad de Guatemala y sus Alrededores. Guatemala: Universidad de De San Carlos de Guatemala, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia.
- Swisscontact. (junio de 2014). Swisscontact (Bolivia). Recuperado el 22 de agosto de 2014, de http://www.swisscontact.bo/sw_files/mldjnhpfzpq.pdf
- Universidad Mariano Gálvez de de Guatemala (UMG). (2014). Ciencias Médicas y de la Salud. Recuperado el 26 de agosto de 2014, de <http://www.umg.edu.gt/Facultades/index.php/-nutricion/quienes-somos/>
- Young, N. (2006). Autoridad Nacional del Ambiente, Gobierno de Panamá. Recuperado el 26 de agosto de 2014, de http://www.inecc.gob.mx/descargas/dgcenica/pres_sem_mon_atm_08_ny.pdf

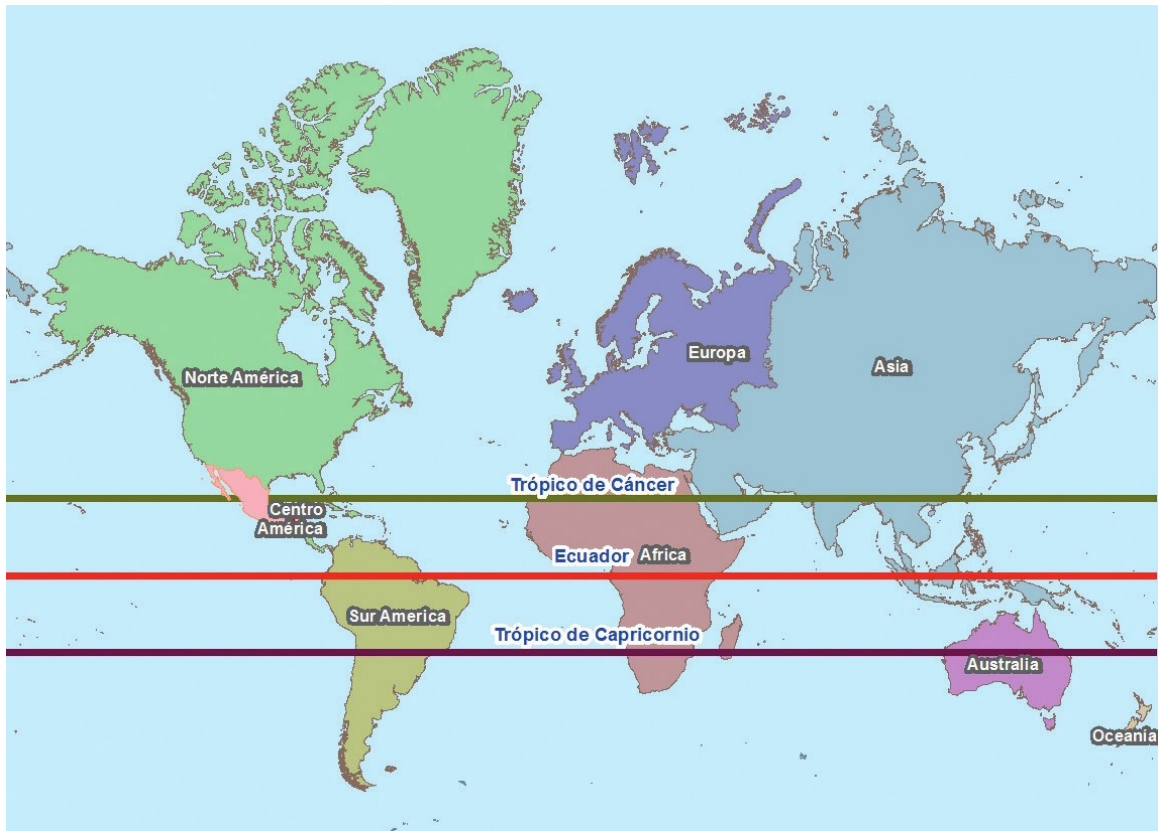
XIII. ANEXOS

Mapa No. 1 División regional utilizada para este estudio.



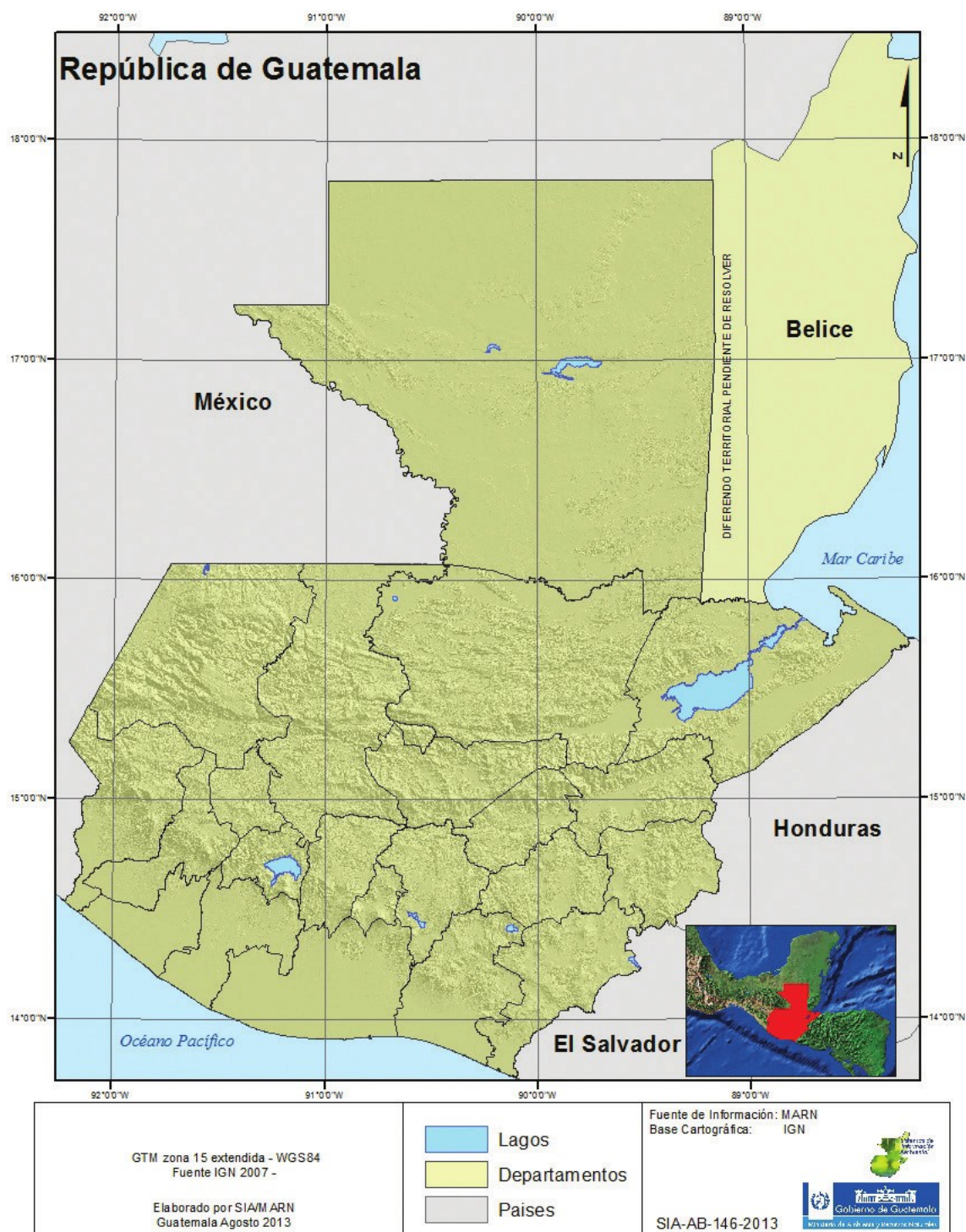
Fuente: Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN), Informe Ambiental del Estado 2012 (IAE 2012), Guatemala, 2013.

Mapa No. 2 Ubicación de Guatemala.



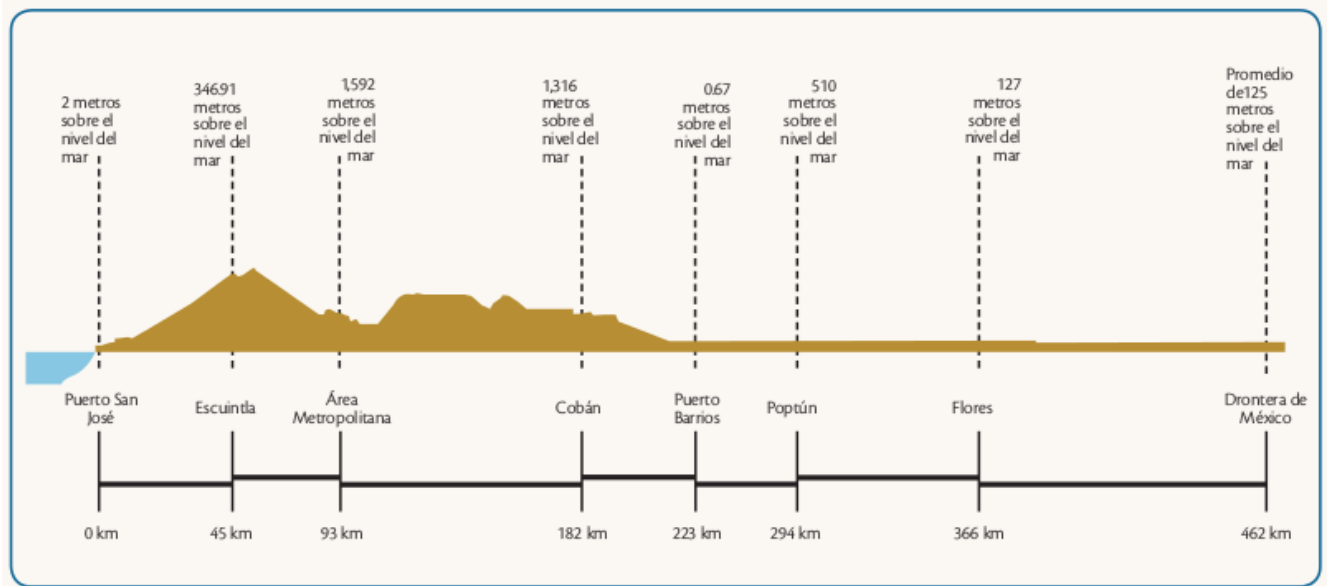
Fuente: Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN), Informe Ambiental del Estado 2012 (IAE 2012), Guatemala, 2013.

Mapa No. 3 Límites de Guatemala.



Fuente: Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN), Informe Ambiental del Estado 2012 (IAE 2012), Guatemala, 2013.

Figura No. 21 Topografía de la República de Guatemala.



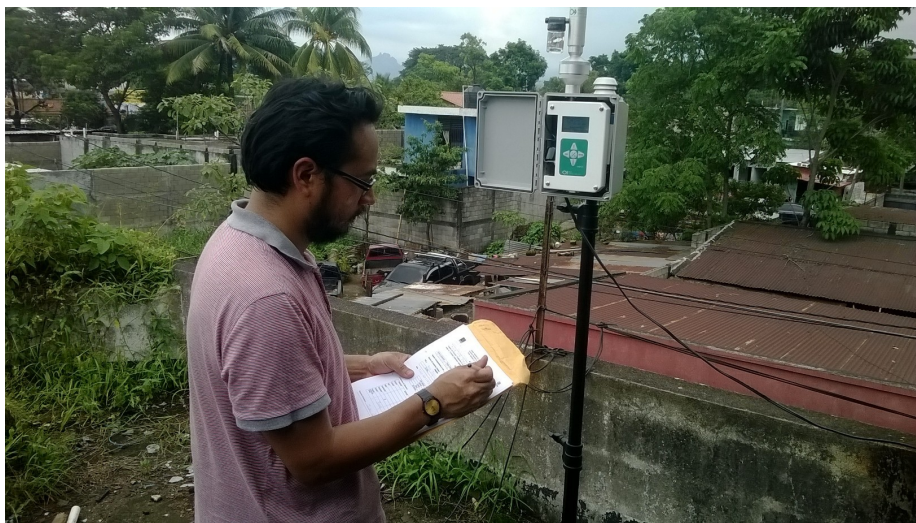
Fuente: Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN), Informe Ambiental del Estado 2012 (IAE 2012), Guatemala, 2013.

Figura No. 22 Muestreo en la estación P0101 (Gobernación departamental, Escuintla).



Fuente: Fotografía tomada por Enio Cano Lima.

Figura No. 23 Muestreo en la estación P0102 (Hospital Privado, Escuintla).



Fuente: Fotografía tomada por Enio Cano Lima.

Figura No. 24 Muestreo en la estación P0202 (Quinta Compañía de Bomberos Voluntarios, Quetzaltenango).



Fuente: Fotografía tomada por Josue Calderón (Bombero Voluntario).

Figura No. 25 Muestreo en la estación P0203 (Estación de Apoyo de Bomberos Voluntarios, Quetzaltenango).



Fuente: Fotografía tomada por Abraham Racancoj (Bombero Voluntario).

Figura No. 26 Muestreo en la estación P0301 (Décimo Segunda Compañía de Bomberos Voluntarios, Santa Cruz del Quiché).



Fuente: Fotografía tomada por Juan José Ixcamparij.

Figura No. 27 Muestreo en la estación P0302 (Cuadragésimo cuarta compañía de Bomberos Municipales, Santa Cruz del Quiché).



Fuente: Fotografía tomada por Juan José Ixcamparij.

Figura No. 28 Muestreo en la estación P0401 (Vigésimo cuarta compañía de Bomberos Voluntarios, Cuilapa).



Fuente: Fotografía tomada por German Dario Ixcampary.

Figura No. 29 Muestreo en la estación P0402 (Casa Particular, Cuilapa).



Fuente: Fotografía tomada por German Dario Ixcampary.

Figura No. 30 Muestreo en la estación P0501 (Servicios Auxiliares de Administración de Justicia Penal, Cobán).



Fuente: Fotografía tomada por Juan José Ixcamparij.

Figura No. 31 Muestreo en la estación P0502 (Casa Particular, Cobán).



Fuente: Fotografía tomada por Rudy José Pérez.

Figura No. 32 Muestreo en la estación P0701 (Edificio Municipal, Flores).



Fuente: Fotografía tomada por Juan José Ixcamparij.

Figura No. 33 Muestreo en la estación P0702 (Hotel Los Estudiantes, Flores).



Fuente: Fotografía tomada por Juan José Ixcamparij.

Figura No. 34 Muestreo en la estación P0801 (Séptima Compañía de Bomberos Voluntarios, Puerto Barrios).



Fuente: Fotografía tomada por Raúl Pedroza (Bombero Voluntario).

Figura No. 35 Muestreo en la estación P0802 (Sede del Ministerio de Desarrollo Social, Puerto Barrios).



Fuente: Fotografía tomada por Rebeca Valenzuela.

Figuras No. 36, 37 y 38. Hojas de cálculo utilizadas para determinar las concentraciones de PM_{2.5} en las estaciones colocadas en Escuintla.

BGI Air Samping System Downloaded: 24 May 2014 10:05:00

<p>PQ100 Muestreo de Aire Departamental</p> <p>Version: 1.0.01K Serial No: 421 Pump Time: 2707:47 Q Set (Lpm) 5.00 Actual Total M3: 7.126 Std. Total M3: 6.104</p>	<p>Data File: Escuintla-0101-2014.OMN</p> <p>Job Code: 01012014</p> <p>Site Name: Gobernacion Departamental</p> <p>Station Code: P0101</p> <p>Operators: Juan Jose Ixcamparij</p> <p>User 1: <input type="text"/></p> <p>User 2: <input type="text"/></p>																																										
<p>Atmospheric Information:</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th></th> <th>Max</th> <th>Min</th> <th>Avg</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>BP</td> <td>749</td> <td>746</td> <td>748</td> <td>mm of Hg</td> </tr> <tr> <td>Ta</td> <td>38,7</td> <td>25,5</td> <td>30,6</td> <td>°C</td> </tr> <tr> <td>Q</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>N/A</td> <td>Lpm</td> </tr> </tbody> </table>		Max	Min	Avg		BP	749	746	748	mm of Hg	Ta	38,7	25,5	30,6	°C	Q	---	---	N/A	Lpm	<p>Timer Information:</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th></th> <th>Date</th> <th>Time</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Start</td> <td>23-May-2014</td> <td>09:23:56</td> </tr> <tr> <td>Stop</td> <td>24-May-2014</td> <td>09:08:50</td> </tr> </tbody> </table> <p>ET <input type="text" value="0023:45"/></p>		Date	Time	Start	23-May-2014	09:23:56	Stop	24-May-2014	09:08:50	<p>Concentration Data:</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tbody> <tr> <td>Filter ID</td> <td><input type="text" value="01"/></td> </tr> <tr> <td>Final Wt</td> <td><input type="text" value="140,39"/> mg</td> </tr> <tr> <td>Initial Wt</td> <td><input type="text" value="140,2"/> mg</td> </tr> <tr> <td>Delta Wt</td> <td><input type="text" value="0,190"/> mg</td> </tr> <tr> <td>Actual Conc.</td> <td><input type="text" value="26,663"/> µg/MP</td> </tr> <tr> <td>Std. Conc.</td> <td><input type="text" value="31,127"/> µg/MP</td> </tr> </tbody> </table>	Filter ID	<input type="text" value="01"/>	Final Wt	<input type="text" value="140,39"/> mg	Initial Wt	<input type="text" value="140,2"/> mg	Delta Wt	<input type="text" value="0,190"/> mg	Actual Conc.	<input type="text" value="26,663"/> µg/MP	Std. Conc.	<input type="text" value="31,127"/> µg/MP
	Max	Min	Avg																																								
BP	749	746	748	mm of Hg																																							
Ta	38,7	25,5	30,6	°C																																							
Q	---	---	N/A	Lpm																																							
	Date	Time																																									
Start	23-May-2014	09:23:56																																									
Stop	24-May-2014	09:08:50																																									
Filter ID	<input type="text" value="01"/>																																										
Final Wt	<input type="text" value="140,39"/> mg																																										
Initial Wt	<input type="text" value="140,2"/> mg																																										
Delta Wt	<input type="text" value="0,190"/> mg																																										
Actual Conc.	<input type="text" value="26,663"/> µg/MP																																										
Std. Conc.	<input type="text" value="31,127"/> µg/MP																																										

BGI Air Samping System Downloaded: 25 May 2014 11:45:00

<p>PQ100 Muestreo de Aire Departamental</p> <p>Version: 1.0.01K Serial No: 421 Pump Time: 3502:07 Q Set (Lpm) 5.00 Actual Total M3: 7.199 Std. Total M3: 6.250</p>	<p>Data File: Escuintla-0102-2014.OMN</p> <p>Job Code: 01022014</p> <p>Site Name: Hospital Privado</p> <p>Station Code: P0102</p> <p>Operators: Juan Jose Ixcamparij</p> <p>User 1: <input type="text"/></p> <p>User 2: <input type="text"/></p>																																										
<p>Atmospheric Information:</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th></th> <th>Max</th> <th>Min</th> <th>Avg</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>BP</td> <td>745</td> <td>728</td> <td>736.5</td> <td>mm of Hg</td> </tr> <tr> <td>Ta</td> <td>38,3</td> <td>27,5</td> <td>32,9</td> <td>°C</td> </tr> <tr> <td>Q</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>N/A</td> <td>Lpm</td> </tr> </tbody> </table>		Max	Min	Avg		BP	745	728	736.5	mm of Hg	Ta	38,3	27,5	32,9	°C	Q	---	---	N/A	Lpm	<p>Timer Information:</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th></th> <th>Date</th> <th>Time</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Start</td> <td>24-May-2014</td> <td>10:43:07</td> </tr> <tr> <td>Stop</td> <td>25-May-2014</td> <td>10:43:07</td> </tr> </tbody> </table> <p>ET <input type="text" value="0024:00"/></p>		Date	Time	Start	24-May-2014	10:43:07	Stop	25-May-2014	10:43:07	<p>Concentration Data:</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tbody> <tr> <td>Filter ID</td> <td><input type="text" value="02"/></td> </tr> <tr> <td>Final Wt</td> <td><input type="text" value="139,28"/> mg</td> </tr> <tr> <td>Initial Wt</td> <td><input type="text" value="139,08"/> mg</td> </tr> <tr> <td>Delta Wt</td> <td><input type="text" value="0,200"/> mg</td> </tr> <tr> <td>Actual Conc.</td> <td><input type="text" value="27,782"/> µg/MP</td> </tr> <tr> <td>Std. Conc.</td> <td><input type="text" value="32,000"/> µg/MP</td> </tr> </tbody> </table>	Filter ID	<input type="text" value="02"/>	Final Wt	<input type="text" value="139,28"/> mg	Initial Wt	<input type="text" value="139,08"/> mg	Delta Wt	<input type="text" value="0,200"/> mg	Actual Conc.	<input type="text" value="27,782"/> µg/MP	Std. Conc.	<input type="text" value="32,000"/> µg/MP
	Max	Min	Avg																																								
BP	745	728	736.5	mm of Hg																																							
Ta	38,3	27,5	32,9	°C																																							
Q	---	---	N/A	Lpm																																							
	Date	Time																																									
Start	24-May-2014	10:43:07																																									
Stop	25-May-2014	10:43:07																																									
Filter ID	<input type="text" value="02"/>																																										
Final Wt	<input type="text" value="139,28"/> mg																																										
Initial Wt	<input type="text" value="139,08"/> mg																																										
Delta Wt	<input type="text" value="0,200"/> mg																																										
Actual Conc.	<input type="text" value="27,782"/> µg/MP																																										
Std. Conc.	<input type="text" value="32,000"/> µg/MP																																										

BGI Air Samping System Downloaded: 26 May 2014 12:17:11

<p>PQ100 Muestreo de Aire Departamental</p> <p>Version: 1.0.01K Serial No: 421 Pump Time: 3502:07 Q Set (Lpm) 5.00 Actual Total M3: 7.199 Std. Total M3: 6.237</p>	<p>Data File: Escuintla-0103-2014.OMN</p> <p>Job Code: 01032014</p> <p>Site Name: Casa Particular</p> <p>Station Code: P0103</p> <p>Operators: Juan Jose Ixcamparij</p> <p>User 1: <input type="text"/></p> <p>User 2: <input type="text"/></p>																																										
<p>Atmospheric Information:</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th></th> <th>Max</th> <th>Min</th> <th>Avg</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>BP</td> <td>747</td> <td>741</td> <td>744</td> <td>mm of Hg</td> </tr> <tr> <td>Ta</td> <td>41,3</td> <td>23,4</td> <td>32,35</td> <td>°C</td> </tr> <tr> <td>Q</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>N/A</td> <td>Lpm</td> </tr> </tbody> </table>		Max	Min	Avg		BP	747	741	744	mm of Hg	Ta	41,3	23,4	32,35	°C	Q	---	---	N/A	Lpm	<p>Timer Information:</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th></th> <th>Date</th> <th>Time</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Start</td> <td>25-May-2014</td> <td>12:14:08</td> </tr> <tr> <td>Stop</td> <td>26-May-2014</td> <td>12:14:08</td> </tr> </tbody> </table> <p>ET <input type="text" value="0024:00"/></p>		Date	Time	Start	25-May-2014	12:14:08	Stop	26-May-2014	12:14:08	<p>Concentration Data:</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tbody> <tr> <td>Filter ID</td> <td><input type="text" value="03"/></td> </tr> <tr> <td>Final Wt</td> <td><input type="text" value="141,6"/> mg</td> </tr> <tr> <td>Initial Wt</td> <td><input type="text" value="141,39"/> mg</td> </tr> <tr> <td>Delta Wt</td> <td><input type="text" value="0,210"/> mg</td> </tr> <tr> <td>Actual Conc.</td> <td><input type="text" value="29,171"/> µg/MP</td> </tr> <tr> <td>Std. Conc.</td> <td><input type="text" value="33,670"/> µg/MP</td> </tr> </tbody> </table>	Filter ID	<input type="text" value="03"/>	Final Wt	<input type="text" value="141,6"/> mg	Initial Wt	<input type="text" value="141,39"/> mg	Delta Wt	<input type="text" value="0,210"/> mg	Actual Conc.	<input type="text" value="29,171"/> µg/MP	Std. Conc.	<input type="text" value="33,670"/> µg/MP
	Max	Min	Avg																																								
BP	747	741	744	mm of Hg																																							
Ta	41,3	23,4	32,35	°C																																							
Q	---	---	N/A	Lpm																																							
	Date	Time																																									
Start	25-May-2014	12:14:08																																									
Stop	26-May-2014	12:14:08																																									
Filter ID	<input type="text" value="03"/>																																										
Final Wt	<input type="text" value="141,6"/> mg																																										
Initial Wt	<input type="text" value="141,39"/> mg																																										
Delta Wt	<input type="text" value="0,210"/> mg																																										
Actual Conc.	<input type="text" value="29,171"/> µg/MP																																										
Std. Conc.	<input type="text" value="33,670"/> µg/MP																																										

Fuente: Datos Experimentales.

Figuras No. 39, 40 y 41. Hojas de cálculo utilizadas para determinar las concentraciones de $PM_{2.5}$ en las estaciones colocadas en Quetzaltenango.

BGI Air Samping System				Downloaded: 29 May 2014 12:14:05																											
PQ100 Muestreo de Aire Departamental Version: 1.0.01K Serial No: 421 Pump Time: 3409:46 Q Set (Lpm) 5.00 Actual Total M3: 7.199 Std. Total M3: 6.185			Data File: Xela-0201-2014.OMN Job Code: 02012014 Site Name: Casa Nativos Station Code: P0201 Operators: Juan Jose Ixcamparij User 1: User 2:																												
Atmospheric Information: <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Max</th> <th>Min</th> <th>Avg</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>BP</td> <td>604</td> <td>581</td> <td>592.5</td> <td>mm of Hg</td> </tr> <tr> <td>Ta</td> <td>23.2</td> <td>12.3</td> <td>17.75</td> <td>°C</td> </tr> <tr> <td>Q</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>N/A</td> <td>Lpm</td> </tr> </tbody> </table>				Max	Min	Avg		BP	604	581	592.5	mm of Hg	Ta	23.2	12.3	17.75	°C	Q	---	---	N/A	Lpm	Timer Information: <table border="1"> <thead> <tr> <th>Date</th> <th>Time</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Start</td> <td>28-May-2014 10:35:56</td> </tr> <tr> <td>Stop</td> <td>29-May-2014 10:35:56</td> </tr> </tbody> </table> ET 0024:00		Date	Time	Start	28-May-2014 10:35:56	Stop	29-May-2014 10:35:56	Concentration Data: Filter ID 04 Final Wt 142.02 mg Initial Wt 141.85 mg Delta Wt 0.170 mg Actual Conc. 23.614 $\mu\text{g}/\text{M}^3$ Std. Conc. 27.486 $\mu\text{g}/\text{M}^3$
	Max	Min	Avg																												
BP	604	581	592.5	mm of Hg																											
Ta	23.2	12.3	17.75	°C																											
Q	---	---	N/A	Lpm																											
Date	Time																														
Start	28-May-2014 10:35:56																														
Stop	29-May-2014 10:35:56																														

BGI Air Samping System				Downloaded: 30 May 2014 14:15:04																											
PQ100 Muestreo de Aire Departamental Version: 1.0.01K Serial No: 421 Pump Time: 3340:15 Q Set (Lpm) 5.00 Actual Total M3: 7.199 Std. Total M3: 5.889			Data File: Xela-0202-2014.OMN Job Code: 02022014 Site Name: Sta. Compañía de Bomberos Voluntarios Station Code: P0202 Operators: Juan Jose Ixcamparij User 1: User 2:																												
Atmospheric Information: <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Max</th> <th>Min</th> <th>Avg</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>BP</td> <td>608</td> <td>579</td> <td>593.5</td> <td>mm of Hg</td> </tr> <tr> <td>Ta</td> <td>22.1</td> <td>13.5</td> <td>17.8</td> <td>°C</td> </tr> <tr> <td>Q</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>N/A</td> <td>Lpm</td> </tr> </tbody> </table>				Max	Min	Avg		BP	608	579	593.5	mm of Hg	Ta	22.1	13.5	17.8	°C	Q	---	---	N/A	Lpm	Timer Information: <table border="1"> <thead> <tr> <th>Date</th> <th>Time</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Start</td> <td>29-May-2014 14:01:09</td> </tr> <tr> <td>Stop</td> <td>30-May-2014 14:01:09</td> </tr> </tbody> </table> ET 0024:00		Date	Time	Start	29-May-2014 14:01:09	Stop	30-May-2014 14:01:09	Concentration Data: Filter ID 05 Final Wt 142.51 mg Initial Wt 142.25 mg Delta Wt 0.260 mg Actual Conc. 36.116 $\mu\text{g}/\text{M}^3$ Std. Conc. 44.150 $\mu\text{g}/\text{M}^3$
	Max	Min	Avg																												
BP	608	579	593.5	mm of Hg																											
Ta	22.1	13.5	17.8	°C																											
Q	---	---	N/A	Lpm																											
Date	Time																														
Start	29-May-2014 14:01:09																														
Stop	30-May-2014 14:01:09																														

BGI Air Samping System				Downloaded: 31 May 2014 15:08:58																											
PQ100 Muestreo de Aire Departamental Version: 1.0.01K Serial No: 421 Pump Time: 3502:07 Q Set (Lpm) 5.00 Actual Total M3: 7.199 Std. Total M3: 6.219			Data File: Xela-0203-2014.OMN Job Code: 02032014 Site Name: Bomberos Voluntarios (Campo Escuela) Station Code: P0203 Operators: Juan Jose Ixcamparij User 1: User 2:																												
Atmospheric Information: <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Max</th> <th>Min</th> <th>Avg</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>BP</td> <td>612</td> <td>582</td> <td>597</td> <td>mm of Hg</td> </tr> <tr> <td>Ta</td> <td>22.3</td> <td>11.4</td> <td>16.85</td> <td>°C</td> </tr> <tr> <td>Q</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>N/A</td> <td>Lpm</td> </tr> </tbody> </table>				Max	Min	Avg		BP	612	582	597	mm of Hg	Ta	22.3	11.4	16.85	°C	Q	---	---	N/A	Lpm	Timer Information: <table border="1"> <thead> <tr> <th>Date</th> <th>Time</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Start</td> <td>30-May-2014 14:59:27</td> </tr> <tr> <td>Stop</td> <td>31-May-2014 14:59:27</td> </tr> </tbody> </table> ET 0024:00		Date	Time	Start	30-May-2014 14:59:27	Stop	31-May-2014 14:59:27	Concentration Data: Filter ID 06 Final Wt 139.21 mg Initial Wt 139.03 mg Delta Wt 0.180 mg Actual Conc. 25.003 $\mu\text{g}/\text{M}^3$ Std. Conc. 28.944 $\mu\text{g}/\text{M}^3$
	Max	Min	Avg																												
BP	612	582	597	mm of Hg																											
Ta	22.3	11.4	16.85	°C																											
Q	---	---	N/A	Lpm																											
Date	Time																														
Start	30-May-2014 14:59:27																														
Stop	31-May-2014 14:59:27																														

Fuente: Datos Experimentales.

Figuras No. 42, 43 y 44. Hojas de cálculo utilizadas para determinar las concentraciones de $PM_{2.5}$ en las estaciones colocadas en Quiché.

BGI Air Samping System				Downloaded: 02 JUN 2014 12:40:06																																															
PQ100 Muestreo de Aire Departamental Version: 1.0.01K Serial No: 421 Pump Time: 3340:15 Q Set (Lpm) 5.00 Actual Total M3: 7,199 Std. Total M3: 5,889				Data File: Quiche-0301-2014.DMN Job Code: 03012014 Site Name: Estacion No. 12 de Bomberos Voluntarios Station Code: P0301 Operators: Juan Jose Ixcamparij User 1: User 2:																																															
Atmospheric Information: <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Max</th> <th>Min</th> <th>Avg</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>BP</td> <td>602</td> <td>599</td> <td>600</td> <td>mm of Hg</td> </tr> <tr> <td>Ta</td> <td>19,7</td> <td>13,5</td> <td>16,6</td> <td>°C</td> </tr> <tr> <td>Q</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>N/A</td> <td>Lpm</td> </tr> </tbody> </table>					Max	Min	Avg		BP	602	599	600	mm of Hg	Ta	19,7	13,5	16,6	°C	Q	---	---	N/A	Lpm	Timer Information: <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Date</th> <th>Time</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Start</td> <td>01-JUN-2014</td> <td>12:22:06</td> </tr> <tr> <td>Stop</td> <td>02-JUN-2014</td> <td>12:22:06</td> </tr> <tr> <td>ET</td> <td colspan="2">0024:00</td> </tr> </tbody> </table>			Date	Time	Start	01-JUN-2014	12:22:06	Stop	02-JUN-2014	12:22:06	ET	0024:00		Concentration Data: <table border="1"> <tbody> <tr> <td>Filter ID</td> <td>07</td> </tr> <tr> <td>Final Wt</td> <td>138,89 mg</td> </tr> <tr> <td>Initial Wt</td> <td>138,77 mg</td> </tr> <tr> <td>Delta Wt</td> <td>0,120 mg</td> </tr> <tr> <td>Actual Conc.</td> <td>16,669 $\mu\text{g}/\text{M}^3$</td> </tr> <tr> <td>Std. Conc.</td> <td>20,377 $\mu\text{g}/\text{M}^3$</td> </tr> </tbody> </table>		Filter ID	07	Final Wt	138,89 mg	Initial Wt	138,77 mg	Delta Wt	0,120 mg	Actual Conc.	16,669 $\mu\text{g}/\text{M}^3$	Std. Conc.	20,377 $\mu\text{g}/\text{M}^3$
	Max	Min	Avg																																																
BP	602	599	600	mm of Hg																																															
Ta	19,7	13,5	16,6	°C																																															
Q	---	---	N/A	Lpm																																															
	Date	Time																																																	
Start	01-JUN-2014	12:22:06																																																	
Stop	02-JUN-2014	12:22:06																																																	
ET	0024:00																																																		
Filter ID	07																																																		
Final Wt	138,89 mg																																																		
Initial Wt	138,77 mg																																																		
Delta Wt	0,120 mg																																																		
Actual Conc.	16,669 $\mu\text{g}/\text{M}^3$																																																		
Std. Conc.	20,377 $\mu\text{g}/\text{M}^3$																																																		

BGI Air Samping System				Downloaded: 03 JUN 2014 13:22:04																																															
PQ100 Muestreo de Aire Departamental Version: 1.0.01K Serial No: 421 Pump Time: 3340:15 Q Set (Lpm) 5.00 Actual Total M3: 7,199 Std. Total M3: 6,126				Data File: Quiche-0302-2014.DMN Job Code: 03022014 Site Name: Estacion No. 44 de Bomberos Municipales Station Code: P0302 Operators: Juan Jose Ixcamparij User 1: User 2:																																															
Atmospheric Information: <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Max</th> <th>Min</th> <th>Avg</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>BP</td> <td>604</td> <td>597</td> <td>600,5</td> <td>mm of Hg</td> </tr> <tr> <td>Ta</td> <td>20,7</td> <td>12,4</td> <td>16,55</td> <td>°C</td> </tr> <tr> <td>Q</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>N/A</td> <td>Lpm</td> </tr> </tbody> </table>					Max	Min	Avg		BP	604	597	600,5	mm of Hg	Ta	20,7	12,4	16,55	°C	Q	---	---	N/A	Lpm	Timer Information: <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Date</th> <th>Time</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Start</td> <td>02-JUN-2014</td> <td>12:54:59</td> </tr> <tr> <td>Stop</td> <td>03-JUN-2014</td> <td>12:54:59</td> </tr> <tr> <td>ET</td> <td colspan="2">0024:00</td> </tr> </tbody> </table>			Date	Time	Start	02-JUN-2014	12:54:59	Stop	03-JUN-2014	12:54:59	ET	0024:00		Concentration Data: <table border="1"> <tbody> <tr> <td>Filter ID</td> <td>08</td> </tr> <tr> <td>Final Wt</td> <td>140,28 mg</td> </tr> <tr> <td>Initial Wt</td> <td>140,17 mg</td> </tr> <tr> <td>Delta Wt</td> <td>0,110 mg</td> </tr> <tr> <td>Actual Conc.</td> <td>15,280 $\mu\text{g}/\text{M}^3$</td> </tr> <tr> <td>Std. Conc.</td> <td>17,956 $\mu\text{g}/\text{M}^3$</td> </tr> </tbody> </table>		Filter ID	08	Final Wt	140,28 mg	Initial Wt	140,17 mg	Delta Wt	0,110 mg	Actual Conc.	15,280 $\mu\text{g}/\text{M}^3$	Std. Conc.	17,956 $\mu\text{g}/\text{M}^3$
	Max	Min	Avg																																																
BP	604	597	600,5	mm of Hg																																															
Ta	20,7	12,4	16,55	°C																																															
Q	---	---	N/A	Lpm																																															
	Date	Time																																																	
Start	02-JUN-2014	12:54:59																																																	
Stop	03-JUN-2014	12:54:59																																																	
ET	0024:00																																																		
Filter ID	08																																																		
Final Wt	140,28 mg																																																		
Initial Wt	140,17 mg																																																		
Delta Wt	0,110 mg																																																		
Actual Conc.	15,280 $\mu\text{g}/\text{M}^3$																																																		
Std. Conc.	17,956 $\mu\text{g}/\text{M}^3$																																																		

BGI Air Samping System				Downloaded: 04 JUN 2014 14:07:08																																															
PQ100 Muestreo de Aire Departamental Version: 1.0.01K Serial No: 421 Pump Time: 3340:15 Q Set (Lpm) 5.00 Actual Total M3: 7,199 Std. Total M3: 6,203				Data File: Quiche-0303-2014.DMN Job Code: 03032014 Site Name: Hotel Rey K'ich'e Station Code: P0303 Operators: Juan Jose Ixcamparij User 1: User 2:																																															
Atmospheric Information: <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Max</th> <th>Min</th> <th>Avg</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>BP</td> <td>605</td> <td>602</td> <td>603,5</td> <td>mm of Hg</td> </tr> <tr> <td>Ta</td> <td>21,6</td> <td>10,5</td> <td>16,05</td> <td>°C</td> </tr> <tr> <td>Q</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>N/A</td> <td>Lpm</td> </tr> </tbody> </table>					Max	Min	Avg		BP	605	602	603,5	mm of Hg	Ta	21,6	10,5	16,05	°C	Q	---	---	N/A	Lpm	Timer Information: <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Date</th> <th>Time</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Start</td> <td>03-JUN-2014</td> <td>13:48:06</td> </tr> <tr> <td>Stop</td> <td>04-JUN-2014</td> <td>13:48:06</td> </tr> <tr> <td>ET</td> <td colspan="2">0024:00</td> </tr> </tbody> </table>			Date	Time	Start	03-JUN-2014	13:48:06	Stop	04-JUN-2014	13:48:06	ET	0024:00		Concentration Data: <table border="1"> <tbody> <tr> <td>Filter ID</td> <td>09</td> </tr> <tr> <td>Final Wt</td> <td>141,91 mg</td> </tr> <tr> <td>Initial Wt</td> <td>141,81 mg</td> </tr> <tr> <td>Delta Wt</td> <td>0,100 mg</td> </tr> <tr> <td>Actual Conc.</td> <td>13,891 $\mu\text{g}/\text{M}^3$</td> </tr> <tr> <td>Std. Conc.</td> <td>16,121 $\mu\text{g}/\text{M}^3$</td> </tr> </tbody> </table>		Filter ID	09	Final Wt	141,91 mg	Initial Wt	141,81 mg	Delta Wt	0,100 mg	Actual Conc.	13,891 $\mu\text{g}/\text{M}^3$	Std. Conc.	16,121 $\mu\text{g}/\text{M}^3$
	Max	Min	Avg																																																
BP	605	602	603,5	mm of Hg																																															
Ta	21,6	10,5	16,05	°C																																															
Q	---	---	N/A	Lpm																																															
	Date	Time																																																	
Start	03-JUN-2014	13:48:06																																																	
Stop	04-JUN-2014	13:48:06																																																	
ET	0024:00																																																		
Filter ID	09																																																		
Final Wt	141,91 mg																																																		
Initial Wt	141,81 mg																																																		
Delta Wt	0,100 mg																																																		
Actual Conc.	13,891 $\mu\text{g}/\text{M}^3$																																																		
Std. Conc.	16,121 $\mu\text{g}/\text{M}^3$																																																		

Fuente: Datos Experimentales.

Figuras No. 45, 46 y 47. Hojas de cálculo utilizadas para determinar las concentraciones de $PM_{2.5}$ en las estaciones colocadas en Cuilapa.

BGI Air Samping System			Downloaded: 07 JUN 2014 16:57:06																																										
PQ100 Muestreo de Aire Departamental Version: 1.0.01K Serial No: 421 Pump Time: 3409:46 Q Set (Lpm) 5.00 Actual Total M3: 7,199 Std. Total M3: 6,181			Data File: Cuilapa-0401-2014.OMN Job Code: 04012014 Site Name: Estacion No. 24 Bomberos Voluntarios Station Code: P0401 Operators: Juan Jose Ixcamparij User 1: User 2:																																										
Atmospheric Information: <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Max</th> <th>Min</th> <th>Avg</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>BP</td> <td>687</td> <td>683</td> <td>685</td> <td>mm of Hg</td> </tr> <tr> <td>Ta</td> <td>35.4</td> <td>18.0</td> <td>26.7</td> <td>°C</td> </tr> <tr> <td>Q</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>N/A</td> <td>Lpm</td> </tr> </tbody> </table>			Max	Min	Avg		BP	687	683	685	mm of Hg	Ta	35.4	18.0	26.7	°C	Q	---	---	N/A	Lpm	Timer Information: <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Date</th> <th>Time</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Start</td> <td>06-Jun-2014</td> <td>16:42:26</td> </tr> <tr> <td>Stop</td> <td>07-Jun-2014</td> <td>16:42:26</td> </tr> </tbody> </table> ET 0024:00			Date	Time	Start	06-Jun-2014	16:42:26	Stop	07-Jun-2014	16:42:26	Concentration Data: <table border="1"> <tbody> <tr> <td>Filter ID</td> <td>10</td> </tr> <tr> <td>Final Wt</td> <td>141.92 mg</td> </tr> <tr> <td>Initial Wt</td> <td>141.73 mg</td> </tr> <tr> <td>Delta Wt</td> <td>0.190 mg</td> </tr> <tr> <td>Actual Conc.</td> <td>26.393 $\mu\text{g}/\text{M}^3$</td> </tr> <tr> <td>Std. Conc.</td> <td>30.739 $\mu\text{g}/\text{M}^3$</td> </tr> </tbody> </table>	Filter ID	10	Final Wt	141.92 mg	Initial Wt	141.73 mg	Delta Wt	0.190 mg	Actual Conc.	26.393 $\mu\text{g}/\text{M}^3$	Std. Conc.	30.739 $\mu\text{g}/\text{M}^3$
	Max	Min	Avg																																										
BP	687	683	685	mm of Hg																																									
Ta	35.4	18.0	26.7	°C																																									
Q	---	---	N/A	Lpm																																									
	Date	Time																																											
Start	06-Jun-2014	16:42:26																																											
Stop	07-Jun-2014	16:42:26																																											
Filter ID	10																																												
Final Wt	141.92 mg																																												
Initial Wt	141.73 mg																																												
Delta Wt	0.190 mg																																												
Actual Conc.	26.393 $\mu\text{g}/\text{M}^3$																																												
Std. Conc.	30.739 $\mu\text{g}/\text{M}^3$																																												

BGI Air Samping System			Downloaded: 08 JUN 2014 18:05:14																																										
PQ100 Muestreo de Aire Departamental Version: 1.0.01K Serial No: 421 Pump Time: 3409:46 Q Set (Lpm) 5.00 Actual Total M3: 7,199 Std. Total M3: 6,164			Data File: Cuilapa-0402-2014.OMN Job Code: 04022014 Site Name: Casa Particular Station Code: P0402 Operators: Juan Jose Ixcamparij User 1: User 2:																																										
Atmospheric Information: <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Max</th> <th>Min</th> <th>Avg</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>BP</td> <td>689</td> <td>684</td> <td>686.5</td> <td>mm of Hg</td> </tr> <tr> <td>Ta</td> <td>37.3</td> <td>20.3</td> <td>28.8</td> <td>°C</td> </tr> <tr> <td>Q</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>N/A</td> <td>Lpm</td> </tr> </tbody> </table>			Max	Min	Avg		BP	689	684	686.5	mm of Hg	Ta	37.3	20.3	28.8	°C	Q	---	---	N/A	Lpm	Timer Information: <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Date</th> <th>Time</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Start</td> <td>07-Jun-2014</td> <td>17:41:56</td> </tr> <tr> <td>Stop</td> <td>08-Jun-2014</td> <td>17:41:56</td> </tr> </tbody> </table> ET 0024:00			Date	Time	Start	07-Jun-2014	17:41:56	Stop	08-Jun-2014	17:41:56	Concentration Data: <table border="1"> <tbody> <tr> <td>Filter ID</td> <td>11</td> </tr> <tr> <td>Final Wt</td> <td>139.58 mg</td> </tr> <tr> <td>Initial Wt</td> <td>139.44 mg</td> </tr> <tr> <td>Delta Wt</td> <td>0.140 mg</td> </tr> <tr> <td>Actual Conc.</td> <td>19.447 $\mu\text{g}/\text{M}^3$</td> </tr> <tr> <td>Std. Conc.</td> <td>22.713 $\mu\text{g}/\text{M}^3$</td> </tr> </tbody> </table>	Filter ID	11	Final Wt	139.58 mg	Initial Wt	139.44 mg	Delta Wt	0.140 mg	Actual Conc.	19.447 $\mu\text{g}/\text{M}^3$	Std. Conc.	22.713 $\mu\text{g}/\text{M}^3$
	Max	Min	Avg																																										
BP	689	684	686.5	mm of Hg																																									
Ta	37.3	20.3	28.8	°C																																									
Q	---	---	N/A	Lpm																																									
	Date	Time																																											
Start	07-Jun-2014	17:41:56																																											
Stop	08-Jun-2014	17:41:56																																											
Filter ID	11																																												
Final Wt	139.58 mg																																												
Initial Wt	139.44 mg																																												
Delta Wt	0.140 mg																																												
Actual Conc.	19.447 $\mu\text{g}/\text{M}^3$																																												
Std. Conc.	22.713 $\mu\text{g}/\text{M}^3$																																												

BGI Air Samping System			Downloaded: 09 JUN 2014 18:35:03																																										
PQ100 Muestreo de Aire Departamental Version: 1.0.01K Serial No: 421 Pump Time: 3409:46 Q Set (Lpm) 5.00 Actual Total M3: 7,199 Std. Total M3: 6,086			Data File: Cuilapa-0403-2014.OMN Job Code: 04032014 Site Name: Organismo Judicial Station Code: P0403 Operators: Juan Jose Ixcamparij User 1: User 2:																																										
Atmospheric Information: <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Max</th> <th>Min</th> <th>Avg</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>BP</td> <td>687</td> <td>685</td> <td>686</td> <td>mm of Hg</td> </tr> <tr> <td>Ta</td> <td>38.2</td> <td>23.1</td> <td>30.65</td> <td>°C</td> </tr> <tr> <td>Q</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>N/A</td> <td>Lpm</td> </tr> </tbody> </table>			Max	Min	Avg		BP	687	685	686	mm of Hg	Ta	38.2	23.1	30.65	°C	Q	---	---	N/A	Lpm	Timer Information: <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Date</th> <th>Time</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Start</td> <td>08-Jun-2014</td> <td>18:12:06</td> </tr> <tr> <td>Stop</td> <td>09-Jun-2014</td> <td>18:12:06</td> </tr> </tbody> </table> ET 0024:00			Date	Time	Start	08-Jun-2014	18:12:06	Stop	09-Jun-2014	18:12:06	Concentration Data: <table border="1"> <tbody> <tr> <td>Filter ID</td> <td>12</td> </tr> <tr> <td>Final Wt</td> <td>141.83 mg</td> </tr> <tr> <td>Initial Wt</td> <td>141.68 mg</td> </tr> <tr> <td>Delta Wt</td> <td>0.150 mg</td> </tr> <tr> <td>Actual Conc.</td> <td>20.836 $\mu\text{g}/\text{M}^3$</td> </tr> <tr> <td>Std. Conc.</td> <td>24.647 $\mu\text{g}/\text{M}^3$</td> </tr> </tbody> </table>	Filter ID	12	Final Wt	141.83 mg	Initial Wt	141.68 mg	Delta Wt	0.150 mg	Actual Conc.	20.836 $\mu\text{g}/\text{M}^3$	Std. Conc.	24.647 $\mu\text{g}/\text{M}^3$
	Max	Min	Avg																																										
BP	687	685	686	mm of Hg																																									
Ta	38.2	23.1	30.65	°C																																									
Q	---	---	N/A	Lpm																																									
	Date	Time																																											
Start	08-Jun-2014	18:12:06																																											
Stop	09-Jun-2014	18:12:06																																											
Filter ID	12																																												
Final Wt	141.83 mg																																												
Initial Wt	141.68 mg																																												
Delta Wt	0.150 mg																																												
Actual Conc.	20.836 $\mu\text{g}/\text{M}^3$																																												
Std. Conc.	24.647 $\mu\text{g}/\text{M}^3$																																												

Fuente: Datos Experimentales.

Figuras No. 48, 49 y 50. Hojas de cálculo utilizadas para determinar las concentraciones de PM_{2.5} en las estaciones colocadas en Cobán.

BGI Air Samping System Downloaded: 14 JUN 2014 14:52:16

PQ100 Muestreo de Aire Departamental

Version: 1.0.01K
Serial No: 421
Pump Time: 3502:07
Q Set (Lpm) 5.00
Actual Total M3: 7,199
Std. Total M3: 6,086

Data File: Coban-0501-2014.OMN
Job Code: 05012014
Site Name: Organismo Judicial
Station Code: P0501
Operators: Juan Jose Ixcamparij
User 1:
User 2:

Atmospheric Information:				
	Max	Min	Avg	
BP	651	649	650	mm of Hg
Ta	30.2	16.4	27.7	°C
Q	---	---	N/A	Lpm

Timer Information:		
Date	Time	
Start	13-JUN-2014	14:31:35
Stop	14-JUN-2014	14:31:35
ET	0024:00	

Concentration Data:		
Filter ID	13	
Final Wt	139,41	mg
Initial Wt	139,28	mg
Delta Wt	0,130	mg
Actual Conc.	18,058	µg/M ³
Std. Conc.	21,360	µg/M ³

BGI Air Samping System Downloaded: 15 JUN 2014 15:32:08

PQ100 Muestreo de Aire Departamental

Version: 1.0.01K
Serial No: 421
Pump Time: 3502:07
Q Set (Lpm) 5.00
Actual Total M3: 7,199
Std. Total M3: 6,126

Data File: Coban-0502-2014.OMN
Job Code: 05022014
Site Name: Casa Particular (Cerca Estadio)
Station Code: P0502
Operators: Juan Jose Ixcamparij
User 1:
User 2:

Atmospheric Information:				
	Max	Min	Avg	
BP	652	647	649.5	mm of Hg
Ta	31.6	15.2	23.4	°C
Q	---	---	N/A	Lpm

Timer Information:		
Date	Time	
Start	14-JUN-2014	15:17:25
Stop	15-JUN-2014	15:17:25
ET	0024:00	

Concentration Data:		
Filter ID	14	
Final Wt	139,26	mg
Initial Wt	139,17	mg
Delta Wt	0,090	mg
Actual Conc.	12,502	µg/M ³
Std. Conc.	14,691	µg/M ³

BGI Air Samping System Downloaded: 16 JUN 2014 17:12:18

PQ100 Muestreo de Aire Departamental

Version: 1.0.01K
Serial No: 421
Pump Time: 3502:07
Q Set (Lpm) 5.00
Actual Total M3: 7,199
Std. Total M3: 6,126

Data File: Coban-0503-2014.OMN
Job Code: 05032014
Site Name: Hotel Central
Station Code: P0503
Operators: Juan Jose Ixcamparij
User 1:
User 2:

Atmospheric Information:				
	Max	Min	Avg	
BP	655	649	652	mm of Hg
Ta	28.3	13.6	20.95	°C
Q	---	---	N/A	Lpm

Timer Information:		
Date	Time	
Start	15-JUN-2014	16:27:05
Stop	16-JUN-2014	16:27:05
ET	0024:00	

Concentration Data:		
Filter ID	15	
Final Wt	142,79	mg
Initial Wt	142,71	mg
Delta Wt	0,080	mg
Actual Conc.	11,113	µg/M ³
Std. Conc.	13,059	µg/M ³

Fuente: Datos Experimentales.

Figuras No. 51, 52 y 53. Hojas de cálculo utilizadas para determinar las concentraciones de PM_{2.5} en las estaciones colocadas en la Ciudad de Guatemala.

BGI Air Samping System Downloaded: 18 Jun 2014 08:22:33

PQ100 Muestreo de Aire (Ciudad Capital) Version: 1.0.05M Serial No: 473 Pump Time: 0537:06 Q Set (Lpm) 5.00 Actual Total M3: 7,199 Std. Total M3: 6,146	Data File: Capital-0601-2014.DMN Job Code: 06012014 Site Name: INCAP Station Code: P0601 Operators: Juan Jose Ixcamparij User 1: User 2:																													
Atmospheric Information: <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th></th> <th>Max</th> <th>Min</th> <th>Avg</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>BP</td> <td>639</td> <td>636</td> <td>637.5</td> <td>mm of Hg</td> </tr> <tr> <td>Ta</td> <td>32.8</td> <td>16.2</td> <td>24.5</td> <td>°C</td> </tr> <tr> <td>Q</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>N/A</td> <td>Lpm</td> </tr> </tbody> </table>		Max	Min	Avg		BP	639	636	637.5	mm of Hg	Ta	32.8	16.2	24.5	°C	Q	---	---	N/A	Lpm	Timer Information: <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Date</th> <th>Time</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Start</td> <td>17-Jun-2014 08:17:35</td> </tr> <tr> <td>Stop</td> <td>18-Jun-2014 08:17:35</td> </tr> <tr> <td>ET</td> <td>0024:00</td> </tr> </tbody> </table>	Date	Time	Start	17-Jun-2014 08:17:35	Stop	18-Jun-2014 08:17:35	ET	0024:00	Concentration Data: Filter ID: 16 Final Wt: 140.63 mg Initial Wt: 140.36 mg Delta Wt: 0.270 mg Actual Conc.: 37,505 µg/M ³ Std. Conc.: 43,931 µg/M ³
	Max	Min	Avg																											
BP	639	636	637.5	mm of Hg																										
Ta	32.8	16.2	24.5	°C																										
Q	---	---	N/A	Lpm																										
Date	Time																													
Start	17-Jun-2014 08:17:35																													
Stop	18-Jun-2014 08:17:35																													
ET	0024:00																													

BGI Air Samping System Downloaded: 19 Jun 2014 09:20:18

PQ100 Muestreo de Aire (Ciudad Capital) Version: 1.0.05M Serial No: 473 Pump Time: 0537:06 Q Set (Lpm) 5.00 Actual Total M3: 7,199 Std. Total M3: 6,146	Data File: Capital-0602-2014.DMN Job Code: 06022014 Site Name: INSIVUMEH Station Code: P0602 Operators: Juan Jose Ixcamparij User 1: User 2:																													
Atmospheric Information: <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th></th> <th>Max</th> <th>Min</th> <th>Avg</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>BP</td> <td>637</td> <td>635</td> <td>636</td> <td>mm of Hg</td> </tr> <tr> <td>Ta</td> <td>29.6</td> <td>19.4</td> <td>24.5</td> <td>°C</td> </tr> <tr> <td>Q</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>N/A</td> <td>Lpm</td> </tr> </tbody> </table>		Max	Min	Avg		BP	637	635	636	mm of Hg	Ta	29.6	19.4	24.5	°C	Q	---	---	N/A	Lpm	Timer Information: <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Date</th> <th>Time</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Start</td> <td>18-Jun-2014 09:15:24</td> </tr> <tr> <td>Stop</td> <td>19-Jun-2014 09:15:24</td> </tr> <tr> <td>ET</td> <td>0024:00</td> </tr> </tbody> </table>	Date	Time	Start	18-Jun-2014 09:15:24	Stop	19-Jun-2014 09:15:24	ET	0024:00	Concentration Data: Filter ID: 17 Final Wt: 144.03 mg Initial Wt: 143.79 mg Delta Wt: 0.240 mg Actual Conc.: 33,338 µg/M ³ Std. Conc.: 39,050 µg/M ³
	Max	Min	Avg																											
BP	637	635	636	mm of Hg																										
Ta	29.6	19.4	24.5	°C																										
Q	---	---	N/A	Lpm																										
Date	Time																													
Start	18-Jun-2014 09:15:24																													
Stop	19-Jun-2014 09:15:24																													
ET	0024:00																													

BGI Air Samping System Downloaded: 20 Jun 2014 12:20:08

PQ100 Muestreo de Aire (Ciudad Capital) Version: 1.0.05M Serial No: 473 Pump Time: 0441:00 Q Set (Lpm) 5.00 Actual Total M3: 7,163 Std. Total M3: 6,154	Data File: Capital-0603-2014.DMN Job Code: 06032014 Site Name: USAC (T-10) Station Code: P0603 Operators: Juan Jose Ixcamparij User 1: User 2:																													
Atmospheric Information: <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th></th> <th>Max</th> <th>Min</th> <th>Avg</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>BP</td> <td>635</td> <td>632</td> <td>633.5</td> <td>mm of Hg</td> </tr> <tr> <td>Ta</td> <td>28.9</td> <td>17.6</td> <td>23.25</td> <td>°C</td> </tr> <tr> <td>Q</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>N/A</td> <td>Lpm</td> </tr> </tbody> </table>		Max	Min	Avg		BP	635	632	633.5	mm of Hg	Ta	28.9	17.6	23.25	°C	Q	---	---	N/A	Lpm	Timer Information: <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Date</th> <th>Time</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Start</td> <td>19-Jun-2014 11:12:47</td> </tr> <tr> <td>Stop</td> <td>20-Jun-2014 11:05:33</td> </tr> <tr> <td>ET</td> <td>0023:52</td> </tr> </tbody> </table>	Date	Time	Start	19-Jun-2014 11:12:47	Stop	20-Jun-2014 11:05:33	ET	0023:52	Concentration Data: Filter ID: 18 Final Wt: 141.14 mg Initial Wt: 140.95 mg Delta Wt: 0.190 mg Actual Conc.: 26,525 µg/M ³ Std. Conc.: 30,874 µg/M ³
	Max	Min	Avg																											
BP	635	632	633.5	mm of Hg																										
Ta	28.9	17.6	23.25	°C																										
Q	---	---	N/A	Lpm																										
Date	Time																													
Start	19-Jun-2014 11:12:47																													
Stop	20-Jun-2014 11:05:33																													
ET	0023:52																													

Fuente: Datos Experimentales.

Figuras No. 54, 55 y 56. Hojas de cálculo utilizadas para determinar las concentraciones de PM_{2.5} en las estaciones colocadas en la Ciudad de Flores.

BGI Air Samping System				Downloaded: 27 Jun 2014 10:41:00																																
PQ100 Muestreo de Aire Departamental Version: 1.0.01K Serial No: 421 Pump Time: 3574:07 Q Set (Lpm) 5.00 Actual Total M3: 7,199 Std. Total M3: 6,911			Data File: Peten-0701-2014.OMN Job Code: 07012014 Site Name: Edificio Municipal Station Code: P0701 Operators: Juan Jose Ixcamparij User 1: User 2:																																	
Atmospheric Information: <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Max</th> <th>Min</th> <th>Avg</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>BP</td> <td>749</td> <td>746</td> <td>747.5</td> <td>mm of Hg</td> </tr> <tr> <td>Ta</td> <td>50.3</td> <td>25.5</td> <td>37.9</td> <td>°C</td> </tr> <tr> <td>Q</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>N/A</td> <td>Lpm</td> </tr> </tbody> </table>				Max	Min	Avg		BP	749	746	747.5	mm of Hg	Ta	50.3	25.5	37.9	°C	Q	---	---	N/A	Lpm	Timer Information: <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Date</th> <th>Time</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Start</td> <td>26-JUN-2014</td> <td>09:13:32</td> </tr> <tr> <td>Stop</td> <td>27-JUN-2014</td> <td>09:13:32</td> </tr> <tr> <td>ET</td> <td colspan="2">0024:00</td> </tr> </tbody> </table>			Date	Time	Start	26-JUN-2014	09:13:32	Stop	27-JUN-2014	09:13:32	ET	0024:00	
	Max	Min	Avg																																	
BP	749	746	747.5	mm of Hg																																
Ta	50.3	25.5	37.9	°C																																
Q	---	---	N/A	Lpm																																
	Date	Time																																		
Start	26-JUN-2014	09:13:32																																		
Stop	27-JUN-2014	09:13:32																																		
ET	0024:00																																			
			Concentration Data: <table border="1"> <tbody> <tr> <td>Filter ID</td> <td>19</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Final Wt</td> <td>141.56</td> <td>mg</td> </tr> <tr> <td>Initial Wt</td> <td>141.53</td> <td>mg</td> </tr> <tr> <td>Delta Wt</td> <td>0.030</td> <td>mg</td> </tr> <tr> <td>Actual Conc.</td> <td>4.167</td> <td>µg/MP</td> </tr> <tr> <td>Std. Conc.</td> <td>4.341</td> <td>µg/MP</td> </tr> </tbody> </table>			Filter ID	19		Final Wt	141.56	mg	Initial Wt	141.53	mg	Delta Wt	0.030	mg	Actual Conc.	4.167	µg/MP	Std. Conc.	4.341	µg/MP													
Filter ID	19																																			
Final Wt	141.56	mg																																		
Initial Wt	141.53	mg																																		
Delta Wt	0.030	mg																																		
Actual Conc.	4.167	µg/MP																																		
Std. Conc.	4.341	µg/MP																																		

BGI Air Samping System				Downloaded: 28 Jun 2014 15:07:02																																
PQ100 Muestreo de Aire Departamental Version: 1.0.01K Serial No: 421 Pump Time: 3574:07 Q Set (Lpm) 5.00 Actual Total M3: 7,199 Std. Total M3: 6,203			Data File: Peten-0702-2014.OMN Job Code: 07022014 Site Name: Hotel Los Estudiantes Station Code: P0702 Operators: Juan Jose Ixcamparij User 1: User 2:																																	
Atmospheric Information: <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Max</th> <th>Min</th> <th>Avg</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>BP</td> <td>753</td> <td>747</td> <td>750</td> <td>mm of Hg</td> </tr> <tr> <td>Ta</td> <td>51.6</td> <td>27.1</td> <td>39.35</td> <td>°C</td> </tr> <tr> <td>Q</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>N/A</td> <td>Lpm</td> </tr> </tbody> </table>				Max	Min	Avg		BP	753	747	750	mm of Hg	Ta	51.6	27.1	39.35	°C	Q	---	---	N/A	Lpm	Timer Information: <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Date</th> <th>Time</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Start</td> <td>27-JUN-2014</td> <td>14:45:46</td> </tr> <tr> <td>Stop</td> <td>28-JUN-2014</td> <td>14:45:46</td> </tr> <tr> <td>ET</td> <td colspan="2">0024:00</td> </tr> </tbody> </table>			Date	Time	Start	27-JUN-2014	14:45:46	Stop	28-JUN-2014	14:45:46	ET	0024:00	
	Max	Min	Avg																																	
BP	753	747	750	mm of Hg																																
Ta	51.6	27.1	39.35	°C																																
Q	---	---	N/A	Lpm																																
	Date	Time																																		
Start	27-JUN-2014	14:45:46																																		
Stop	28-JUN-2014	14:45:46																																		
ET	0024:00																																			
			Concentration Data: <table border="1"> <tbody> <tr> <td>Filter ID</td> <td>20</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Final Wt</td> <td>140.89</td> <td>mg</td> </tr> <tr> <td>Initial Wt</td> <td>140.84</td> <td>mg</td> </tr> <tr> <td>Delta Wt</td> <td>0.050</td> <td>mg</td> </tr> <tr> <td>Actual Conc.</td> <td>6.945</td> <td>µg/MP</td> </tr> <tr> <td>Std. Conc.</td> <td>8.061</td> <td>µg/MP</td> </tr> </tbody> </table>			Filter ID	20		Final Wt	140.89	mg	Initial Wt	140.84	mg	Delta Wt	0.050	mg	Actual Conc.	6.945	µg/MP	Std. Conc.	8.061	µg/MP													
Filter ID	20																																			
Final Wt	140.89	mg																																		
Initial Wt	140.84	mg																																		
Delta Wt	0.050	mg																																		
Actual Conc.	6.945	µg/MP																																		
Std. Conc.	8.061	µg/MP																																		

BGI Air Samping System				Downloaded: 29 Jun 2014 15:32:15																																
PQ100 Muestreo de Aire Departamental Version: 1.0.01K Serial No: 421 Pump Time: 3574:07 Q Set (Lpm) 5.00 Actual Total M3: 7,199 Std. Total M3: 6,164			Data File: Peten-0703-2014.OMN Job Code: 07032014 Site Name: Hotel Los Amigos Station Code: P0703 Operators: Juan Jose Ixcamparij User 1: User 2:																																	
Atmospheric Information: <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Max</th> <th>Min</th> <th>Avg</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>BP</td> <td>755</td> <td>752</td> <td>753.5</td> <td>mm of Hg</td> </tr> <tr> <td>Ta</td> <td>48.9</td> <td>26.8</td> <td>37.85</td> <td>°C</td> </tr> <tr> <td>Q</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>N/A</td> <td>Lpm</td> </tr> </tbody> </table>				Max	Min	Avg		BP	755	752	753.5	mm of Hg	Ta	48.9	26.8	37.85	°C	Q	---	---	N/A	Lpm	Timer Information: <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Date</th> <th>Time</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Start</td> <td>28-JUN-2014</td> <td>15:24:06</td> </tr> <tr> <td>Stop</td> <td>29-JUN-2014</td> <td>15:24:06</td> </tr> <tr> <td>ET</td> <td colspan="2">0024:00</td> </tr> </tbody> </table>			Date	Time	Start	28-JUN-2014	15:24:06	Stop	29-JUN-2014	15:24:06	ET	0024:00	
	Max	Min	Avg																																	
BP	755	752	753.5	mm of Hg																																
Ta	48.9	26.8	37.85	°C																																
Q	---	---	N/A	Lpm																																
	Date	Time																																		
Start	28-JUN-2014	15:24:06																																		
Stop	29-JUN-2014	15:24:06																																		
ET	0024:00																																			
			Concentration Data: <table border="1"> <tbody> <tr> <td>Filter ID</td> <td>21</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Final Wt</td> <td>144.97</td> <td>mg</td> </tr> <tr> <td>Initial Wt</td> <td>144.91</td> <td>mg</td> </tr> <tr> <td>Delta Wt</td> <td>0.060</td> <td>mg</td> </tr> <tr> <td>Actual Conc.</td> <td>8.334</td> <td>µg/MP</td> </tr> <tr> <td>Std. Conc.</td> <td>9.734</td> <td>µg/MP</td> </tr> </tbody> </table>			Filter ID	21		Final Wt	144.97	mg	Initial Wt	144.91	mg	Delta Wt	0.060	mg	Actual Conc.	8.334	µg/MP	Std. Conc.	9.734	µg/MP													
Filter ID	21																																			
Final Wt	144.97	mg																																		
Initial Wt	144.91	mg																																		
Delta Wt	0.060	mg																																		
Actual Conc.	8.334	µg/MP																																		
Std. Conc.	9.734	µg/MP																																		

Fuente: Datos Experimentales.

Figuras No. 57, 58 y 59. Hojas de cálculo utilizadas para determinar las concentraciones de PM_{2.5} en las estaciones colocadas en Puerto Barrios.

BGI Air Samping System Downloaded: 04 JUL 2014 17:24:37

PQ100 Muestreo de Aire Departamental Version: 1.0.01K Serial No: 421 Pump Time: 0441:00 Q Set (Lpm) 5.00 Actual Total M3: 7,163 Std. Total M3: 6,154	Data File: Barrios0801-2014.OMN Job Code: 08012014 Site Name: Bomberos Voluntarios, 7 Compañía Station Code: P0801 Operators: Juan Jose Ixcamparij User 1: User 2:																														
Atmospheric Information: <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th></th> <th>Max</th> <th>Min</th> <th>Avg</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>BP</td> <td>760</td> <td>757</td> <td>758.5</td> <td>mm of Hg</td> </tr> <tr> <td>Ta</td> <td>32.3</td> <td>24.1</td> <td>28.2</td> <td>°C</td> </tr> <tr> <td>Q</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>N/A</td> <td>Lpm</td> </tr> </tbody> </table>		Max	Min	Avg		BP	760	757	758.5	mm of Hg	Ta	32.3	24.1	28.2	°C	Q	---	---	N/A	Lpm	Timer Information: <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th></th> <th>Date</th> <th>Time</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Start</td> <td>03-JUL-2014</td> <td>17:11:47</td> </tr> <tr> <td>Stop</td> <td>04-JUL-2014</td> <td>17:04:33</td> </tr> </tbody> </table> ET: 0023:52		Date	Time	Start	03-JUL-2014	17:11:47	Stop	04-JUL-2014	17:04:33	Concentration Data: Filter ID: 22 Final Wt: 140.04 mg Initial Wt: 139.93 mg Delta Wt: 0.110 mg Actual Conc.: 15.357 µg/M ³ Std. Conc.: 17.875 µg/M ³
	Max	Min	Avg																												
BP	760	757	758.5	mm of Hg																											
Ta	32.3	24.1	28.2	°C																											
Q	---	---	N/A	Lpm																											
	Date	Time																													
Start	03-JUL-2014	17:11:47																													
Stop	04-JUL-2014	17:04:33																													

BGI Air Samping System Downloaded: 05 JUL 2014 17:35:22

PQ100 Muestreo de Aire Departamental Version: 1.0.01K Serial No: 421 Pump Time: 0391:23 Q Set (Lpm) 5.00 Actual Total M3: 7,241 Std. Total M3: 6,255	Data File: Barrios0802-2014.OMN Job Code: 08022014 Site Name: Ministerio de Desarrollo Social Station Code: P0802 Operators: Juan Jose Ixcamparij User 1: User 2:																														
Atmospheric Information: <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th></th> <th>Max</th> <th>Min</th> <th>Avg</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>BP</td> <td>764</td> <td>756</td> <td>760</td> <td>mm of Hg</td> </tr> <tr> <td>Ta</td> <td>30.9</td> <td>21.2</td> <td>26.05</td> <td>°C</td> </tr> <tr> <td>Q</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>N/A</td> <td>Lpm</td> </tr> </tbody> </table>		Max	Min	Avg		BP	764	756	760	mm of Hg	Ta	30.9	21.2	26.05	°C	Q	---	---	N/A	Lpm	Timer Information: <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th></th> <th>Date</th> <th>Time</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Start</td> <td>04-JUL-2014</td> <td>17:25:39</td> </tr> <tr> <td>Stop</td> <td>05-JUL-2014</td> <td>17:34:03</td> </tr> </tbody> </table> ET: 0024:08		Date	Time	Start	04-JUL-2014	17:25:39	Stop	05-JUL-2014	17:34:03	Concentration Data: Filter ID: 23 Final Wt: 139.21 mg Initial Wt: 139.09 mg Delta Wt: 0.120 mg Actual Conc.: 16,572 µg/M ³ Std. Conc.: 19,185 µg/M ³
	Max	Min	Avg																												
BP	764	756	760	mm of Hg																											
Ta	30.9	21.2	26.05	°C																											
Q	---	---	N/A	Lpm																											
	Date	Time																													
Start	04-JUL-2014	17:25:39																													
Stop	05-JUL-2014	17:34:03																													

BGI Air Samping System Downloaded: 06 JUL 2014 17:30:02

PQ100 Muestreo de Aire Departamental Version: 1.0.01K Serial No: 421 Pump Time: 0608:37 Q Set (Lpm) 5.00 Actual Total M3: 7,233 Std. Total M3: 6,361	Data File: Barrios0803-2014.OMN Job Code: 08032014 Site Name: Hotel Puerto Barrios Station Code: P0803 Operators: Juan Jose Ixcamparij User 1: User 2:																														
Atmospheric Information: <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th></th> <th>Max</th> <th>Min</th> <th>Avg</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>BP</td> <td>760</td> <td>757</td> <td>758.5</td> <td>mm of Hg</td> </tr> <tr> <td>Ta</td> <td>32.3</td> <td>24.1</td> <td>28.2</td> <td>°C</td> </tr> <tr> <td>Q</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>N/A</td> <td>Lpm</td> </tr> </tbody> </table>		Max	Min	Avg		BP	760	757	758.5	mm of Hg	Ta	32.3	24.1	28.2	°C	Q	---	---	N/A	Lpm	Timer Information: <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th></th> <th>Date</th> <th>Time</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Start</td> <td>05-JUL-2014</td> <td>18:53:02</td> </tr> <tr> <td>Stop</td> <td>06-JUL-2014</td> <td>18:59:54</td> </tr> </tbody> </table> ET: 0024:07		Date	Time	Start	05-JUL-2014	18:53:02	Stop	06-JUL-2014	18:59:54	Concentration Data: Filter ID: 24 Final Wt: 141.13 mg Initial Wt: 141.04 mg Delta Wt: 0.090 mg Actual Conc.: 12,443 µg/M ³ Std. Conc.: 14,149 µg/M ³
	Max	Min	Avg																												
BP	760	757	758.5	mm of Hg																											
Ta	32.3	24.1	28.2	°C																											
Q	---	---	N/A	Lpm																											
	Date	Time																													
Start	05-JUL-2014	18:53:02																													
Stop	06-JUL-2014	18:59:54																													

Fuente: Datos Experimentales.

Figura No. 60 Filtro No. 01 colocado en la estación P0101 (Escuintla).



Fuente: Fotografía tomada por Juan José Ixcamparij

Figura No. 61 Filtro No. 02 colocado en la estación P0102 (Escuintla).



Fuente: Fotografía tomada por Juan José Ixcamparij

Figura No. 62 Filtro No. 04 colocado en la estación P0202 (Quetzaltenango).



Fuente: Fotografía tomada por Juan José Ixcamparij

Figura No. 63 Filtro No. 05 colocado en la estación P0203 (Quetzaltenango).



Fuente: Fotografía tomada por Juan José Ixcamparij

Figura No. 64 Filtro No. 07 colocado en la estación P0301 (Quiché).



Fuente: Fotografía tomada por Juan José Ixcamparij

Figura No. 65 Filtro No. 08 colocado en la estación P0302 (Quiché).



Fuente: Fotografía tomada por Juan José Ixcamparij

Figura No. 66 Filtro No. 19 colocado en la estación P0701 (Flores).



Fuente: Fotografía tomada por Juan José Ixcamparij

Figura No. 67 Filtro No. 20 colocado en la estación P0702 (Flores).



Fuente: Fotografía tomada por Juan José Ixcamparij

Figura No. 68 Filtro No. 22 colocado en la estación P0801 (Puerto Barrios).



Fuente: Fotografía tomada por Juan José Ixcamparij

Figura No. 69 Filtro No. 23 colocado en la estación P0802 (Puerto Barrios).



Fuente: Fotografía tomada por Juan José Ixcamparij

Figura No. 70 Hoja de Campo utilizada en la estación P0802 (Puerto Barrios).

Determinación de Placetas Particulares con diámetro interno de 100 mm a 1.2 metros (P0802) en las cabeceras departamentales representativas de la República de Guatemala.

Hoja de Campo

Departamento: Izabal

Cabecera: Puerto Barrios

Dirección del Punto de Muestreo: 12 calle entre 6ª y 7ª Avenida

Descripción del Punto de Muestreo: Ministerio de Desarrollo Social

Coordenadas: N: 15° 43' 46"
W: 88° 35' 58"


Persona que nos atendió: Milvia Sarmiento

Encendido (Fecha: Hora)	Apagado (Fecha: Hora)	Presión Promedio (mm Hg)
<u>04-Jul-2014 17:25</u>	<u>05-Jul-2014 17:34</u>	<u>760</u>
Temperatura (°C)	Humedad (%)	Batería/Corriente
<u>26.05</u>	<u>25</u>	<u>Corriente</u>
Correr (Flujo lpm)	Volumen (m ³)	STD Vol. (m ³)
<u>5</u>	<u>7.24</u>	<u>6.25</u>
ID Filtro	Masa Inicial (g)	Masa final (g)
<u>23</u>	<u>0.13909</u>	<u>139.21</u>

Condiciones de Muestreo:

CONDICIÓN	BASTANTE	POCO	NADA
SOLEADO		X	
LLUVIOSO		X	
SECO			X
NIEBLA			X
CONSTRUCCIÓN			X
TRANSPORTE	X		
INCENDIO			X
FUENTES NATURALES			X
OBSERVACIONES			

Responsable del Muestreo: Juan José Ixcamparij



Fuente: Documento escaneado por Juan José Ixcamparij.

Figura No. 71 Hoja de Campo utilizada en la estación P0301 (Santa Cruz del Quiché).

Departamento de Meteorología Participando con usuarios normalizados desde el 2007 (Unidad de las cabeceras departamentales representativas de la República de Guatemala.

Hoja de Campo

Departamento: Quiché

Cabecera: Santa Cruz del Quiché

Dirección del Punto de Muestreo: 5 Avenida entre 2ª y 3ª calle Zona 1

Descripción del Punto de Muestreo: Estación No 12 CBV

Coordenadas: N: 15° 01' 50"
W: 91° 09' 4"


Persona que nos atendió: Daniel Cifuentes

Encendido (Fecha: Hora)	Apagado (Fecha: Hora)	Presión Promedio (mm Hg)
01-Jun-2014 12:22	02-Jun-2014 12:22	600
Temperatura (°C)	Humedad (%)	Batería/Corriente
16.6	20%	Batería
Correr (Flujo lpm)	Volumen (m ³)	STD Vol. (m ³)
5	7.20	5.89
ID Filtro	Masa Inicial (g)	Masa final (g)
07	0.13877	0.13889

Condiciones de Muestreo:

CONDICIÓN	BASTANTE	POCO	NADA
SOLEADO	X		
LLUVIOSO			X
SECO	X		
NIEBLA			X
CONSTRUCCIÓN			X
TRANSPORTE		X	
INCENDIO			X
FUENTES NATURALES			X
OBSERVACIONES	Cuando se puso el equipo estaba bastante soleado, pero esa noche se empezaron a sentir los efectos de la depresión tropical 2-E.		

Responsable del Muestreo: _____



XII Cía. Quiché
Selvin de la Cruz
SECRETARIO

Fuente: Documento escaneado por Juan José Ixcamparij.

Figura No. 72 Hoja de Campo utilizada en la estación P0401 (Cuilapa).

Instituto de Estudios y Estadística del Ambiente y Recursos Naturales (IEEAR) de
las cabeceras departamentales representativas
de la República de Guatemala.

Hoja de Campo


Departamento: Santa Rosa
 Cabecera: Cuilapa
 Dirección del Punto de Muestreo: 2 avenida 3-36 Zona 3
 Descripción del Punto de Muestreo: 24ª Estación de Bomberos Voluntarios
 Coordenadas: N: 14° 47' 56"
W: 90° 5' 26"
 Persona que nos atendió: Ana Lucía Ponciano

Encendido (Fecha: Hora)	Apagado (Fecha: Hora)	Presión Promedio (mm Hg)
<u>06-Jun-2014 16:42</u>	<u>07-Jun-2014 16:42</u>	<u>685</u>
Temperatura (°C)	Humedad (%)	Batería/Corriente
<u>26.7</u>	<u>24.3</u>	<u>Corriente</u>
Correr (Flujo lpm)	Volumen (m ³)	STD Vol. (m ³)
<u>5</u>	<u>7.20</u>	<u>5.85 G.18</u>
ID Filtro	Masa Inicial (g)	Masa final (g)
<u>10</u>	<u>0.14173</u>	<u>0.14192</u>

Condiciones de Muestreo:

CONDICIÓN	BASTANTE	POCO	NADA
SOLEADO			X
LLUVIOSO		X	
SECO			X
NIEBLA			X
CONSTRUCCIÓN			X
TRANSPORTE		X	
INCENDIO			X
FUENTES NATURALES			X
OBSERVACIONES			

Responsable del Muestreo: Juan José Ixcamparij

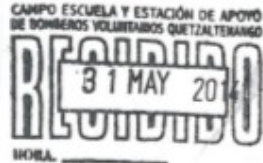


Fuente: Documento escaneado por Juan José Ixcamparij.

Figura No. 73 Hoja de Campo utilizada en la estación P0203 (Quetzaltenango).

Distribución de Muestreo Paramétrico por estación meteorológica dentro de las cabeceras de las
 las cabeceras departamentales representativas
 de la República de Guatemala.

Hoja de Campo



Departamento: Quetzaltenango

Cabecera: Quetzaltenango

Dirección del Punto de Muestreo: 29 avenida 7-25 Zona 3

Descripción del Punto de Muestreo: Estación de Apoyo de Bomberos V.

Coordenadas: N: 14° 50' 59"
W: 91° 32' 2"

Persona que nos atendió: Abraham Rancocoj y José Maldonado

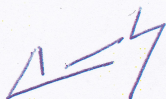
Encendido (Fecha: Hora)	Apagado (Fecha: Hora)	Presión Promedio (mm Hg)
<u>30-05-2014 14:59</u>	<u>31-05-2014 14:59</u>	<u>597</u>
Temperatura (°C)	Humedad (%)	Batería/Corriente
<u>16</u>	<u>32%</u>	<u>Corriente</u>
Correr (Flujo lpm)	Volumen (m ³)	STD Vol. (m ³)
<u>5</u>	<u>7.19</u>	<u>6.22</u>
ID Filtro	Masa Inicial (g)	Masa final (g)
<u>06</u>	<u>0.13903</u>	<u>0.13921</u>

Condiciones de Muestreo:

CONDICIÓN	BASTANTE	POCO	NADA
SOLEADO			X
LLUVIOSO			X
SECO		X	
NIEBLA			X
CONSTRUCCIÓN		X	
TRANSPORTE	X		
INCENDIO			X
FUENTES NATURALES			X
OBSERVACIONES			

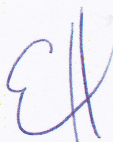
Responsable del Muestreo: Juan José Ixcamparij

Fuente: Documento escaneado por Juan José Ixcamparij.



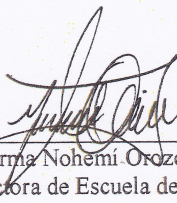
F

Br. Juan José Ixcamparij López
Autor de la Investigación



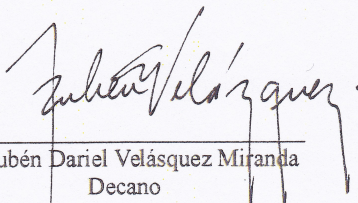
F

Licda. Elisandra Hernández Hernández
Asesora de la Investigación



F

M.A. Irma Noheми Orozco Godínez
Directora de Escuela de Química



F

Dr. Rubén Dariel Velásquez Miranda
Decano