

## MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES INFORME DE CALIDAD DEL AIRE DEL ÁREA METROPOLITANA DE SAN SALVADOR

DICIEMBRE 2009 MÁS CONTAMINADO QUE DICIEMBRE 2008

Elaborado por:

Alberto Fabián Aguilar, Pablo Ayala Montenegro

El Ministerio del Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN), emite el informe de contaminación atmosférica por partículas para el mes de Diciembre 2008 comparada con Diciembre 2009 en el Área Metropolitana de San Salvador (AMSS).

### 1. INFORMACIÓN GENERAL DE CONTAMINACIÓN POR PARTÍCULAS EN EL AIRE

El material particulado (PM), también llamado contaminación por partículas, es un término general que se refiere a las partículas diminutas y gotitas finas de líquido presentes en la atmósfera. Estas se pueden dividir en :

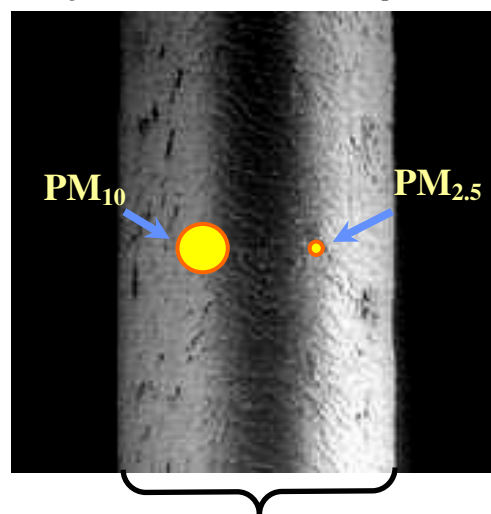
- PTS: Partículas Totales Suspendidas: Se refiere a la medición del total de partículas en el ambiente. Estas partículas son retenidas en su mayor parte en las fosas nasales.
- PM<sub>10</sub> (partículas gruesas): Son aquellas partículas menores a un diámetro de 10 micrómetros pueden llegar hasta la tráquea.
- PM<sub>2.5</sub> (partículas finas): Son aquellas partículas menores a un diámetro de 2.5 micrómetros pueden llegar hasta los pulmones.

En la figura 1, se puede observar la relación de tamaño de las partículas PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>, comparadas entre sí y con el diámetro de un cabello humano.

La exposición a la contaminación por partículas representa un peligro a la salud pública. Al ser inhalada, las partículas pueden introducirse hasta el fondo de los pulmones y ocasionar o bien agravar las enfermedades cardíacas y pulmonares.

**Los efectos a la salud provocados por el material particulado, a corto y largo plazo,** se muestran en la Tabla 1, en correspondencia con la Norma de Calidad del Aire, se podría vincular los efectos a corto plazo con el incumplimiento de la norma de 24 horas, mientras que los efectos a largo plazo se pueden generar con el incumplimiento de la norma anual.

Figura 1. Relación de tamaño de partículas



Cabello Humano (60 micrómetros de diámetro)

Tabla 1. Efectos a corto y largo plazo del material particulado en la salud.

Efectos sobre los pulmones	Efectos sobre el corazón
<b>Efectos de la exposición a corto plazo (aguda):</b>	
Tos	Arritmia
Dificultad para respirar	Infartos menores
Apretazón del pecho	
Irritación de los ojos	
<b>Efectos de la exposición a largo plazo (crónica):</b>	
Pérdida de capacidad pulmonar	Agravación de las enfermedades cardíacas existentes
Desarrollo de enfermedades respiratorias infantiles	Muerte precoz de las personas que padecen de enfermedades cardíacas
Agravación de las enfermedades respiratorias existentes	
Muerte precoz de las personas que padecen de enfermedades pulmonares	

La Norma Salvadoreña Obligatoria Calidad del Aire Ambiental, Inmisiones Atmosféricas (NSO 13.11.01:01) establece los límites de concentración de partículas en el ambiente, tanto para corto plazo (24 horas), como para largo plazo (Anual), los cuales se muestran en la tabla 2.

Tabla 2. Límites de calidad del aire para partículas PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>

Contaminante	Símbolo	Unidad de concentración	Límite de inmisión	Período de medición
Partículas inhalables	PM <sub>10</sub>	µg/Nm <sup>3</sup>	50	Anual
			150	24 horas
	PM <sub>2.5</sub>	µg/Nm <sup>3</sup>	15	Anual
			65	24 horas

Debido a que el período de análisis es de un mes, no se considera el valor de exposición a largo plazo, al no ser comparable con la norma anual, únicamente se comparan los resultados diarios con el límite de exposición para 24 horas, entre los que se encuentran los eventos de quema de pólvora para el 24 y 31 de Diciembre.

Adicionalmente, en la tabla 3 se muestran los valores Guías de Calidad del Aire (GCA) de la Organización Mundial de la Salud (OMS) para material particulado, para períodos de exposición a corto plazo, para obtener información adicional referida al riesgo de aumento de la mortalidad por la contaminación atmosférica. Se coloca un color de referencia asociado a cada Objetivo para poder interpretar mejor los resultados diarios.

Tabla 3. Valores guía de la OMS para el material particulado. Corto Plazo

Nivel de la medida de 24 horas	Color referencia	PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	PM <sub>2.5</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	Fundamento del nivel escogido
Objetivo intermedio-1 (OI-1) de la OMS		150	75	Basado en coeficientes de riesgo publicados en estudios multicéntricos y metaanálisis (incremento de alrededor de 5% de mortalidad a corto plazo sobre las GCA)
Objetivo Intermedio-2 (OI-2) de la OMS		100	50	Basado en coeficientes de riesgo publicados en estudios multicéntricos y metaanálisis (incremento de alrededor de 2,5% de mortalidad a corto plazo sobre las GCA)
Objetivo Intermedio-3 (OI-3) de la OMS		75	35,5	(Incremento de alrededor de 1,2% de mortalidad a corto plazo sobre las GCA)
Guías de Calidad del Aire de la OMS (GCA)		50	25	Basado en la relación entre niveles de 24 horas y anuales de PM

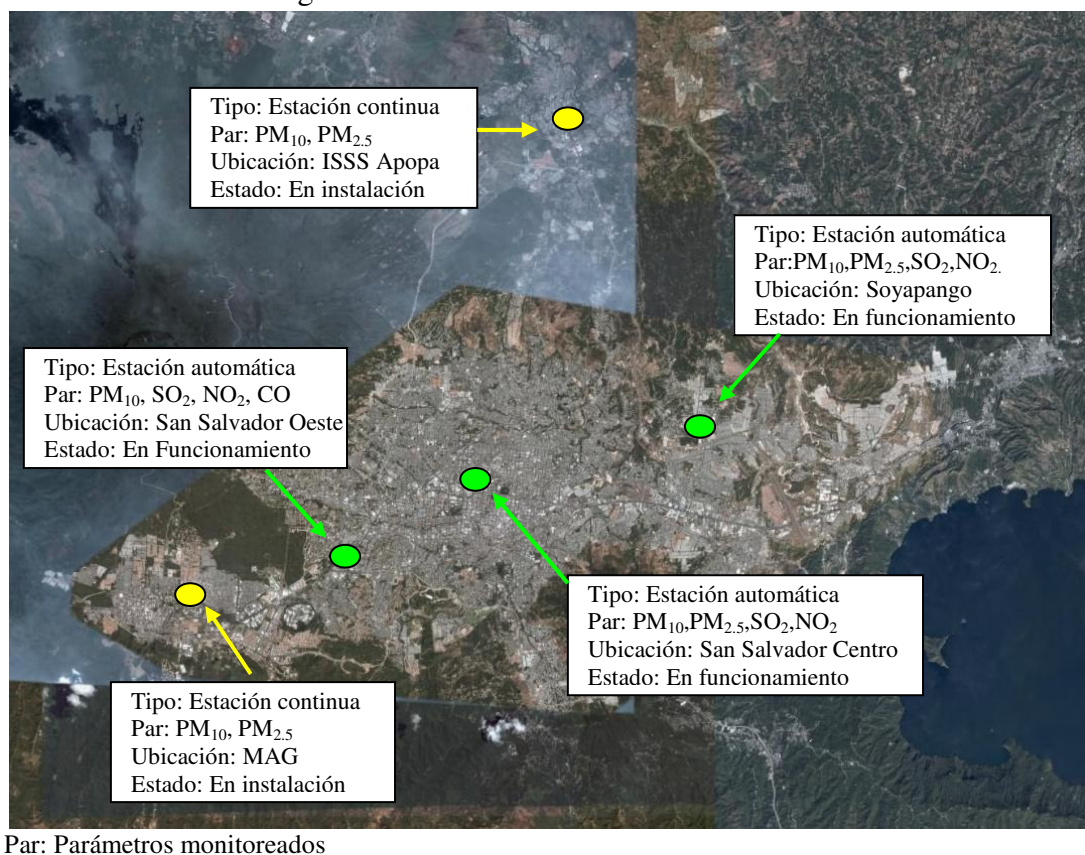
## 2. RED DE MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AIRE EN EL ÁREA METROPOLITANA DE SAN SALVADOR (REDCA).

El Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN) ha implementado desde 2008 la Red de Monitoreo de Calidad del Aire (REDCA) para el Área Metropolitana de San Salvador (AMSS), la cual ha sido diseñada a partir del estudio “Diagnóstico de la Calidad del Aire, Levantamiento de Fuentes Contaminantes y Diseño de Red de Monitoreo”, elaborado por EuroLatina en 2006.

Actualmente, se tienen tres estaciones de monitoreo automático en las zonas de San Salvador Centro (Asamblea Legislativa), en Soyapango (Universidad Don Bosco) y en San Salvador Oeste (Comando de Doctrina y Educación Militar), de las cuales, las primeras dos estaciones monitorean cada hora los parámetros de Partículas Menores a 10 micrómetros ( $PM_{10}$ ), Partículas Menores a 2.5 micrómetros ( $PM_{2.5}$ ), Dióxido de Azufre ( $SO_2$ ) y Óxidos de Nitrógeno ( $NO_2$ ), y en San Salvador Oeste se monitorea  $PM_{10}$ ,  $SO_2$ ,  $NO_2$  y Monóxido de Carbono (CO). Adicionalmente, se encuentran en proceso de instalación dos estaciones manuales para el monitoreo de  $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$  en Santa Tecla, en las instalaciones del Ministerio de Agricultura (MAG) y en Apopa, en la Clínica del Instituto Salvadoreño del Seguro Social (ISSS). El detalle de la ubicación y los parámetros de muestreo se presenta en la Figura 2.

El informe muestra únicamente los resultados del monitoreo de partículas ( $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$ ) debido a que es necesario validar los resultados del monitoreo de gases. En todo caso, estudios previos<sup>1</sup> han demostrado que el contaminante prioritario para el AMSS es el material particulado.

Figura 2. Distribución actual de la REDCA



<sup>1</sup> Eurolatina, Levantamiento Inventario Emisiones, Diagnóstico Calidad Aire, Diseño Red Monitoreo, 2006

### 3. CONTAMINACIÓN POR PARTÍCULAS EN EL ÁREA METROPOLITANA DE SAN SALVADOR EN LOS MESES DE DICIEMBRE 2008 Y DICIEMBRE 2009

#### 3.1 Contaminación por Partículas Menores a 2.5 micrometros (PM<sub>2.5</sub>)

En la gráfica 1, se muestran los resultados de la concentración promedio diarios de PM<sub>2.5</sub> para la zona de Soyapango y San Salvador Centro, en el período de Diciembre de 2008 e inicio de Enero 2009. En este período ningún valor sobrepasa la norma de 24 horas para PM<sub>2.5</sub> (65 µg/m<sup>3</sup>).

Al comparar los promedios diarios de PM<sub>2.5</sub> con los valores GCA de la OMS (Marcados por las barras de colores verde, amarillo, naranja, rojo y gris) se observa que en diciembre de 2008, las zonas de Soyapango y San Salvador Centro tienen una tendencia similar, manteniéndose en la mayoría de casos bajo el valor GCA de la OMS, excepto en días particulares que alcanza el OI-2 /OI-3, siendo estos días los 1, 10, 15, 24 y 25 de Diciembre de 2008 y los primeros días de enero de 2009.

En la gráfica 2, se muestran los resultados de la concentración promedio diarios de PM<sub>2.5</sub> para la zona de Soyapango y San Salvador Centro, en el período de Diciembre de 2009 e inicio de Enero 2010. Al comparar los resultados con la norma de 24 horas para PM<sub>2.5</sub> (65 µg/m<sup>3</sup>) se observa que se supera el límite el día 25 de Diciembre de 2009 en la zona de Soyapango y el 1 de enero de 2010 en Soyapango y San Salvador Centro.

Haciendo un análisis de Promedios Rodantes<sup>1</sup> (Rolling Average), para la zona de Soyapango se supera la norma por 26 horas continuas, entre la 1:00 am del 25 de diciembre de 2009 y las 2:00 am del 26 de diciembre de 2009, además de 25 horas continuas, entre la 1:00 a.m. del 01 de enero de 2010 y la 1:00 a.m. del 02 de enero de 2010. En la zona de San Salvador Centro se supera la norma por 23 horas continuas, entre las 2:00 a.m. del 01 de enero de 2010 y las 0:00 a.m. del 02 de enero de 2010.

Al comparar los promedios diarios de PM<sub>2.5</sub> con los valores GCA de la OMS se observa que la concentración del 25 de diciembre de 2009 y el 1 de enero de 2010 superó los Objetivos Intermedios de la OMS, por lo que ya se considera un valor fuera de referencia. Sin embargo, los resultados del 25 de diciembre de 2009 para San Salvador Centro y para las fechas 27 de diciembre de 2009 y 31 de diciembre de 2009 en la estación de Soyapango se encuentran valores de OI-1 de la OMS, que podría significar un aumento de 5% de mortalidad a corto plazo sobre las GCA.

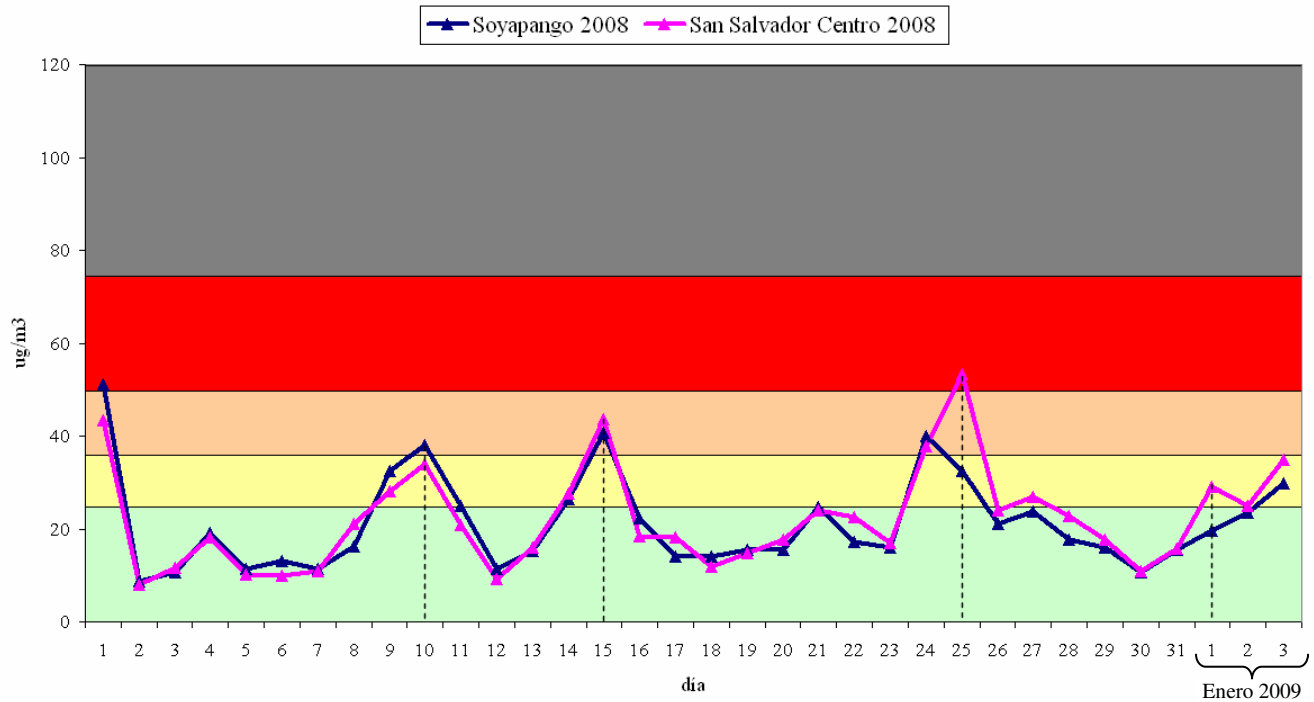
Adicionalmente, se puede observar que entre las estaciones de monitoreo existe una tendencia similar en las concentraciones para 2009, excepto en el pico del 24 de diciembre de 2009, marcado por una etapa en que se encuentran entre el OI-3 y el OI-2 en los primeros días de Diciembre 2009, que finaliza el 18 de diciembre de 2009, a partir de donde se observa un descenso a concentraciones que se encuentran dentro del valor GCA de la OMS, con aumentos a partir del 22 de diciembre de 2009, teniendo una concentración máxima el 25 de diciembre de 2009, bajando en los días posteriores y aumentando de nuevo para el 01 de enero de 2010.

Al realizar una comparación de los resultados de cada año, se observa que 90% de los casos las concentraciones promedio diarias de 2008 son inferiores a las de 2009.

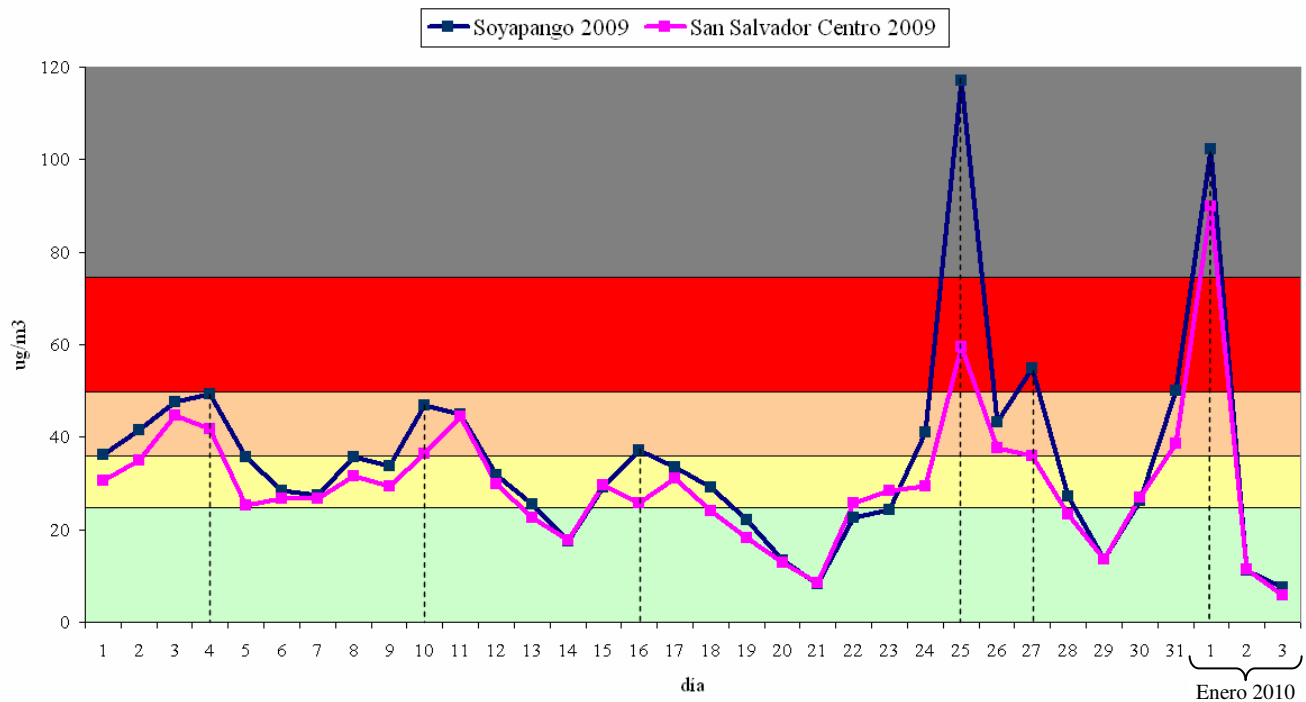
---

<sup>1</sup> **Promedios Rodantes** (Rolling Average): Es un promedio de cierta cantidad de periodos (días, meses, años, etc.), en este caso de 24 horas, que se calcula al fin de cada periodo incluyendo el último y eliminando el más antiguo.

Gráfica 1. Concentración diaria de PM<sub>2.5</sub> para Diciembre 2008 en el AMSS



Gráfica 2. Concentración diaria de PM<sub>2.5</sub> para Diciembre 2009 en el AMSS



>75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Arriba de los Objetivos intermedios de la OMS	No se tiene referencia del aumento de mortalidad.
75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Objetivo intermedio-1 (OI-1) de la OMS	Aumento de 5% de mortalidad a corto plazo sobre las GCA
50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Objetivo Intermedio-2 (OI-2) de la OMS	Aumento de 2,5% de mortalidad a corto plazo sobre las GCA
35.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Objetivo Intermedio-3 (OI-3) de la OMS	Aumento de 1,2% de mortalidad a corto plazo sobre las GCA
25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Guía de Calidad del Aire de la OMS (GCA)	

### 3.2 Contaminación por Partículas Menores a 10 micrometros (PM<sub>10</sub>)

En las gráficas 3 y 4 se muestran los resultados de la concentración promedio diario de PM<sub>10</sub> para las zonas de Soyapango, San Salvador Centro y San Salvador Oeste, en el período de diciembre de 2008-Inicio de enero 2009 y diciembre de 2009-Inicio de enero 2010, respectivamente. Se incluyen los primeros tres días del mes de enero del siguiente mes, para poder establecer la tendencia de la quema de pólvora que inicia el 31 de diciembre de cada año.

Comparando los resultados promedios diarios de PM<sub>10</sub> con la norma de 24 horas (150 µg/m<sup>3</sup>), se observa que todos los valores se encuentran bajo la misma, siendo el valor más cercano el obtenido el 25 de diciembre de 2009 en la zona de Soyapango, con una concentración de 137 µg/m<sup>3</sup>, que es el 91% del valor límite.

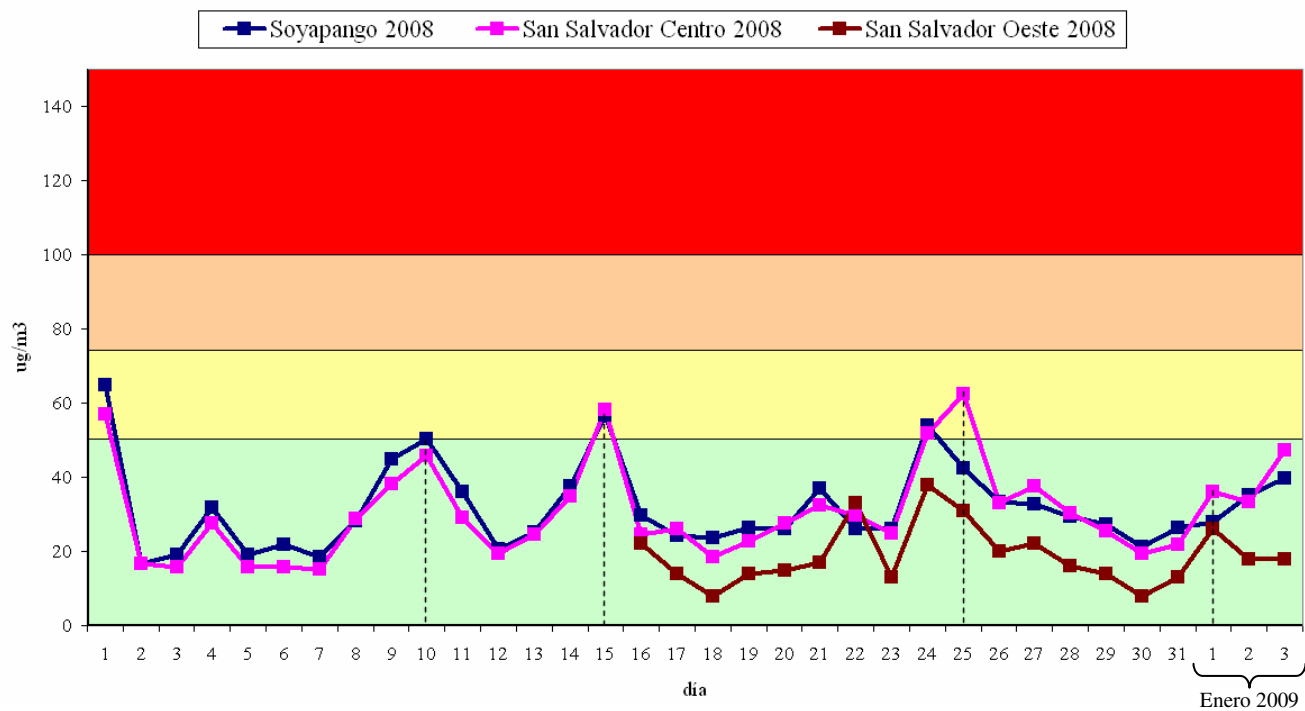
Al comparar los promedios diarios de PM<sub>10</sub> con los valores GCA de la OMS (Marcados por las barras de colores verde, amarillo, naranja y rojo) se observa que la concentración del 25 de diciembre de 2009 para Soyapango y del 01 de enero de 2010 para Soyapango y San Salvador Centro, se encuentran en el Objetivo intermedio-1 (OI-1) de la OMS, que significa que puede aumentar el 5% de mortalidad a corto plazo sobre las GCA; ningún resultado se encuentra en el Objetivo Intermedio-2 (OI-2) de la OMS, el resto se encuentra en el rango de la GCA y el Objetivo Intermedio-3 (OI-3) de la OMS.

Se observa que tanto en Diciembre 2008, como en Diciembre 2009, la tendencia de contaminación es la misma al comparar las tres estaciones, siendo interesante observar que para 2008, la primera mitad del mes fue bastante aleatoria, sin embargo, para la segunda mitad se mantuvo más o menos constante, en valores menores a 40 µg/m<sup>3</sup>, lo que puede estar relacionado a la disminución de la actividad de movilidad en el AMSS por vacaciones, que es interrumpida el 24 y 25 de diciembre, que son las fechas de quema de pólvora.

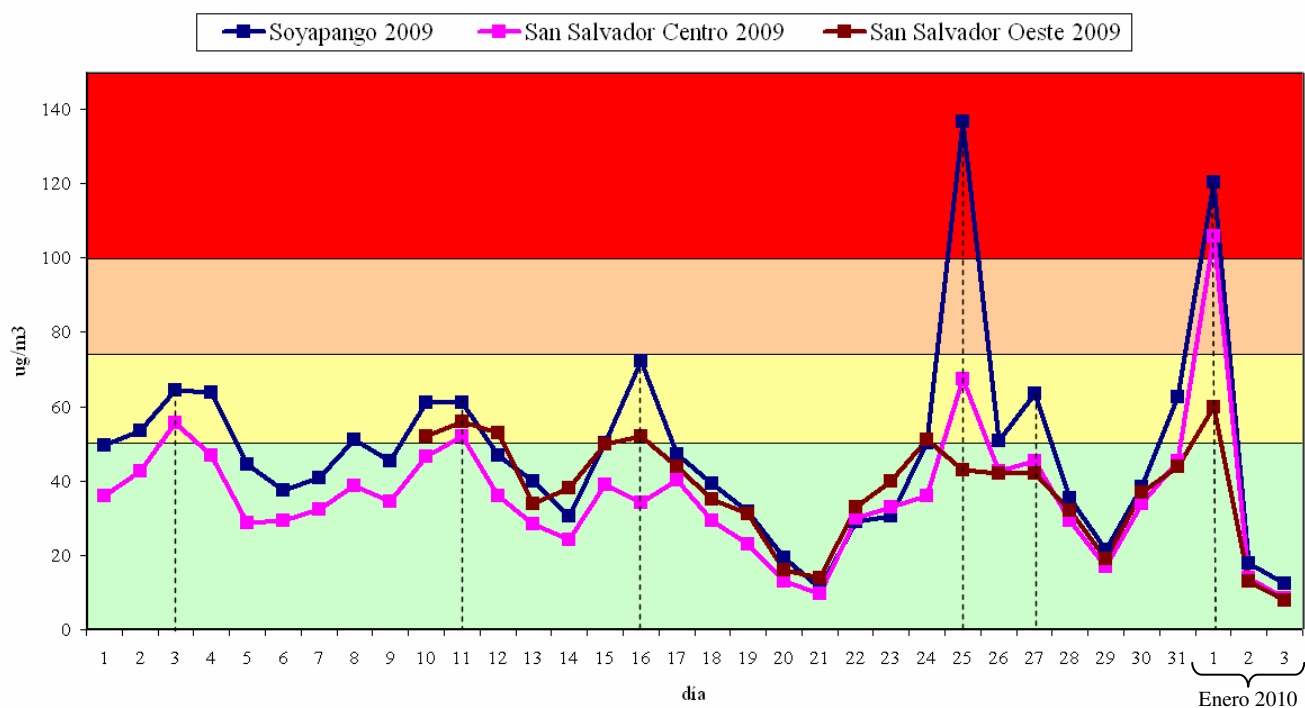
Mientras que en Diciembre de 2009, se observa una mayor variación en todo el mes, teniendo una influencia notable la actividad de quema de pólvora en las zonas de Soyapango y San Salvador Centro, teniendo el 25 de diciembre de 2009, concentraciones que representan el 285% y 191% respectivamente, del promedio mensual de diciembre de 2009; mientras que para el 01 de enero de 2010, se tienen concentraciones que representan el 250% y 269%. De la misma forma se observan importantes disminuciones en las tres estaciones previas al 25 de diciembre de 2009 y posteriores a esta fecha.

Al comparar la calidad del aire, se observa que las concentraciones fueron más desfavorables en Diciembre de 2009, ya que en el 2008, todos los resultados de la estación de San Salvador Oeste se encontraban en la GCA, y cuatro días se tenían promedios dentro del rango del Objetivo Intermedio-3 (OI-3) de la OMS para las estaciones de San Salvador Centro y Soyapango. Mientras que en el 2009, en la estación de San Salvador Oeste, seis días se encontraban en el rango del Objetivo Intermedio-3 (OI-3) de la OMS, en la estación de San Salvador Centro, tres días están en el OI-3, siendo Soyapango la zona con mayor aumento, con doce días en el rango del OI-3 y un día en el rango del OI-1.

Gráfica 3. Contaminación por PM<sub>10</sub> en el AMSS, para Diciembre 2008



Gráfica 4. Contaminación por PM<sub>10</sub> en el AMSS, para Diciembre 2009



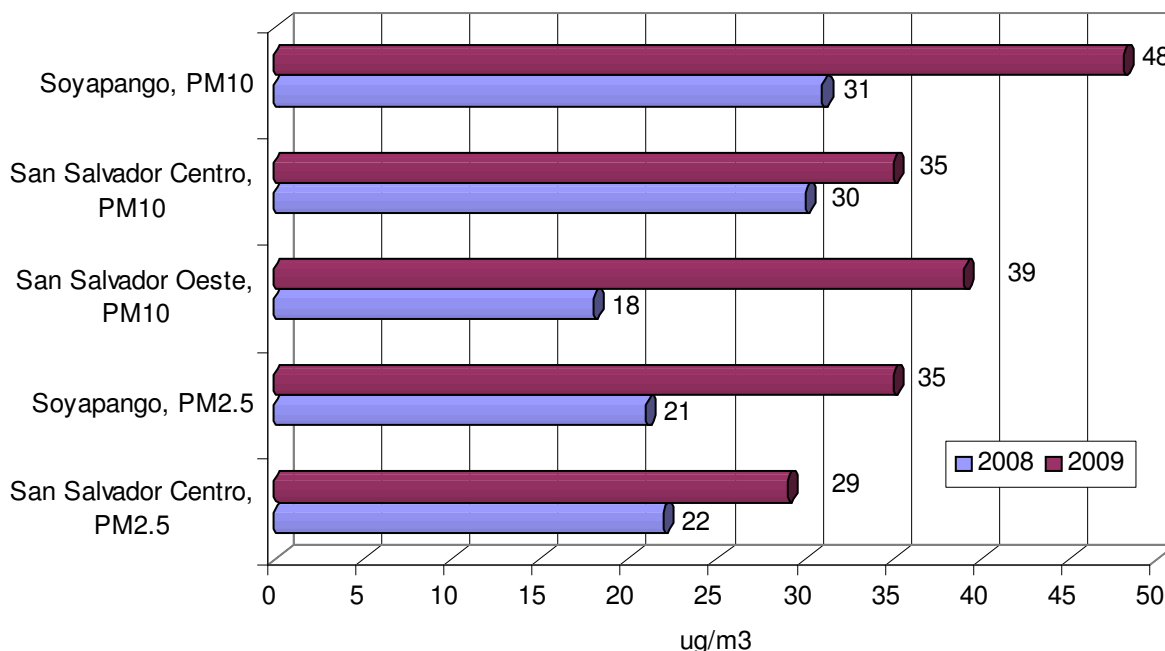
150 µg/m <sup>3</sup>	Objetivo intermedio-1 (OI-1) de la OMS	Aumento de 5% de mortalidad a corto plazo sobre las GCA
100 µg/m <sup>3</sup>	Objetivo Intermedio-2 (OI-2) de la OMS	Aumento de 2,5% de mortalidad a corto plazo sobre las GCA
75 µg/m <sup>3</sup>	Objetivo Intermedio-3 (OI-3) de la OMS	Aumento de 1,2% de mortalidad a corto plazo sobre las GCA
50 µg/m <sup>3</sup>	Guías de Calidad del Aire de la OMS (GCA)	



### 3.3 Resumen de resultados mensuales de contaminación por partículas en Diciembre 2008 y Diciembre 2009

En la gráfica 5, se observa que en todos los casos la concentración promedio mensual fue superior en Diciembre de 2009 sobre Diciembre de 2008, siendo los principales aumentos en la estación de San Salvador Oeste, para  $PM_{10}$ , con un aumento del 116% y la estación de Soyapango, con aumentos de 55% para  $PM_{10}$  y de 66% para  $PM_{2.5}$ . La zona más estable fue la de San Salvador Centro, que aunque tuvo aumento, fue de solo 16% para  $PM_{10}$  y de 32% para  $PM_{2.5}$ .

Gráfica 5. Promedio mensual de partículas  $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$  en el AMSS para Diciembre 2008 y 2009



Una consideración importante, se refiere al cumplimiento de la Norma Salvadoreña Obligatoria Calidad del Aire Ambiental, Inmisiones Atmosféricas (NSO 13.11.01:01), en la que se definió que solo en un día de diciembre (25/12/09), en una estación (Soyapango) y para un parámetro ( $PM_{2.5}$ ) se superaba la norma de 24 horas, sin embargo, si se incluye la influencia de las actividades del 31 de diciembre, estas repercuten en la calidad del aire del 01 de enero, siendo más drástico en enero 2010, en el que para la zona de San Salvador Centro y Soyapango se supera la norma de 24 horas para  $PM_{2.5}$ ; sin embargo, esta consideración no es suficiente para establecer que la calidad del AMSS cumple con la Normativa vigente, ya que también es necesario cumplir con la norma anual. Si se considera que todos los meses del año tuvieran el mismo nivel de contaminación, que los establecidos en el consolidado de las estaciones, se podría concluir que en el caso de las  $PM_{2.5}$ , en todos los casos se superaría la norma anual ( $15 \mu g/m^3$ ), tanto si se mantuvieran las condiciones de 2008, como 2009, siendo la condición más desfavorable si se mantuvieran en el año las condiciones de Soyapango para 2009, en la que se superaría en un 133% la norma anual.

Si todos los meses del año tuvieran el mismo nivel de contaminación, que los establecidos en el consolidado de las estaciones, en el caso de las  $PM_{10}$  ( $50 \mu g/m^3$ ), en ningún caso se superaría la norma, siendo el caso más próximo el de Soyapango para 2009, donde alcanza un 96% del valor total aceptable.



#### 4. EFECTO DE LAS CONDICIONES METEOROLÓGICAS SOBRE LA CALIDAD DEL AIRE EN EL AMSS

Aunque los datos aún son escasos para correlacionar los datos meteorológicos con la calidad del aire, es importante destacar los siguientes eventos meteorológicos en el período de análisis. Se ha considerado la estación de Ilopango, por ser la estación meteorológica más cercana a las estaciones de calidad del aire analizadas en el período considerado.

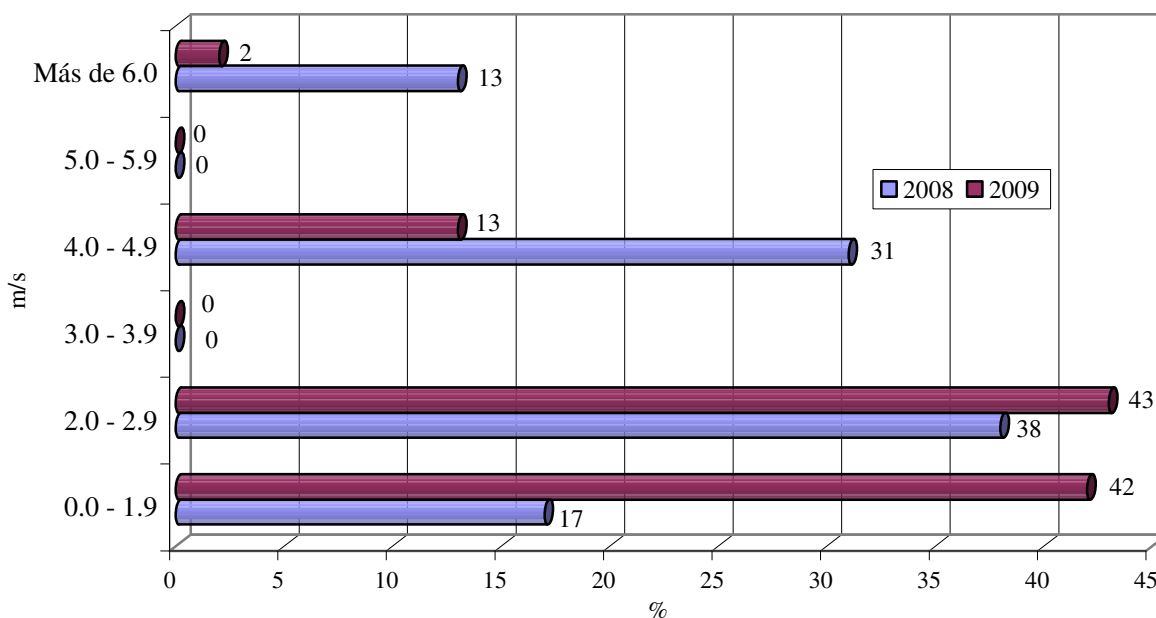
##### 4.1 Velocidad del viento

En cuanto al comportamiento de la velocidad del viento, se puede concluir que durante el mes de diciembre de 2009 hubo baja (0 a 1.99 m/s) y regular (2 a 2.99 m/s) velocidad observada en un 42% y 43% respectivamente. Esto indica una ventilación deficiente en el AMSS y provoca una mayor concentración de gases y partículas en la atmósfera.

En el año 2008, el comportamiento de la velocidad del viento predominó de regular (2 a 2.99 m/s) a buena (4 a 4.99 m/s) con 38% y 31% respectivamente. De manera ocasional se registraron altas velocidades (más de 6 m/s) en 13 %. Esto indica una ventilación adecuada para la ciudad y provoca una difusión de las masas de aire.

En la gráfica 6 se muestra la comparación de frecuencia de velocidades entre diciembre 2008 y diciembre 2009, en la que se observa que diciembre 2008 tiene 11% más tiempo con velocidades mayores a 6 m/s y 17% más tiempo con vientos entre 4.0 y 4.9 m/s, por el contrario diciembre 2009 tuvo predominancia en las velocidades más bajas, entre 0.0 y 2.9 m/s.

Gráfica 6. Frecuencia de velocidad de vientos para diciembre 2008 y diciembre 2009



## 4.2 Índices de estabilidad según Pasquill.

Basado en las observaciones de nubosidad y tomando como criterio de insolación fuerte, cuando la obstrucción a la luz solar es menor, debido a presencia de campo nuboso de 0 a 4/10 decimas; insolación moderada cuando es hasta 8/10 decimas e insolación ligera cuando es menor a 10/10. Puede decirse que predominó la insolación fuerte en el año 2008 y que predominó la insolación moderada en el año 2009.

Considerando las condiciones de estabilidad según Pasquille, que integra la velocidad del viento con la insolación, se obtienen los resultados de la tabla 4.

Tabla 4. Índices de estabilidad según Pasquill

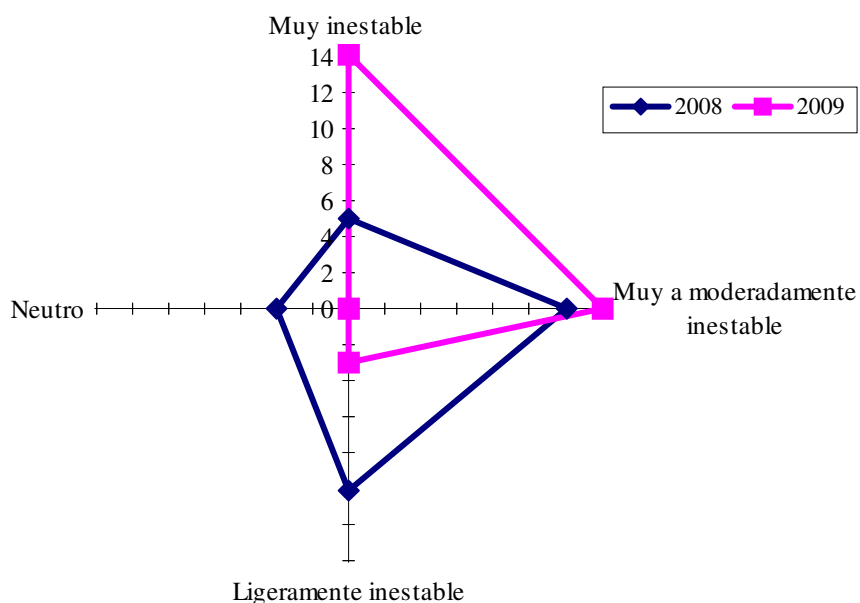
Índice de Pasquill	2008	2009
Muy inestable	5	14
Muy a moderadamente inestable	12	14
Ligeramente inestable	10	3
Neutro	4	0

Durante diciembre de 2008, 5 días fueron muy inestables; 12 días en la categoría muy a moderado aire inestable, 10 días fueron de inestabilidad moderada y 4 días se presentaron neutros.

Durante diciembre de 2009, 14 días fueron muy inestables; 14 días en la categoría muy a moderado aire inestable, 3 días fueron de inestabilidad moderada y 0 días se presentaron neutros.

Aunque se asocia condiciones de estabilidad al aumento de las concentraciones de contaminantes, en este caso, diciembre 2009 ha tenido mayores niveles de concentración de partículas, a pesar de tener mayores periodos de inestabilidad, por lo que se podría considerar, que además de las condiciones meteorológicas, el aumento de las concentraciones podría deberse a un aumento de las emisiones de las fuentes fijas y móviles del AMSS, sin embargo, esta hipótesis aún no ha sido verificada.

Gráfica 7. Índices de estabilidad según Pasquill

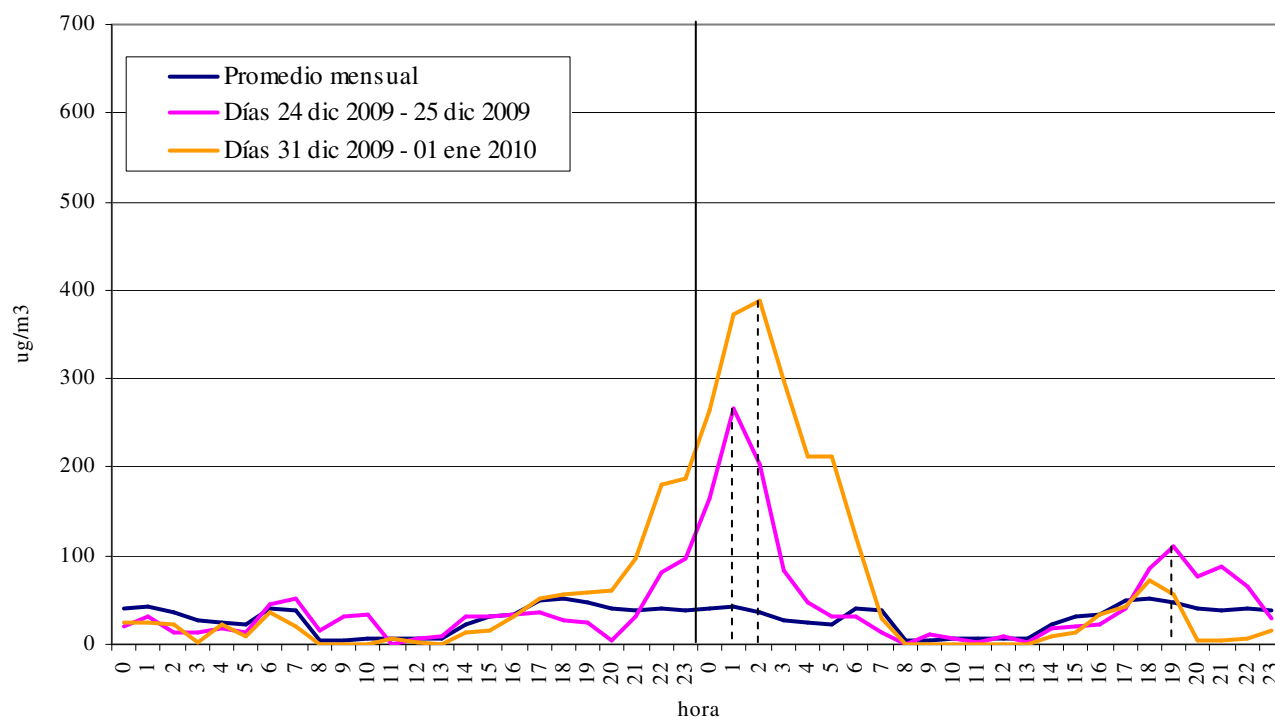


## 5. INFLUENCIA DE LA QUEMA DE PÓLVORA SOBRE LA CONTAMINACIÓN POR PARTÍCULAS EN EL AMSS

Uno de los objetivos de analizar comparativamente el mes de diciembre de 2008 y 2009, es poder determinar el efecto de la quema de pólvora del 24 y 31 de diciembre sobre las condiciones de calidad del aire. Para poder realizarlo, se han obtenido las concentraciones promedio horarias de todo el mes y se han comparado con las concentraciones horarias de los días de quema de pólvora. Se analiza únicamente el parámetro de  $PM_{2.5}$ , al determinarse en la comparación de promedios diarios que es más importante para el análisis del cumplimiento de la normativa nacional de calidad del aire.

En la gráfica 8 se observan los resultados del monitoreo horario para la zona San Salvador Centro, en diciembre de 2009, considerando el parámetro de contaminación de  $PM_{2.5}$ . Se compara la contaminación horaria promedio mensual con los valores de monitoreo horario de la secuencia 24 y 25 de diciembre de 2009 y la secuencia del 31 de diciembre de 2009 y el 01 de enero de 2010. Se observa que en el inicio del día de ambas secuencias el comportamiento de contaminación mantiene una tendencia cercana al promedio mensual, pero a partir de las 20:00 horas (8:00 p.m.) se rompe la tendencia con el aumento de la concentración de particulado, hasta un pico en el final del día. Siguiendo con la tendencia, se observa que se obtienen los picos al inicio del siguiente día, teniendo a las 2:00 a.m. del 01 de enero de 2010, el pico de contaminación por la influencia de la quema de pólvora, llegando hasta un valor de  $389 \mu g/m^3$  en concentración horaria, disminuyendo progresivamente, hasta alcanzar un valor normal a las 07:00 horas. Se observa que en la noche siguiente a la quema de pólvora, existen eventos de emisión fuera de lo normal, con un pico a las 19:00 horas (7:00 p.m.), no se conoce específicamente la causa, pero podría deberse a una continuación de las actividades de quema de pólvora.

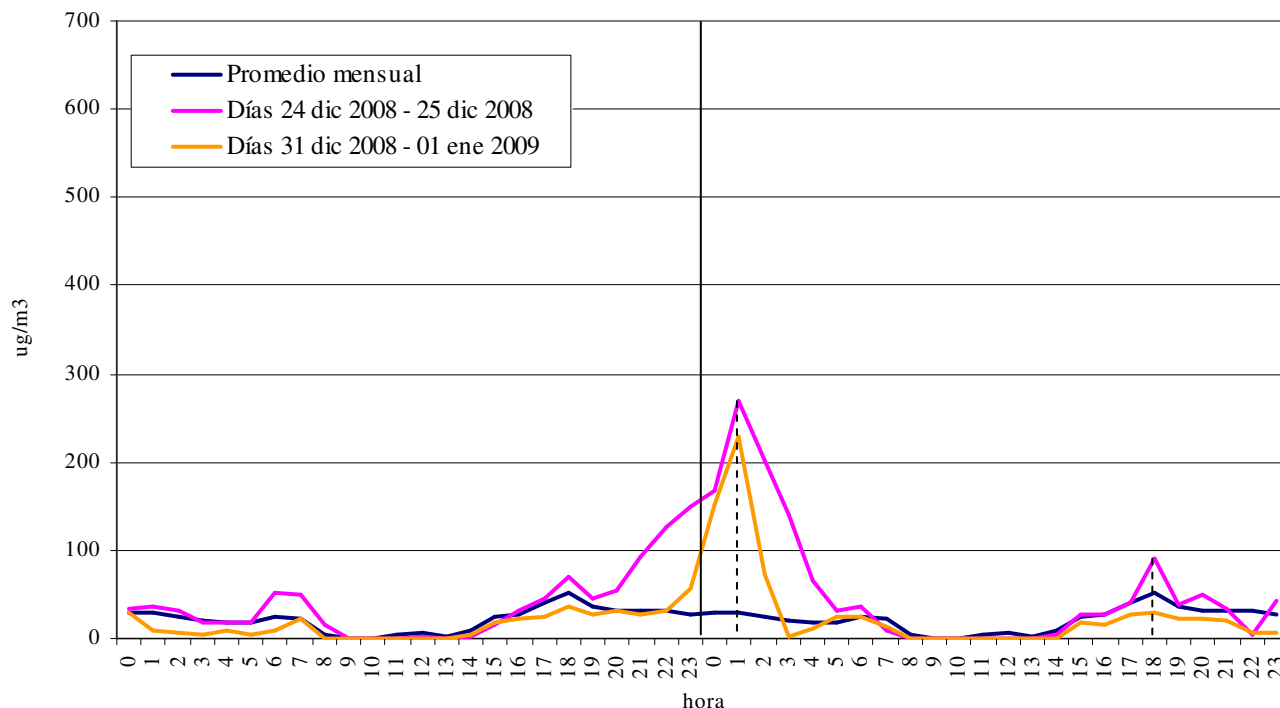
Gráfica 8. Efecto de quema de pólvora en San Salvador Centro ( $PM_{2.5}$ , diciembre 2009)



Algo significativo de remarcar es que la mayor contaminación promedio del mes se dio en horas nocturnas, siendo el período de menor contaminación por partículas el comprendido entre las 11:00 horas y las 13:00 horas.

Si comparamos este comportamiento con el período de diciembre 2008, en la gráfica 9, prácticamente se mantiene igual, incluso se realiza el evento de aumento de concentración de partículas en la noche del 25 de diciembre, la única diferencia es que existió una disminución en el nivel pico de concentración para la secuencia del día 31 de diciembre de 2008 al 01 de enero de 2009.

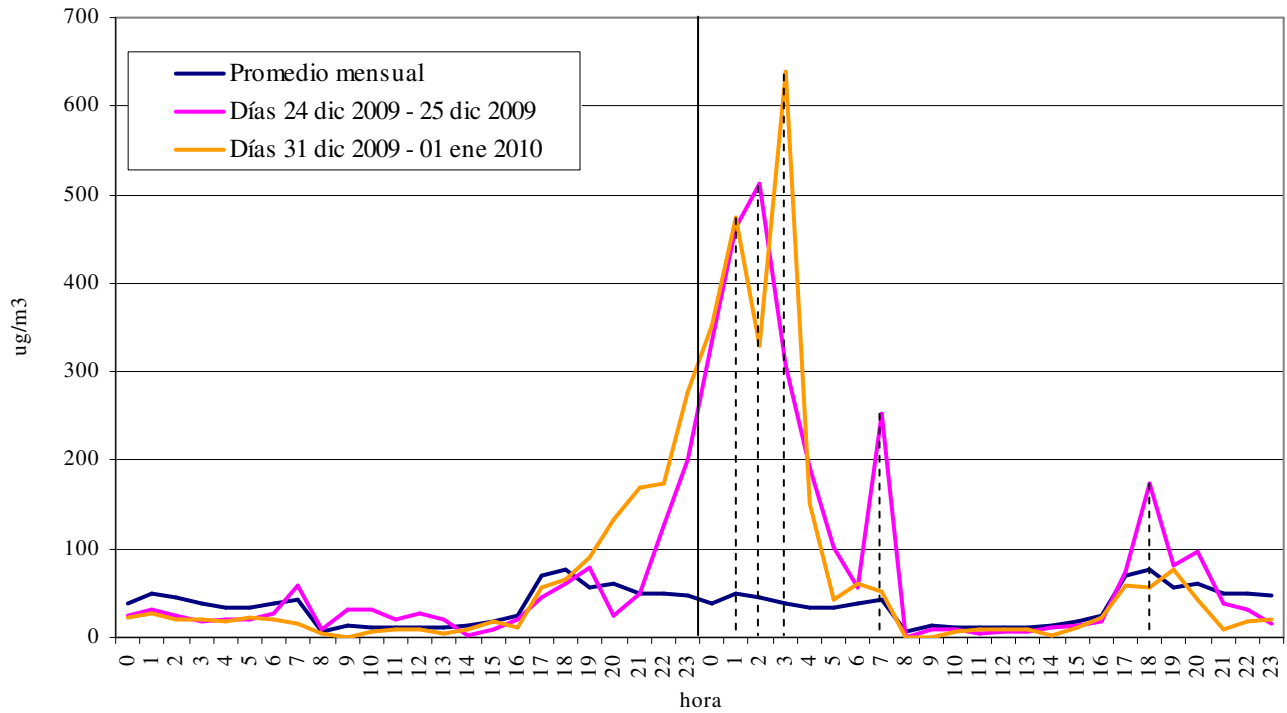
Gráfica 9. Efecto de quema de pólvora en San Salvador Centro ( $PM_{2.5}$ , diciembre 2008)



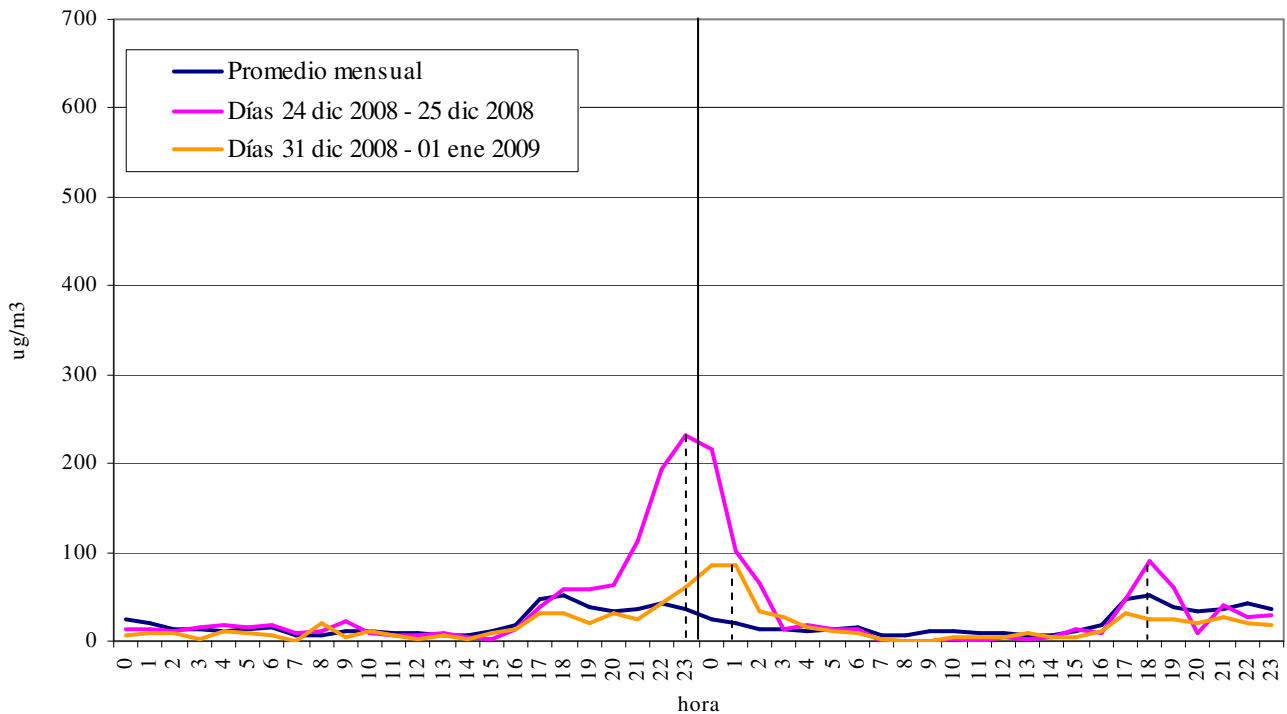
En el caso de la zona de Soyapango, en la gráfica 11 se observa un comportamiento similar a la zona de San Salvador Centro para el año 2008, con una disminución del nivel máximo de concentración para la secuencia del día 31 de diciembre de 2008 al 01 de enero de 2009, sin embargo, para el año 2009 ha existido un aumento considerable de la concentración de  $PM_{2.5}$ , teniendo un valor pico de  $640 \mu g/m^3$  para el día 01 de enero de 2010 a las 3:00 horas, que representa un aumento de 276% con respecto al valor pico del año 2008, que se puede observar en la gráfica 9.

Se puede concluir que para los meses de diciembre, la actividad de quema de pólvora genera el evento de contaminación más importante del mes, siendo las 1:00 horas del 25 de diciembre el período más contaminado del mes por partículas para la zona de San Salvador Centro, teniendo valores de 440% mayores al promedio horario del mes; además, la influencia de dichas actividades también son reflejadas en el primer día del siguiente año, con concentraciones superiores el 01 de enero de 2010 a las encontradas el 25 de diciembre de 2009.

Gráfica 10. Efecto de quema de pólvora en Soyapango (PM2.5, diciembre 2009)



Gráfica 11. Efecto de quema de pólvora en Soyapango (PM2.5, diciembre 2008)



## 6. CONCLUSIONES

1. La concentración promedio de partículas fue superior en diciembre de 2009 sobre diciembre de 2008, siendo los principales aumentos en la estación de San Salvador Oeste, para  $PM_{10}$ , con un aumento del 116% y la estación de Soyapango, con aumentos de 55% para  $PM_{10}$  y de 66% para  $PM_{2.5}$ . La zona más estable fue la de San Salvador Centro, que aunque tuvo aumento, fue de solo 16% para  $PM_{10}$  y de 32% para  $PM_{2.5}$ .
2. El contaminante crítico son las Partículas Menores a 2.5 micrómetros ( $PM_{2.5}$ ), al superarse el límite de 24 horas de la Norma NSO 13.11.01:01, los días 25 de Diciembre de 2009 en la zona de Soyapango y 01 de enero de 2010 para Soyapango y San Salvador Centro, con concentraciones de  $117 \mu g/m^3$ ,  $102 \mu g/m^3$  y  $90 \mu g/m^3$ , respectivamente que son 80%, 57% y 38% superiores a la norma, respectivamente. El límite de la Norma NSO 13.11.01:01, para concentraciones promedio de  $PM_{10}$  en un periodo de 24 horas, no es superado, tanto en la zona de San Salvador Centro, San Salvador Oeste y Soyapango, en los meses de diciembre 2008 y diciembre 2009.
3. Si se considera que todos los meses del año tuvieran el mismo nivel de contaminación de  $PM_{2.5}$ , que los establecidos en el consolidado de las estaciones para el mes de diciembre, en todos los casos se superaría la norma anual ( $15 \mu g/m^3$ ), tanto si se mantuvieran las condiciones de 2008, como 2009, siendo la condición más desfavorable si se mantuvieran en el año las condiciones de Soyapango para 2009, en la que se superaría en un 133% la norma anual.
4. Si se considera que todos los meses del año tuvieran el mismo nivel de contaminación de  $PM_{10}$ , que los establecidos en el consolidado de las estaciones para el mes de diciembre, en ningún caso se superaría la norma anual ( $50 \mu g/m^3$ ), tanto si se mantuvieran las condiciones de 2008, como 2009.
5. La contaminación atmosférica por  $PM_{2.5}$ , como contaminante crítico, para el mes de diciembre de 2009 en el AMSS, puede tener repercusiones de corto plazo sobre la salud de la población en el área de influencia, al encontrarse las zonas de Soyapango y San Salvador Centro, con un 6% y 3% del tiempo total, concentraciones superiores al Objetivo Intermedio mínimo de la OMS; un 6% y 3% del tiempo las concentraciones se encuentran en el Objetivo intermedio-1 (OI-1) de la OMS, que representa un Aumento de 5% de mortalidad a corto plazo sobre las GCA; un 32% y 21% del tiempo las concentraciones se encuentran en el Objetivo intermedio-2 (OI-2) de la OMS, que representa un Aumento de 2.5% de mortalidad a corto plazo sobre las GCA; un 29% y 44% del tiempo las concentraciones se encuentran en el Objetivo intermedio-3 (OI-3) de la OMS, que representa un Aumento de 1.2% de mortalidad a corto plazo sobre las GCA; únicamente un 26% y 29% del tiempo las concentraciones se encuentran dentro del límite de los valores Guía de la Organización Mundial de la Salud.
6. La actividad de quema de pólvora genera el evento de contaminación más importante del mes de diciembre, siendo las 1:00 horas del 25 de diciembre 2009 el período más contaminado del mes por partículas para la zona de San Salvador Centro, teniendo valores de 440% mayores al promedio horario del mes; además, la influencia de dichas actividades también son reflejadas en el primer día del siguiente año, con concentraciones superiores el 01 de enero de 2010 a las encontradas el 25 de diciembre de 2009.

## 7. GLOSARIO

- **Guía de Calidad del Aire de la Organización Mundial de la Salud:** Son niveles de contaminación del aire por debajo de los cuales la exposición durante toda la vida o por un tiempo promedio determinado, no constituye un riesgo significativo para la salud. Si estos límites se exceden en el corto plazo, no significa que los efectos adversos ocurran automáticamente, sin embargo, el riesgo de estos efectos se incrementa. Si bien son niveles basados en el ambiente o la salud, no son normas per se. Las normas de calidad del aire son guías de calidad promulgadas por los gobiernos y pueden considerar factores adicionales. Por ejemplo, niveles de exposición predominante, contaminación natural de fondo, condiciones ambientales tales como temperatura, humedad y altitud y factores socioeconómicos.
- **Índices de estabilidad según Pasquill:** Es el más frecuente y antiguo método para clasificar la cantidad de turbulencia atmosférica fue desarrollado por Pasquill en 1961, en ella se clasifica la turbulencia atmosférica en seis clases de estabilidad denominadas A,B,C,D,E,F ; siendo la clase A más inestable o más turbulenta y la clase F la más estable o menos turbulenta. Se considera los valores de insolación fuerte, moderada y ligera asociado a la velocidad del viento en horas del día y a la cantidad de nubosidad en horas de la noche.
- **Partículas Totales Suspendidas:** Se refiere a la medición del total de partículas en el ambiente. Estas partículas son retenidas en su mayor parte en las fosas nasales.
- **PM<sub>10</sub>** (partículas gruesas): Son aquellas partículas menores a un diámetro de 10 micrómetros pueden llegar hasta la traquea.
- **PM<sub>2.5</sub>** (partículas finas): Son aquellas partículas menores a un diámetro de 2.5 micrómetros pueden llegar hasta los pulmones.
- **Promedios Rodantes** (Rolling Average): Es un promedio de cierta cantidad de periodos (días, meses, años, etc.), en este caso de 24 horas, que se calcula al fin de cada periodo incluyendo el último y eliminando el más antiguo.

## 8. SIGLAS Y ABREVIATURAS

- AMSS: Área Metropolitana de San Salvador
- CO: Monóxido de Carbono
- GCA: Guía de Calidad del Aire
- ISSS: Instituto Salvadoreño del Seguro Social
- MAG: Ministerio de Agricultura
- MARN: Ministerio del Medio Ambiente y Recursos Naturales
- NO<sub>2</sub>: Dióxido de Nitrógeno
- NSO 13.11.01:01: Norma Salvadoreña Obligatoria Calidad del Aire Ambiental, Inmisiones Atmosféricas
- OI-1: Objetivo intermedio-1 de la Organización Mundial de la Salud
- OI-2: Objetivo Intermedio-2 de la Organización Mundial de la Salud
- OI-3: Objetivo Intermedio-3 de la Organización Mundial de la Salud
- OMS: Organización Mundial de la Salud
- PM<sub>2.5</sub>: Partículas menores a un diámetro de 2.5 micrómetros.
- PM<sub>10</sub>: Partículas menores a un diámetro de 10 micrómetros.
- PTS: Partículas Totales Suspendidas
- REDCA: Red de Monitoreo de Calidad del Aire.
- SO<sub>2</sub>: Dióxido de Azufre
- µg/m<sup>3</sup>: microgramo por metro cúbico