

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y FARMACIA
ESCUELA DE QUÍMICA
LABORATORIO DE MONITOREO DEL AIRE**



**INFORME ANUAL 2009
MONITOREO DEL AIRE EN LA CIUDAD DE
GUATEMALA**



Lic. Jhoni Frank Alvarez Castañeda

Guatemala, Marzo de 2010



DIRECTORIO

Lic. Estuardo Gálvez Barrios
Rector Magnífico Universidad de San Carlos de Guatemala

Oscar Cóbar, PhD.
Decano Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia

Juan Francisco Pérez Sabino, PhD.
Director Escuela de Química

Lic. Jhoni Frank Alvarez Castañeda
**Coordinador Laboratorio de Monitoreo del Aire
Elaboración**

Lic. Pablo Ernesto Oliva Soto
Revisión

Br. Levis Efraín Donado Vivar
Br. Belma Regina Hurtarte Marín
Colaboradores

Agradecimientos

- A los estudiantes de la carrera de Química que realizaron sus prácticas de EPS y EDC durante el año 2009, ya que sin su colaboración no hubiera sido posible la determinación de los parámetros presentados en este informe.
- Museo de la Universidad de San Carlos de Guatemala –MUSAC-.
- Instituto Nacional de Sismología, vulcanología, meteorología e hidrología -INSIVUMEH-.
- Instituto de Nutrición de Centroamérica y Panamá –INCAP-.
- Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia de la Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Programa de EDC de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia de la Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Departamento de Análisis Inorgánico de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia de la Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Departamento de Química General de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia de la Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Laboratorio ECOQUIMSA, Guatemala.

La Constitución Política de la República de Guatemala, establece en su Artículo 97 que: “El Estado, las municipalidades y los habitantes del territorio nacional están obligados a propiciar el desarrollo social, económico y tecnológico que prevenga la contaminación del ambiente y mantenga el equilibrio ecológico. Se dictarán todas las normas necesarias para garantizar que la utilización y el aprovechamiento de la fauna, de la flora, de la tierra y del agua, se realicen racionalmente, evitando su depredación”. De lo anterior se hace notar lo referente a la participación de los habitantes del territorio nacional. Se ha visto que a lo largo de los últimos 14 años lo que el Estado y las municipalidades han desarrollado acerca del cuidado y protección de la calidad del aire es muy poco e insuficiente, por lo que tomar conciencia de esta problemática será mas bien una labor para todos los guatemaltecos, quienes debemos realizar una mayor presión para que a la brevedad posible se establezcan, implementen o fortalezcan todas aquellas acciones encaminadas a dar cumplimiento a nuestra legislación, principalmente para asegurarnos una mejor calidad del aire, a lo cual tenemos derecho todos los guatemaltecos.

El diagnóstico de la Normativa Técnica sobre Calidad del Aire en Centro América, elaborado por la Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo –CCAD-, del año 2007, ubica a Guatemala en clara desventaja, en relación a lo que el resto de la región ya tiene elaborado, y en varios casos implementado, en el tema de legislación y normativa, principalmente esta última, para regular la calidad del aire. Dicho diagnóstico propone la formulación de regulaciones modelo y la adopción de instrumentos armonizados en calidad del aire en Centro América, lo cual puede ser un punto de partida o seguimiento para las autoridades nacionales, con el fin primordial de que en forma armónica con el resto de la región centroamericana, se implementen todas aquellas medidas que protejan la calidad del aire.

Para sustentar lo indicado anteriormente, es necesario fortalecer el monitoreo del aire en la ciudad de Guatemala, así como su implementación en el interior del país. La utilización de equipo automático, el incremento en el número de muestreos y en el número de puntos de muestreo, es una labor que se podrá realizar solamente si se trabaja en conjunto en forma interinstitucional, gestión que debe ser coordinada y guiada por el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales.

Pablo Ernesto Oliva Soto.
Marzo 2010.



INDICE

1. Resumen	5
2. Caracterización de la Ciudad de Guatemala	6
3. Puntos de Muestreo	7
4. Partículas Totales en Suspensión (PTS)	10
5. Partículas Totales en Suspensión en su Fracción PM_{10}	13
6. Partículas Totales en Suspensión en su Fracción $PM_{2.5}$	16
7. Dióxido de Nitrógeno (NO_2)	19
8. Dióxido de Azufre (SO_2)	22
9. Lluvia ácida	25
10. Conclusiones	27
11. Recomendaciones	28
12. Referencias	29

1. RESUMEN

El Laboratorio de Monitoreo del aire presentan los resultados obtenidos durante el periodo comprendido de enero a diciembre del año 2009, en algunos puntos de muestreo de la Ciudad de Guatemala. Los parámetros o contaminantes criterio medidos en la mayoría de estaciones de muestreo fueron: Material particulado (MP): partículas totales en suspensión –PTS- y partículas totales en suspensión en su fracción –PM₁₀-. Contaminantes gaseosos; dióxido de nitrógeno –NO₂-, dióxido de azufre –SO₂- y lluvia ácida.

Durante el mismo año en un periodo comprendido de seis meses, de febrero a julio, se muestreo partículas totales en suspensión en su fracción –PM_{2.5}-, con fines de investigación y contando con el apoyo de un laboratorio privado.

Los resultados obtenidos confirman que en el aire de los puntos de muestreo localizados en la Ciudad de Guatemala si existe contaminación provocada por todos los contaminantes analizados. Sin embargo, no todos exceden en todas las mediciones los valores guías sugeridos, pero su sola presencia indica que de no tomarse las medidas apropiadas para su control, la calidad del aire en dichos sectores puede verse significativamente deteriorada. Es importante indicar que los valores guías utilizados son los sugeridos por las Guía de Calidad del Aire de la Organización Mundial de la Salud -2005- (excepto para partículas totales en suspensión), que establece criterios más estrictos y más significativos en lo relacionado al cuidado de la salud humana.

Los puntos de muestreo que presentan valores de mayor grado de contaminación del aire, son los localizados en zonas de alto tráfico vehicular, comparados con los localizados en zonas de bajo tráfico vehicular.

Hoy en día el Laboratorio de Monitoreo del Aire, sigue haciendo su máximo esfuerzo por mantener el monitoreo del aire en la ciudad de Guatemala, se sabe que hay algunas instituciones que se unirán a la red de monitoreo del aire, pero debe unirse la información y trabajar en conjunto con otras instituciones del estado o de la sociedad civil, para fortalecer aun mas el monitoreo del aire en la ciudad de Guatemala. Asimismo implementar el monitoreo del aire en centros urbanos del interior del país.

2. CARACTERIZACION DE LA CIUDAD DE GUATEMALA:

Tabla No.1 Parámetros de caracterización de la Ciudad de Guatemala:

PARÁMETRO	VALOR*
Área del valle de la Ciudad de Guatemala: principalmente conformada por la cuenca del río de Las Vacas y la cuenca del río Villa Lobos	850 Km ²
Altura: depende de la región del área metropolitana, la cual se conforma desde el valle central hasta las montañas periféricas.	De 1500 a 2300 msnm
Precipitación pluvial: depende de la región del área metropolitana. El valor presentado es para la región central del valle.	1100 – 1200 mm de lluvia (l/m ² /año)
Épocas Climáticas: 2 épocas climáticas, época seca y época lluviosa.	Época Lluviosa: de mayo a octubre Época Seca: de noviembre a abril
Vientos: la mayoría del año los vientos provienen del noreste.	Noreste Sur

*Fuente: INSIVUMEH.

La situación geográfica de la Ciudad de Guatemala cuenta con la condición de poseer una vía libre para la circulación del viento proveniente del noreste la mayor parte del año, lo cual representa una adecuada dilución de los contaminantes gaseosos y particulados, ya que los mismos pueden ser transportados por el viento, lo que favorece un continuo sistema de limpieza del aire de la ciudad, sin embargo dicha circulación puede no ser suficiente corriendo el riesgo de inversiones térmicas, principalmente en la época seca.

En la época lluviosa se tiene un promedio de precipitación pluvial de 1100 a 1200 mm de lluvia para el centro del valle de la ciudad, lo cual puede provocar que algunos contaminantes del aire se depositen en el suelo. Esto se puede corroborar en los resultados obtenidos desde 1995 en donde para algunos contaminantes se observa un descenso de los valores en la época lluviosa.

3. PUNTOS DE MUESTREO EN LA CIUDAD DE GUATEMALA

Los puntos de muestreo se han localizado tomando en cuenta factores técnicos que permiten realizar un análisis representativo de la calidad del aire en ciertas áreas de la Ciudad de Guatemala. Entre otros, los factores principales son el tráfico vehicular, la densidad poblacional, la densidad industrial, el flujo del viento y la seguridad para colocar el equipo de muestreo. En base a lo anterior se han establecido tres tipos de puntos de muestreo, los ubicados en una zona urbana (con alto tráfico vehicular), los ubicados en una zona residencial (con bajo flujo vehicular) y los ubicados en un punto de medición a macro escala (con una extensa área de cobertura).

3.1. PUNTOS DE MUESTREO UBICADOS EN ZONA URBANA (Alto tráfico vehicular)

3.1.1. INCAP:

- **Dirección:** Instituto de Nutrición de Centroamérica y Panamá, Calzada Roosevelt, Zona 11.
- **Coordenadas:** N14°36.968' W 90°32.393'
- **Altitud:** 1527 msnm
- **Parámetros medidos:** PTS, PM₁₀, PM_{2.5}, NO₂, SO₂ y lluvia ácida.



Fig. No.1 Estación ubicada en el INCAP
(fuente: LMA)

3.1.2. EFPEM:

- **Dirección:** Escuela de Formación de Profesores de Enseñanza Media, Avenida Petapa, entrada a la USAC, Zona 12.
- **Coordenadas:** N14°35.264' W 90°32.731'
- **Altitud:** 1504 msnm
- **Parámetros Medidos:** NO₂.

3.1.3. CALZADA SAN JUAN:

- **Dirección:** Motores Hino de Guatemala, S.A. Calzada San Juan, Zona 7.
- **Coordenadas:** N14°37.362' W 90°32.885'
- **Altitud:** 1540 msnm
- **Parámetros Medidos:** NO₂.

3.1.4. CENTRO HISTORICO

- **Dirección:** Museo de la Universidad de San Carlos, 9ª.Avenida y 10ª. Calle, Zona 1.
- **Coordenadas:** N14°38.326' W 90°30.657'
- **Altitud:** 1508 msnm
- **Parámetros medidos:** PTS, PM₁₀, PM_{2.5}, NO₂, SO₂ y lluvia ácida.

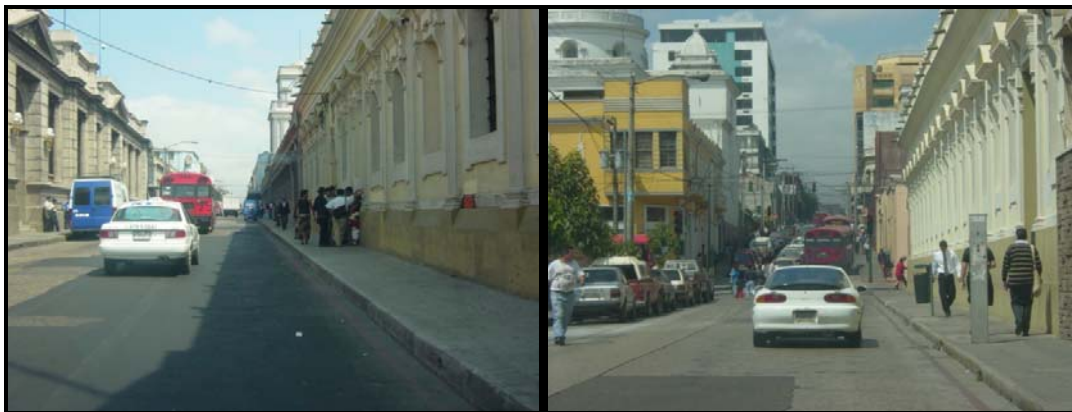


Fig. No. 2 Estación ubicada en el MUSAC, Zona 1.
(Fuente: LMA)

3.2. PUNTO DE MUESTREO UBICADO EN ZONA RESIDENCIAL (Bajo tráfico vehicular)

3.2.1. INSIVUMEH:

- **Dirección:** Instituto de Sismología, Vulcanología, Meteorología e hidrología, 7ª. Avenida 14-57, Zona 13.
- **Coordenadas:** N14°35.243' W 90°31.959'
- **Altitud:** 1516 msnm
- **Parámetros medidos:** PTS, PM₁₀, PM_{2.5}, NO₂ y lluvia ácida.



Fig. No.3 Estación ubicada en el INSIVUMEH
(Fuente: LMA)

3.3. PUNTO DE MUESTREO UBICADO A MACROESCALA

3.3.1. USAC:

- **Dirección:** Edificio T-10 Facultad de CCQQ y Farmacia, Ciudad Universitaria, Zona 12.
- **Coordenadas:** N14°35.101' W 90°33.284'
- **Altitud:** 1522 msnm
- **Parámetros medidos:** PTS, PM₁₀, PM_{2.5}, NO₂, SO₂ y lluvia ácida.



Fig. No.4 Estación ubicada en la USAC.
(Fuente: LMA)

Nota: Las mediciones de coordenadas y altitud se realizaron con GPS.

4. PARTICULAS TOTALES EN SUSPENSION -PTS-

Las partículas totales en suspensión se conocen como PTS, y se definen como aquellas partículas diminutas sólidas y líquidas presentes en el aire en gran número, originadas principalmente por procesos de combustión de productos derivados del petróleo y carbón vegetal utilizados en actividades industriales, domésticas y de transporte, así como en otros procesos industriales (molido de piedra, fabricación de cemento, etc.). También tienen origen natural en las erupciones volcánicas, procesos de erosión y en los incendios forestales.

Efectos principales: Irritación de las vías respiratorias, aumento en la susceptibilidad al asma y resfriado común, deterioro de materiales y monumentos históricos, interferencia con la fotosíntesis y disminución de la visibilidad.

Valores Guía: Para este contaminante los valores guías o normas sugeridos son los valores de referencia que utilizó la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos –EPA- que para una medición de 24 horas es de $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y para un promedio anual es de $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Antecedentes: Las partículas totales en suspensión han sido el contaminante más significativo para la Ciudad de Guatemala desde que se inicio con este proyecto en 1995, ya que la mayoría de los promedios anuales han rebasado el valor guía sugerido. Los principales factores de emisión de partículas para la ciudad son el parque automotor, emisiones industriales, calles no asfaltadas, las erupciones del volcán de pacaya, la erosión y los incendios forestales en ciertas épocas del año. A pesar de que actualmente este parámetro ya casi no es utilizado a nivel internacional como contaminante criterio, sigue siendo útil como un registro histórico para realizar otro tipo de estudios de caracterización de partículas o determinación de algunos metales pesados, entre otros parámetros.

Resultados: a continuación se presenta la tabla y gráfica de los resultados correspondientes a los puntos de muestreo para la Ciudad de Guatemala durante el año 2009, así como la comparación de promedios anuales desde 1995.

Tabla No.2

Resultados Mensuales de Partículas Totales en Suspensión –PTS- para 2009


Unidad de concentración: microgramos/metro cúbico

ESTACION	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PA
MUSAC	34	40	38	41	44	28	15	Nm	Nm	86	33	nm	40
INCAP	105	Nm	106	156	109	40	64	94	Nm	92	70	nm	93
USAC	50	82	69	80	70	Nm	16	Nm	Nm	48	Nm	nm	59
INSIVUMEH	70	Nm	31	36	44	47	54	33	Nm	46	25	nm	43

nm: No muestreado.

PA: Promedio Anual.

 Época seca

 Época lluviosa

 Valor que sobrepasa el límite sugerido

Gráfico No.1
Resultados Mensuales PTS 2009

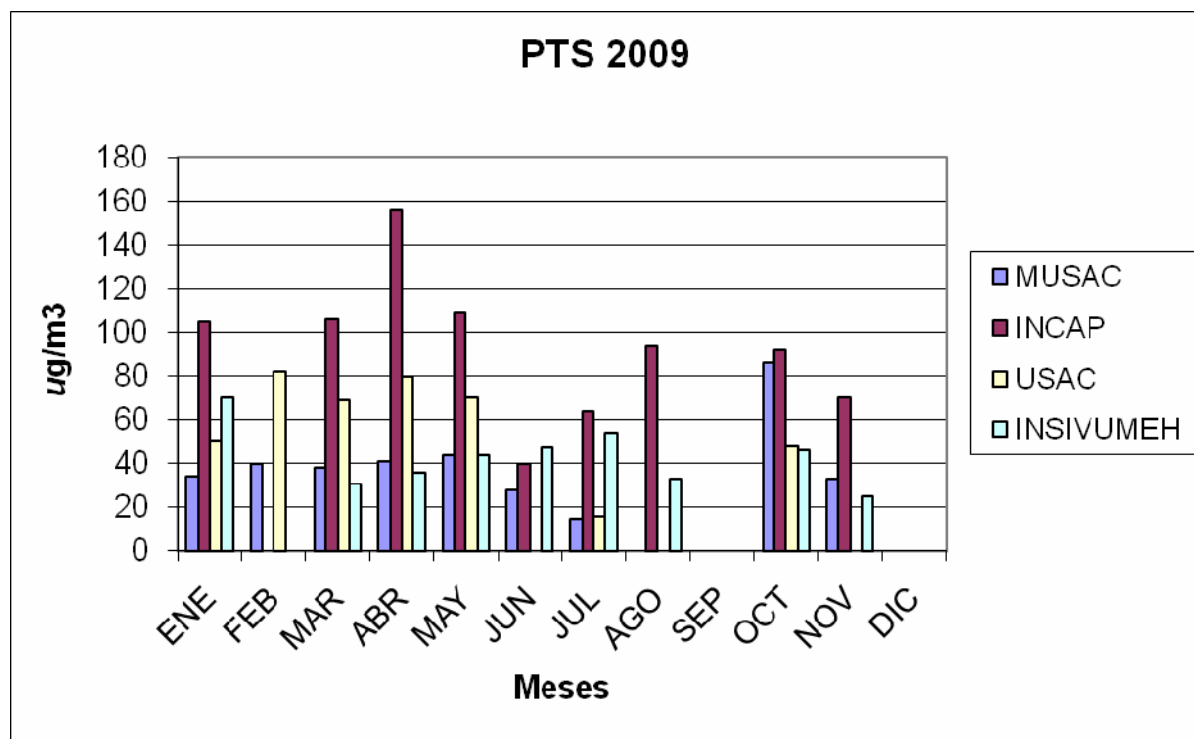


Tabla No.3 Medición más alta y más baja de PTS para el año 2009:

Punto más contaminado (promedio anual)	INCAP. : 93 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Punto menos contaminado (promedio anual)	MUSAC: 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Medición más alta del año	INCAP: (Abr) 156 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Medición más baja del año	MUSAC : (Jul) 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
% de mediciones que sobrepasaron el límite sugerido (medición de 24 horas)	0 %

Tabla No.4 Resultados de promedio anual para PTS 1995-2009

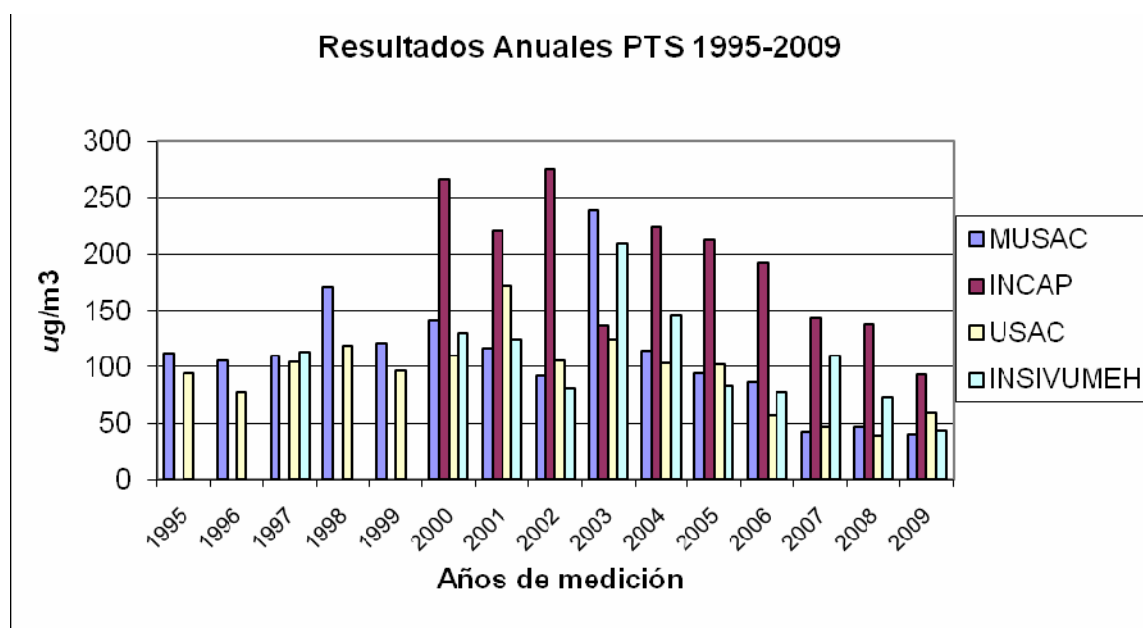
ESTACION/AÑO	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
MUSAC	112	105	110	171	121	141	117	92	239	114	94	87	42	47	40
INCAP	0	0	0	0	0	266	220	276	136	224	213	193	143	137	93
USAC	94	78	104	119	97	110	172	105	124	103	102	57	47	39	59
INSIVUMEH	0	0	113	0	0	130	124	81	209	145	83	78	110	73	43

Nota: Para la USAC se midió a micro escala de 1995 a 1999, y a macro escala a partir del año 2000.

NM: no muestreado.

■ Valor que sobrepasa el límite sugerido

Gráfico No. 2 Resultados anuales 1995-2009 para PTS



Discusión: Ninguna medición sobrepasó la norma sugerida para promedio 24 horas ($240 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Se mantiene constante el hecho de que los puntos próximos a las vías de circulación vehicular fueron los que presentaron los valores más altos. Para el promedio anual ($75 \mu\text{g}/\text{m}^3$) se rebasó el límite sugerido solamente para el punto localizado en el INCAP.

Las principales medidas que se sugieren para disminuir la emisión de partículas totales al ambiente son:

- El control de emisiones vehiculares e industriales.
- Las medidas necesarias para contrarrestar o por lo menos disminuir los incendios forestales.
- Controlar las emisiones provocadas por actividades agrícolas.
- Evitar la quema de basura.
- Asfaltar calles de terracería localizadas en centros urbanos.

Metodología: muestreo de 24 horas con impactor de alto volumen. Análisis por método gravimétrico.

5. PARTICULAS TOTALES EN SUSPENSIÓN EN SU FRACCION –PM₁₀–

Las partículas totales en suspensión en su fracción PM₁₀ son todas aquellas partículas sólidas o líquidas dispersas en el aire con un diámetro menor a 10 micrómetros. Por lo regular se conforman por polvo, cenizas, hollín, partículas metálicas, cemento y polen. Se originan principalmente en los procesos de combustión industrial, doméstica y de transporte. Naturalmente se producen por erosión, erupciones volcánicas e incendios forestales.

Efectos principales: Debido a su capacidad de penetrar más profundamente por el tracto respiratorio puede producir graves irritaciones a las vías respiratorias, agravar el asma y las enfermedades cardiovasculares.

Valores Guía: Para este contaminante los valores guías o normas utilizados a partir de este año son los valores de referencia sugeridos por la Organización Mundial de la Salud (2005), que para una medición de 24 horas es de 50 µg/m³ y para un promedio anual es de 20 µg/m³.

Antecedentes: Las partículas totales en suspensión en su fracción respirable se han medido desde 1996, siendo uno de los contaminantes más significativo para la Ciudad de Guatemala. Los principales factores de emisión de partículas para la ciudad son el parque automotor, las actividades industriales, las erupciones del volcán de pacaya, la erosión y los incendios forestales en ciertas épocas del año.

Resultados: a continuación se presenta la tabla y gráfica de los resultados correspondientes a los puntos de muestreo para la Ciudad de Guatemala durante el año 2009, así como los correspondientes a promedios anuales desde 1996.

Tabla No.5

Partículas Totales en Suspensión PM₁₀ 2009

Unidad de concentración: microgramos/metro cúbico

ESTACION	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PA
MUSAC	7	21	Nm	51	22	18	13	89	Nm	15	29	nm	29
INCAP	32	168	77	65	42	58	78	75	Nm	78	71	nm	59
USAC	29	58	72	26	43	55	26	40	77	54	72	nm	50
INSIVUMEH	15	57	Nm	Nm	27	Nm	66	17	Nm	18	12	nm	30

nm: No muestreado.

PA: Promedio Anual.

■ Época seca

■ Época lluviosa

■ Valor que sobrepasa el límite sugerido

Gráfico No. 3
Resultados Mensuales PM₁₀ 2009

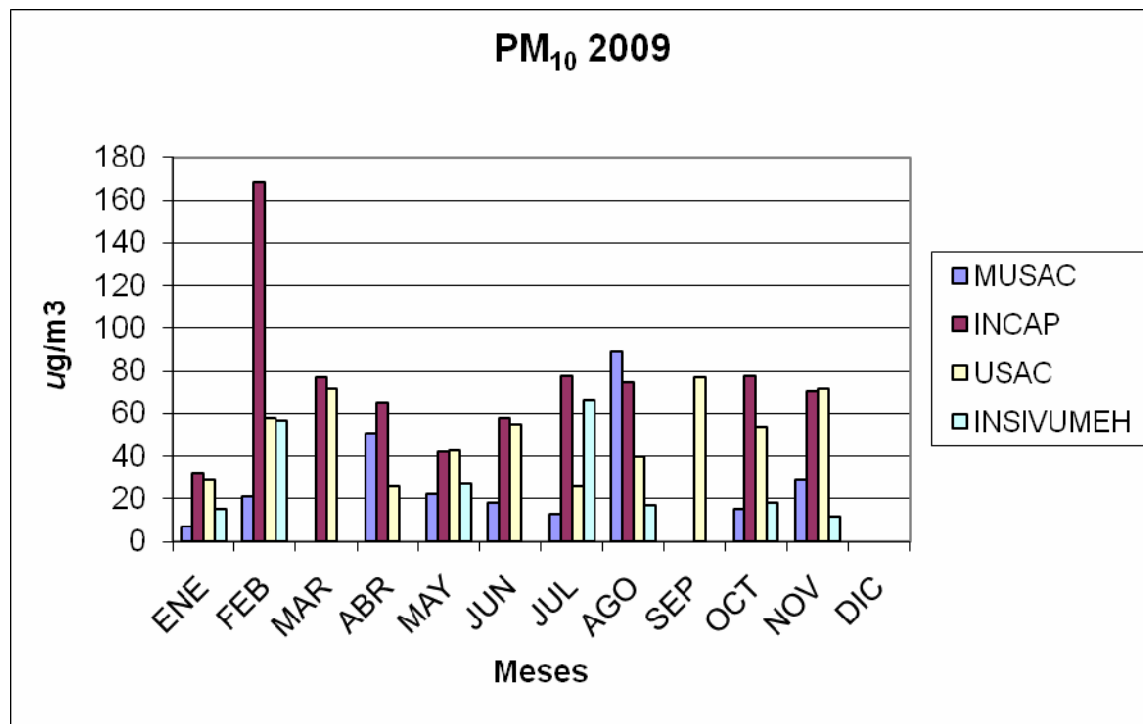


Tabla No.6: valores máximos y mínimos de resultados de partículas totales en suspensión –PM₁₀- para el año 2009:

Punto más contaminado (promedio anual)	INCAP:	59 µg/m ³
Punto menos contaminado (promedio anual)	MUSAC:	29 µg/m ³
Medición más alta del año	INCAP (Feb)	168 µg/m ³
Medición más baja del año	MUSAC: (Ene)	7 µg/m ³
% de mediciones que sobrepasaron el límite sugerido para medición de 24 horas.	49 %	

Tabla No.7 Resultados de promedio anual para PM₁₀ 1996-2009

ESTACION	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
MUSAC	57	40	68	55	47	33	30	61	54	30	55	53	38	29
INCAP	143	143	0	0	71	59	67	71	82	83	90	80	77	59
USAC	50	50	52	49	33	42	34	54	38	48	62	42	19	50
INSIVUMEH	0	50	0	0	39	37	35	49	31	33	45	49	32	30

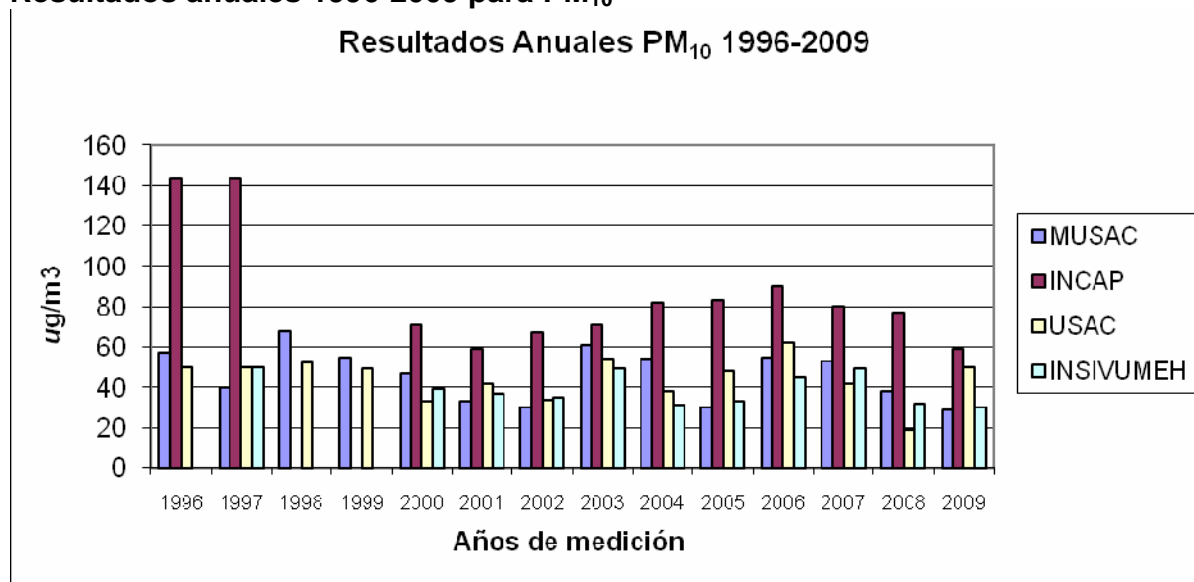
Nota: Para la USAC se midió a micro escala de 1996 a 1999, y a macro escala a partir del año 2000.

NM: no muestreado.

■ Valor que sobrepasa el límite sugerido

Gráfico No.4

Resultados anuales 1996-2009 para PM₁₀



Discusión: Entre más pequeño es el diámetro de las partículas en suspensión, más significativo es el impacto negativo que dicho parámetro tiene para la salud de la población. Para los resultados obtenidos en el año 2009, el 49% de los mismos sobrepasan el valor guía sugerido. En relación a los promedios anuales, podemos observar que en todos los puntos medidos, para todos los años, se sobrepasa el valor guía correspondiente. Por lo anterior podemos afirmar que aunque no se observe una tendencia al alza para este parámetro, a lo largo de los años estudiados, los valores obtenidos representan un serio deterioro de la calidad del aire de los lugares muestreados. Uno de los graves problemas con este tipo de contaminante es que, al igual que algunos gases, no son fácilmente observables, pero los daños que causan es sumamente serio, principalmente a nivel del sistema respiratorio del ser humano.

Las principales medidas que se sugieren para disminuir la emisión de partículas PM₁₀ al ambiente son:

- El control de emisiones vehiculares e industriales.
- La regulación de caleras e industrias que muelan piedra o fabriquen cemento.
- Todas las medidas necesarias para contrarrestar o por lo menos disminuir los incendios forestales.
- Controlar las emisiones provocadas por actividades agrícolas.
- Evitar la quema de basura.
- Asfaltar calles de terracería localizadas en centros urbanos.

Metodología: muestreo de 24 horas con un impactor de bajo volumen. Análisis por método gravimétrico.

6. PARTICULAS TOTALES EN SUSPENSIÓN EN SU FRACCION –PM_{2.5}-

Las partículas PM_{2.5} son catalogadas como un contaminante criterio de tipo primario, principalmente por sus fuentes emisoras, tales como el parque vehicular, la industria con chimeneas y las fuentes naturales.

La selección de este contaminante del aire es un indicador de material particulado que también merece consideración. La evidencia epidemiológica más reciente y más extensa se basa principalmente en estudios que utilizan a las PM_{2.5} como indicador de exposición. Además en la actualidad, la mayor parte de los datos de monitoreo se basan en mediciones de PM_{2.5} frente a otras mediciones de material particulado.

Como contaminante del aire, las PM_{2.5} comprende la masa de partículas que entran al tracto respiratorio externo y llegan al tracto respiratorio interno. Por ello de la necesidad de conocer sus concentración y así los resultados que pueden servir para la investigación en la evidencia epidemiológica.

Efectos principales: efectos perjudiciales para la salud en las exposiciones que experimentan las poblaciones urbanas que viven en ciudades de todo el mundo, en países tanto desarrollados como en desarrollo. Entre los principales efectos negativos para la salud se han reportado los provocados al sistema respiratorio y cardiovascular, los cuales afectan a varios grupos susceptibles dentro de la población general, principalmente niños y ancianos. La evidencia epidemiológica demuestra efectos adversos de las partículas luego de exposiciones tanto de corto como de largo plazo.

Valores Guía: Para este contaminante los valores guías o normas utilizados a partir de este año son los valores de referencia sugeridos por la Organización Mundial de la Salud (2005), que para una medición de 24 horas es de 25 µg/m³ y para un promedio anual es de 10 µg/m³.

Antecedentes: Las partículas totales en suspensión en su fracción respirable (PM_{2.5}) se midieron en el año 2009 en un periodo de seis meses, que van de febrero a julio, como proyecto temporal de tesis de investigación del Laboratorio de Monitoreo del Aire con el apoyo de un Laboratorio Privado. Los principales factores de emisión de partículas para la ciudad son los mismos que el material particulado suspendido PTS y PM₁₀, a diferencia que por su tamaño y dinámica tiende a permanecer más tiempo en el aire. Es por ello de la exigencia e interés epidemiológico que presenta su investigación.

Resultados: a continuación se presenta la tabla y gráfica de los resultados correspondientes a los puntos de muestreo para la Ciudad de Guatemala durante el año 2009.

Tabla No.8

Partículas Totales en Suspensión PM_{2.5} 2009

Unidad de concentración: microgramos/metro cúbico

ESTACION	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	PA
INCAP	54	52	108	115	53	55	73
INSIVUMEH	25	8	52	38	38	17	30
MUSAC	38	81	113	73	100	127	89
USAC	37	46	47	33	45	18	38

nm: No muestreado.

PA: Promedio Anual.

Época seca

Época lluviosa

Valor que sobrepasa el límite sugerido

Gráfico No. 5

Resultados Mensuales PM_{2.5} 2009

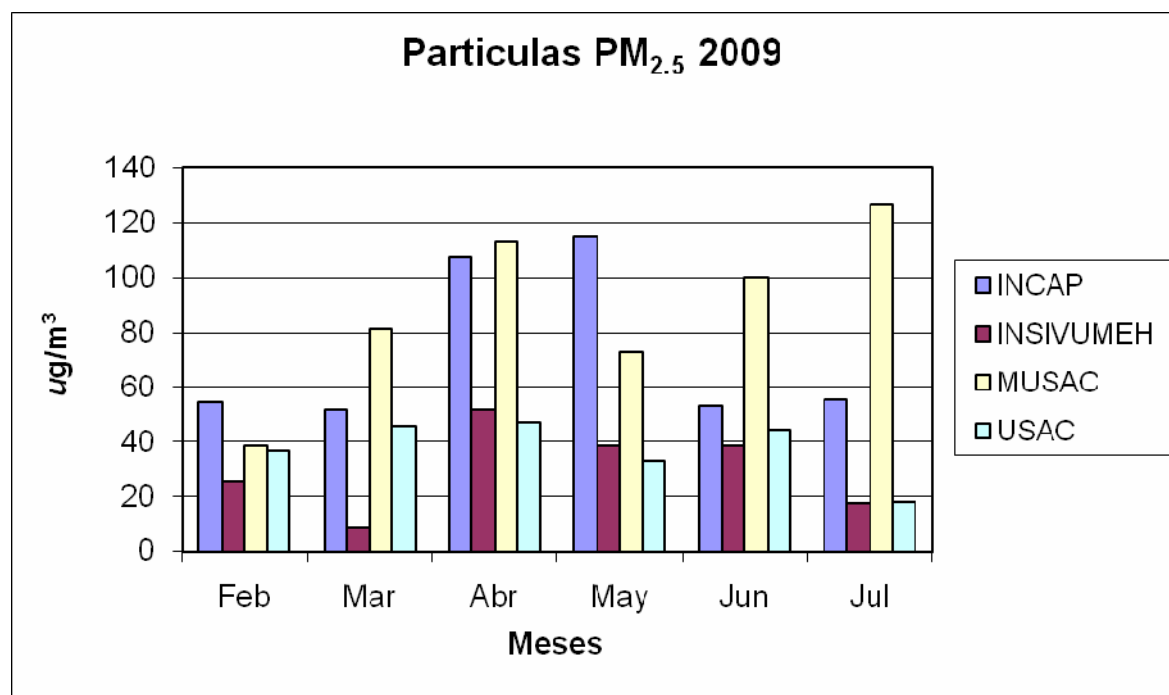


Tabla No.9: Valores máximos y mínimos de resultados de partículas totales en suspensión –PM_{2.5}- para el año 2009:

Punto más contaminado (promedio anual)	MUSAC: 89 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Punto menos contaminado (promedio anual)	INSIVUMEH: 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Medición más alta del año	MUSAC: (Jul) 127 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Medición más baja del año	INSIVUMEH: (Mar) 8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
% de mediciones que sobrepasaron el límite sugerido para medición de 24 horas.	88%

Discusión: El interés por determinar material suspendido más pequeño es el impacto epidemiológico que provoca en una población. Según los resultados obtenidos de esta investigación, se observa en la tabla No. 8 que el punto de muestreo más contaminado es el ubicado en el Centro Histórico, sobrepasando el valor guía anual. La alta presencia de este contaminante en este punto de muestreo nos revela que en lugares encerrados o de bajo flujo de aire, tal es el caso de la ubicación de este punto, dicho contaminante se mantiene presente o suspendido por más tiempo.

Para los resultados obtenidos en el año 2009, en el periodo de medición comprendido del mes de febrero a julio, el 88% de los mismos sobrepasan el valor guía sugerido para medición de 24 horas. Uno de los graves problemas con este tipo de contaminante es que, al igual que las PM₁₀, y algunos contaminantes gaseosos, no son fácilmente observables, pero los daños que causan es sumamente serio, principalmente a nivel del sistema respiratorio del ser humano.

Las principales medidas que se sugieren para disminuir la emisión de partículas PM_{2.5} al ambiente son:

- El control de emisiones vehiculares e industriales.
- La regulación de caleras e industrias que muelan piedra o fabriquen cemento.
- Todas las medidas necesarias para contrarrestar o por lo menos disminuir los incendios forestales.
- Controlar las emisiones provocadas por actividades agrícolas.
- Evitar la quema de basura.
- Asfaltar calles de terracería localizadas en centros urbanos.

Metodología: muestreo de 24 horas con un impactor de bajo volumen. Análisis por método gravimétrico.

7. DIÓXIDO DE NITRÓGENO -NO₂-

El dióxido de nitrógeno es un gas color pardo o rojizo, no inflamable y venenoso. Es un precursor del ozono y la lluvia ácida (al combinarse con el agua del aire forma ácido nítrico el cual puede provocar deposición o lluvia ácida). Se origina principalmente por procesos de combustión de fuentes industriales, doméstica y por transporte.

Efectos principales: Las exposiciones directas pueden incrementar la susceptibilidad a infecciones respiratorias y disminuyen la eficiencia respiratoria y la función pulmonar en asmáticos. Las exposiciones cortas provocan problemas respiratorios principalmente en niños, siendo los síntomas más comunes la tos, resfriados e irritación de garganta. El dióxido de nitrógeno causa daños a bosques y sistemas acuáticos así como a edificios y monumentos históricos. También provoca la corrosión de metales debido a la lluvia ácida.

Valores Guía: Para este contaminante el valor guía sugerido es el valor de referencia de la Organización Mundial de la Salud (OMS, guía 2005) que para un promedio anual es de 40 µg/m³. Es de hacer notar que dicha referencia es la que se considera más apropiada para la metodología utilizada, ya que la misma como tal, no tienen valor de referencia internacional.

Antecedentes: El dióxido de nitrógeno se mide en la Ciudad de Guatemala desde 1995 reportando valores que sobrepasan el límite de referencia, aunque las mediciones más altas se reportaron para 1996 y 1997, actualmente se ha observado cierta tendencia al incremento en la concentración de dicho contaminante.

Resultados: a continuación se presenta la tabla y gráfica de los resultados correspondientes a los puntos de muestreo para la Ciudad de Guatemala durante el año 2009, así como los promedios anuales correspondientes desde 1995.

Tabla No.10

Dióxido de nitrógeno NO₂ 2009

Unidad de concentración: microgramos/metro cúbico

ESTACION	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PA
EFPEM	15	16	18	11	19	44	18	39	Nm	49	Nm	Nm	25
MUSAC	4	8	10	28	12	21	15	21	Nm	31	Nm	Nm	17
INCAP	12	12	15	21	7	25	29	32	Nm	29	Nm	Nm	20
USAC	5	6	13	18	9	13	14	7	14	19	Nm	Nm	12
INSIVUMEH	6	9	9	19	6	11	9	14	Nm	12	Nm	Nm	11
CSAN JUAN	7	19	15	34	21	38	27	32	Nm	37	Nm	Nm	26

Nm: No muestreado

PA: Promedio Anual.

Época seca

Época lluviosa

■ Valor que sobrepasa el límite sugerido

Gráfico No. 6

Resultados Mensuales NO₂ 2009

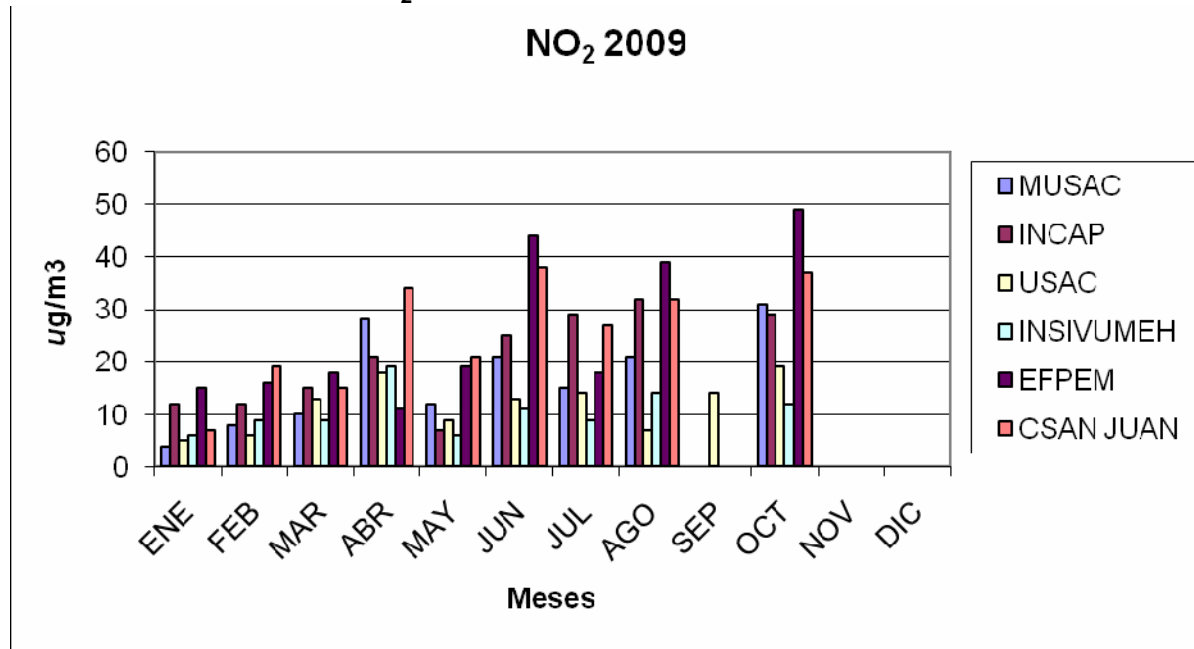


Tabla No.11: Valores máximos y mínimos de resultados de dióxido de nitrógeno –NO₂– para el año 2009:

Punto más contaminado (promedio anual)	Calz. San Juan: 26 µg/m ³
Punto menos contaminado (promedio anual)	INSIVUMEH: 11 µg/m ³
Medición más alta del año	EFPEM: (oct) 49 µg/m ³
Medición más baja del año	MUSAC: (Ene) 4 µg/m ³
% de mediciones que sobrepasaron el límite sugerido	4 %

Tabla No.12 Resultados de promedio anual para NO₂ 1995-2009

ESTACION/AÑO	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
MUSAC	46	54	46	42	56	38	39	25	34	30	31	28	25	37	17
INCAP	56	63	88	48	82	60	43	38	35	41	41	41	38	38	20
USAC	20	25	33	23	23	16	20	21	27	22	31	17	20	19	12
INSIVUMEH	NM	NM	36	26	29	19	20	17	23	23	24	21	19	21	11
EFPEM	55	60	87	49	52	39	36	38	47	45	46	45	36	32	25
C.SAN JUAN	52	52	76	43	49	35	38	39	44	40	47	43	37	41	26

*2005: de enero a junio.

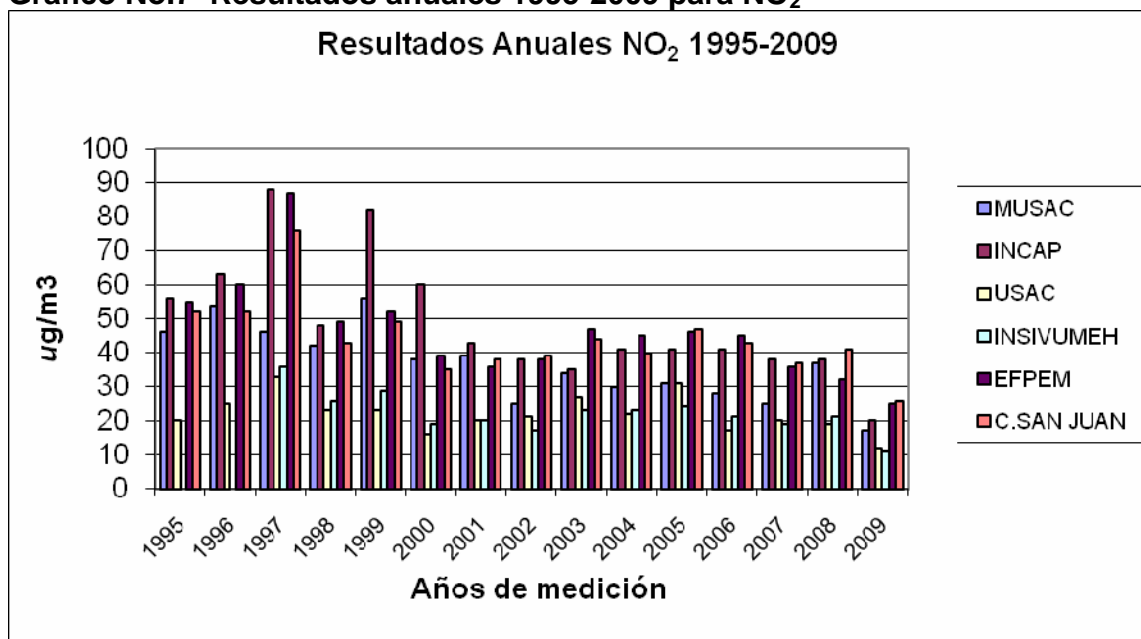
**en el 2002 se cambio el sitio del trébol al INCAP

Nota: Para la USAC se midió a micro escala de 1995 a 1999, y a macro escala a partir del año 2000.

NM: no muestreado.

■ Valor que sobrepasa el límite sugerido

Gráfico No.7 Resultados anuales 1995-2009 para NO₂



Discusión: Al igual que en años anteriores, los puntos localizados en las zonas de alto tráfico vehicular mostraron los resultados más elevados respecto a este contaminante, siendo el punto localizado en el área de la Calzada San Juan. Ninguno de los puntos de muestreo sobrepasó el límite de referencia (40 µg/m³ para promedio anual). Los puntos localizados en la USAC y en el INSIVUMEH son los que presentan los valores más bajos en promedio anual. A pesar que en promedio anual no rebasan los puntos de muestreo el límite sugerido, el problema radica en las exposiciones a corto y largo plazo para este gas, ya que se constituye en un motivo de riesgo para la salud de las personas, animales y vegetación expuesta a dicho contaminante.

El dióxido de nitrógeno puede reaccionar con la humedad del aire y dependiendo de las condiciones meteorológicas predominantes, convertirse en un componente de la lluvia ácida.

Las principales medidas que se sugieren para disminuir la emisión de dióxido de nitrógeno al ambiente son el control de emisiones vehiculares e industriales, siendo la principal fuente de emisión la debida al parque automotor, lo cual se puede comprobar en la estación de muestreo localizada en el INCAP, Calzada San Juan y EFPEM, las cuales presentaron los promedios anuales más altos, y en donde circulan una gran cantidad de vehículos. También se sugiere implementar todas las medidas necesarias para contrarrestar o por lo menos disminuir los incendios forestales y la quema de basura. En la estación del INCAP se puede considerar que parte de los contaminantes detectados se emiten por la actividad del basurero de la zona 3.

Metodología: muestreo de 1 mes por difusión pasiva. Análisis por método espectrofotométrico.

8. DIOXIDO DE AZUFRE –SO₂–

Gas incoloro e irritante que se origina principalmente en los procesos de combustión industrial y de transporte cuando se utilizan combustibles con contenidos significativos de azufre. Naturalmente se producen por erupciones volcánicas. El dióxido de azufre reacciona rápidamente con el agua para formar ácido sulfúrico, componente de la lluvia ácida.

Efectos principales: en la respiración, afecciones respiratoria, debilitamiento de las defensas pulmonares, agravamiento de enfermedades respiratorias y cardiovasculares ya existentes, en altas concentraciones puede provocar la muerte. Al combinarse con el agua y formar lluvia ácida produce decoloración de las plantas y daños a materiales.

Valores Guía: Para este contaminante los valores guías o normas utilizados son los valores de referencia de la Organización Mundial de la Salud (guía 2005) que para una medición de 24 horas es de 20 µg/m³.

Antecedentes: El dióxido de azufre se ha medido en limitadas ocasiones como proyectos temporales del Laboratorio de Monitoreo del Aire, por ejemplo en el año 1997, de donde se obtuvieron valores relativamente bajos en los puntos de muestreo correspondientes. Los principales factores de emisión de dióxido de azufre para la ciudad son el parque automotor diesel y las actividades industriales que utilizan como combustible diesel y bunker.

Resultados: a continuación se presenta la tabla y gráfica de los resultados correspondientes a los puntos de muestreo para la Ciudad de Guatemala durante el año 2009.

Tabla No.13

Dióxido de azufre SO₂ 2009

Unidad de concentración: microgramos/metro cúbico

ESTACION	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PA
MUSAC	35	1	15	4	Nd	65	43	9	Nm	11	7	nm	21
INCAP	54	15	18	63	57	40	49	15	Nm	12	23	nm	31
USAC	22	9	5	2	Nd	6	8	6	7	6	8	nm	8

Nm: No muestreado

Nd: No detectado

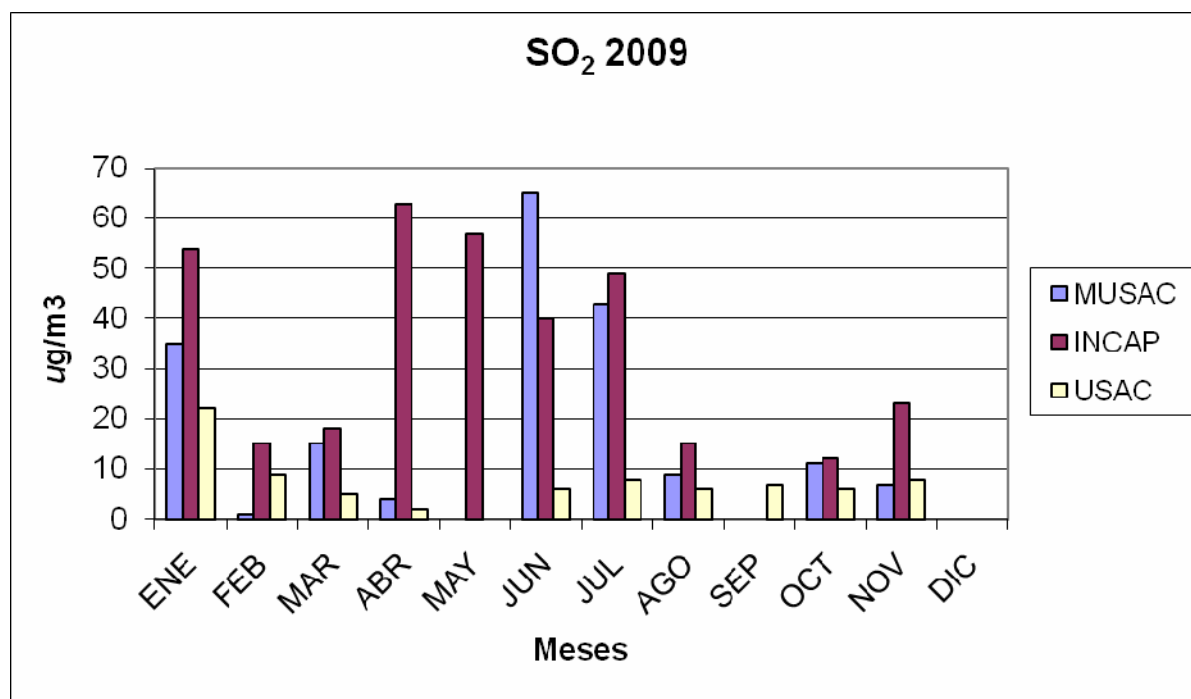
PA: Promedio Anual.

Época seca

Época lluviosa

Valor que sobrepasa el límite sugerido

Gráfica No.8 Resultados Mensuales SO₂ 2009



Los puntos que se encuentran sobre el eje x son meses no muestreados o mediciones en las que no se detectó al contaminante.

Tabla No.14: Valores máximos y mínimos de resultados de –SO₂- para el año 2009:

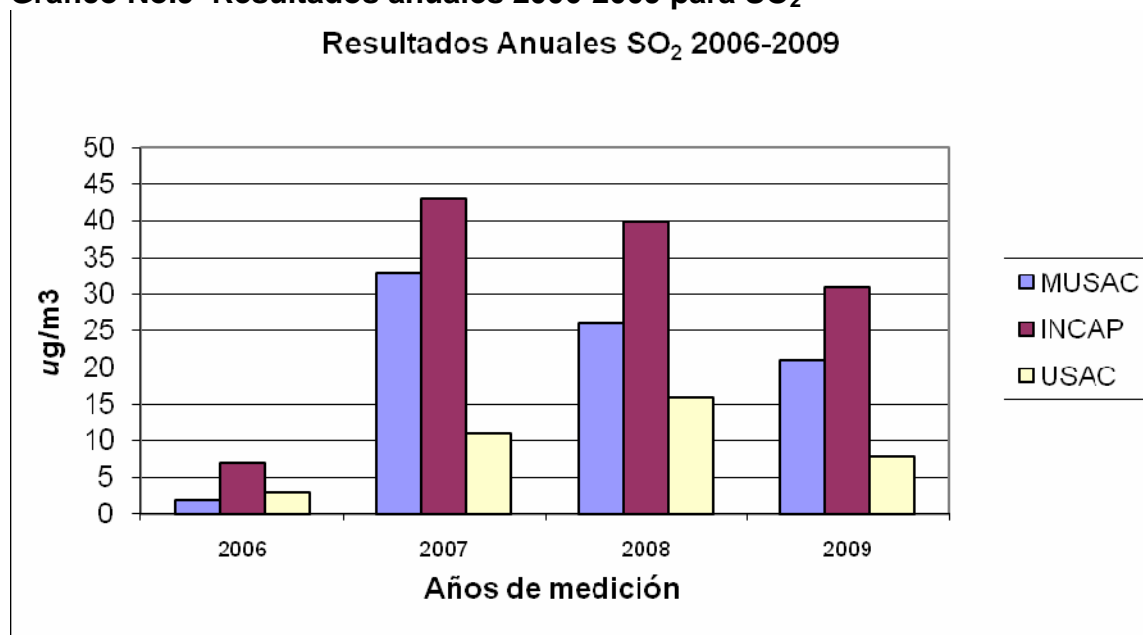
Punto más contaminado (promedio anual)	INCAP: 31 µg/m ³
Punto menos contaminado (promedio anual)	USAC : 8 µg/m ³
Medición más alta del año	MUSAC: (Jun) 65 µg/m ³
Medición más baja del año	MUSAC: (Feb) 1 µg/m ³
% de mediciones que sobrepasaron el límite sugerido para medición de 24 horas.	42 %

Tabla No.15 Resultados de promedio anual para SO₂ 2006-2009

ESTACION/AÑO	2006	2007	2008	2009
MUSAC	2	33	26	21
INCAP	7	43	40	31
USAC	3	11	16	8

■ Valor que sobrepasa el límite sugerido

Gráfico No.9 Resultados anuales 2006-2009 para SO₂



Discusión: Tomando en cuenta los valores de referencia sugeridos por la Organización Mundial de la Salud (2005), se puede observar en la tabla No.11 que varios puntos sobrepasaron dicho límite, lo cual puede constituirse en un indicativo de deterioro de la calidad del aire en el sector, debido a la presencia de dióxido de azufre. En los valores de promedio anual se observa que el punto del INCAP resultó con los valores más altos en comparación con los otros dos puntos de muestreo, observándose también una diferencia importante en relación con los resultados obtenidos en el año 2006, referente al incremento de la concentración determinada para dicho contaminante.

Al igual que el dióxido de nitrógeno, este gas puede reaccionar con la humedad del ambiente y pasar a formar parte de lluvia ácida. Se sugieren las siguientes medidas para el control de dicho contaminante:

- El control de emisiones vehiculares e industriales.
- Una regulación más estricta en lo referente a la cantidad de azufre en los combustibles.
- Evitar la quema de llantas y cualquier otro material que contenga azufre.

Metodología: Muestreo de 24 horas por difusión activa. Análisis por método espectrofotométrico (Método de la pararosanilina).

9. LLUVIA ÁCIDA

La deposición ácida también recibe el nombre de lluvia ácida y se origina cuando se liberan a las atmósferas contaminantes gaseosos como el dióxido de azufre y el dióxido de nitrógeno, los cuales al reaccionar con el agua del ambiente forman ácido sulfúrico y ácido nítrico respectivamente.

Efectos principales: La lluvia ácida causa Irritación de ojos, piel y tracto respiratorio, agrava las enfermedades respiratorias. Causa corrosión en los metales y deterioro en monumentos históricos. Provoca lesiones en las hojas de las plantas y limita su crecimiento, tornándolas de un color amarillento.

Valores Guía: Se considera lluvia ácida cuando el valor de pH es menor a 5.25 o cuando el cambio en el valor de pH es mayor a 1.75 unidades tendientes a la región ácida.

Antecedentes: la deposición ácida se ha medido esporádicamente desde 1995 únicamente en la estación de muestreo localizada en la Avenida Petapa, observándose un comportamiento más o menos constante dentro del límite de referencia. A partir del año 2006 se continuó con la medición de lluvia ácida en diferentes puntos de muestreo de la Ciudad de Guatemala, siendo los resultados los siguientes:

Tabla No.16 Resultados mensuales de Lluvia ácida para 2009.

Unidad de medida: Cambio en unidades de pH.

ESTACION	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
MUSAC	0.79	0.21	0.45	2.42	0.41	0.64	0.90	1.90	Nm	0.48	0.51	nm
INCAP	0.80	0.16	0.53	2.82	0.55	0.48	0.76	1.54	Nm	0.53	0.54	nm
USAC	2.83	0.02	2.99	3.02	-0.85	0.04	-1.03	0.75	0.19	0.45	0.43	nm
INSIVUMEH	0.84	0.09	0.04	3.05	0.24	1.01	1.26	1.85	Nm	0.51	-1.48	nm

nm: No muestreado.

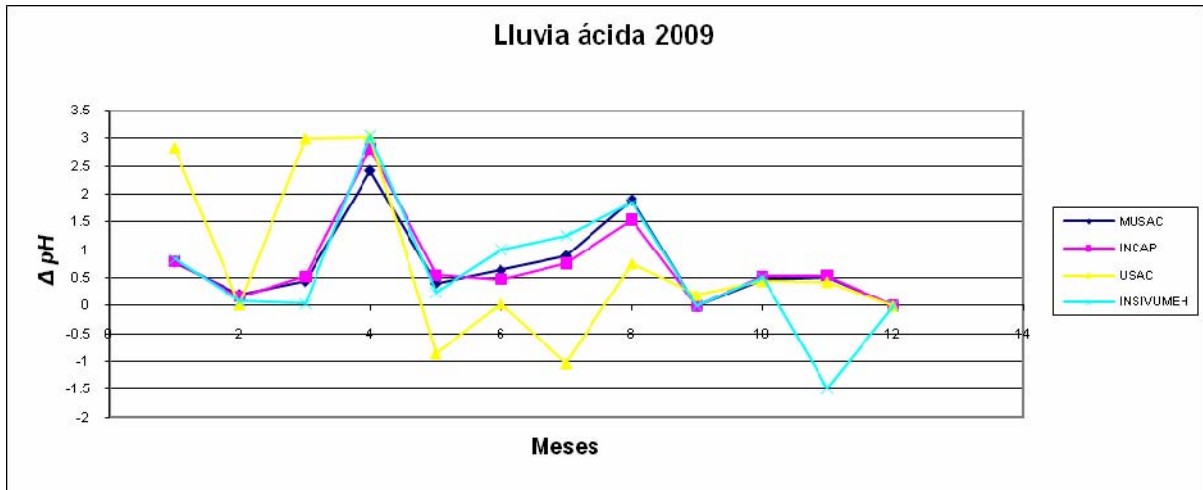
Época seca

Época lluviosa

Valor que sobrepasa el límite sugerido

Valores negativos indican aumento en la basicidad.

Gráfico No.10 Resultados de Lluvia ácida para el 2009.



Discusión: Como se puede observar en la tabla No.16, del total de mediciones, 8 resultaron con valores positivos para lluvia ácida, principalmente en los meses de abril y agosto para casi todos los puntos de muestreo, lo cual es un indicativo de que en ciertas épocas del año existe lluvia ácida en dichos puntos. Lo anterior significa que existe emisión significativa de óxidos de nitrógeno y óxidos de azufre, los cuales son los precursores de la lluvia ácida. Estos resultados son un indicativo importante para confirmar el deterioro de la calidad del aire en la ciudad, siendo un llamado de atención para implementar a la brevedad posible las medidas necesarias (políticas, técnicas y culturales) para mitigar y controlar la emisión de contaminantes al aire. Para disminuir o controlar la lluvia ácida se deben considerar las sugerencias indicadas para el contaminante dióxido de nitrógeno y el contaminante dióxido de azufre.

Metodología: Muestreo de 15 días por deposición húmeda. Análisis por método potenciométrico.

10. CONCLUSIONES

- Existe contaminación del aire en los puntos muestreados en la Ciudad de Guatemala debido a la detección de todos los contaminantes estudiados, obteniendo resultados que sobrepasan los límites de referencia sugeridos.
- Los contaminante de mayor presencia en las estaciones muestreadas para la Ciudad de Guatemala fueron las partículas totales en suspensión en su fracción PM_{10} - y el dióxido de azufre SO_2 -, parámetros que rebasan los valores guías anuales sugeridos. Dichos contaminantes pueden provocar daños al sistema respiratorio, entre otras afecciones.
- El contaminante de mayor presencia con fines de investigación que se determinó en un periodo de seis meses durante el año, fue las partículas totales en suspensión en su fracción $\text{PM}_{2.5}$ -, parámetro que debe de implementarse de inmediato para su medición y ampliar la investigación.
- La cantidad de partículas PM_{10} y $\text{PM}_{2.5}$ rebasa los promedios anuales sugeridos para algunas estaciones de muestreo, lo cual representan un riesgo para la salud de los habitantes de los alrededores de los puntos de muestreo.
- Los valores positivos de lluvia ácida son un indicativo de la emisión de óxidos de nitrógeno y azufre así como de un deterioro significativo de la calidad del aire en los puntos de muestreo.
- Las estaciones de muestreo que presentaron mayor grado de contaminación fueron las localizadas cerca de vías con gran cantidad de tráfico vehicular.
- La época seca que se presentó durante el año, presenta valores de contaminación más altos para algunos contaminantes, con respecto a la época lluviosa en los puntos muestreados.

11. RECOMENDACIONES

- Continuar con el monitoreo de la calidad del aire en la Ciudad de Guatemala.
- **Implementar el Reglamento de Control de Emisiones de fuentes móviles y fijas en todo el país.**
- **Incentivar e implementar cambios a nivel político, técnico y cultural, que propicien el cuidado de la calidad del aire por parte de todos los guatemaltecos.**
- Implementar normativa armonizada para la región centroamericana.
- Implementar tecnología de monitoreo automático para medir con más periodicidad los contaminantes que hasta la fecha se han estudiado e implementar la medición de otros contaminantes que pueden tener efectos negativos en la calidad de vida de los guatemaltecos.
- Implementar la medición de hidrocarburos en la Ciudad de Guatemala ya que es un grupo de contaminantes principales que pueden deteriorar la calidad del aire.
- Implementar el monitoreo de la calidad del aire en las principales ciudades del interior de la República.
- Implementar el Sistema de Vigilancia de Calidad del Aire –SIVICA-.
- Divulgar por todos los medios posibles estos resultados, para que la población en general conozca y tome responsabilidad respecto a la contaminación del aire, así como lograr que las autoridades correspondientes puedan tomar las medidas de previsión y corrección que permitan en un futuro cercano minimizar el deterioro de la calidad del aire en nuestra ciudad.
- Trabajar en forma conjunta con organizaciones afines en la propuesta de soluciones a este problema.

12. REFERENCIAS

- Alfaro, Rosario. Alvarado, Thelma. Manual de Laboratorio para determinar Emisiones Vehiculares en el ambiente. Swisscontact/ProEco. San Salvador. Agosto. 1998.
- Alvarado, Thelma. et.al. Informe anual 1995, 1996, 1997, 1998 y 1999 de Monitoreo del Aire en Ciudad de Guatemala. Laboratorio de Monitoreo del Aire, Escuela de Química. Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia. Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Alley, Roberts & Associates, Inc. Manual de Control de la Calidad del Aire. McGraw-Hill. México,D.F. 2002.
- De Nevers, Noel. Ingeniería de Control de la Contaminación del Aire. McGraw-Hill. México. 1997.
- Diagnóstico de la Normativa Técnica sobre Calidad del Aire en Centro América. Serie Política Ambiental. Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo (CCAD). San Salvador. Enero 2007.
- Martínez, Ana Patricia. Introducción al Monitoreo Atmosférico. ECO/OPS. México, D.F. 1997.
- Liu. David. Liptak, Béla. Air Pollution. CRC Press LLC. USA. 2000.
- Oliva, Pablo. et.al. Informe anual 2000, 2001, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006, 2007 y 2008 de Monitoreo del Aire en Ciudad de Guatemala. Laboratorio de Monitoreo del Aire, Escuela de Química. Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia. Universidad de San Carlos de Guatemala.
- OMS. Guías de Calidad del Aire. Actualización Mundial 2005. Organización Mundial de la Salud. Organización Panamericana de Salud. 2005.
- Rivas, Olga; Guzmán, José. Apuntes de Legislación Ambiental e Instrumentos Técnicos Ambientales. Guatemala. 2005.