

PROGRAMA DE RESTRICCIÓN VEHICULAR DE BOGOTÁ PICO Y  
PLACA: ANÁLISIS DEL EFECTO DE LA MODIFICACIÓN DEL AÑO 2012  
CON RESPECTO AL MATERIAL PARTICULADO EN LA CALIDAD DEL  
AIRE

RICARDO IVAN ROMERO PABÓN

UNIVERSIDAD LIBRE  
INSTITUTO DE POSGRADOS INGENIERÍA  
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA AMBIENTAL  
BOGOTÁ  
2013

PROGRAMA DE RESTRICCIÓN VEHICULAR DE BOGOTÁ PICO Y  
PLACA: ANÁLISIS DEL EFECTO DE LA MODIFICACIÓN DEL AÑO 2012  
CON RESPECTO AL MATERIAL PARTICULADO EN LA CALIDAD DEL  
AIRE

Autor:  
RICARDO IVAN ROMERO PABÓN  
Código 068122008

Director:  
ING. JULIO RAMÍREZ

UNIVERSIDAD LIBRE  
INSTITUTO DE POSGRADOS INGENIERÍA  
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA AMBIENTAL  
BOGOTÁ

2013

## CONTENIDO

Pág.

0.	INTRODUCCIÓN .....	7
1.	ANTECEDENTES .....	10
1.1.	ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS MEDIDAS DE RESTRICCIÓN VEHICULAR EN ALGUNOS PAÍSES DE LATINOAMÉRICA .....	10
1.2.	ANÁLISIS DE LOS PROGRAMAS DE RESTRICCIÓN VEHICULAR EN ALGUNAS CIUDADES DE LATINOAMÉRICA A PARTIR DE LOS DESCRIPTORES ANTERIORES.....	11
2.	DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA .....	17
3.	JUSTIFICACIÓN .....	19
4.	OBJETIVOS .....	20
4.1.	OBJETIVO GENERAL.....	20
4.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	20
5.	MARCOS REFERENCIALES .....	21
5.1.	MARCO TEÓRICO .....	21
5.2.	MARCO CONCEPTUAL .....	31
5.3.	MARCO LEGAL .....	32
6.	METODOLOGÍA.....	35
7.	ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	38
7.1.	RESULTADOS DEL ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS MEDIDAS DE RESTRICCIÓN VEHICULAR EN ALGUNOS PAÍSES DE LATINOAMÉRICA Y BOGOTÁ .....	39
7.2.	ANÁLISIS VISUAL DE LA CONCENTRACIÓN PROMEDIO HORARIA.....	41
7.3.	DISTRIBUCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN PROMEDIO HORARIA .....	44
7.4.	ANÁLISIS ANOVA .....	49
8.	CONCLUSIONES.....	54
9.	RECOMENDACIONES.....	55
10.	GLOSARIO .....	56
11.	BIBLIOGRAFIA .....	62
12.	ANEXOS.....	63
12.1.	GRÁFICAS COMPARATIVAS DE LA CONCENTRACIÓN PROMEDIO HORARIA DEL CONTAMINANTE PM <sub>10</sub> POR PERIODOS DE 24 HORAS. ....	63

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
<b>Tabla 1.</b> Caracterización de las Normas de Restricción Vehicular .....	13
<b>Tabla 2.</b> Norma de calidad de aire o nivel de inmisión.....	22
<b>Tabla 3.</b> Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá - RMCAB .....	23
<b>Tabla 4.</b> Sagrado Corazón .....	27
<b>Tabla 5.</b> Estación Tunal.....	28
<b>Tabla 6.</b> Estación San Cristóbal .....	28
<b>Tabla 7.</b> Estación Guaymaral (Escuela).....	29
<b>Tabla 8.</b> Marco Legal .....	32
<b>Tabla 9.</b> Resultados Anova: Valores del estadístico p. ....	49

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
FIGURA 1.	UBICACIÓN DE LAS ESTACIONES Y PARÁMETROS
	CONTAMINANTES MEDIDOS..... 24
FIGURA 2.	CÓMO FUNCIONA LA RMCAB ..... 25
FIGURA 3.	CONFIGURACIÓN TÍPICA INTERNA DE UNA ESTACIÓN DE LA RMCAB ..... 25
FIGURA 4.	CONFIGURACIÓN TÍPICA EXTERNA DE UNA ESTACIÓN DE LA RMCAB..... 26
FIGURA 5.	DATOS EN LÍNEA, PÁGINA WEB RMCAB ..... 26
FIGURA 6.	PORCENTAJE DE CAPTURA DE DATOS POR ESTACIÓN ..... 30
FIGURA 7.	PORCENTAJE DE CAPTURA DE DATOS POR ESTACIÓN ..... 31
FIGURA 9.	UBICACIÓN DE LAS 4 ESTACIONES SELECCIONADAS PARA EL DESARROLLO DEL PRESENTE ANÁLISIS..... 40

## LISTA DE GRÁFICOS

	Pág.
<b>GRÁFICA 1.</b> CONCENTRACIÓN PROMEDIO HORARIA DE MATERIAL PARTICULADO, PARA UNA SEMANA EN LA ESTACIÓN SAN CRISTÓBAL.....	41
<b>GRÁFICA 2.</b> CONCENTRACIÓN PROMEDIO HORARIA DE MATERIAL PARTICULADO, PARA UNA SEMANA EN LA ESTACIÓN GUAYMARAL.....	42
<b>GRÁFICA 3.</b> CONCENTRACIÓN PROMEDIO HORARIA DE MATERIAL PARTICULADO, PARA UNA SEMANA EN LA ESTACIÓN SAGRADO CORAZÓN .....	42
<b>GRÁFICA 4.</b> CONCENTRACIÓN PROMEDIO HORARIA DE MATERIAL PARTICULADO, PARA UNA SEMANA EN LA ESTACIÓN TUNAL .....	43
<b>GRÁFICA 5.</b> COMPARACIÓN DE LAS DISTRIBUCIONES DE LA CONCENTRACIÓN PROMEDIO HORARIA EN LA ESTACIÓN SAN CRISTÓBAL. ....	45
<b>GRÁFICA 6.</b> COMPARACIÓN DE LAS DISTRIBUCIONES DE LA CONCENTRACIÓN PROMEDIO HORARIA EN LA ESTACIÓN SAN GUAYMARAL .....	46
<b>GRÁFICA 7.</b> COMPARACIÓN DE LAS DISTRIBUCIONES DE LA CONCENTRACIÓN PROMEDIO HORARIA EN LA ESTACIÓN SAGRADO CORAZÓN.....	47
<b>GRÁFICA 8.</b> COMPARACIÓN DE LAS DISTRIBUCIONES DE LA CONCENTRACIÓN PROMEDIO HORARIA EN LA ESTACIÓN TUNAL.....	48
<b>GRÁFICA 9.</b> GRÁFICOS BOX PLOT DÍA A DÍA PARA LOS MÁXIMOS DIARIOS EN LA ESTACIÓN SAN CRISTÓBAL. ....	50
<b>GRÁFICA 10.</b> GRÁFICOS BOX PLOT DÍA A DÍA PARA LOS MÁXIMOS DIARIOS EN LA ESTACIÓN GUAYMARAL. ....	51
<b>GRÁFICA 11.</b> GRÁFICOS BOX PLOT DÍA A DÍA PARA LOS MÁXIMOS DIARIOS EN LA ESTACIÓN TUNAL.....	52
<b>GRÁFICA 12.</b> GRÁFICOS BOX PLOT DÍA A DÍA PARA LOS MÁXIMOS DIARIOS EN LA ESTACIÓN SAGRADO CORAZÓN.....	53

## 0. INTRODUCCIÓN

Entre los fenómenos ecológicos de más creciente preocupación a nivel mundial se encuentra la contaminación del aire en los centros urbanos, que es provocada por distintas fuentes y en particular por las emisiones y suspensión de material particulado<sup>1</sup> provenientes de vehículos automotores denominados Fuentes Móviles<sup>2</sup>.

Esto se ve incrementado en centros urbanos como Bogotá que por sus condiciones atmosféricas como presión, temperaturas y vientos presentan fenómenos a fenómenos visibles como la, lo cual hace que se pasen por alto otro tipo de gases imperceptibles para los sentidos y más ligeros que el aire, tales como el monóxido de carbono, que en grandes cantidades pueden generar alteraciones cardiacas (Ruiz J. 2002).

Teniendo en cuenta información de la red de monitoreo de la calidad del aire de Bogotá (RMCAB), administrada por la Secretaria Distrital de Ambiente, el contaminante atmosférico más crítico en la ciudad de Bogotá es el material particulado respirable (PM<sub>10</sub>) (Behrentz, 2006), pues se registran constantemente concentraciones que están sobre el nivel máximo permitido por la regulación (Resolución MAVDT No. 610/10).

En América Latina, recientes estudios realizados por organismos internacionales como la Organización Mundial de la Salud, Banco Mundial, Naciones Unidas y fundaciones como la Swisscontact/ProEco y otros, han demostrado la creciente Contaminación Atmosférica proveniente de fuentes móviles en grandes ciudades y capitales como la ciudad de México (México), Santiago de Chile (Chile), São Paulo (Brasil), y otros, donde se han alcanzado niveles alarmantes de material particulado para la salud de su población.

En efecto, estudios científicos<sup>3</sup> han mostrado que la respiración de aire contaminado con residuos de elementos tóxicos emitidos por vehículos automotores y en

---

<sup>1</sup> Con material particulado nos referimos partículas respirables de material cuyo diámetro esta en un limite explicito indicado. Se hablan de dos tipos: PM<sub>10</sub>, material particulado donde el tamaño por partícula es igual o menor a 10 micras y el PM<sub>2,5</sub> que se refiere a partículas de diámetros iguales o menores a diez micras.

<sup>2</sup> Son aquellas que por su capacidad de traslado, no permiten encuadrarlas en un área determinada, por lo que su peligrosidad es constante, progresiva e indeterminable a cada agente contaminador, ya que su medición abarca un gran número de agentes contaminantes. Los automóviles poseen cuatro fuentes de contaminación que son: el tubo de escape, el cárter, el carburador y el depósito de combustible.

<sup>3</sup> <http://www.epa.gov/airnow/aqi.cl.pdf>

particular de monóxido de carbono, hidrocarburos libres y material particulado de diámetro menor a 10 Micras (PM<sub>10</sub>), provocan *enfermedades respiratorias, pulmonares, cardiovasculares y cerebrales*, siendo los *niños y ancianos* los que más sufren las consecuencias de este hecho. En los niños se ha comprobado en elevadas proporciones retardo en el crecimiento y aprendizaje, problemas de audición y otros, lo que es motivo de preocupación de padres de familia y docentes.

En la actualidad los niveles de contaminación son objeto de normas internacionales, que bajo formas de reglamentaciones en valores límites a no sobrepasar, fijan las pautas para mantener o mejorar la calidad de vida de los habitantes. Esto ha inducido a que los países más afectados, encaren para atenuar, disminuir y eliminar este fenómeno, a través de una adecuada legislación y medidas drásticas dirigidas a proteger el medio ambiente y la calidad del aire.

Para gestión de demanda del transporte (*transportation demand management*<sup>4</sup>), es decir el diseño e implementación de herramientas para la gestión de la demanda en el uso de vías y vehículos principalmente en ciudades, la restricción vehicular (road space rationing) constituye una estrategia muy difundida en Latinoamérica, tanto como una medida de movilidad como para el control de la contaminación atmosférica. Aunque la medición de su impacto es una tarea compleja y difícilmente realizable, existen diferentes precedentes en Latino-América en la evaluación de los efectos ambientales y de movilidad de esta medida. Entre estos la evaluación de los efectos de la medida en Ciudad de México ha mostrado que sus efectos ambientales, en particular para la calidad del aire, son especialmente difíciles de determinar, aunque se le imputan tanto efectos positivos como negativos.

En países como México y Centro América con la intención de regular los niveles de contaminación producida por las fuentes móviles, se ha dispuesto retirar de la circulación vehículos de transporte cuyos modelos son anteriores a 1980 y rige la disposición de "hoy no circules"<sup>5</sup> que consiste en que, regulado por el último dígito de la placa o matrícula, 20% de los vehículos no circulan durante un día una vez por semana en forma rotativa.

El Plan de Restricción Vehicular en Bogotá más conocido como pico y placa entro en vigencia en el año 1998 con la prohibición de circulación en las horas pico, de alta

---

<http://www.arb.ca.gov/research/indoor/combustf.htm>

<sup>4</sup> Genevieve Giuliano. Transportation Demand Management: Promise or Panacea?. Journal of the American Planning Association. Volume 58, Issue 3, pages 327-335, 1992.

<sup>5</sup> Programa de restricción vehicular en México, Programa Hoy No Circula Sabatino: análisis de su efecto en la calidad del aire a un año de operación. Secretaría del Medio Ambiente Gobierno de México. 2009

congestión vehicular, de los vehículos particulares de hasta cuatro horas diarias de lunes a viernes y cuya numeración fuera su último dígito.

En esta monografía se estudia el posible efecto de la modificación de la medida de restricción vehicular en Bogotá en las concentraciones de material particulado menor a diez micras en cuatro puntos seleccionados de la ciudad.

## 1. ANTECEDENTES

### 1.1. Análisis Comparativo de las Medidas de Restricción Vehicular en Algunos Países de Latinoamérica<sup>6</sup>

Al realizar un análisis de los programas de restricción vehicular en algunos países de Latinoamérica se encuentra que los siguientes factores descriptivos pueden ser usados para caracterizar el tipo de programa implementado, y que además serán usados para estudiar la evolución y naturaleza del programa “pico y placa” en Bogotá.

- a. **Objetivo de la medida** el fin primordial del diseño de un programa de restricción vehicular puede ser buscar una mejora o control de la calidad del aire y de la contaminación atmosférica (objetivo ambiental) o puede estar dirigido a mejorar la movilidad (objetivo movilidad) es decir aumentar la velocidad media del tráfico en ciertas vías y horas.
- b. **Extensión geográfica:** la medida de restricción puede aplicarse a zonas o vías definidas o puede ser completa dentro una jurisdicción local.
- c. **Periodicidad anual:** la restricción puede limitarse a un periodo de tiempo anual de condiciones atmosféricas particulares (típicamente en invierno por el fenómeno de inversión térmica) o extenderse durante todo el año. El periodo estacional suele estar asociado a países con estaciones marcadas y con programas cuyo objetivo es ambiental.
- d. **Periodo diaria:** la medida puede estar limitada a ciertas horas donde el impacto sobre el tráfico o condiciones atmosféricas sea mayor o ser a lo largo de una jornada diurna completa.

---

<sup>6</sup> Es una medida de gestión de la demanda de transporte que ha sido usada con la finalidad de llevar a cabo prohibiciones a la circulación de diversas clases de vehículos, implantada por el gobierno y tiene como objetivo una serie de efectos positivos en la salud, la economía y calidad de vida de las personas, y es utilizada principalmente dentro de las zonas urbanas o en situaciones de emergencia. Estas restricciones son creadas por las autoridades públicas con el fin de regular el uso de la red vial, principalmente durante las horas pico, para reducir la congestión o disminuir los niveles de contaminación atmosférica producidas por los vehículos.

- e. **Diferenciación por vehículo:** la restricción puede diferenciar o ser indiferente entre el tipo de vehículo. En el caso de una restricción de objetivo ambiental la diferenciación se basa en el potencial del vehículo como fuente contaminante.
- f. **Programa de contingencias:** la restricción vehicular puede ser modificada en forma dependiente a un programa de contingencias donde dada una circunstancia ambiental o de movilidad, la restricción se amplíe aun mayor número de vehículos.

## 1.2. Análisis de los Programas de Restricción Vehicular en Algunas Ciudades de Latinoamérica a partir de los Descriptores Anteriores.

- **Santiago de Chile, Chile**

La medida es de propósito ambiental e inicia en julio de 1986 con la implementación de un programa de control de la contaminación atmosférica que incluía el control sobre las fuentes fijas (empresas e industrias). La medida diferencia por tipo de vehículo según su modelo, existencia del convertidor catalítico, tipo de combustible usado, entre otros factores. La restricción vehicular aplicaba inicialmente durante el periodo de las 6:00 a las 22:00 horas, por lo que podría decir que es de jornada completa. Desde sus inicios esta medida estaba incluida dentro de un programa de control de las contingencias ambientales atmosféricas, en la cual en caso de presentarse una situación de contaminación excepcional la restricción se hace extensible a otros vehículo y se prolonga su periodo. Aunque inicialmente la medida era estacional, las condiciones de alta contaminación atmosférica impulsaron a que se convirtiera en una medida de periodo anual completo. La evolución de la medida se ha dado al diferenciar horarios y zonas según el tipo de vehículo, definiéndolas basándose en los índices e incidentes de contaminación.

- **Ciudad de México, México.**

Desde 1986, precedido de iniciativas civiles el gobierno en Ciudad de México empieza a desarrollar proyectos en torno a la calidad del aire como la red de monitoreo y el proyecto de reducción de contenido de plomo en las gasolinas. De esta forma en 1989 se aplica el programa hoy no circula, que restringe la circulación del vehículo un día (de 5:00 a las 22:00 horas) a la semana dependiendo del color engomado, el cual es asignado según su clasificación como fuente de emisión. Esta medida se aplicó desde entonces y hasta la fecha en las 16 delegaciones de la

ciudad y en 18 municipios del Estado de México, por lo que la medida es completa dentro de la jurisdicción del Valle de México. Aunque inicialmente la medida era estacional, en el año 1990 se amplía a permanente. En el año de 1996 se genera un programa de contingencias ambientales, que permite extender la restricción ante el diagnósticos de alertas ambientales. Su evolución se ha dado al restringir o excluir autos de la medida de restricción según su potencial como fuentes contaminantes y ampliar los días bajo restricción.

- **La Paz, Bolivia**

El 6 de enero de 2003 inició un programa de restricción para acceder el centro antiguo de La Paz con el fin de reducir la congestión y mejorar la movilidad. La medida se aplica entre las 08.00 y las 20.00 horas. La primera fase fue aplicada a una parte del transporte como radiotaxis, taxis y particulares, luego se implementó la segunda etapa ampliación de la restricción a todo el parque automotor donde minibuses, micros, buses y carros dejaron de ingresar una vez a la semana al Casco Urbano Central (CUC).

- **Sao Paulo, Brasil**

Desde 1995 se han llevado a cabo diversas experiencias de restricción vehicular en la zona metropolitana de Sao Paulo. Desde 1997 se implantó el llamado rodízio municipal (rotación del espacio vial), que es una restricción a la circulación de vehículos automotores en la ciudad São Paulo que funciona con el propósito de reducir el congestionamiento en las principales arterias viales de la ciudad durante los horarios de mayor movimiento. La aplicación se limita a una región denominada centro expandido. El sistema se aplica de acuerdo a una tabla y en dos franjas de horario del día: de 7 a 10 y de 17 a 20.

- **San José, Costa Rica**

La restricción en San José se aplica de lunes a viernes y se aplica para el ingreso a la zona centro de la ciudad. Aplica durante los días de lunes a viernes y dentro de los periodos de las 06:00 a las 8:30 horas y de las 16:30 a las 19:00 horas. Por sus características parece planteada con un fin de movilidad.

- **Ciudad de Quito, Ecuador**

Desde marzo del 2010 con el propósito de reducir el número de vehículos que circulan dentro del perímetro urbano cada vehículo tiene restricción de circular un día a la semana (de lunes a viernes), y 6 horas en ese día divididas en dos periodos (en la mañana de 7:00 am a 9:30 am, y en la tarde de 16:00 pm a 19:30 pm).

**Tabla 1.** Caracterización de las Normas de Restricción Vehicular

Ciudad	Año de inicio	Objetivo	Extensión geográfica	Periodicidad anual	Periodo diario	Difer. Fuentes	Programa de contingencias
Santiago de Chile	1986	Ambiental	Zonal	Completa	Jornada completa	Si	Si
Ciudad de México	1989	Ambiental	Completa	Completa	Jornada completa	Si	Si
Sao Paulo	1997	Movilidad	Zonal	Completa	Horas Pico	----	No
La Paz	2003	Movilidad	Zonal	Completa	Jornada completa	No	No
San José	----	Movilidad	Zonal	Completa	Horas Pico	No	No
Ciudad de Quito	2010	Movilidad	Zonal	Completa	Horas Pico	No	No

**Fuente:** Investigación propia.

En la tabla 1 se consolidan los resultados de la caracterización de las medidas de restricción en las ciudades de Latinoamérica analizadas. Se observa que la tendencia es implementar medidas cuyo objetivo es de movilidad y de extensión geográfica zonal, mientras que características como el periodo diario (jornada completa o horas pico) así como diferenciación entre fuentes no presentan ninguna tendencia concreta.

### 1.3 Restricción Vehicular en Colombia

Es conocida como Pico y Placa y su objetivo desde su creación ha sido que el tráfico vehicular se reduzca a partir de una restricción alternada en la circulación de los vehículos particulares y de servicio público de las ciudades.

Esta medida fue inaugurada por el alcalde de Bogotá en 1998. Desde entonces, varias ciudades del país la han acogido como base para solucionar los problemas de movilidad. En Colombia rige en Bogotá, Medellín, Cali, Manizales, Bucaramanga, Barranquilla, Cartagena, Pereira, Cúcuta, Armenia y Pasto.

En el transcurso del tiempo, en Bogotá se han presentado las modificaciones que se resumen a continuación:

- **Decreto distrital 626 de Julio 15 de 1998**

La medida opera de lunes a viernes en la mañana de 7:00 a 9:00 am y en la tarde de 5:30 a 7:30 pm específicamente de la siguiente forma:

Placas: 1 y 2 los días lunes y miércoles

Placas: 3 y 4 los días lunes y jueves

Placas: 5 y 6 los días martes y jueves

Placas: 7 y 8 los días martes y viernes

Placas: 9 y 0 los días miércoles y viernes

- **Decreto distrital 007 de Enero 14 de 2002**

Se ajusta el horario de la restricción para vehículos particulares según la ciudad de matrícula manteniendo la distribución de placas por día (2 placas por día) de la siguiente forma:

Vehículos matriculados en Bogotá 7:00 a 9:00 am y de 5:00 a 7:00 pm

Vehículos matriculados fuera de Bogotá 6:30 a 9:00 am y de 5:00 a 7:00 pm

Adicionalmente, se establece la rotación anual de pico y placa, la cual empieza aplicarse el 01 de julio de 2004, de tal forma que cada año se recorre un día la restricción en bloque de cuatro números el 01 de julio de cada año.

- **Decreto distrital 180 de Junio 11 de 2004**

Continúa la restricción de dos placas por día y a causa del plan de obras que se ejecutan en el distrito, se aplican en el horario de restricción que dando de la siguiente forma:

Vehículos matriculados en Bogotá de 6:00 a 9:00 am y de 4:00 a 7:00 pm

Vehículos matriculados fuera de Bogotá de 5:30 a 9:00 am y de 4:00 a 7:00 pm

- **Decreto distrital 198 de Junio 30 de 2004**

Modifica el decreto 180 de 2004 y unifico la medida de restricción vehicular para todos los vehículos que circulen en Bogotá independiente del lugar donde se encuentre matriculados, estableciendo como franjas horarias:

Mañanas de 6:00 am a 9:00 am

Tardes de 4:00 pm a 7:00 pm

- **Decreto distrital 033 de Febrero 05 de 2009**

Se amplía el horario de restricción de 6 a 14 horas diarias entre el periodo de 6:00 am a 8:00 pm y se aumenta el número de placas por día, pasando de dos a cuatro placas de lunes a viernes.

- **Decreto distrital 041 de Enero 31 de 2011**

Prorroga la medida adoptada en el 2009 por un año más.

- **Decreto distrital 025 de Enero 06 de 2012**

Recomienda mantener el esquema de restricción diario de las 6:00 a las 20:00 horas mientras se pone en servicio el sistema integrado de transporte público, se dan alternativas con nuevos corredores viales, se amplía el programa de detención electrónica de infracciones, se estructura la tasa de contingencia y se toman medidas en cuanto al cobro para estacionamientos en vía y fuera de vía.

- **Decreto distrital 271 de Junio 12 de 2012**

Restringir la circulación de vehículos automotores particulares, de lunes a viernes hábiles, entre las 6:00 y las 8:30 horas y entre las 15:00 y las 19:30 horas.

Excluir del tratamiento restrictivo la zona ubicada al costado sur del siguiente límite: Transversal 3B Este entre Carrera 12 Este y Avenida Primero de Mayo (Calle 20 Sur), Avenida Primero de Mayo entre Carrera 3 Este y Avenida Caracas, Avenida Caracas entre Avenida Primero de Mayo y Avenida Villavicencio (Diagonal 48 Sur), Avenida Villavicencio entre Avenida Caracas y Autopista Sur y Autopista Sur entre Avenida Villavicencio (Carrera 71B) hasta el límite de la ciudad.

La restricción prevista en el artículo anterior, se aplicará de acuerdo con el último dígito del número de la placa única nacional, de esta manera estarán restringidos en los días calendario hábiles pares, los vehículos cuya placa termine en número par, y en los días calendario hábiles impares, se restringirá la circulación de los vehículos cuya placa termine en dígito impar.

El nuevo horario de restricción es de 6:00 am a 8:30 am y de 3:00 pm a 7:30 pm. La restricción es de acuerdo al último dígito de las placas. Para los días calendario

hábiles pares la restricción es para las placas terminadas en números pares contando el cero como número par y los días hábiles impares la restricción es para las placas finalizadas en números impares.

El pico y placa para vehículos particulares ha permitido (caso Bogotá), a partir del 3 de julio de 2012 que las personas utilicen su vehículo más tiempo, ya que la restricción pasó de 112 a 70 horas mensuales o de 14 a 7 horas al día.

El castigo por no cumplir con el pico y placa es de 15 salarios mínimos diarios legales vigentes.

La secretaría de movilidad presentó los siguientes puntos como los efectos positivos esperados de la modificación de la medida reglamentada por el decreto 271 de junio 12 de 2012:

- Se cumple con el desmontaje gradual del pico y placa.
- Los usuarios podrán usar el carro todos los días de la semana.
- Se reduce la cantidad de automóviles particulares en hora pico dando mayor movilidad al transporte público.
- La implementación mediante placas pares e impares, permite que circulen un menor número de vehículos en las horas pico, mejorando la movilidad en estos periodos.
- Al disminuir el número de vehículos que circulan se observa un incremento en la velocidad promedio de recorrido, presentando un beneficio para los usuarios en la disminución de su tiempo de desplazamiento.
- Se promueve el cambio en los horarios habituales de los ciudadanos.
- Se mitiga la tendencia de la compra de un vehículo adicional para evadir la restricción.

Con la medida se continúa protegiendo el horario de circulación de la rutas escolares puesto que no afecta los tiempos de viaje.

## 2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La contaminación atmosférica generada por las fuentes móviles es un serio problema que aqueja a los habitantes de distintos centros urbanos, puesto que son las más contaminantes de la ciudad, debido a que estas se encuentran en constante movimiento y contacto con varios sectores de la misma; ya que la salud de los ciudadanos se ve afectada por la actividad vehicular. Esto se ve incrementado en centros urbanos como Bogotá que por sus condiciones geográficas se asocian a fenómenos visibles como la bruma y el humo, lo cual hace que se pasen por alto otro tipo de gases imperceptibles para los sentidos y más ligeros que el aire, tales como el monóxido de carbono, que en grandes cantidades pueden generar alteraciones cardiacas (Ruiz J. 2002). Teniendo en cuenta información de la red de monitoreo de la calidad del aire de Bogotá (RMCAB), manejada por la Secretaría Distrital de Ambiente, el contaminante atmosférico más crítico en la ciudad de Bogotá es el material particulado respirable (PM<sub>10</sub>) (Behrentz, 2006).

El centro del problema a tratar en la presente monografía es el desconocimiento del efecto que las variaciones de la medida de restricción vehicular en Bogotá (pico y placa) tiene sobre la calidad del aire en la ciudad, en particular sobre la concentración de PM<sub>10</sub>.

Según la Dirección de Estudios Sectoriales y de Servicios de la Secretaría de Movilidad de Bogotá en su informe de Mayo 31 de 2012 (DESS T 003 2012 Versión final) denominado *Evaluación de Alternativas de Modificación a la Medida de Restricción del Tránsito de Vehículos Particulares “Pico y Placa”, Revisión del Decreto Distrital 025 de 2012* determina la metodología<sup>7</sup> y factores que se tienen en cuenta para el análisis del cambio de la medida.

Es importante aclarar que para el desarrollo de la presente monografía no se tuvo en cuenta la metodología aplicada por la Secretaría de Movilidad por carecer de recursos técnicos y económicos, la dificultad para la obtención de información

---

<sup>7</sup> El diagnóstico de la medida de restricción a la circulación de vehículos por la malla vial de Bogotá, se realiza en términos de movilidad, con base en la información registrada a través de la toma de información en campo que registra diferentes variables en diferentes puntos representativos de las características de movilidad, denominados **estaciones maestras de monitoreo**, cómo volúmenes vehiculares, porcentaje de ocupación del transporte público, velocidades de recorrido y tiempos de desplazamiento entre otras. Esta información se consolida en la bases de datos de la entidad para el control y regulación del tránsito. Igualmente se revisan las *cifras de accidentabilidad* consolidadas en las bases de datos que reporta la Policía Metropolitana de Tránsito a la Secretaría Distrital de Movilidad y otros indicadores como *número de vehículos matriculados* en el registro distrital automotor y comparendos impuestos por no acatamiento a la medida. Las anteriores variables se han tomado como indicadores de movilidad en la ciudad, dado que representan de forma general el escenario de la ciudad en el marco de circulación vehicular, asociando factores concomitantes derivados de esta dinámica.

actualizada por parte de las entidades distritales y adicionalmente la viabilidad en factor de tiempo para el desarrollo del presente análisis comparativo.

Tal y como se plantea en el Plan Decenal de Descontaminación del Aire para Bogotá, durante los últimos años, en Bogotá se han realizado grandes esfuerzos e inversiones para mejorar la calidad del aire en la ciudad. Si bien alcanzado metas importantes son muchos los desafíos que enfrenta la ciudad en su futuro cercano, dadas las expectativas de crecimiento económico y las altas tasas de motorización que se están relacionadas<sup>8</sup>.

Con el actual gobierno distrital Bogotá goza de un nuevo horario de pico y placa de movilidad<sup>9</sup> que pasa a ser únicamente 7 horas diarias hasta por tres días a la semana y aplicará entre las 6:00 am y las 8:30 am en las mañanas y entre las 3:00 pm y las 7:30 pm en las tardes. Algunas localidades como Ciudad Bolívar, Tunjuelito, Rafael Uribe Uribe, San Cristóbal y Usme, son beneficiadas con espacios sin pico y placa.

Este evento permite elaborar la pregunta que enmarca el problema de esta monografía, ¿cuál es el efecto de las modificaciones a la medida de pico y placa en la concentración de PM<sub>10</sub> en el aire de la ciudad?

---

<sup>8</sup>Plan Decenal de Descontaminación del Aire para Bogotá, Primera Edición Diciembre 2010

<sup>9</sup>Decreto 271 del 12 de junio de 2012

### 3. JUSTIFICACIÓN

El presente análisis pretende revisar y comparar el estado de algunos puntos de la ciudad de Bogotá en cuanto a calidad del aire e identificar si la rotación de los horarios de circulación del programa de movilidad pico y placa tiene un efecto en la calidad de aire de la ciudad, en particular en la concentración de  $PM_{10}$ . Específicamente se cuestiona el efecto de esta medida en aquellas zonas del sur de la ciudad donde el programa no aplica.

El Distrito Capital cuenta con la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá – RMCAB, que permite recolectar información sobre la concentración de contaminantes de origen antropogénico y natural y el comportamiento de los factores meteorológicos que regulan el transporte de los mismos en la atmósfera. Los datos recolectados en distintos sitios de la ciudad se reciben en una estación central y se someten a un proceso de validación y posterior análisis con el fin de evaluar el cumplimiento de los estándares de calidad de aire en Bogotá dados por la Resolución 601 del 4 de abril de 2006 y la Resolución 610 del 24 de Marzo de 2010 expedidas por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT).

La RMCAB desde 2008 modernizó su estructura, que involucró el cambio de software de manejo de datos, el reemplazo de los equipos que tenían más de 10 años de funcionamiento, la instalación de nuevos equipos para ampliar el monitoreo de los contaminantes en los diferentes sitios de la ciudad y la adquisición de una unidad móvil que comenzó a operar en el mes de noviembre de 2008 en las instalaciones de la Secretaría Distrital de Salud y para la cual se reportarán datos en el presente informe. Para el 2010 la RMCAB sumó 15 estaciones fijas de monitoreo y una estación móvil, ubicadas en sitios estratégicos de la ciudad, dotadas con equipos de última tecnología que permiten realizar un monitoreo continuo de las concentraciones de material particulado ( $PM_{10}$ , PST,  $PM_{2.5}$ ), de gases contaminantes ( $SO_2$ ,  $NO_2$ , CO,  $O_3$ ) y de los parámetros meteorológicos de precipitación, velocidad y dirección de vientos, temperatura, radiación solar, humedad relativa y presión barométrica<sup>10</sup>.

Hoy en día gracias a esta tecnología es posible monitorear en tiempo real variables que tiempo atrás eran difícilmente medibles. El aprovechamiento y uso de estas herramientas para conocer el estado del aire permite corresponder a la responsabilidad que desde la perspectiva ambiental se tiene con la salud y calidad de vida de toda la población.

---

<sup>10</sup>Informe Anual de Calidad de Aire Año 2011

## 4. OBJETIVOS

### 4.1. OBJETIVO GENERAL

- Identificar y evaluar algunos de los efectos de la modificación del 2012 de la medida de pico y placa en la calidad del aire en Bogotá, mediante un análisis comparativo de las concentraciones de material particulado en diferentes ubicaciones de la ciudad reportadas por la Red de Monitoreo de la Calidad del Aire, se omitirá el efecto de otras variables que se conectan causalmente con la calidad de aire y la concentración de material particulado  $PM_{10}$ , pues se asumirán constantes en el periodo de medición.

### 4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diseñar e implementar una metodología para estudiar el efecto de la última modificación de la medida de pico y placa en Bogotá. Seleccionando para esto cuatro estaciones de la red de monitoreo de calidad del aire donde se espera que el efecto en las concentraciones de material particulado ( $PM_{10}$ ) sea significativo.
- Realizar un análisis sistemático de la evolución de la medida de pico y placa en Bogotá, que permita entender los principales cambios que tiene y compararla con la evolución de otras medidas similares en Latino-América.

## 5. MARCOS REFERENCIALES

### 5.1. MARCO TEÓRICO

A continuación se describe brevemente la correlación entre los factores meteorológicos y la calidad del aire, además se describirá el estado actual normativo para Bogotá en cuanto a nivel máximo permisible de material particulado ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) con tiempo de exposición haciendo un análisis comparativo entre la norma de 2006 y la que actualmente se aplica a partir de 2011 y por último algunos de los componentes históricos, actividades y servicios que brinda la Red de Monitoreo de la Calidad del Aire en Bogotá (en adelante RMCAB) esto con el fin de reseñar nuestra fuente principal primaria de datos obtenidos (ver tabla No 2).

#### ❖ Meteorología y su influencia sobre la calidad del aire<sup>11</sup>

*La atmósfera es un conjunto de delgadas capas de gases que envuelven el planeta Tierra. Su volumen es aún más pequeño, si se considera sólo la capa más cercana a la superficie del planeta, en la cual habita la vida, denominada tropósfera. Es en ese pequeño volumen, donde los contaminantes emitidos por actividades humanas o naturales se dispersan y se transforman, cambiando sus estructuras físicas y químicas, para finalmente entrar en contacto con los receptores, que pueden ser las personas, los animales, los vegetales o las cosas.*

*Estos procesos de dispersión, transformación y deposición de contaminantes están determinados por las fuerzas que alteran la atmósfera, los vientos, las lluvias, la temperatura, la radiación solar, la presión atmosférica y la humedad, principalmente*

Respecto a la influencia de la precipitación, como se describió anteriormente la meteorología de la ciudad y su influencia sobre la calidad del aire, no existe una relación directa que explique a partir de esta variable el comportamiento de la concentración del  $\text{PM}_{10}$ . Sin embargo, se observa, lo cual es objeto de validación, que a pesar de que la lluvia es un factor que alivia la atmósfera de material particulado  $\text{PM}_{10}$ , resulta en un hecho episódico, que de momento puede disminuir el nivel de concentración. Sin embargo, los periodos de lluvias corresponden también a periodos de alta nubosidad, baja radiación solar directa y temperaturas no muy altas en las horas diurnas, condiciones que promueven alta estabilidad

---

<sup>11</sup> Secretaría Distrital de Ambiente, Plan Decenal de Descontaminación del Aire para Bogotá, Diciembre 2010

atmosférica y dificulta la dispersión de los contaminantes en el aire, generando promedios altos de PM<sub>10</sub> en la ciudad.

**Tabla 2.** Norma de calidad de aire o nivel de inmisión

Contaminante	Resolución 601/2006 Nivel Máximo Permissible ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Resolución 610/2010 Nivel Máximo Permissible ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) Rige a partir del año 2011	Tiempo de Exposición
PST	100	100	Anual
	300	300	24 horas
PM <sub>10</sub>	70	50	Anual
	150	100	24 horas
PM <sub>2,5</sub>	-	25	Anual
	-	50	24 horas
SO <sub>2</sub>	80	80	Anual
	250	250	24 horas
	750	750	3 horas
NO <sub>2</sub>	100	100	Anual
	150	150	24 horas
	200	200	1 hora
O <sub>3</sub>	80	80	8 horas
	120	120	1 hora
CO	10	10	8 horas
	40	40	1 hora

**Fuente:** Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible

**Tabla 3. Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá - RMCAB**

1. Que es la RMCAB?	2. Objetivos RMCAB	3. Historia RMCAB	
<p>La Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá, es un sistema de monitoreo ambiental continuo, con transmisión de datos vía telefónica y/o banda ancha y celular. Cuenta con 16 estaciones de medición con disponibilidad de datos meteorológicos y de contaminación del aire.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Evaluar el cumplimiento de estándares de calidad del aire en la ciudad</li> <li>- Conocer los niveles de contaminación atmosférica en las diferentes zonas de la ciudad.</li> <li>- Da información sobre la tendencia de los contaminantes en la ciudad</li> <li>- Provee información necesaria para diseñar políticas en el manejo de la calidad del aire. Provee información para evaluar la efectividad de las medidas implementadas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Red JICA 1990 –1992 (SDS)</li> <li>- Valoración – 1995 (ECOPETROL)</li> <li>- Contrato para instalación de la red - 1996 (ELIOVAC)</li> <li>- Diseño entregado 32 estaciones</li> <li>- 1er contrato 7 estaciones (5 ambientales y 2 meteorológicas)</li> <li>- Ampliación en 2 estaciones ambientales más, 1997</li> <li>Inicio de funcionamiento - agosto de 1997</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ampliación 3 estaciones más – 1999 Adquisición de 2 estaciones - 2000</li> <li>- Ampliación a una estación mas (total 15 estaciones)</li> <li>- Homogenización de parámetros</li> <li>- Operador pasado (IDEAM)</li> <li>- Operador actual (SDA)</li> <li>Modernización de la RMCAB, 2008.</li> </ul>
4. Normatividad	5. Que se monitorea?	6. Cómo está conformada	7. Actualidad....
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ley 99 de 1993 del Ministerio de MA</li> <li>- Decreto 948 de 1995 del Ministerio de MA</li> <li>- Resolución 391 de 2011 del DAMA (Actualmente SDA).</li> <li>- Resolución 1208 de 2003 del DAMA.</li> <li>- Resolución 601 de 2006 del MAVDT.</li> <li>- Resolución 610 de 2010 del MAVDT.</li> <li>Resolución 650 de 2010 del MAVDT.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Partículas (PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, PST)</li> <li>- Gases (CO, SO<sub>2</sub>, NOX, O<sub>3</sub>, CH<sub>4</sub>, NMCH<sub>4</sub>)</li> <li>- Meteorológicos                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• Precipitación</li> <li>• Velocidad y dirección del viento</li> <li>• Temperatura</li> <li>• Humedad relativa</li> <li>• Presión atmosférica</li> </ul> </li> <li>- Radiación (UVB- RS global)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 12 estaciones de monitoreo de contaminantes atmosféricos y meteorología (mixtas) distribuidas alrededor de la ciudad.</li> <li>- 1 estación móvil.</li> <li>- 1 estación central de datos.</li> <li>2 estaciones exclusivas para monitoreo de variables meteorológicas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>En el año 2008 se inicia un proceso de modernización que involucró:</li> <li>- El cambio de software de manejo de datos.</li> <li>- El reemplazo de los equipos que tenían más de 10 años de funcionamiento.</li> <li>La instalación de nuevos equipos para ampliar el monitoreo de los contaminantes en diferentes sitios de la ciudad.</li> </ul>
... Actualidad	8. Página Web RMCAB		9. Servicios /productos
<ul style="list-style-type: none"> <li>- La adquisición de una unidad móvil que comenzó a operar en el mes de noviembre de 2009 en las instalaciones de la Secretaría Distrital de Salud.</li> <li>Mejores estándares de calidad en la adquisición de datos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Inicia el proceso de adquisición de la herramienta para la publicación de datos – 2007.</li> <li>- Acuerdo 367 de 2009 del concejo insta a la Administración Distrital a que informe de manera permanente, pública y masiva el estado de contaminación atmosférica en la ciudad de Bogotá.</li> <li>- Lanzamiento página web junio de 2009.</li> <li>Permite la publicación de datos ambientales en línea, los cuales han sido capturados previamente usando el software de</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>datos utilizado por la SDA.</li> <li>- Permite la publicación de datos meteorológicos en tiempo real.</li> <li>- Reportes</li> <li>-La página web se actualiza constantemente en lo concerniente con información y publicaciones recientes relacionadas con el tema.</li> <li>Los datos provenientes de las estaciones se reciben aprox. cada hora, los cuales son descargados al mismo tiempo en la oficina</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>central y en la página web (pre-validación automática).</li> <li>-En la página Web se puede descargar información de calidad del aire y meteorológica con una ventana de tiempo de un año hacia atrás desde el día de la consulta.</li> <li><b>PRODUCTOS:</b></li> <li>Informes de Calidad del Aire de Bogotá (Anuales, Semestrales y trimestrales:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- Calidad del Aire</li> <li>- Meteorología</li> </ul> </li> <li>- Día por el Aire Limpio</li> <li>- Informes Especiales:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- Incendios Forestales</li> </ul> </li> <li>Fenómenos meteorológicos extremos.</li> </ul>

**Fuente:** RMCAB Subdirección De Calidad Del Aire, Auditiva Y Visual , Sept/2011

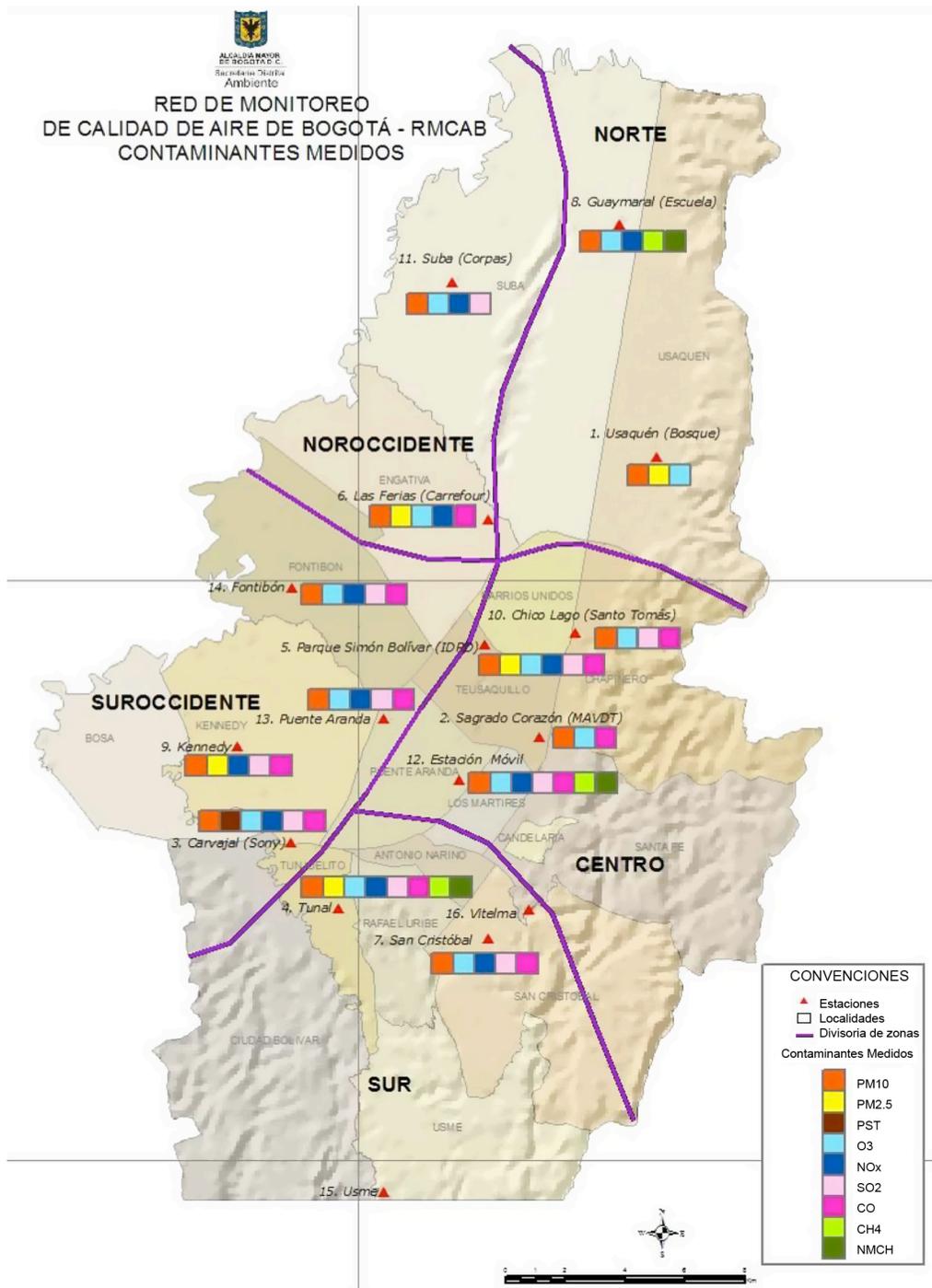
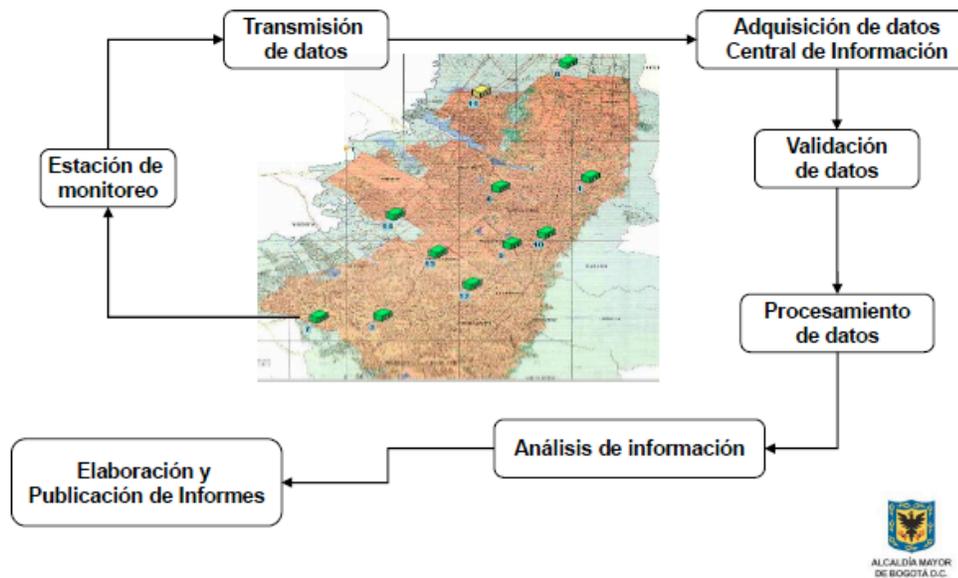
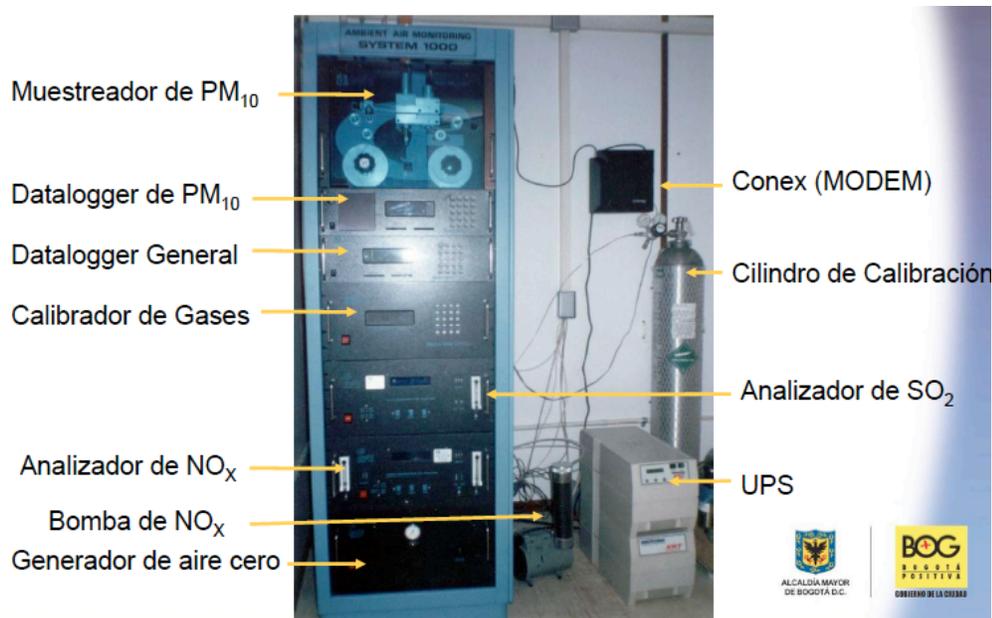


Figura 1. Ubicación de las estaciones y parámetros contaminantes medidos  
Fuente: RMCAB Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual, Sept/2011



**Figura 2.** Cómo funciona la RMCAB  
 Fuente: RMCAB Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual, Sept/2011



**Figura 3.** Configuración típica interna de una estación de la RMCAB  
 Fuente: RMCAB Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual, Sept/2011

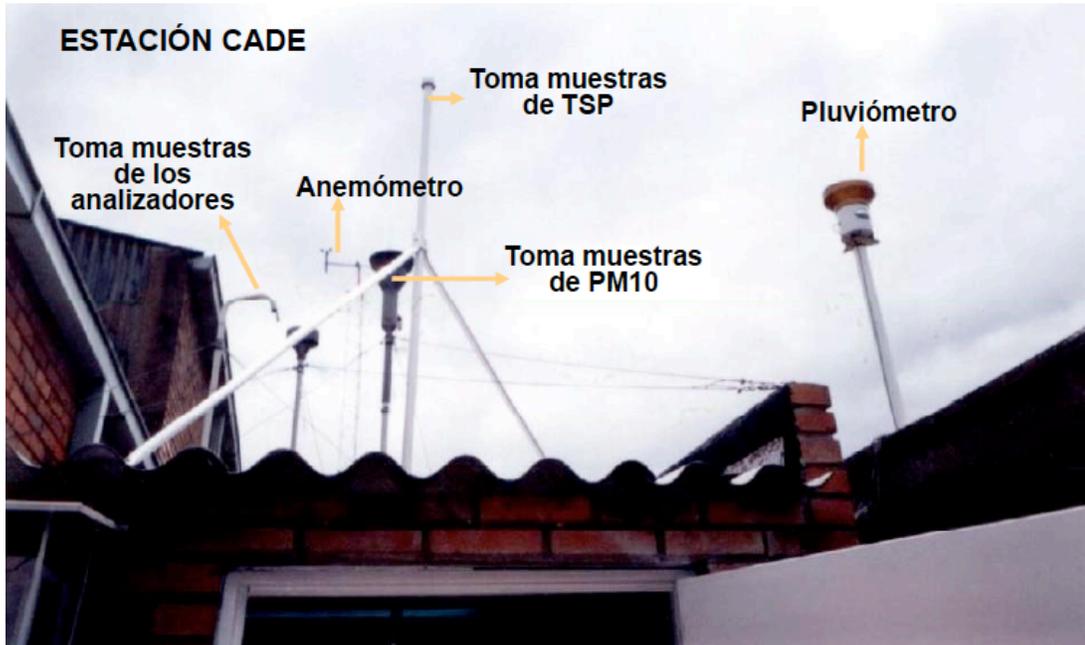


Figura 4. Configuración típica externa de una estación de la RMCAB  
 Fuente: RMCAB Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual, Sept/2011

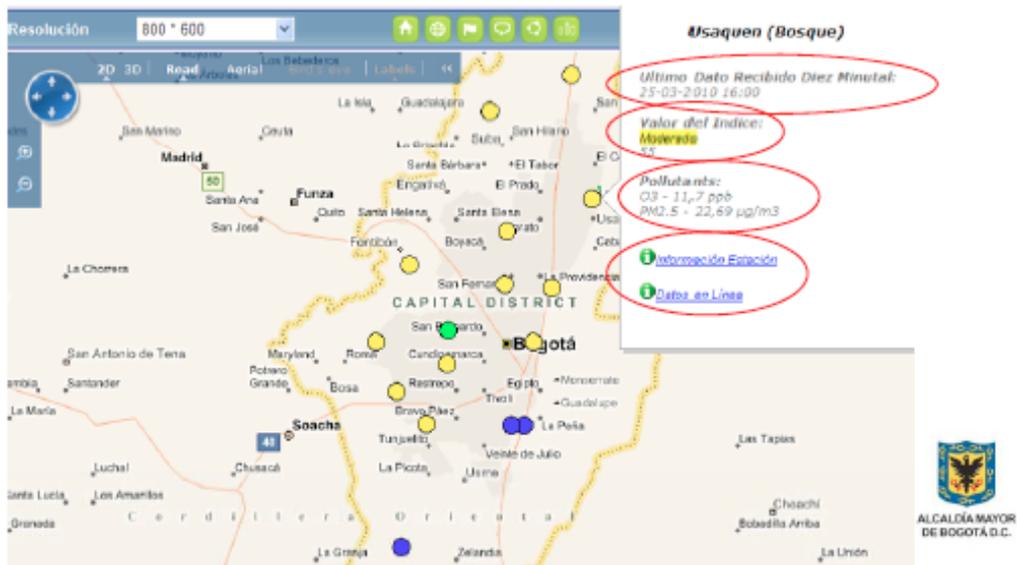


Figura 5. Datos en línea, página Web RMCAB  
 Fuente: RMCAB Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual, Sept/2011

## ❖ Información sobre estaciones y técnicas de medición<sup>12</sup>

Se seleccionaron, para analizar los datos de concentraciones promedio de PM<sub>10</sub>, cuatro estaciones de medición de la RMCAB. Se limitó el estudio a estas estaciones con el objetivo resumir el análisis tomando como referencia estaciones que por su ubicación geográfica dentro de la ciudad están sujetas a condiciones de tráfico diferentes y además se puede esperar que el efecto de la modificación del programa de restricción vehicular tenga efectos diferentes entre ellas.

A continuación se presentan cada una de las estaciones escogidas para realizar una descripción técnica detallada de cada una de las estaciones de la RMCAB, seguidas por una breve explicación de la escogencia de cada una de las estaciones para el desarrollo del presente análisis:

**Tabla 4.** Sagrado Corazón

<b>Código Asignado a la estación en la RMCAB</b>		2 (Estación fija)	
<b>Tipo de SVCA</b>		Automática	
<b>Ubicación</b>		Calle 37 No 8-40	
<b>Coordenadas Geográficas</b>		Latitud: 4.62529	Longitud: -74.0724
<b>Tipo de Zona</b>		Urbana	
<b>Tipo de Estación</b>		De fondo	
<b>Equipos</b>	<b>Parámetro</b>	<b>Nombre</b>	<b>Principio Analítico</b>
	PM10	Met One Bam 1020	Atenuación Beta
	O <sub>3</sub>	Ecotech 9811	Fotómetro UV no dispersivo
<b>Localización del punto de toma de muestra</b>			
<b>Altura del punto de toma de muestra</b>		10.0 m	
<b>Altura de meteorológicos</b>		10.0 m	

Fuente: RMCAB

De las cuatro estaciones tomadas para el presente análisis es la única que se encuentra ubicada en el centro de la Ciudad (predios MinAmbiente) este punto nos permite comparar el comportamiento del PM<sub>10</sub> en esta importante zona.

<sup>12</sup> Las estaciones utilizadas por la Secretaría Distrital de Ambiente, las cuales se encuentran a cargo de la Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual y que conforman la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá – RMCAB pueden ser consultadas en la página web [www.secretariadeambiente.gov.co](http://www.secretariadeambiente.gov.co)

Tabla 5. Estación Tunal

<b>Código Asignado a la estación en la RMCAB</b>		4 (Estación fija)	
<b>Tipo de SVCA</b>		Automática	
<b>Ubicación</b>		Carrera 24 No 49-86 Sur	
<b>Coordenadas Geográficas</b>		Latitud: 4.57619	Longitud: -74.13093
<b>Tipo de Zona</b>		Urbana	
<b>Tipo de Estación</b>		Entorno de fondo	
<b>Equipos</b>	<b>Parámetro</b>	<b>Nombre</b>	<b>Principio Analítico</b>
	PM10	Met One Bam 1020	Atenuación Beta
	PM <sub>2.5</sub>	Thermo Scientific FH62C14-DHS	Atenuación Beta
	O <sub>3</sub>	Teledyne API 400E	Fotómetro UV no dispersivo
	CO	Thermo Scientific 48i	Absorción de Infrarrojo con filtro de gas
	SO <sub>2</sub>	Teledyne API 100E	Fluorescencia Pulsada
	NO <sub>2</sub>	Teledyne API 200E	Quimioluminiscencia
<b>Localización del punto de toma de muestra</b>		Zona verde	
<b>Altura del punto de toma de muestra</b>		4.0 m	
<b>Altura de meteorológicos</b>		10.0 m	

Fuente: RMCAB

Esta estación colinda entre la aplicación y restricción de la medida pico y placa en el suroccidente de Bogotá.

Tabla 6. Estación San Cristóbal

<b>Código Asignado a la estación en la RMCAB</b>		7 (Estación fija)	
<b>Tipo de SVCA</b>		Automática	
<b>Ubicación</b>		Carrera 2 este No 12-78 Sur	
<b>Coordenadas Geográficas</b>		Latitud: 04.57.25	Longitud: -74.08.36
<b>Tipo de Zona</b>		Urbana	
<b>Tipo de Estación</b>		De fondo	
<b>Equipos</b>	<b>Parámetro</b>	<b>Nombre</b>	<b>Principio Analítico</b>
	PM10	Met One Bam 1020	Atenuación Beta
	O <sub>3</sub>	Tapi 400E	Fotómetro UV no dispersivo
	CO	Thermo Scientific 48i	Absorción de Infrarrojo con filtro de gas
	SO <sub>2</sub>	Thermo Scientific 43i	Fluorescencia Pulsada
<b>Localización del punto de toma de muestra</b>		Zona verde	
<b>Altura del punto de toma de muestra</b>		4.0 m	
<b>Altura de meteorológicos</b>		10.0 m	
<b>Argumento de escogencia de la estación:</b>			

Fuente: RMCAB

Esta estación colinda entre la aplicación y restricción de la medida pico y placa en el suroriente de Bogotá.

**Tabla 7.** Estación Guaymaral (Escuela)

<b>Código Asignado a la estación en la RMCAB</b>		8 (Estación fija)	
<b>Tipo de SVCA</b>		Automática	
<b>Ubicación</b>		Av. Carrera 45 No 205-59 (antigua Aut. Norte Km. 13)	
<b>Coordenadas Geográficas</b>		Latitud: 04.47.13,0	Longitud: -74.02.52,0
<b>Tipo de Zona</b>		Rural	
<b>Tipo de Estación</b>		De fondo	
<b>Equipos</b>	<b>Parámetro</b>	<b>Nombre</b>	<b>Principio Analítico</b>
	PM10	Met One Bam 1020	Atenuación Beta
	O <sub>3</sub>	Tapi 400E	Fotómetro UV no dispersivo
	NO <sub>2</sub>	Tapi 200E	Quimioluminiscencia
	Hidrocarburos	Thermo Scientific	
<b>Localización del punto de toma de muestra</b>		Zona verde	
<b>Altura del punto de toma de muestra</b>		4.0 m	
<b>Altura de meteorológicos</b>		10.0 m	

Fuente: RMCAB

Es la estación ubicada más al norte de Bogotá, su ubicación la sitúa en un importante corredor vial de la ciudad.

## ❖ Indicadores de Operación y Desempeño

A continuación se presentan los indicadores de la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá para el año 2011.

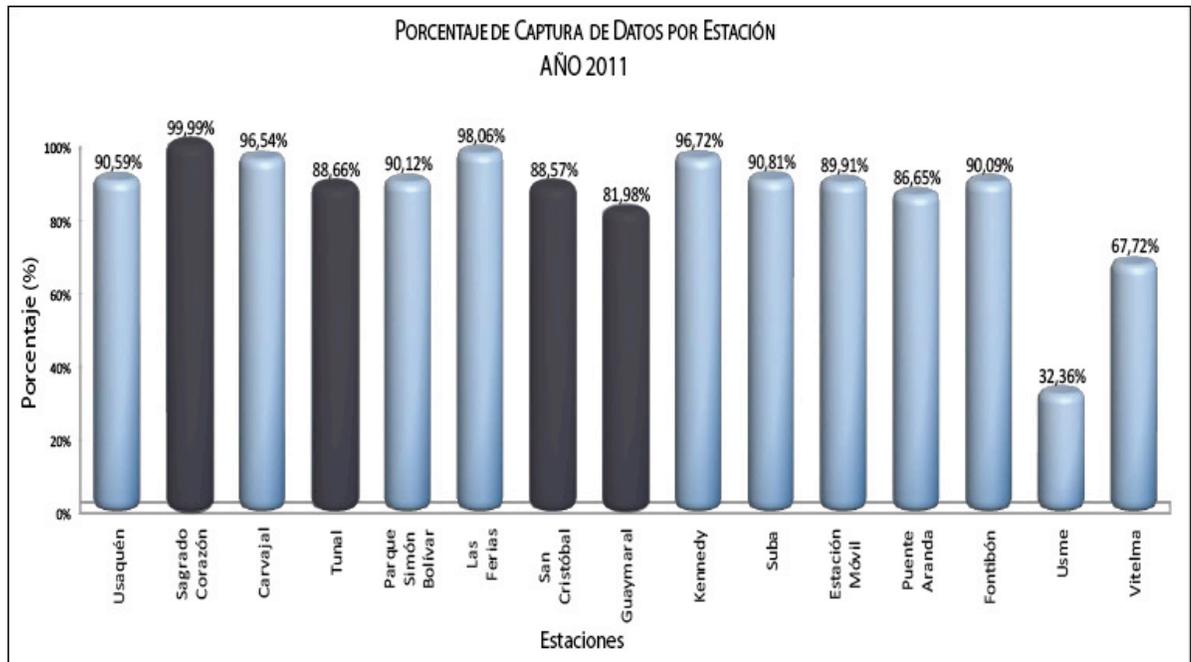
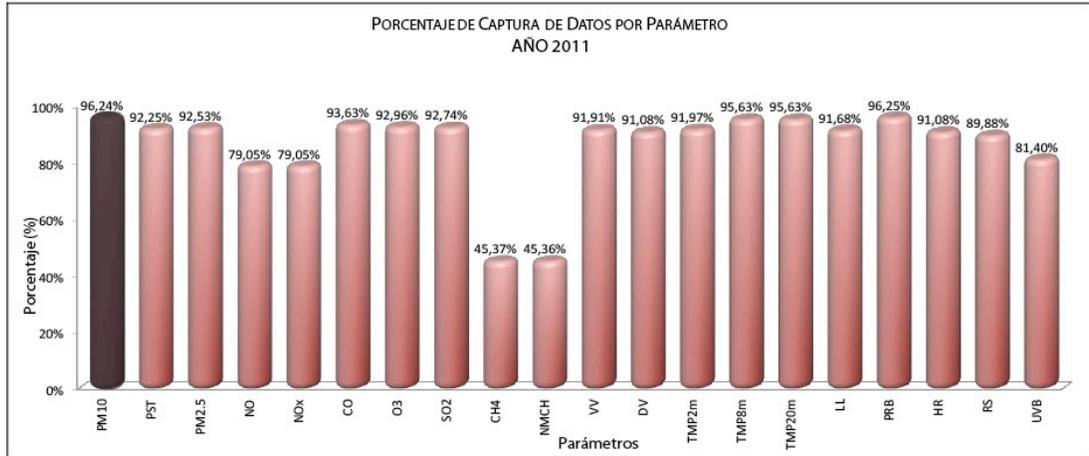


Figura 6. Porcentaje de Captura de Datos por Estación

Fuente: RMCAB

Según la RMCAB se recolectaron aproximadamente el 89% de los datos posibles de recibir durante el periodo. No se tuvieron en cuenta periodos en los que alguno de los equipos de la RMCAB estuvo fuera de servicio por circunstancias de fuerza mayor, que estaban fuera del alcance de la institución, como se reporta en los informes trimestrales del año. En cuanto a la estación Usme, se puede apreciar una escasa captura de datos debido a fallas en el sistema de energía solar durante el principio de año y posteriormente tuvo que ser puesta fuera de operación debido a hurto de equipos en la estación.



**Figura 7.** Porcentaje de Captura de Datos por Estación  
Fuente: RMCAB

Como se aprecia en la figura anterior los porcentajes más bajos de recuperación de datos se tienen en los parámetros de CH<sub>4</sub>, NMCH, NO y NO<sub>x</sub>. La RMCAB manifiesta que es importante tener en cuenta que esto se debe a que se presentaron continuas fallas técnicas en estos equipos que obligaron a mantenerlos en estado apagado en varias estaciones, alterando de esta manera el porcentaje de captura de datos.

## 5.2. MARCO CONCEPTUAL

A lo largo de la monografía el análisis se construirá en torno a la validación de las hipótesis que son presentadas a continuación.

- Con la nueva modalidad de restricción vehicular particular en la ciudad de Bogotá a partir del II semestre de 2012 con respecto al programa pico y placa se espera que los resultados en cuanto a material particulado sean inferior en las horas pico y superior en las horas valle, así como se diferencien según el día de la semana.
- La estaciones de monitoreo de calidad de Aire Tunal y San Cristóbal Sur ubicadas al sur de Bogotá respectivamente colindan con el límite de la aplicación del programa pico y placa se espera que en dicha zona el material particulado aumente.

- La distancia geográfica que presentan las estaciones de monitoreo de calidad de aire escogidas para el presente análisis pretenden demostrar el estado actual del material particulado en diferentes puntos de la ciudad de Bogotá.

### 5.3. MARCO LEGAL

Tabla 8. Marco Legal

NORMA	DESCRIPCIÓN
<i>De carácter ambiental</i>	
Ley 23 de 1973	Por medio de esta ley se establece el control de la contaminación del medio ambiente y se establecen alternativas y estrategias para la conservación y recuperación de los recursos naturales, para la salud y el bienestar de la población.
Decreto Ley 2811 de 1974	o Código de los Recursos Naturales y de Protección al Medio Ambiente. <b>Artículo 75:</b> <i>Establecimiento de estaciones o redes de muestreo para localizar las fuentes de contaminación atmosférica y detectar su peligro actual o potencial.</i>
Ley 09 de 1979	Código Sanitario Nacional, donde se establecen los procedimientos y medidas para legislar, regular y controlar las descargas de los residuos y materiales. Indica, además los parámetros para controlar las actividades que afecten el medio ambiente.
Decreto 02/1982	Establece el Control de Emisiones Atmosféricas y estipula las normas y parámetros de la calidad del aire y los rangos y límites permisibles de emisión.
Decreto 2206/1983	Vigilancia, Control y Sanciones sobre emisiones atmosféricas. Sustituye el Capítulo XVI de la vigilancia, el control y las sanciones del Decreto 02 / 82 sobre emisiones atmosféricas
Ley 99 de 1993	Mediante esta ley se logra concretar en un solo documento las normas y principios que antes de esta ley carecían de coherencia en el control y formulación de políticas ambientales a nivel nacional.
Decreto 948/1995	Protección y Control de la calidad del aire. Reglamenta la prevención y control de la

	contaminación atmosférica y la protección de la calidad del aire.
Resolución 898/1995	Criterios ambientales para los combustibles. Define los criterios de calidad de combustibles líquidos y sólidos utilizados en hornos y calderas
Resolución 1351/1995	Se adopta la declaración denominada informe de estado de emisiones.
Resolución 005/1996	Niveles permisibles de emisión de fuentes móviles terrestres. Reglamenta los niveles permisibles de emisión de contaminantes producidos por fuentes móviles terrestres a gasolina o diesel y define los equipos y procedimientos de medición de dichas emisiones.
Resolución 610/2010	Por la cual se establece la Norma de Calidad del Aire o Nivel de Inmisión, para todo el territorio nacional en condiciones de referencia (modifica la Resolución 601/2006).
Decreto 190 de 2004	por medio del cual se compilan las disposiciones contenidas en los Decretos Distritales 619 de 2000 y 469 de 2003, en cuanto a la reglamentación sobre el agua, <b>el aire</b> , el manejo de residuos sólidos, los vertimientos y su relación estrecha con la protección y conservación del medio ambiente y sus componentes.
Decreto 979 de 2006	De las clases de normas de calidad del aire o de los distintos niveles periódicos de inmisión. La norma de calidad del aire, o nivel de inmisión, será fijada para períodos de exposición anual, diario, ocho horas, tres horas y una hora.
Resolución 683 de 2011	Por la cual se dictan normas sobre prevención y control de la contaminación atmosférica por fuentes fijas y protección de la calidad del aire".
<b><i>De carácter de movilidad</i></b>	
Decreto distrital 626 de Julio 15 de 1998	La medida opera de lunes a viernes en la mañana de 7:00 a 9:00 am y en la tarde de 5:30 a 7:30 pm
Decreto distrital 007 de Enero 14 de 2002	Se ajusta el horario de la restricción para vehículos particulares según la ciudad de matrícula manteniendo la distribución de placas por día (2 placas por día).
Decreto distrital 180 de Junio 11 de 2004	Continúa la restricción de dos placas por día y a causa del plan de obras que se ejecutan en el distrito, se aplican en el horario de restricción que dando de la siguiente forma: Vehículos matriculados en Bogotá de

	6:00 a 9:00 am y de 4:00 a 7:00 pm Vehículos matriculados fuera de Bogotá de 5:30 a 9:00 y de 4:00 a 7:00 pm...
Decreto distrital 198 de Junio 30 de 2004	Modifica el decreto 180 de 2004 y unifico la medida de restricción vehicular para todos los vehículos que circulen en Bogotá independiente del lugar donde se encuentre matriculados, estableciendo como franjas horarias: Mañanas de 6:00 am a 9:00 am Tardes de 4:00 am a 7:00 am
Decreto distrital 033 de Febrero 05 de 2009	Se amplía el horario de restricción de 6 a 14 horas diarias entre el periodo de 6:00 am a 8:00 pm y se aumenta el número de placas por día, pasando de dos a cuatro placas de lunes a viernes.
Decreto distrital 041 de Enero 31 de 2011	Prorroga la medida adoptada en el 2009 por un año más.
Decreto distrital 025 de Enero 06 de 2012	Recomienda mantener el esquema de restricción diario de las 6:00 a las 20:00 horas
Decreto distrital 271 de Junio 12 de 2012	Restringir la circulación de vehículos automotores particulares, de lunes a viernes hábiles, entre las 6:00 y las 8:30 horas y entre las 15:00 y las 19:30 horas. Excluir del tratamiento restrictivo la zona ubicada al costado sur del siguiente límite: Transversal 3B Este entre Carrera 12 Este y Avenida Primero de Mayo (Calle 20 Sur), Avenida Primero de Mayo entre Carrera 3 Este y Avenida Caracas, Avenida Caracas entre Avenida Primero de Mayo y Avenida Villavicencio (Diagonal 48 Sur), Avenida Villavicencio entre Avenida Caracas y Autopista Sur y Autopista Sur entre Avenida Villavicencio (Carrera 71B) hasta el límite de la ciudad.

**Fuente:** Elaboración propia.

## 6. METODOLOGÍA

La metodología aplicada para este análisis consiste en la comparación cuantitativa de las mediciones de material particulado en cuatro (4) diferentes estaciones de la Red de Monitoreo de la Calidad de Aire, que son escogidas por que su ubicación geográfica permite contrastar las hipótesis de partida sobre el efecto del cambio de la medida de pico y placa y las mediciones efectivas. Además los comportamientos hallados serán contrastados con los modelos discutidos en el marco conceptual, permitiendo concluir con explicaciones plausibles a los efectos observados. A continuación se describe esta metodología en forma detallada.

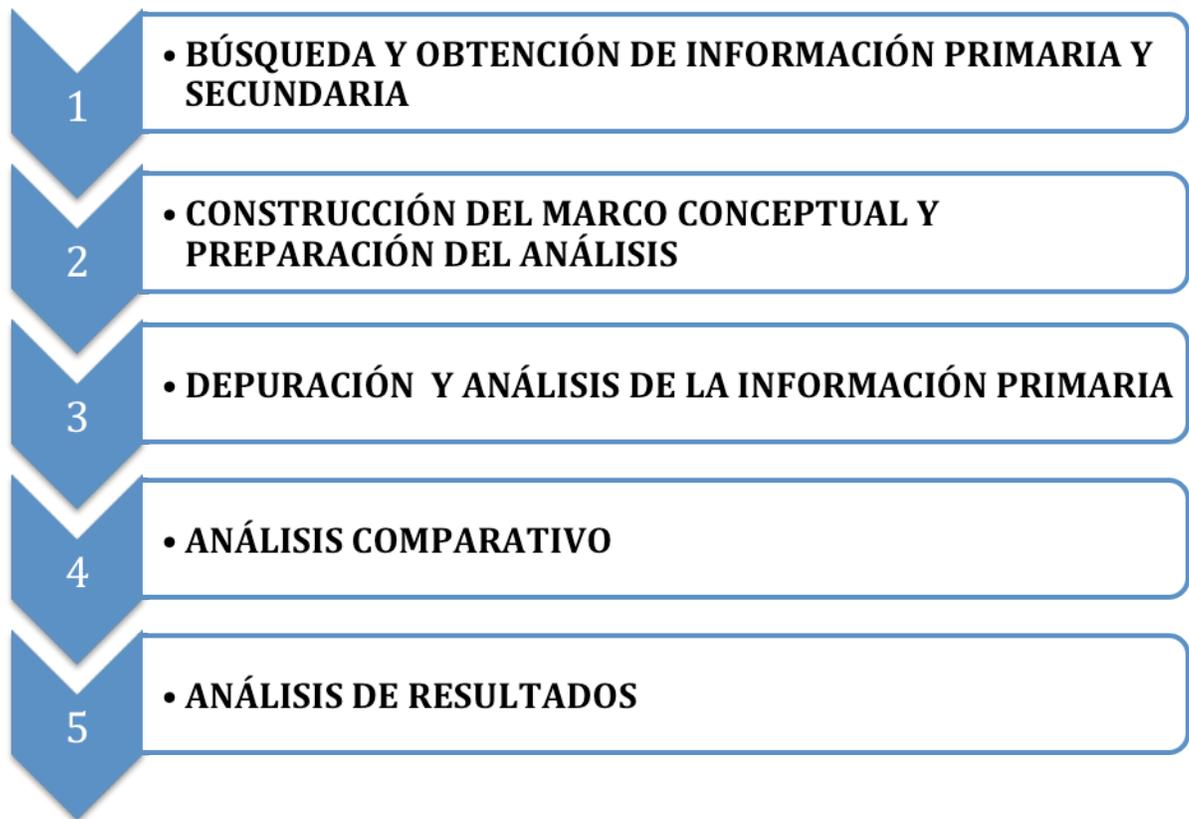


Figura 8. Estructura de la Metodología

1

## BÚSQUEDA Y OBTENCIÓN DE INFORMACIÓN PRIMARIA Y SECUNDARIA

### Base de datos de la Red de Monitoreo de la Calidad de aire de Bogotá

- Petición formal de la información
- Recepción de información
- Validación de la información

### Legislación aplicada

Se realiza una compilación y análisis de los principales decretos, resoluciones y otros que rigen la norma de pico y placa y la contaminación de aire

### Análisis técnicos emitidos por las entidades gubernamentales

Se realiza un análisis del último informe de calidad del aire emitido por la red de calidad de aires, el plan decenal de descontaminación y el soporte técnico de modificación de la norma, entre otros

### Artículos y estudios relevantes

Se seleccionan los artículos sobre los estudios mas completo de los efectos de los automotores en la calidad de aire en Bogotá

A partir de las fuentes secundarias obtenidas en el numeral anterior se construye un marco conceptual desde el que se analizaran y explicaran los efectos encontrados.

2

## CONSTRUCCIÓN DEL MARCO CONCEPTUAL Y PREPARACIÓN DEL ANÁLISIS

### Construcción de hipótesis iniciales

A partir del marco conceptual construido y de las síntesis de decretos y los estudios técnicos asociados, se generan algunas hipótesis sobre los posibles efectos del cambio en la medida de pico y placa en Bogotá.

3

### DEPURACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS INFORMACIÓN PRIMARIA

#### Depuración y preparación de la base de datos

- Análisis de datos faltantes y erróneos
- Ajuste del formato de la información para su lectura

#### Delimitación de los periodos de tiempo a estudiar

Se determinan los periodos donde la norma estuvo en vigencia dentro del segundo semestre del 2011 y el segundo semestre del 2012, obteniendo de esta forma los periodos en días en cada semestre

#### Determinación de las estaciones a analizar

Se eligen cuatro (4) diferentes estaciones de la Red de Monitoreo de la Calidad de Aire, que son escogidas por su ubicación geográfica permite contrastar las hipótesis de iniciales sobre el efecto del cambio de la medida de pico y placa.

4

### ANÁLISIS COMPARATIVO

#### Exploración visual de los datos

- Gráficas de series de medias y gráficos comparativos Box Plot

#### Análisis de varianza: ANOVA

5

### ANÁLISIS DE RESULTADOS

Contrastación de hipótesis iniciales y resultados

Determinación de Conclusiones

## 7. ANALISIS DE RESULTADOS

El análisis de los resultados se concentra en dos aspectos principales, el primero es el análisis del cambio de la medida pico y placa en Bogotá a la luz de los factores descriptivos usados para caracterizar los programas de restricción vehicular, en la sección 1.1; el segundo corresponde al análisis del efecto del cambio de la medida de pico y placa en la concentración de partículas por millón menores a 10 micras ( $PM_{10}$ ).

La medición de material particulado como  $PM_{10}$  se ha llevado a cabo de manera permanente en la ciudad de Bogotá desde la instalación y puesta en marcha de la red de monitoreo de calidad del aire de Bogotá en 1997 por el DAMA, hoy Secretaria Distrital de Ambiente, de allí parte nuestro interés de realizar el presente análisis comparativo teniendo en cuenta la concentración de material particulado ( $PM_{10}$ ), otra razón importante fue la disponibilidad de información referente al contaminante pues la mayoría de las estaciones poseen la capacidad de captura de concentración del contaminante  $PM_{10}$ , proceso muy diferente ocurre con el material particulado  $PM_{2.5}$  donde las estaciones en su gran mayoría no cuentan con las herramientas apropiadas de medición del contaminante  $PM_{2.5}$ .

Se ha mostrado que el  $PM_{2.5}$  (partículas por millón menores a 2.5 micras) tiene una incidencia mucho mas clara en estos indicadores, sin embargo según se demuestra por Rojas y Galvis (2005) la concentración de  $PM_{10}$  es un indicador directamente proporcional de la concentración de  $PM_{2.5}$ . Por otra parte es conocido el impacto que tiene el tránsito vehicular no solo sobre la generación de material particulado si no también en su resuspensión en el aire, al levantar del suelo una amplia gama de material depositado.

En torno a este contaminante se desarrollará el análisis del impacto de la variación de la medida de pico y placa entre el segundo semestre del 2011 y el segundo semestre del 2012, en los días en los que la medida aplicaba, es decir el primer semestre comprende el periodo entre el primero de julio del 2011 hasta el 25 de diciembre del 2011 y el segundo semestre el periodo entre el 3 de julio del 2012 y el 25 de diciembre del 2012.

Es importante aclarar que factores cómo la calidad de los combustibles (gasolina y diesel<sup>13</sup>), la antigüedad del parque automotor y la velocidad promedio de recorrido

---

<sup>13</sup> En cumplimiento de la **Ley 1205 de julio de 2008** relacionado con la meta de reducir a 50 ppm el contenido de azufre en el 100% del combustible diesel la autoridad ambiental ha tomado como referencia los datos enviados por ECOPETROL. Técnicamente se considera que el **contenido de azufre**, es uno de los precursores en las emisiones de material particulado por vehículos

de los vehículos<sup>14</sup> entre otros, no están consideradas como variables dentro del objeto principal del presente análisis comparativo y se sustentan en la sección 2, Descripción del Problema de la presente monografía.

### **7.1. Resultados Del Análisis Comparativo De Las Medidas De Restricción Vehicular En Algunos Países De Latinoamérica Y Bogotá**

Según se observa en la tabla No 1 la estructura típica de un programa de restricción vehicular en Latinoamérica cuyo objetivo sea de movilidad, implica una extensión geográfica zonal en la que se ubica la restricción en las zonas que son susceptibles a mayor congestión, así como un periodo diario restringido a las horas pico. Este comportamiento responde a hacer coherente la medida con su objetivo principal de movilidad y dejar a un lado las justificaciones ambientales. A esta misma lógica parece responder el cambio en la medida del pico y placa en Bogotá, para pasar de una extensión completa a zonal y de aplicarse la jornada diurna completa a solo las horas pico.

---

<sup>14</sup> La Secretaría Distrital de Movilidad a través de contrato de consultoría para la toma de información de campo o contrato de monitoreo, recopila entre otros, la información de velocidades promedio de recorrido sobre diferentes corredores longitudinales y transversales de importancia dentro de la malla vial de Bogotá. Esta información se recopila de forma mensual y los corredores evaluados corresponden a la Avenida NQS, Carrera 13 y Carrera 17, Avenida Primero de Mayo, Avenida Boyacá, Avenida Carrera Séptima, Avenida Carrera 68 y Calle 100, Avenida Carrera 19, Avenida Carrera 11 y Avenida Carrera 15, Avenida Carrera 10, Avenida Calle 68, Avenida Calle 26 y Avenida Calle 19. El ensayo se realiza mediante la técnica de vehículo flotante y está enfocado a los diferentes tipos de servicio de transporte como vehículos particulares, transporte público colectivo y transporte público individual.

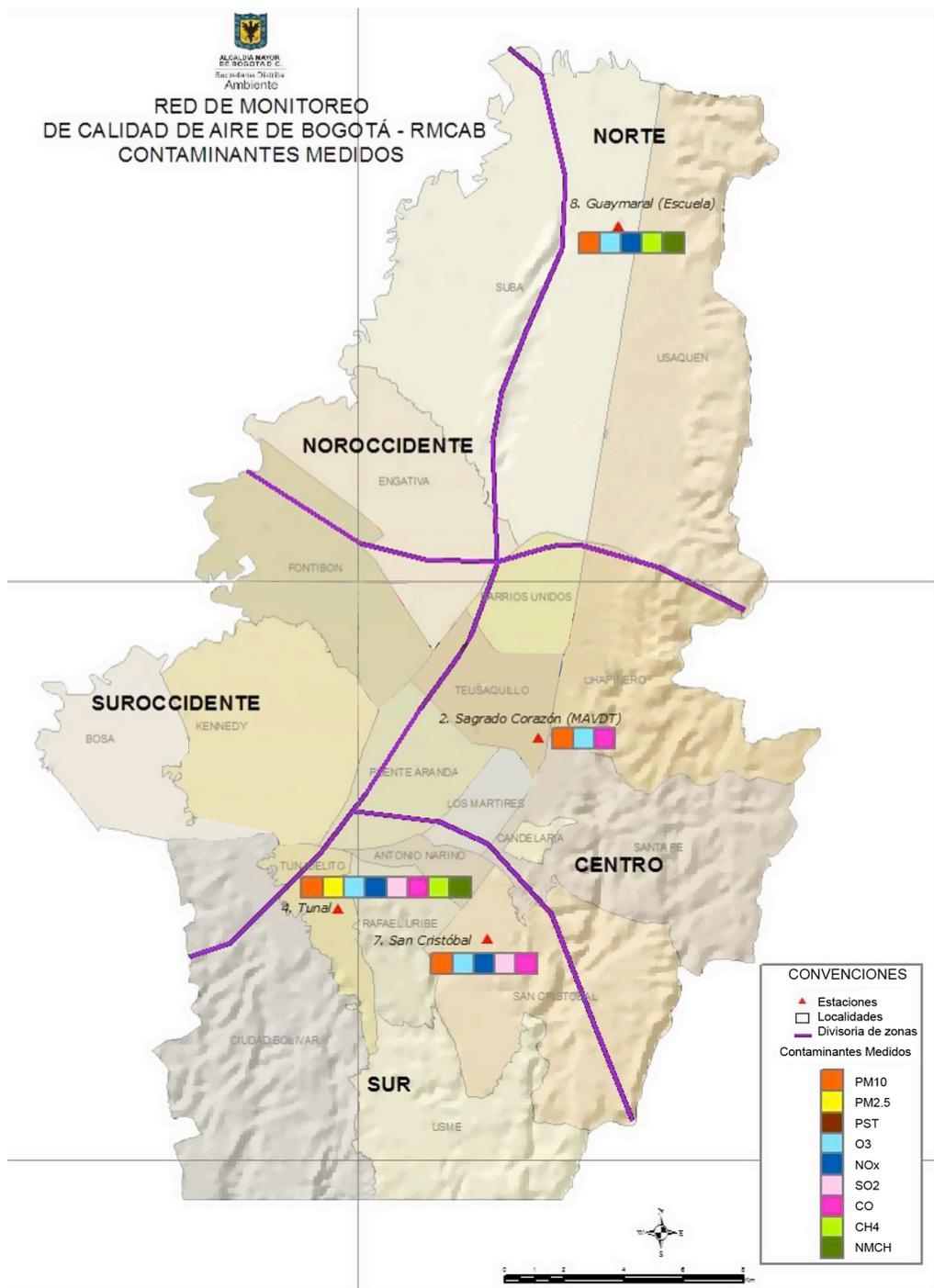
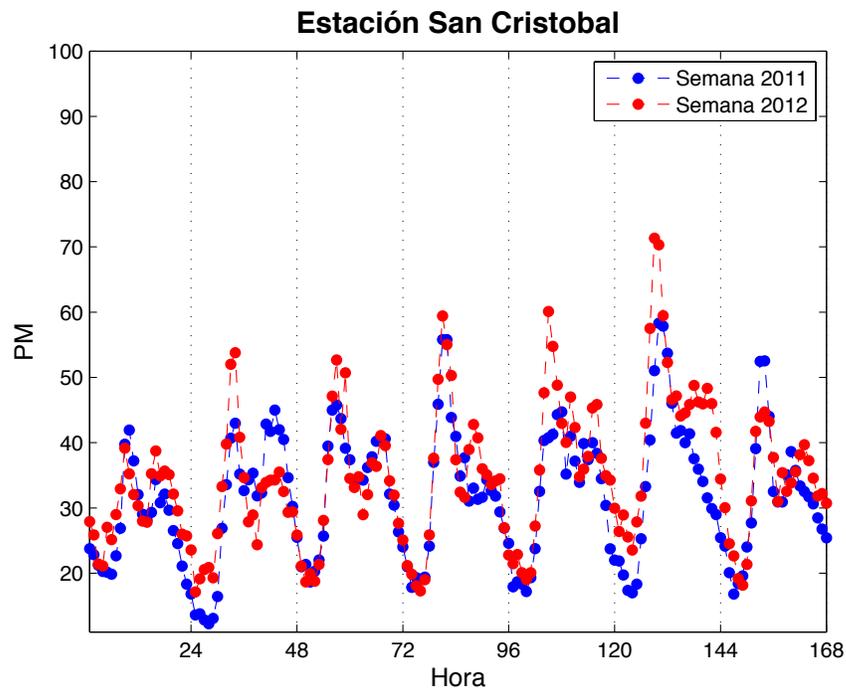


Figura 9. Ubicación de las 4 estaciones seleccionadas para el desarrollo del presente análisis.

Fuente: RMCAB Subdirección de Calidad del Aire, Auditiva y Visual, Sept/2011

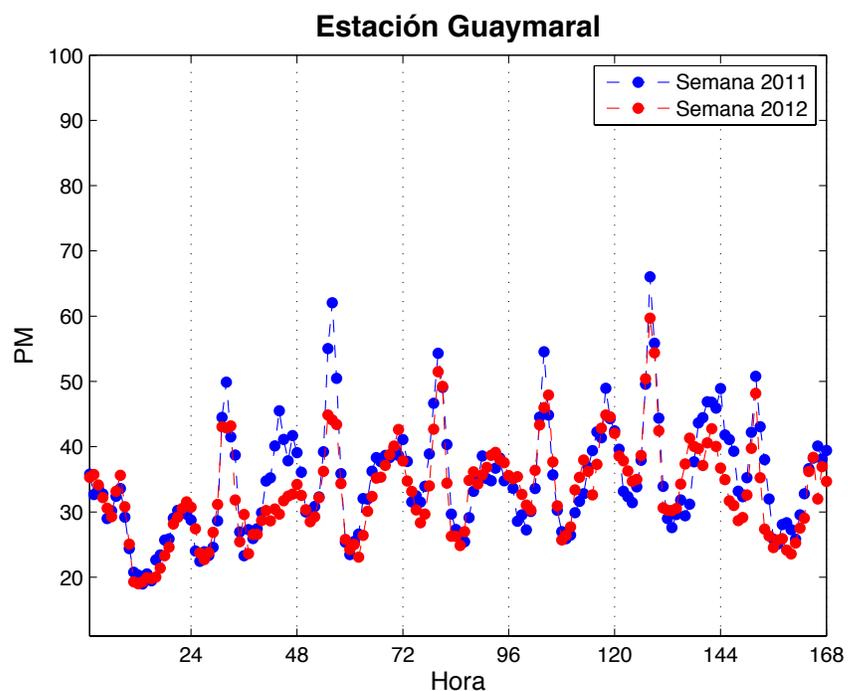
## 7.2. Análisis Visual De La Concentración Promedio Horaria

A continuación se presentan las gráficas de concentración promedio horaria del contaminante  $PM_{10}$ , para una ventana de tiempo semanal para las cuatro estaciones analizadas medido en unidades de microgramos por metro cubico. Las gráficas 1 a 4 muestran la comparación entre los dos semestres para un periodo de una semana completa de 168 puntos, uno por cada hora de la semana, partiendo de la primera hora completa del día domingo y finalizando con la última hora del día sábado. Cada punto representa la medida de la concentración promedio de  $PM_{10}$  en la hora respectiva. En la sección Anexo I, se encuentran las gráficas segmentadas para periodos de un día (24 horas), en las que se pueden observar en mas detalle el comportamiento diario del contaminante. Este análisis visual de la serie de los promedios horarios tienen el fin de realizar un primer acercamiento a los efectos del cambio de la medida de pico y placa.



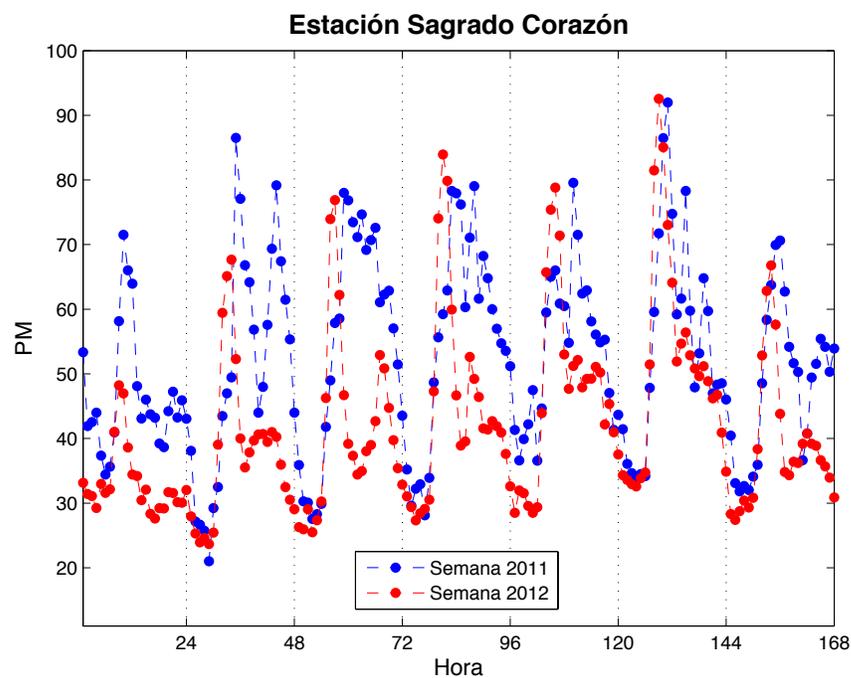
**Gráfica 1.** Concentración promedio horaria de material particulado, para una semana en la estación San Cristóbal.

Fuente: Elaboración propia.



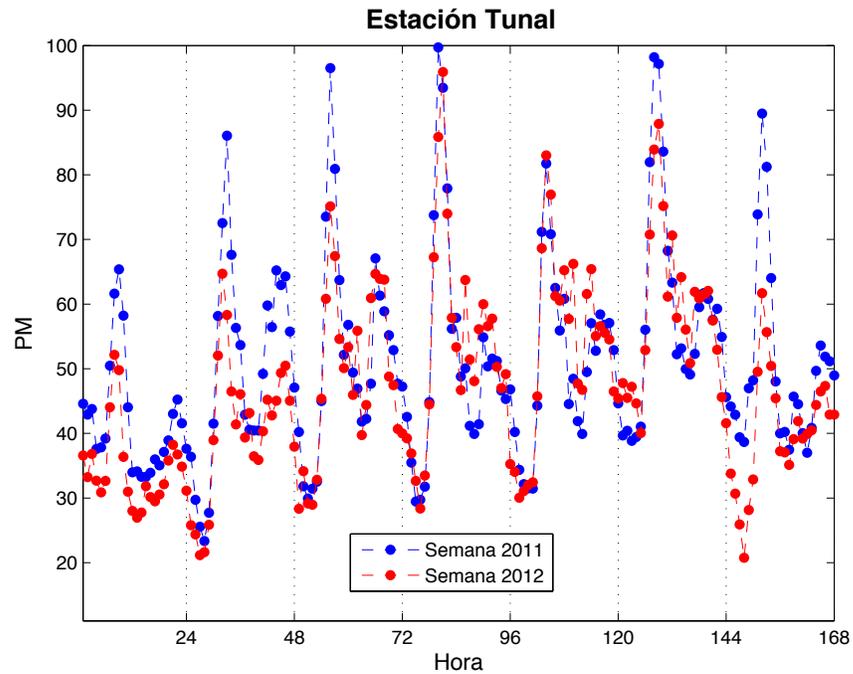
**Gráfica 2.** Concentración promedio horaria de material particulado, para una semana en la estación Guaymaral

Fuente: Elaboración propia.



**Gráfica 3.** Concentración promedio horaria de material particulado, para una semana en la estación Sagrado Corazón

Fuente: Elaboración propia.



**Gráfica 4.** Concentración promedio horaria de material particulado, para una semana en la estación Tunal  
Fuente: Elaboración propia.

Se observa en la Gráfica 1 que en la estación San Cristóbal los picos promedio diarios son mas altos para una semana del segundo semestre del 2012 (puntos rojos) que para el mismo periodo del 2011 (puntos azules) en un promedio de  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (microgramos por metro cubico). Al contrario, en la estación Guaymaral los picos diarios del periodo 2011 parecen estar sobre los picos diarios del periodo 2012 en promedio por  $8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . En la estación Sagrado Corazón el comportamiento del contaminante para el periodo del 2011 es mucho mas inestable, es decir su variación estándar aumentó con respecto al mismo periodo del 2012, este comportamiento se puede deber en parte a que para el periodo del 2011 la cantidad de datos fue escasa; en general se observa que para esa estación el 2011 fue un periodo de mayores concentraciones del contaminante comparado con el 2012. En la estación del tunal el comportamiento estructural es similar, aunque se observan reducciones comparativas importantes en el periodo del 2012 en los picos de algunos días de la semana (domingo, lunes, martes, viernes y sábado).

### 7.3. DISTRIBUCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN PROMEDIO HORARIA

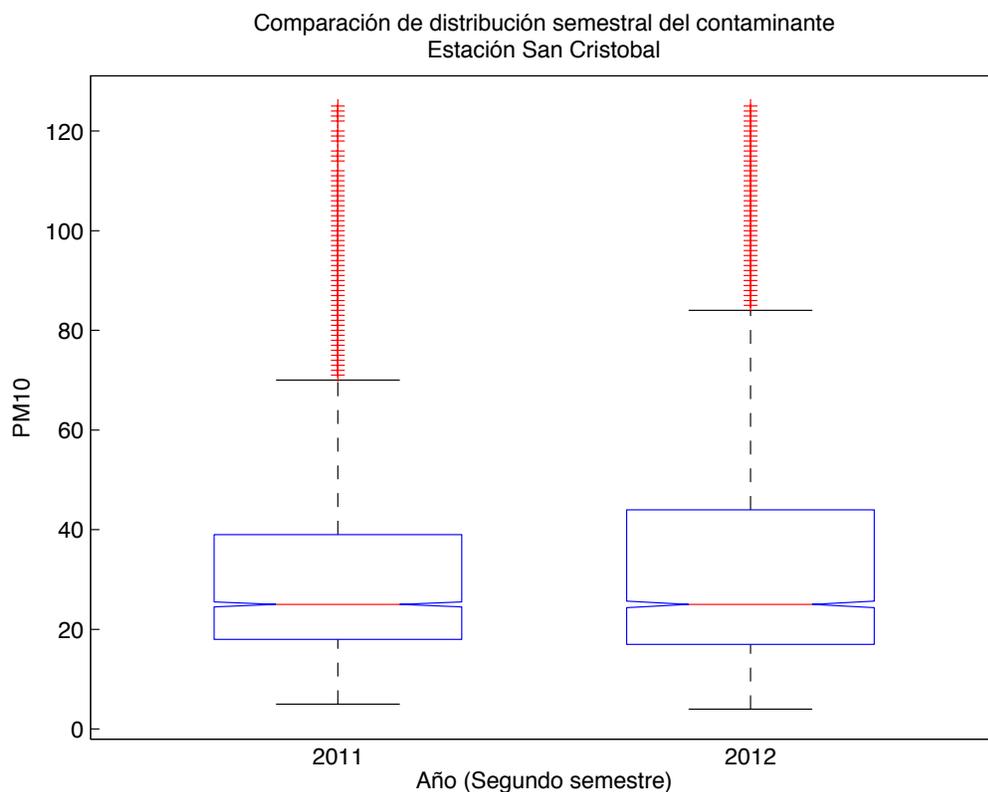
A continuación se representan por medio de diagramas de caja las distribuciones de los datos de concentración promedio horaria del contaminante  $PM_{10}$  en cada una de las cuatro estaciones seleccionadas. En cada gráfica se ubican los diagramas del periodo del 2011 y del 2012 de la respectiva estación, permitiendo realizar una comparación visual entre las distribuciones de los dos periodos y así revisar los posibles efectos del cambio en la medida de pico y placa.

Los diagramas de caja (conocidos ampliamente por su nombre en inglés, box plot) son representaciones gráficas de los datos que muestran explícitamente los valores y posiciones relativas de la mediana de los datos, los cuatro cuartiles<sup>15</sup> y los valores extremos (Outlayers).

En los siguientes diagramas, la mediana se representa por la línea roja horizontal; el mínimo de la distribución se ubica en la barra negra inferior horizontal; el valor del primer cuartil (25%) se ubica en el borde inferior de la caja azul; el segundo cuartil por definición igual a la mediana; el tercer cuartil (75%) se ubica en el borde superior de la caja azul y el máximo de la distribución corresponde a la barra negra horizontal superior.

---

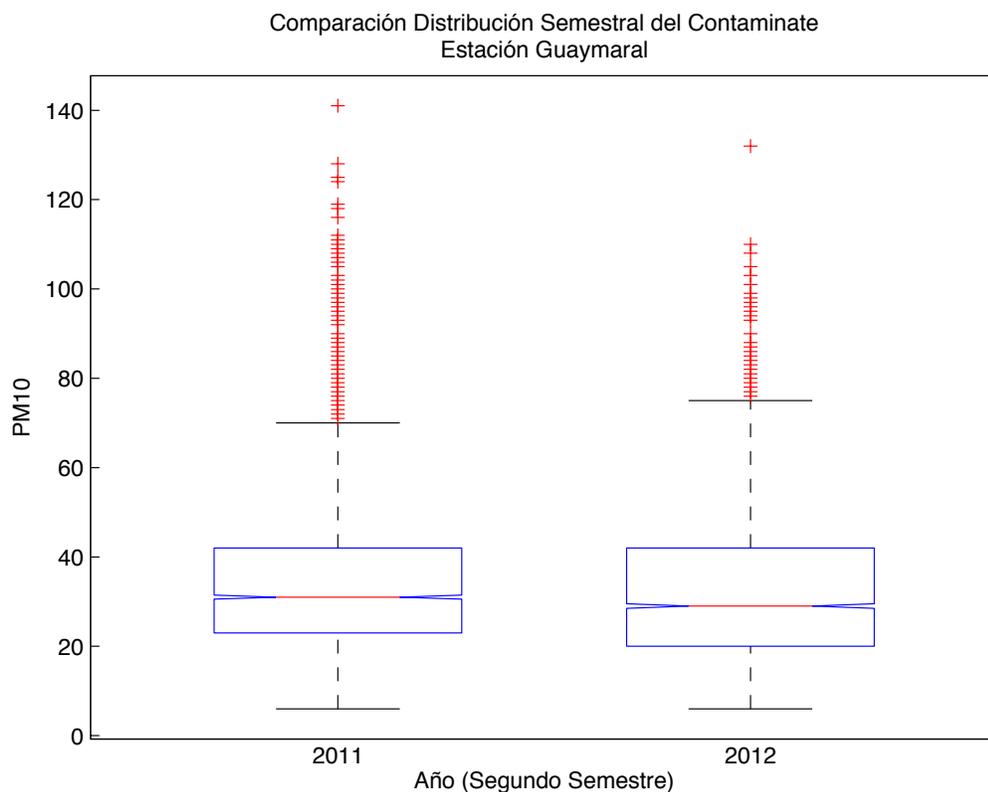
<sup>15</sup> Los cuartiles corresponden a los valores de la variable medida que separan la lista de datos ordenados en cuatro secciones de igual proporción.



**Gráfica 5.** Comparación de las distribuciones de la concentración promedio horaria en la estación San Cristóbal.

**Fuente:** Elaboración propia.

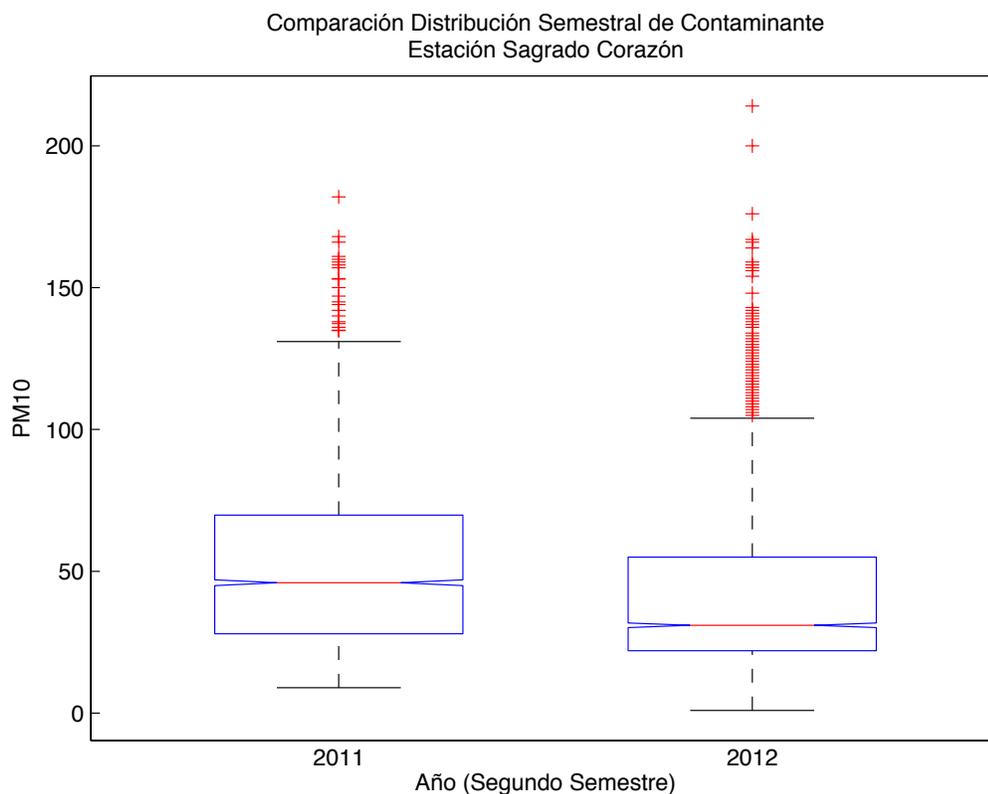
El gráfico muestra que la media del año 2012 es ligeramente superior a la media del año anterior, por menos de  $8 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y que además la distribución del 2011 estaba mas concentrada en la media mientras que en el 2012 aparece mayor dispersión, lo que significa que se hacen mas probables los valores altos de contaminación. Es decir que observa que en el segundo semestre del 2012 aparecen valores mas dispersos de la concentración de  $\text{PM}_{10}$  y que pueden estar relacionados con una mayor presencia y dinámica del contaminante en el aire debida a fuentes móviles.



**Gráfica 6.** Comparación de las distribuciones de la concentración promedio horaria en la estación San Guaymaral

Fuente: Elaboración propia.

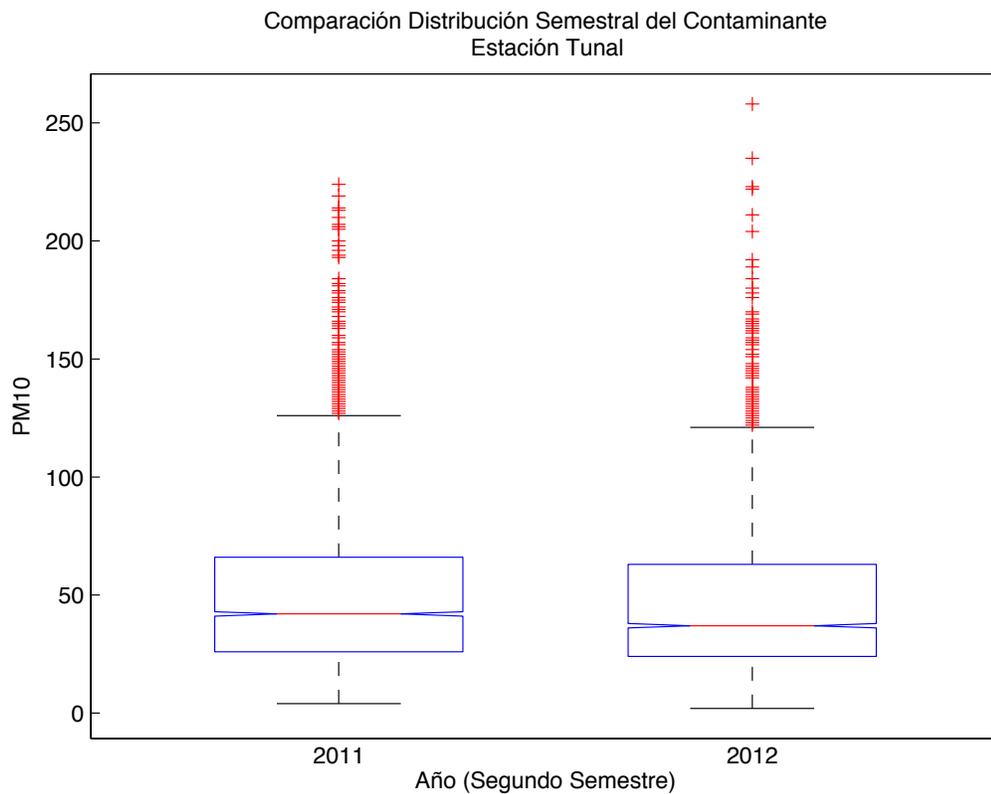
La media del 2012 es apenas un poco inferior ( $4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) comparada con el 2011 pero igualmente la dispersión es mayor (2.5%) lo que significa mayor probabilidad de valores altos de contaminación. Sin embargo para el 2011 presenta una mayor densidad de valores extremos positivos, es decir valores atípicamente mayores de contaminación.



**Gráfica 7.** Comparación de las distribuciones de la concentración promedio horaria en la estación Sagrado Corazón.

**Fuente:** Elaboración propia.

Es esta estación se observa una disminución de la media ( $13.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) y mayor centralidad de la distribución (menor dispersión en un 7.8%) para el segundo semestre del 2012, es decir menor probabilidad de valores altos de contaminación. Sin embargo se encuentran mayor cantidad de valores atípicamente altos. A primera vista parece que en el segundo semestre del 2012 se observa una menor presencia del contaminante y una dinámica mucho mas estable.



**Gráfica 8.** Comparación de las distribuciones de la concentración promedio horaria en la estación Tunal.

**Fuente:** Elaboración propia.

El gráfico muestra muy pocas diferencias entre los dos semestres, siendo la media del 2012 ligeramente menor ( $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) y la distribución mas centralizada. Es decir el 2012 presenta una presencia menor del contaminante.

#### 7.4. Análisis ANOVA

El análisis de varianza, ANOVA por sus siglas en ingles, es un conjunto de técnicas estadísticas que en su aplicación mas directa permite establecer cuando la medición de una variable es diferente en dos grupos o muestras, mediante una comparación de las medias y varianzas de cada grupo. Es decir permite establecer si un grupo difiere de otro según una variable medida. En el problema tratado se buscará establecer cuando el valor máximo de concentración de  $PM_{10}$  en cada día de la semana fue diferente entre los segundos semestres de los años 2011 y 2012.

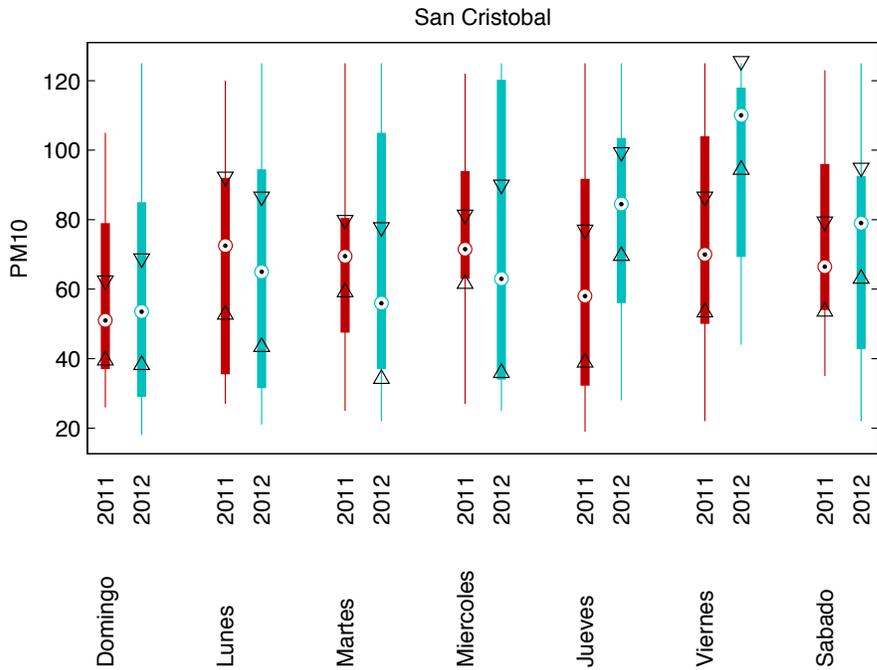
La hipótesis nula del análisis Anova realizado corresponde a que los datos de los valores máximos de  $PM_{10}$  para ambos semestres no son estadísticamente diferentes es decir que se pueden considerar iguales. Esta hipótesis corresponde con la metodología estadística de asignar como hipótesis nula aquella que espera invariabilidad entre las muestras. Es decir que esperamos descartar en una forma estadísticamente significativa que la concentración de  $PM_{10}$  en el aire no se vio influenciada por el cambio en la medida del pico y placa.

El estadístico p corresponde a la probabilidad de que los datos observados ocurran de acuerdo a la hipótesis nula, es decir que sean iguales estadísticamente. Es decir que entre menor sea el valor de p se puede considerar con menor incertidumbre que el valor de los máximos de  $PM_{10}$  vario al cambiar la medida de pico y placa en Bogotá. La siguiente tabla muestra los valores del estadístico p, en el análisis Anova de los máximos día a día en cada estación para verificar la diferencia entre los dos periodos estudiados. Se resaltan los valores que indican diferencias significativas en un intervalo del 93% de confianza.

**Tabla 9.** Resultados Anova: Valores del estadístico p.

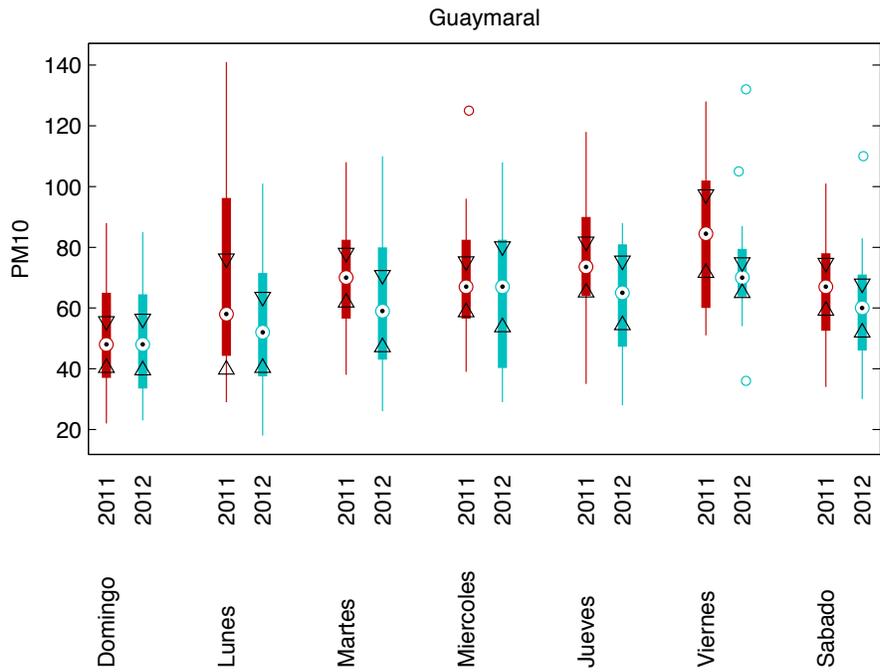
Día	San Cristóbal	Guaymaral	Tunal	Sagrado Corazón
Domingo	0.6062	0.7334	0.1602	0.0034
Lunes	0.8762	0.0737	0.1273	0.0697
Martes	0.7661	0.1199	0.2069	0.4540
Miércoles	0.9393	0.3458	0.7431	0.3225
Jueves	0.1026	0.0272	0.8782	0.4972
Viernes	0.0235	0.1110	0.7114	0.8413
Sábado	0.7600	0.2222	0.0878	0.4080

A continuación en los gráficos 9 al 12 se muestran los diagramas de caja que permiten evidenciar el análisis realizado. Para cada estación se muestra un gráfico donde se ubican para cada día de la semana un representativo de la muestra de valores máximos diarios en cada semestre. Los triángulos indican el intervalo de confianza donde se ubica la media. Para que dos muestras sean estadísticamente diferentes con un intervalo de confianza del 5% los intervalos de confianza no se deben sobreponer.



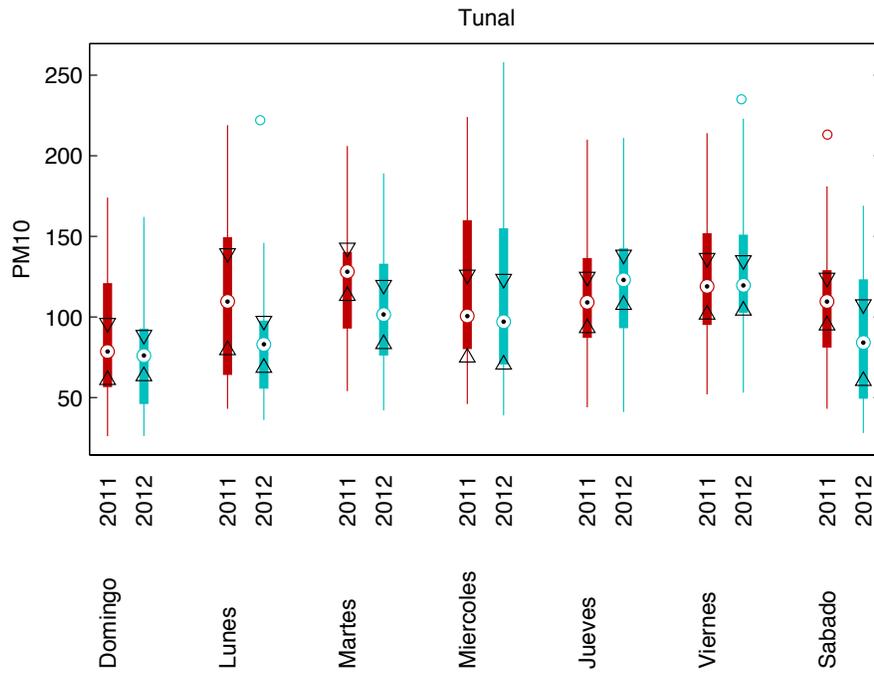
**Gráfica 9.** Gráficos Box Plot día a día para los máximos diarios en la estación San Cristóbal.

Fuente: Elaboración propia.



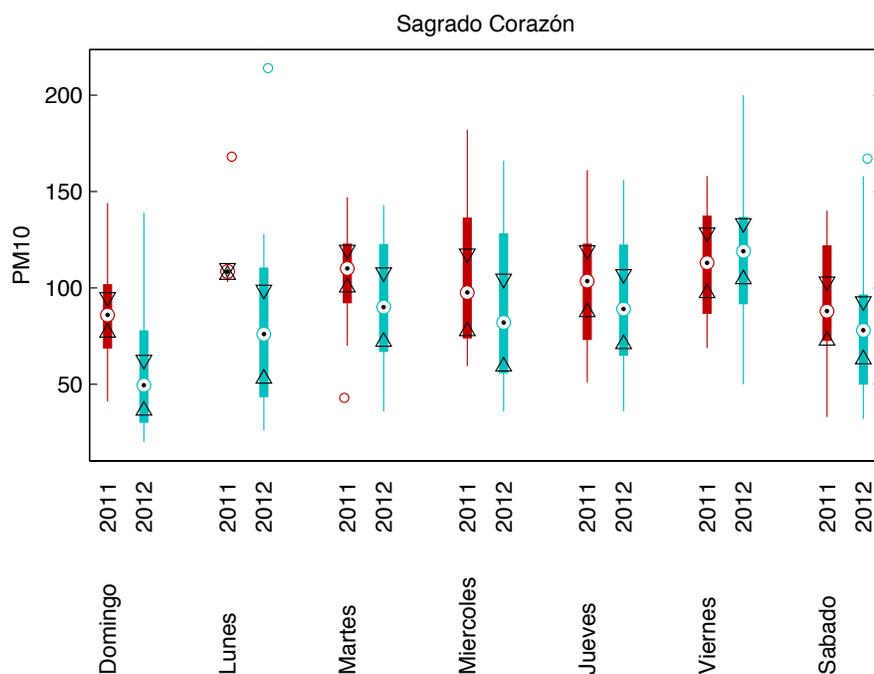
**Gráfica 10.** Gráficos Box Plot día a día para los máximos diarios en la estación Guaymaral.

**Fuente:** Elaboración propia.



**Gráfica 11.** Gráficos Box Plot día a día para los máximos diarios en la estación Tunal.

Fuente: Elaboración propia.



**Gráfica 12.** Gráficos Box Plot día a día para los máximos diarios en la estación Sagrado Corazón.

**Fuente:** Elaboración propia.

Como se observa en la tabla 9 el análisis Anova muestra que en pocos casos se encuentran diferencias significativas entre los dos periodos. Según estos resultados las principales diferencias ocurren en la estación de San Cristóbal el día viernes, donde dicho día registró máximos significativamente superiores en el segundo semestre del 2012 en comparación con el segundo semestre del 2011; en la estación Guaymaral el día Jueves registra máximos menores para el segundo semestre del 2012 y en la estación Sagrado Corazón los días Domingo y Lunes se registran máximos menores para el segundo semestre del 2012.

## 8. CONCLUSIONES

El análisis de los factores descriptivos de las medidas de restricción vehicular en Latinoamérica permite concluir que los cambios efectuados en la medida de pico y placa en Bogotá se alinean a la tendencia generalizada en otros países de restringir la aplicación de estas medidas, cuando su objetivo es mejorar la movilidad, a zonas determinadas de la ciudad donde el impacto de la congestión es mayor y a las horas pico en las que el número de vehículos en tránsito aumenta.

El análisis de los datos permite asegurar que el impacto del cambio de la medida de pico y placa tiene efectos diferenciados según cada ubicación geográfica de la ciudad. Es decir no todas las estaciones analizadas muestran el mismo efecto.

La estación que presentó un claro efecto negativo en la concentración del contaminante  $PM_{10}$  fue la estación de San Cristóbal en un promedio de  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Dada la ubicación geográfica de esta estación, que es muy cercana a la zona de no restricción se podría deducir que en dichas zonas de no restricción y de alto tránsito, como la Avenida Primero de Mayo, el levantamiento de la medida provocó una mayor presencia de material particulado y posibilitó que se alcanzaran valores en las hora pico mayores a los registrados en el mismo periodo de tiempo en el año 2011.

En las estaciones del Sagrado Corazón y el Tunal el análisis visual permite ver que la medida provoca un efecto de disminución de la concentración, que es claramente diferenciado los fines de semana. Una posible explicación a esto es que aplicar una medida de pico y placa mas laxa en los días laborales reduce el flujo vehicular los días viernes y sábados y por lo tanto el levantamiento y emisión de material particulado asociado a este.

El presente análisis permite evidenciar que los cambios en el programa de movilidad tiene efectos distributivos, pues existe un mayor efecto de contaminación en las zonas limítrofes de la norma.

## 9. RECOMENDACIONES

1. Dada la importancia, debería considerarse la instalación de equipos de monitoreo de  $PM_{2.5}$  en áreas específicas de la ciudad, donde la congestión de fuentes móviles, fuentes fijas y además altas densidades de poblaciones vulnerables las convierte en áreas de alto riesgo, siendo este contaminante nocivo para la salud debería estar siempre acompañado de estudios y mediciones.
2. Es necesario una supervisión constante y eficaz de las estaciones de la RMCAB esto con el fin de evitar la descalibración de los equipos que la componen, así mismo expandir a varios puntos de la ciudad los equipos de monitoreo de la RMCAB y ojalá a nivel nacional, esto acompañado de políticas de gobierno claras y concisas de la importancia de la calidad del aire.
3. Es importante que las autoridades competentes encargadas de regular y controlar las emisiones contaminantes atmosféricas de fuentes fijas y fuentes móviles ejecuten de manera oportuna su accionar partiendo del principio de precaución.
4. Es claro que el aumento de la flota vehicular que depende del uso de combustibles fósiles en la ciudad de Bogotá, en el resto del país y en Latinoamérica va en aumento año tras año, lo que conlleva a que paralelamente el material particulado aumente y esté presente principalmente en áreas urbanas. En mención a lo anterior se sugiere la búsqueda de sistemas de transporte alternativos a los convencionales que opten por el uso de combustibles y/o energías más amigables con el medio ambiente.

## 10. GLOSARIO

<b>Aire</b>	Es el fluido que forma la atmósfera de la tierra, constituido por una mezcla gaseosa cuya composición normal es, de por lo menos, veinte por ciento (20%) de oxígeno, setenta y siete por ciento (77%) de nitrógeno y proporciones variables de gases inertes y vapor de agua, en relación volumétrica.
<b>Aire cero</b>	Es el aire sometido a un proceso de depuración por procedimientos artificiales. Se utiliza para diluir mezclas de concentración conocida de gases de referencia durante el proceso de calibración o para ajustar el cero a los equipos de monitoreo, la purificación del aire se realiza para eliminar contaminantes que alteren las concentraciones de las mezclas o la respuesta al cero de los equipos.
<b>Anemómetro</b>	Instrumento utilizado para medir la velocidad del viento. Los dos tipos principales de anemómetros son los rotativos de cubeta y los de hélice.
<b>Agentes contaminantes convencionales:</b>	Se entiende por agentes contaminantes convencionales los contaminantes primarios (Monóxido de carbono, material particulado, óxidos de azufre e hidrocarburos) y contaminantes secundarios (ozono, Dióxido de nitrógeno).
<b>Bruma:</b>	Suspensión de partículas de polvo muy pequeñas en la atmósfera, lo suficientemente numerosas para dar al aire un aspecto opaco.
<b>Calibración</b>	Conjunto de operaciones que establece, bajo condiciones específicas, la relación entre los valores indicados por un instrumento de medición, sistema de medición o valores representados por una unidad de medida y los valores conocidos correspondientes a una medición.

<b>Concentración de una sustancia en el aire:</b>	Es la relación que existe entre el peso o el volumen de una sustancia y la unidad de volumen de aire en la cual está contenida.
<b>Condiciones Normales para normas de calidad del aire y fuentes fijas:</b>	Las normas de emisión previstas en la presente Resolución están establecidas teniendo en cuenta las condiciones Normales a 298.15 K y 101.325 kPa.
<b>Contaminación atmosférica:</b>	Es el fenómeno de acumulación de concentración de contaminantes en el aire.
<b>Contaminantes:</b>	Son fenómenos físicos o sustancias o elementos en estado sólido, líquido gaseoso, causantes de efectos adverso en el medio ambiente, los recursos naturales renovables y la salud humana, que solos o en combinación, o como productos de reacción, se emiten al aire como resultado de actividades humanas, de causas naturales o de una combinación de estas.
<b>Datalogger</b>	Dispositivo que sirve para almacenar información digital temporalmente.
<b>Diagrama de caja (Box-Plot):</b>	Gráfica usada en análisis estadístico que permite tener una idea visual de la distribución de los datos, determinar si hay simetría, ver el grado de variabilidad existente y finalmente detectar datos atípicos.
<b>Episodio de contaminación:</b>	Es toda situación donde un contaminante alcanza niveles de concentración elevados en poco tiempo, de manera que puede afectar severamente la salud humana.
<b>Equipo Para Calibración:</b>	Es el instrumento o conjunto de dispositivos que son patrón de referencia sobre el que se compara la operación de un equipo de medición.
<b>Estabilidad atmosférica:</b>	Característica de la atmósfera que impide el

	movimiento vertical del aire.
<b>Estación de monitoreo:</b>	Es el conjunto de equipos de medición de contaminantes atmosféricos primarios y/o de referencia y de medición meteorológica manuales o automáticos situados en posición estratégica dentro del diseño de una red.
<b>Estándar de calidad del aire:</b>	Valores de concentración de contaminantes que han sido aprobados como límites a cumplir en una zona determinada.
<b>Generador de aire cero</b>	Dispositivo utilizado para generar aire cero.
<b>Índice.</b>	Expresión numérica, de carácter adimensional. Obtenida de la fusión de varias variables ambientales mediante criterios de ponderación específicamente definidos.
<b>Inversión térmica:</b>	Es una derivación del cambio normal de las propiedades de la atmósfera con el aumento de la altitud. Usualmente corresponde a un incremento de la temperatura con la altura, o bien a una capa de inversión donde ocurre el incremento. En efecto, el aire no puede elevarse en una zona de inversión, puesto que es más frío y, por tanto, más denso en la zona inferior.
<b>Material particulado:</b>	Término general aplicado a partículas sólidas de dimensiones y origen diferentes, que generalmente permanecen suspendidas en un gas durante algún tiempo.
<b>Meteorología:</b>	Ciencia que estudia la atmósfera, comprende el estudio del tiempo y el clima y se ocupa del estudio físico, dinámico y químico de la atmósfera terrestre.
<b>Monitoreo:</b>	En el sentido más amplio de la palabra, medición repetida para seguir la evolución de un parámetro durante un período de tiempo.

<b>Nivel Normal (Nivel I):</b>	Es aquel en que la concentración de contaminantes en el aire y su tiempo de exposición o duración son tales, que no producen efectos nocivos, directos ni indirectos, en el medio ambiente o la salud humana.
<b>Nivel de exposición:</b>	Concentración de un contaminante a la que está sometida la población en una zona determinada, en un momento determinado.
<b>Nivel de Prevención (Nivel II):</b>	Es aquel que se presenta cuando las concentraciones de los contaminantes en el aire y su tiempo de exposición o duración, causan efectos adversos y manifiestos, aunque leves, en la salud humana o en el medio ambiente tales como irritación de las mucosas, alergias, enfermedades leves de las vías respiratorias o efectos dañinos en las plantas, disminución de la visibilidad u otros efectos nocivos evidentes.
<b>Nivel de Alerta (Nivel III):</b>	Es aquel que se presenta cuando la concentración de contaminantes en el aire y su duración o tiempo de exposición, puede causar alteraciones manifiestas en el medio ambiente o la salud humana y en especial alteraciones de algunas funciones fisiológicas vitales, enfermedades crónicas en organismos vivos y reducción de la expectativa de vida en la población expuesta.
<b>Nivel de emergencia (Nivel IV):</b>	Es aquel que se presenta cuando la concentración de contaminantes en el aire y su tiempo de exposición o duración, puede causar enfermedades agudas o graves u ocasionar la muerte de organismos vivos, y en especial de los seres humanos.
<b>Norma de calidad del aire o nivel de inmisión:</b>	Es el nivel de concentración legalmente permisible de sustancias contaminantes o fenómenos contaminantes presentes en el aire, establecido por el Ministerio del Medio Ambiente, con el fin de preservar la buena calidad del medio ambiente,

los recursos naturales renovables y la salud humana.

**Norma anual:**

Establece la concentración máxima anual permisible de un contaminante, definida como el promedio aritmético de los valores de las muestras diarias cuando se trata de contaminantes en estado gaseoso, o el promedio geométrico de los valores de las muestras diarias cuando se refieran a partículas suspendidas totales - PST.

**Norma diaria:**

Establece la concentración máxima diaria permisible de un contaminante, definida como el promedio aritmético de los valores de las muestras horarias, que podrá excederse solo una vez en un año.

**Norma promedio horaria:**

Establece la concentración máxima permisible de un contaminante, de las mediciones realizadas en un periodo de tiempo establecido (media hora, una hora, tres horas, 6 horas y 8 horas).

**Pluviómetro**

Instrumento que se emplea en las estaciones meteorológicas para la recogida y medición de la precipitación

**Rango de tolerancia:**

Nivel de concentración máxima de un contaminante, al cual se puede exponer una población por un periodo de tiempo dado, sin tener consecuencias nocivas para su salud.

**Red automática de monitoreo de calidad del aire:**

Es el conjunto de instrumentos automáticos fijos de medición, utilizados para medir los contaminantes en el aire en forma simultánea y sistemática, con el fin de verificar la calidad del aire en una zona específica.

**Sensor:**

Dispositivo que detecta una determinada acción externa como temperatura, presión, entre otras y la transmite adecuadamente.

<b>Sustancia:</b>	Todo elemento químico y sus compuestos, según se presentan en estado natural o producido por la industria, ya sea en forma sólida, líquida o gaseosa.
<b>Toma-muestras:</b>	Conducto por el cual se transporta el gas a ser evaluado desde el aire ambiente hasta el equipo de medición.
<b>Unidades:</b>	<p>Las unidades más utilizadas son:</p> <p>Nm<sup>3</sup>/h: Metros cúbicos por hora en condiciones Normales.</p> <p>mg / Nm<sup>3</sup>: Miligramos por metro cúbico en condiciones Normales.</p> <p>mg/m<sup>3</sup>: Miligramos por metro cúbico.</p> <p>µg/m<sup>3</sup>: Microgramos por metro cúbico.</p> <p>kg/h: Kilogramos por hora.</p> <p>g/h: Gramos por hora.</p> <p>ppm: Partes por millón</p>
<b>Validación:</b>	Confirmación por medio de análisis y la provisión de evidencias objetivas de que se cumplen los requisitos particulares para el uso específico de un método. (Para calidad de aire, la validación incluye la revisión de cada aspecto del procedimiento de medición entre los cuales están la operación del método, Calibración de equipos y análisis de los datos).

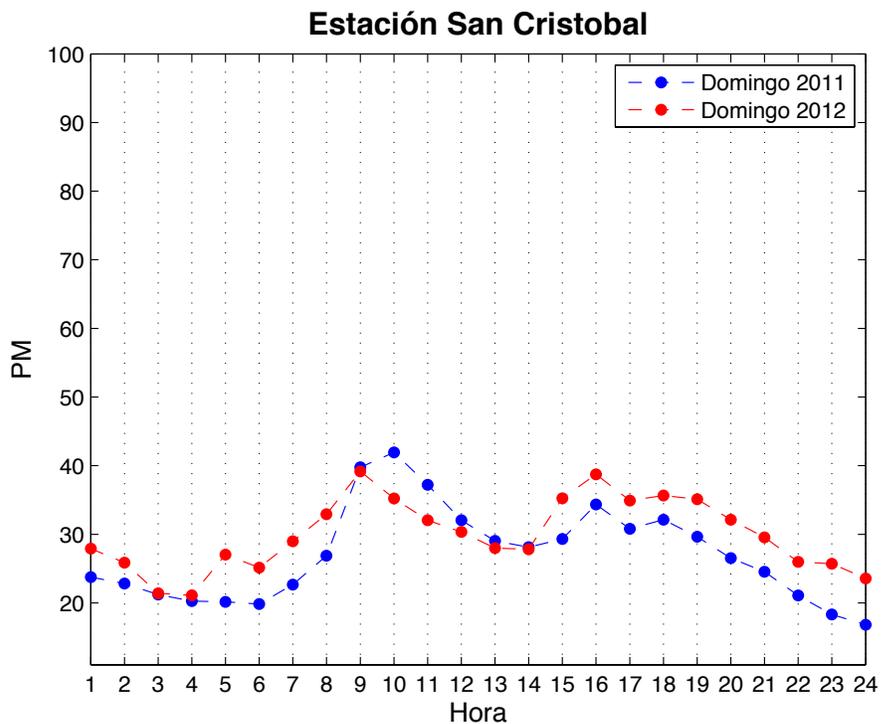
## 11. BIBLIOGRAFIA

- Alcaldía Mayor de Bogotá, (Diciembre 2010) Plan Decenal de Descontaminación del Aire para Bogotá, Bogotá, Secretaría Distrital de Ambiente.
- Alcaldía Mayor de Bogotá, (2011) Informe Anual de Calidad del Aire, Bogotá, Secretaría Distrital de Ambiente.
- Eduardo Beherentz. et al. (2006, Septiembre 15), Concentraciones de material particulado respirable suspendido en el aire en inmediaciones de una vía de transporte público colectivo, Bogotá, Universidad de los Andes.
- José Franklin Ruiz Murcia (2002), Simulación de la contaminación atmosférica generada por fuentes móviles en Bogotá [tesis de maestría], Bogotá, Universidad Nacional de Colombia, Maestría en ciencias –Meteorología.
- Programa de Restricción Vehicular “Hoy No Circula” y similares en el mundo. Sus alcances y limitaciones. Documento técnico DDA/02/2012 Elaboración: Junio del 2012.
- Rojas Néstor y Galvis Boris. Relación entre  $PM_{2.5}$  y  $PM_{10}$  en la ciudad de Bogotá. Revista de ingeniería Vol. 22, facultad de ingeniería universidad de los andes (2005).

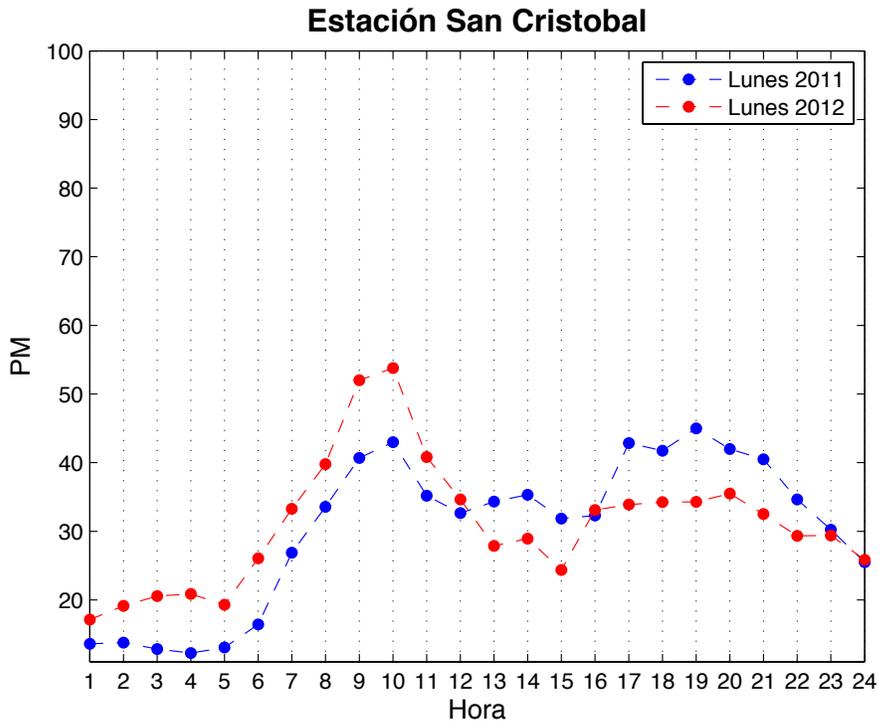
## 12. ANEXOS

### 12.1. GRÁFICAS COMPARATIVAS DE LA CONCENTRACIÓN PROMEDIO HORARIA DEL CONTAMINANTE $PM_{10}$ POR PERIODOS DE 24 HORAS.

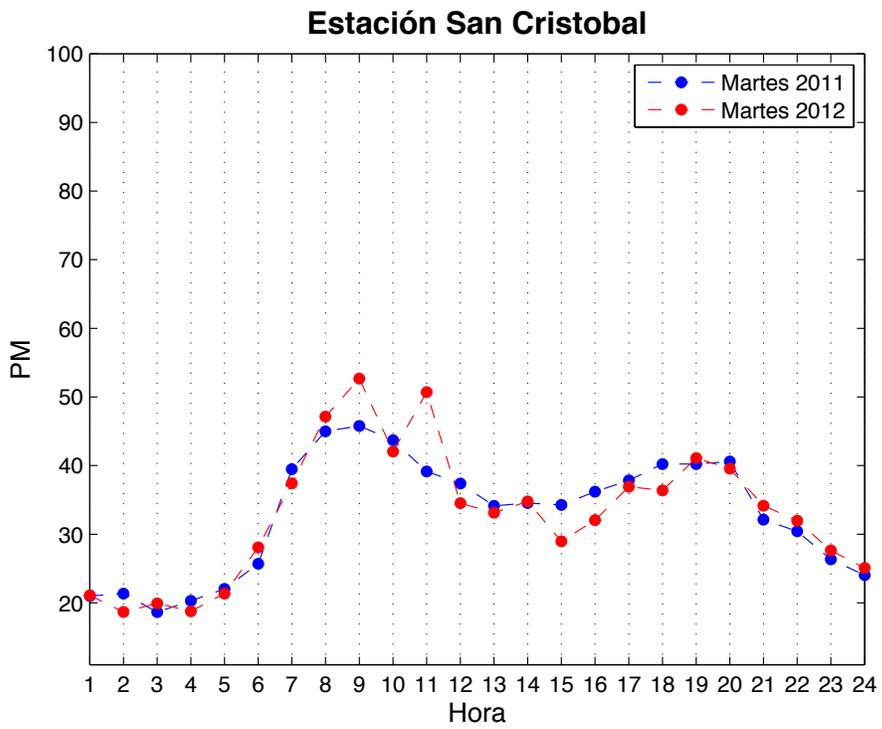
Las gráficas A1 a A28 se muestra la comparación entre los dos semestres, para cada día de la semana, de 24 puntos uno por cada hora del día. Cada punto representa la medida de la concentración promedio de  $PM_{10}$ . Es decir que para cada estación analizada se presentan siete gráficas de concentración promedio diaria.



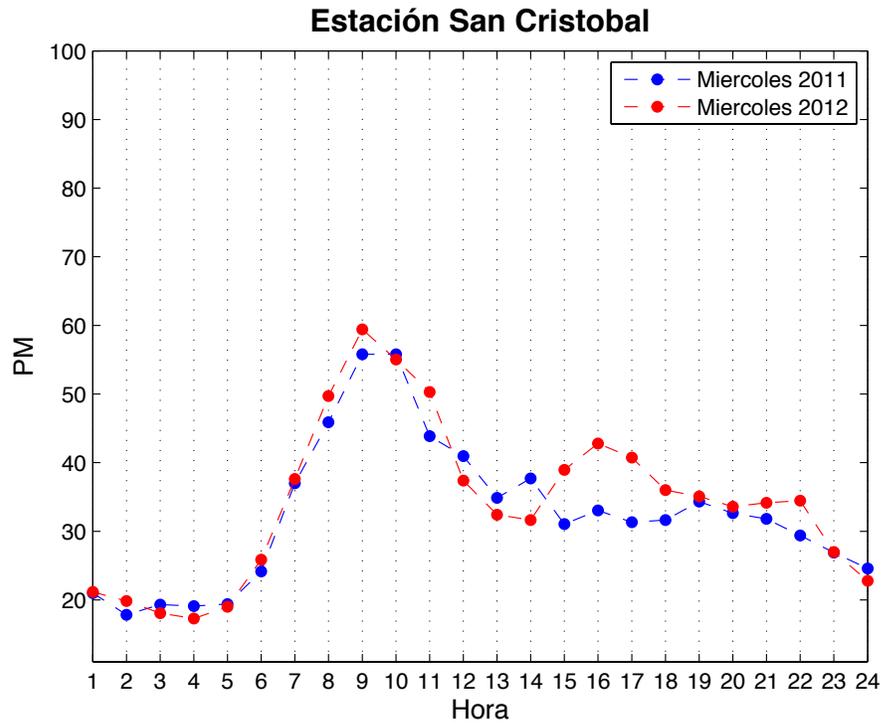
Gráfica A1. Comparativo hora a hora, Estación de San Cristóbal. Día domingo.



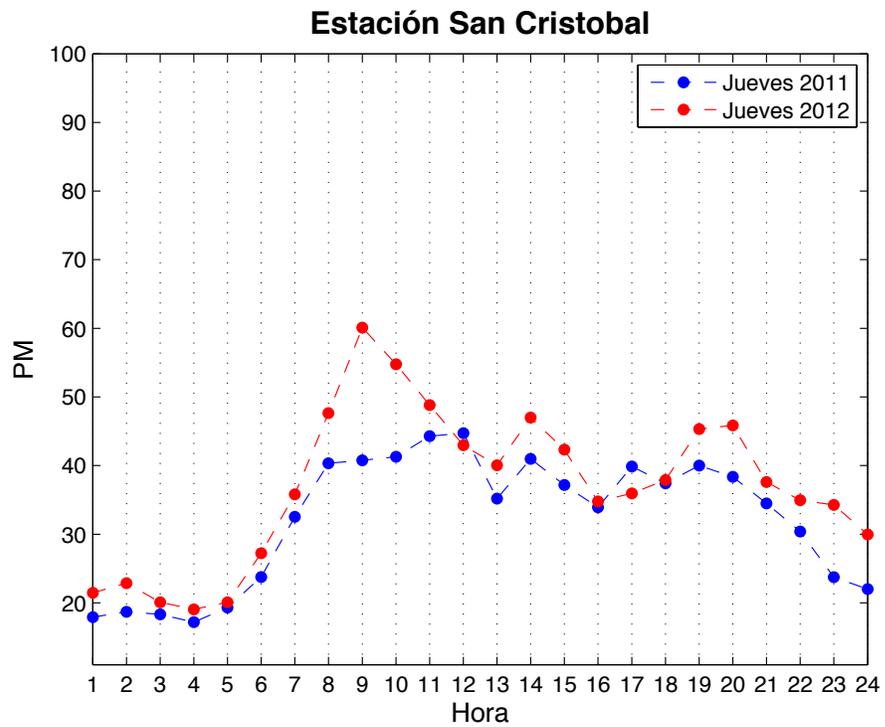
Gráfica A2. Comparativo hora a hora, Estación de San Cristóbal. Día Lunes.



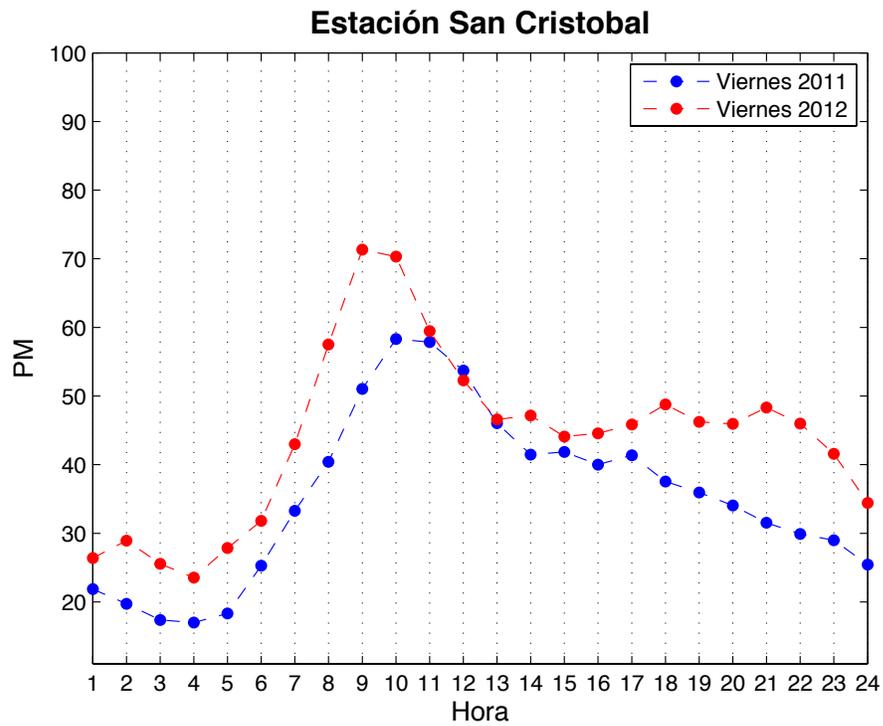
Gráfica A3. Comparativo hora a hora, Estación de San Cristóbal. Día Martes.



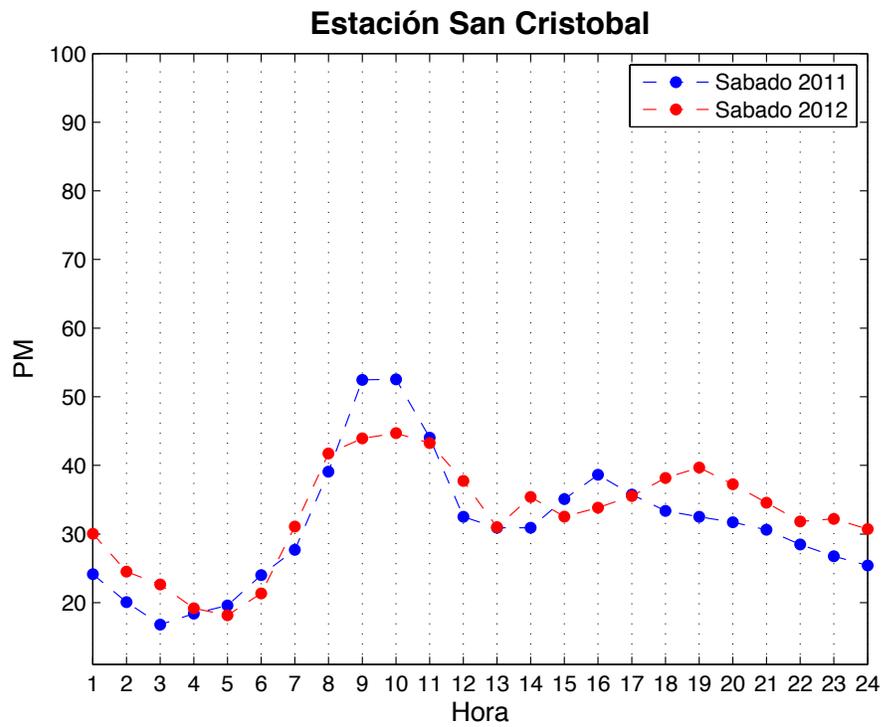
Gráfica A4. Comparativo hora a hora, Estación de San Cristóbal. Día miércoles.



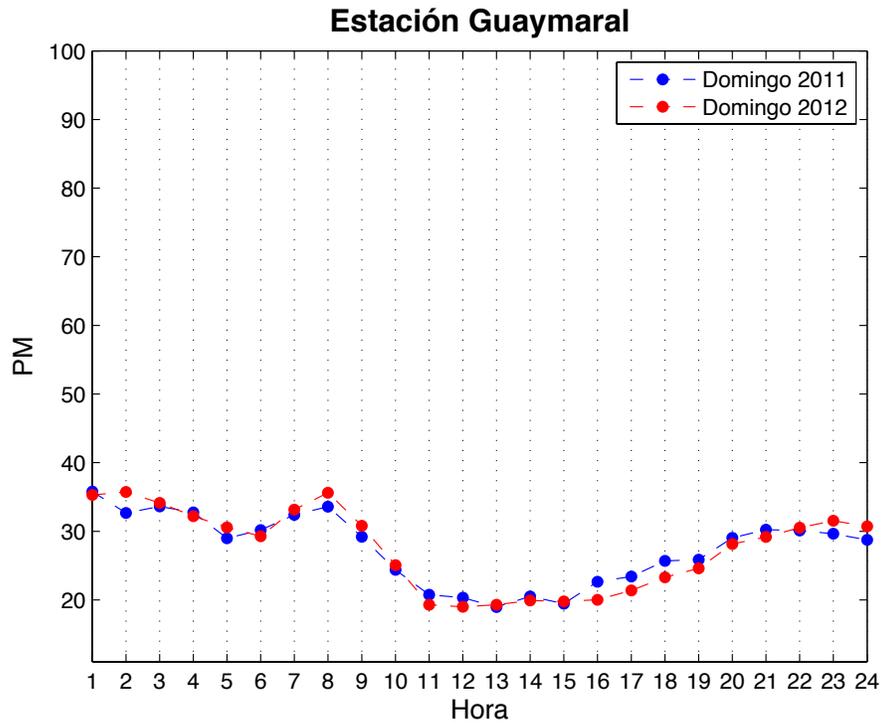
Gráfica A5. Comparativo hora a hora, Estación de San Cristóbal. Día Jueves.



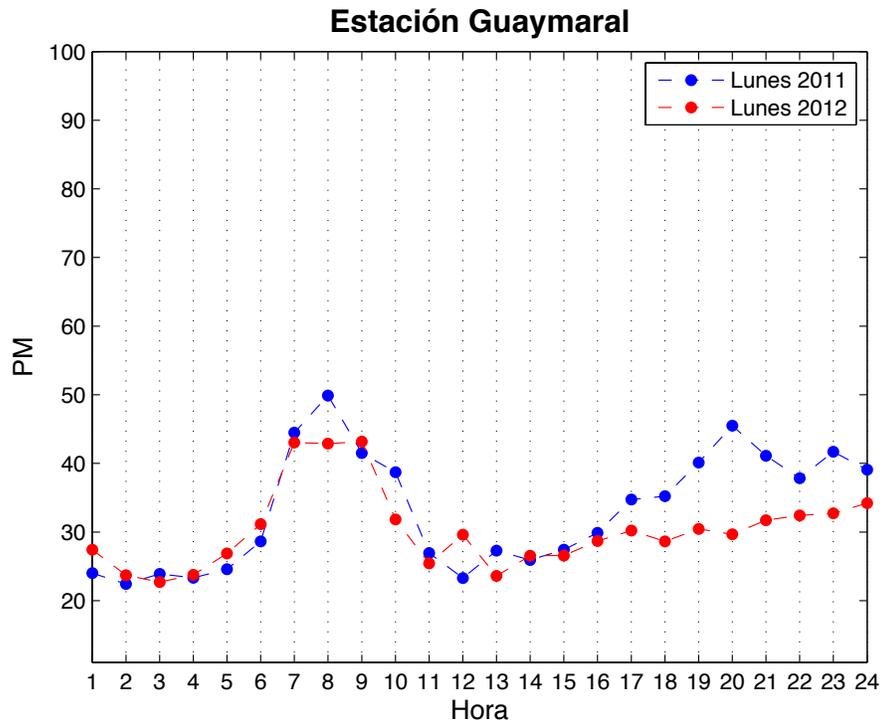
Gráfica A6. Comparativo hora a hora, Estación de San Cristóbal. Día Viernes.



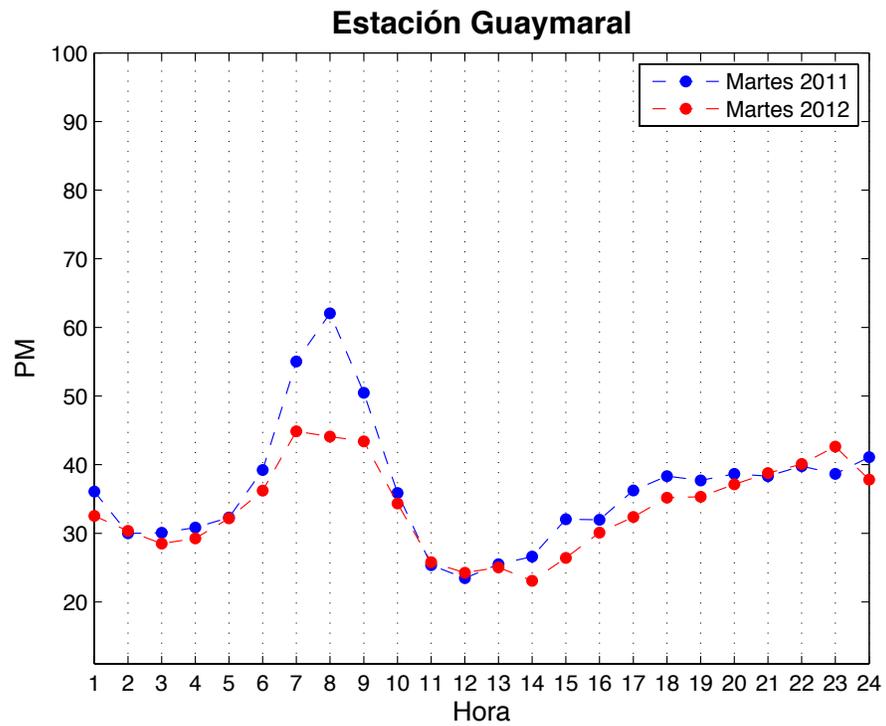
Gráfica A7. Comparativo hora a hora, Estación de San Cristóbal. Día sábado.



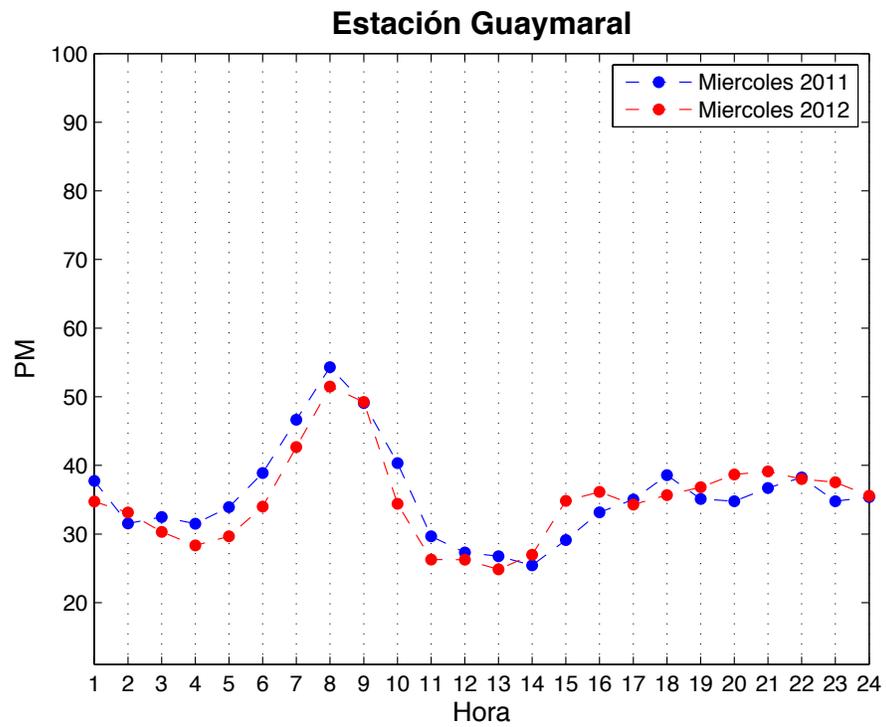
Gráfica A8. Comparativo hora a hora, Estación Guaymaral. Día Domingo.



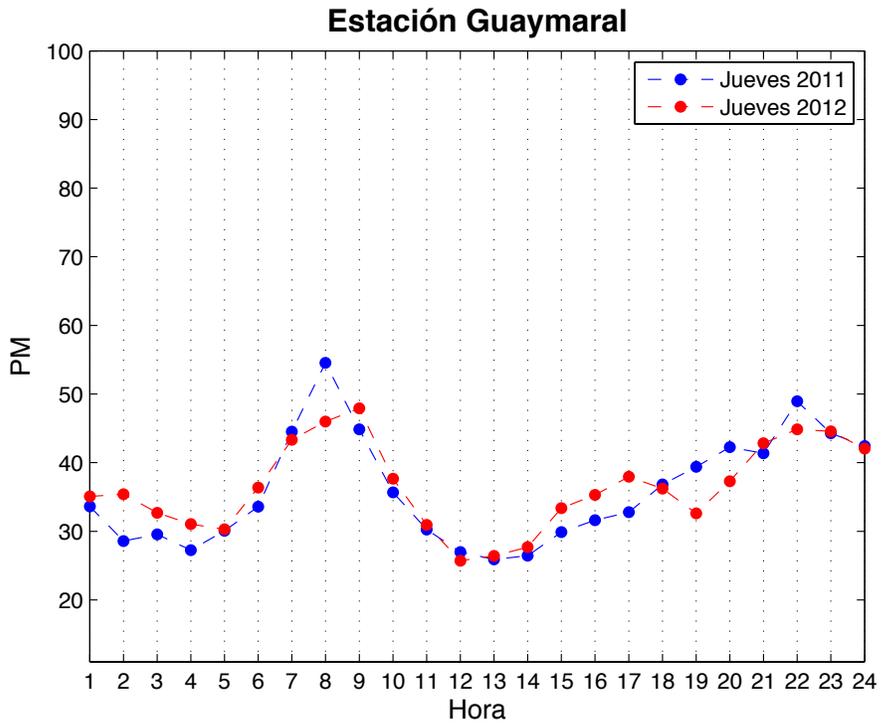
Gráfica A9. Comparativo hora a hora, Estación Guaymaral. Día Lunes.



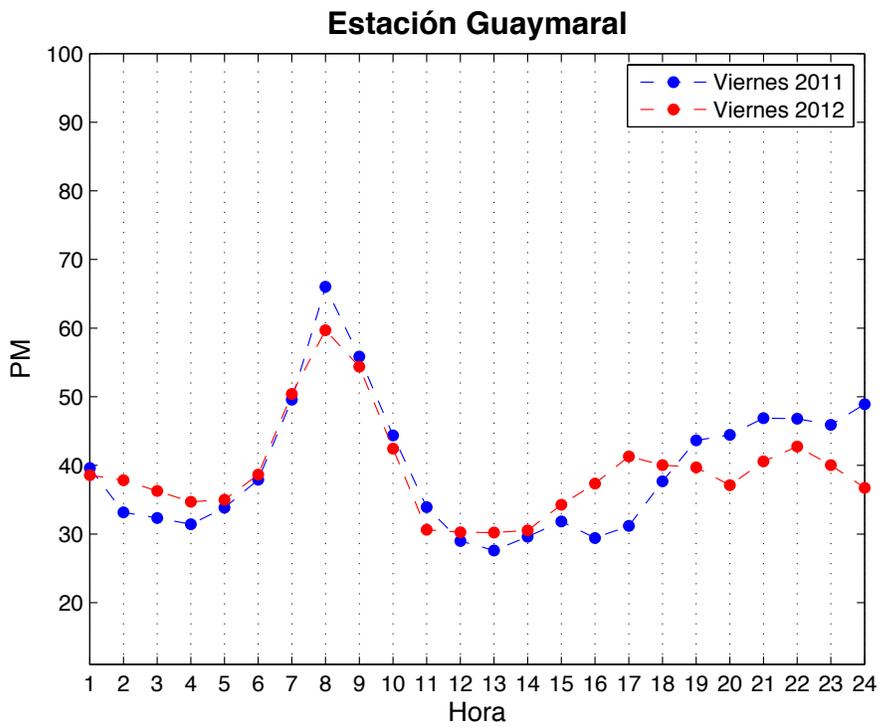
Gráfica A10. Comparativo hora a hora, Estación Guaymaral. Día Martes.



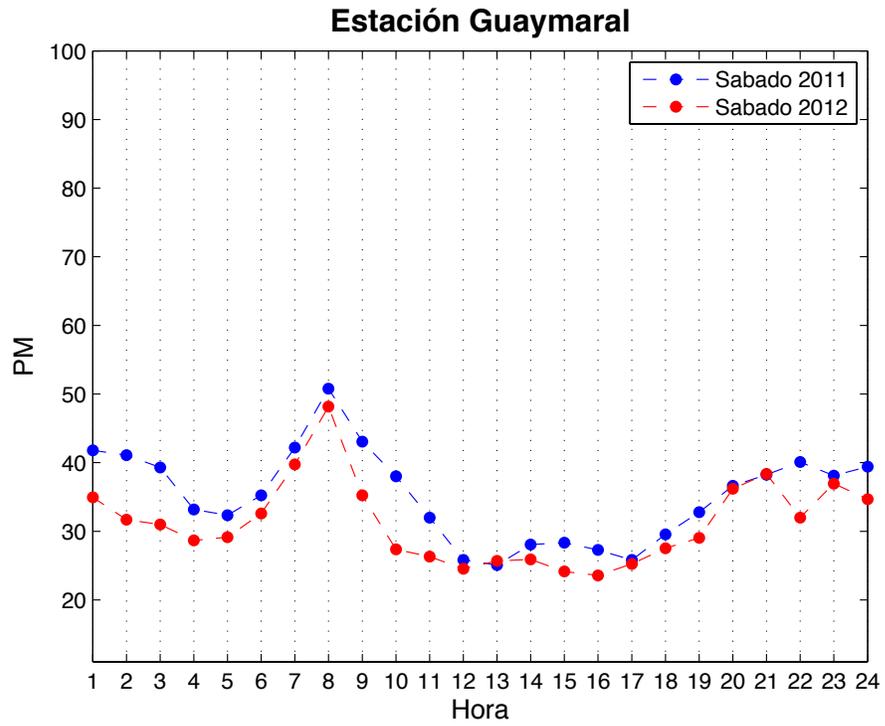
Gráfica A11. Comparativo hora a hora, Estación Guaymaral. Día Miércoles.



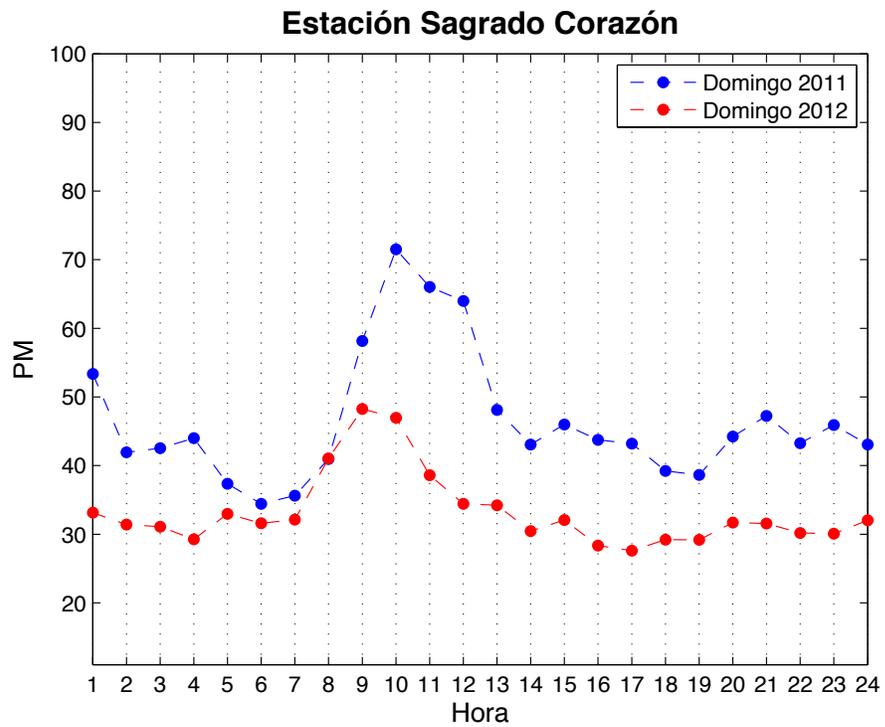
Gráfica A12. Comparativo hora a hora, Estación Guaymaral. Día Jueves.



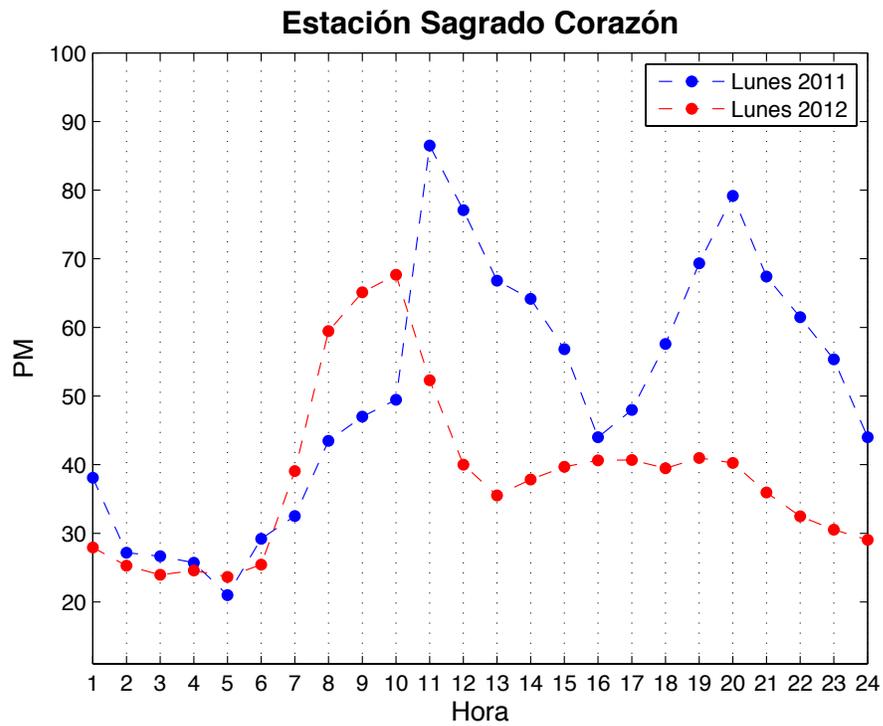
Gráfica A13. Comparativo hora a hora, Estación Guaymaral. Día Viernes.



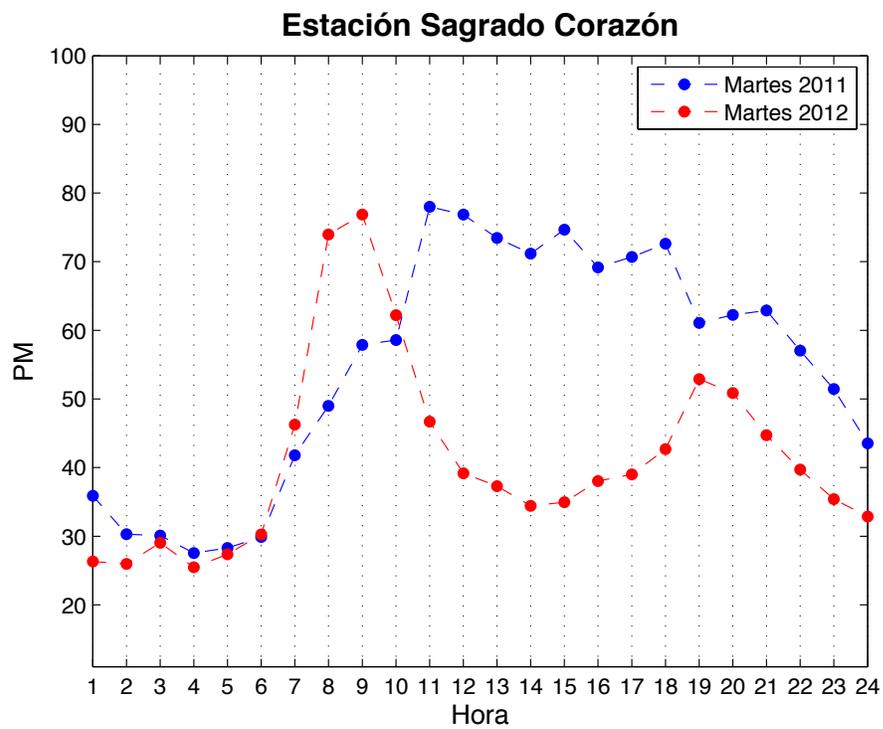
Gráfica A14. Comparativo hora a hora, Estación Guaymaral. Día Sábado.



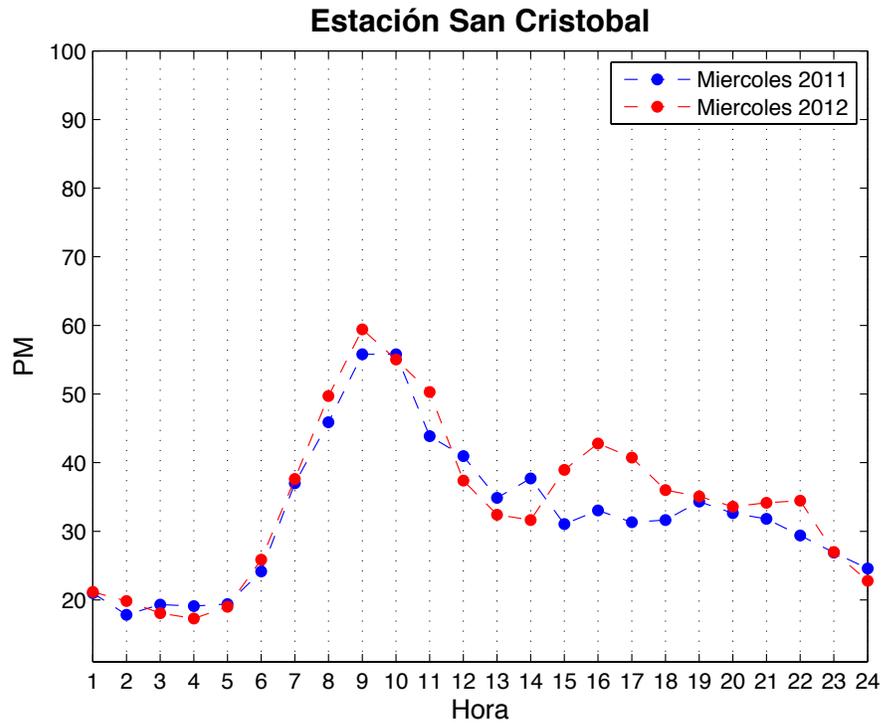
Gráfica A15. Comparativo hora a hora, Estación Sagrado Corazón. Día Domingo.



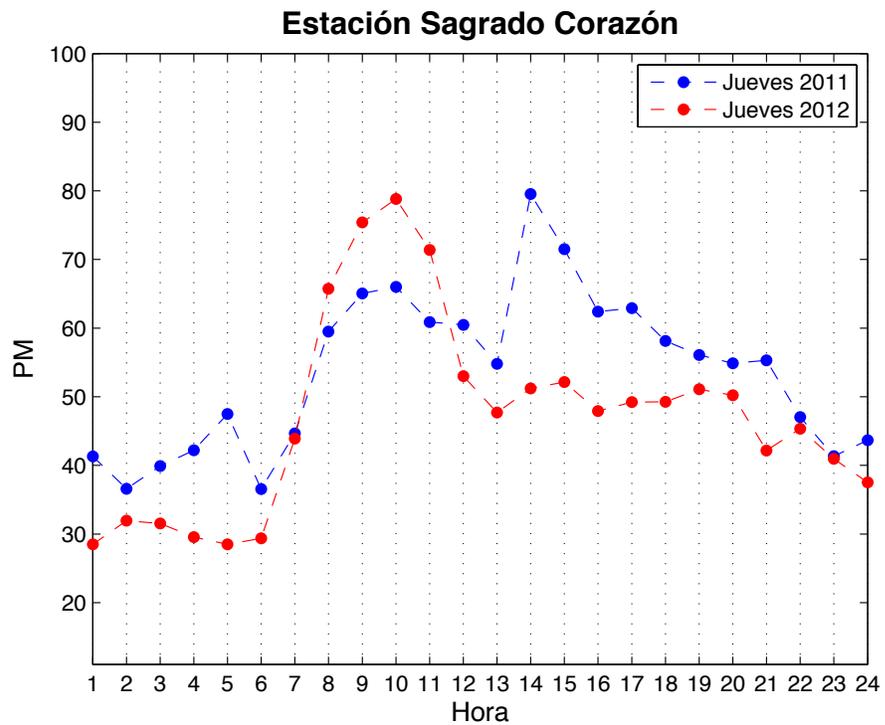
Gráfica A16. Comparativo hora a hora, Estación Sagrado Corazón. Día Lunes.



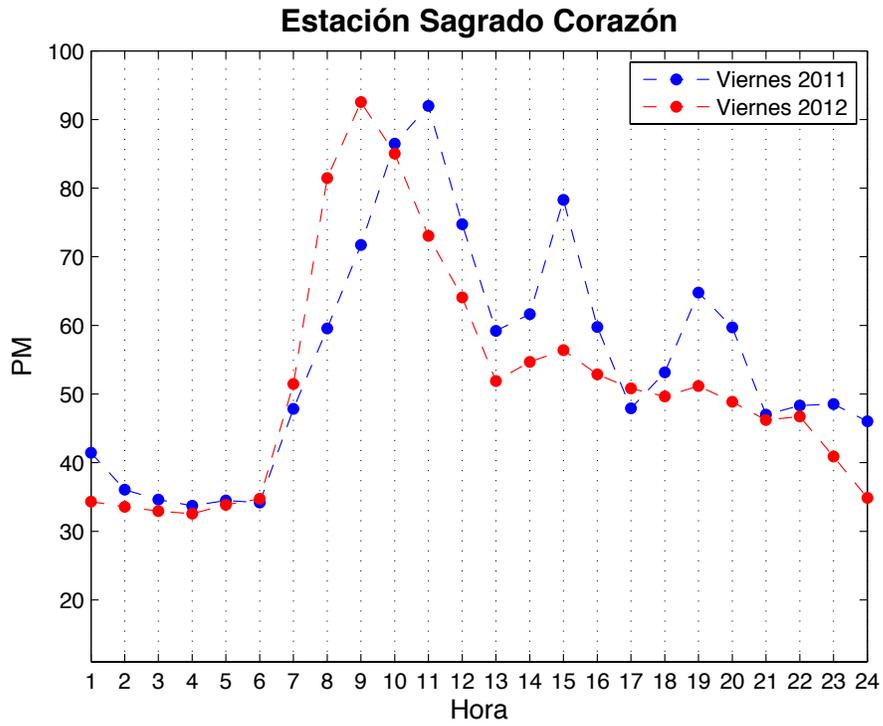
Gráfica A17. Comparativo hora a hora, Estación Sagrado Corazón. Día Martes.



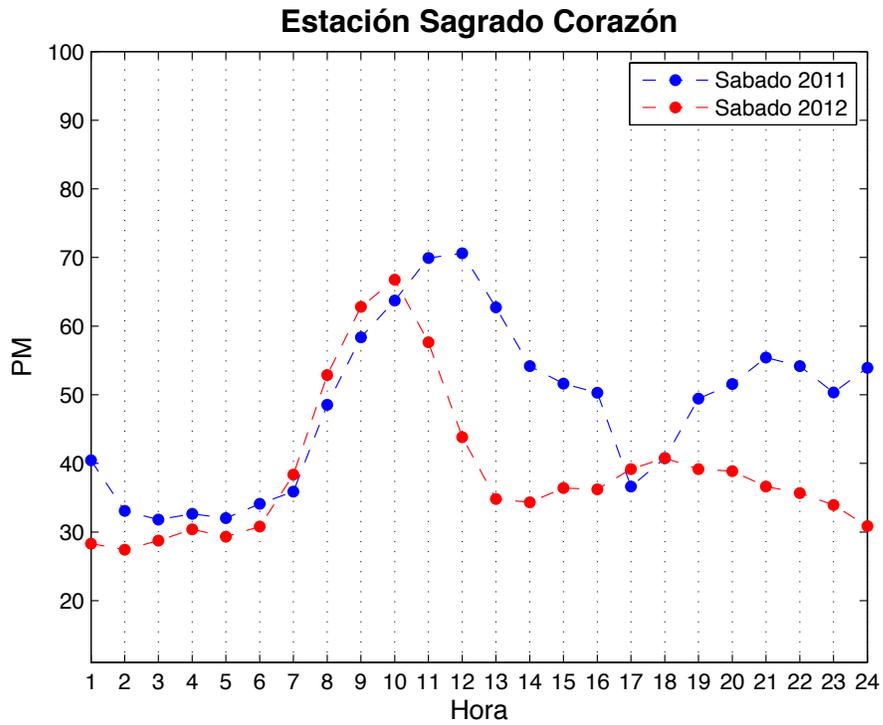
Gráfica A18. Comparativo hora a hora, Estación Sagrado Corazón. Día Miércoles.



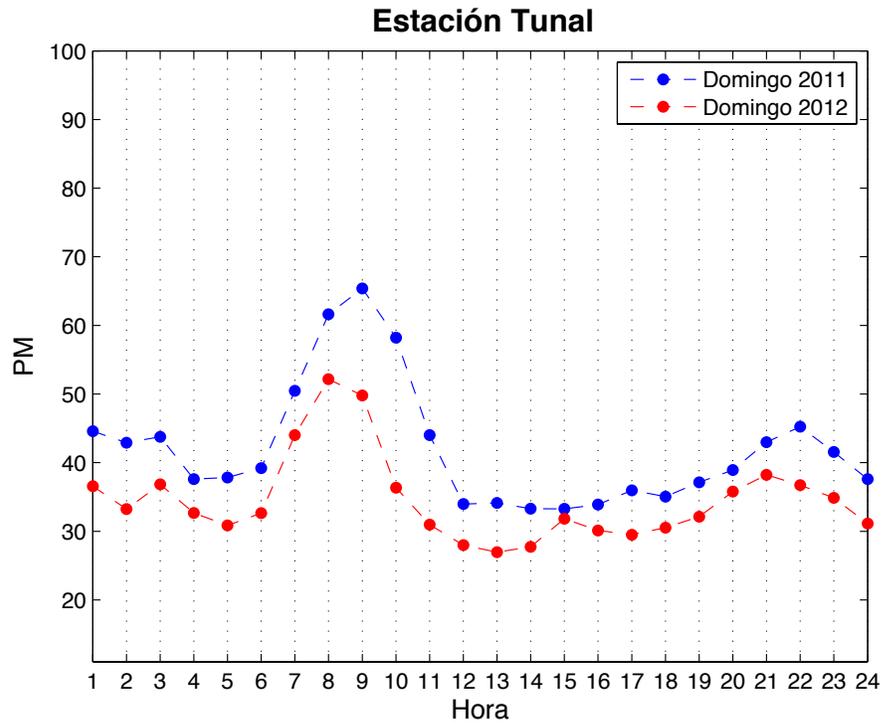
Gráfica A19. Comparativo hora a hora, Estación Sagrado Corazón. Día Jueves.



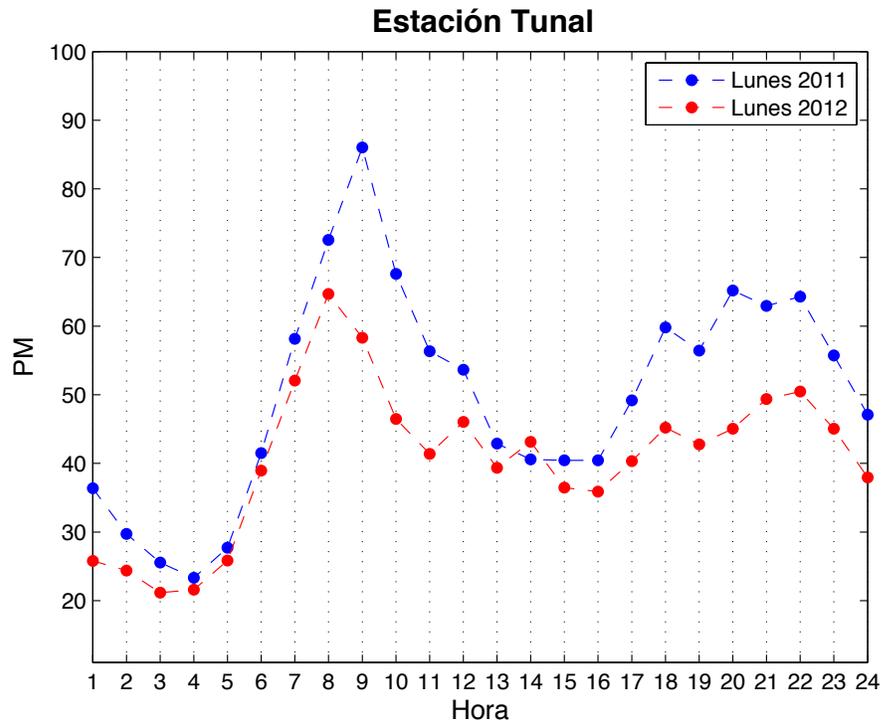
Gráfica A20. Comparativo hora a hora, Estación Sagrado Corazón. Día Viernes.



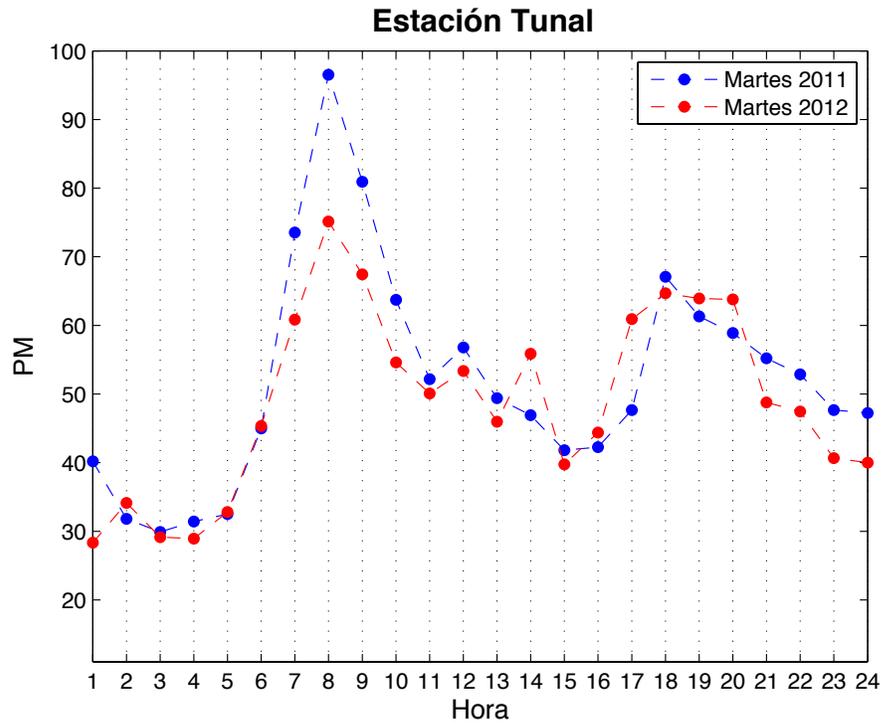
Gráfica A21. Comparativo hora a hora, Estación Sagrado Corazón. Día Sábado.



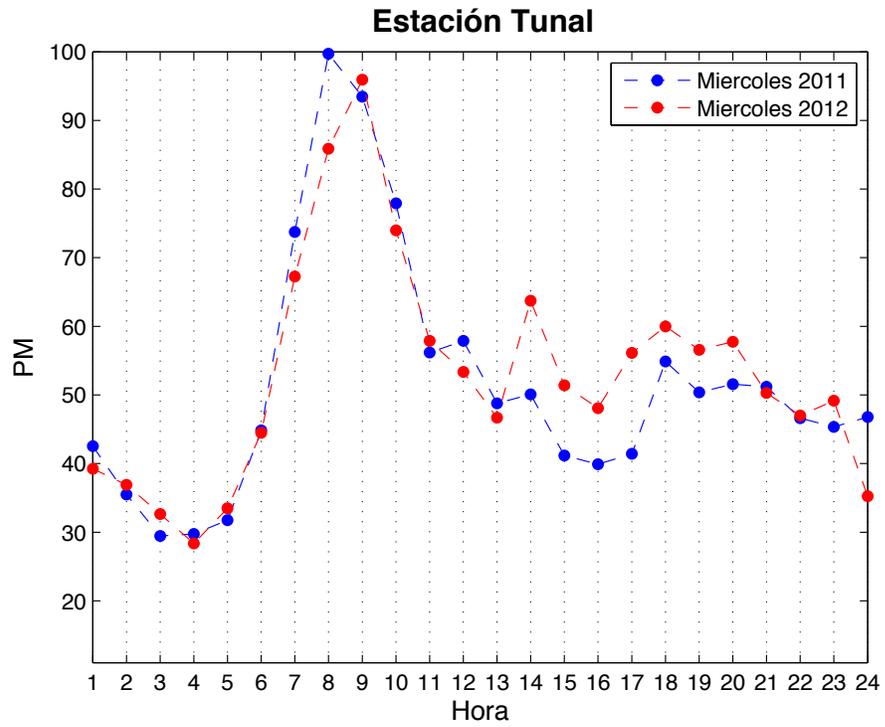
Gráfica A22. Comparativo hora a hora, Estación Tunal. Día Domingo.



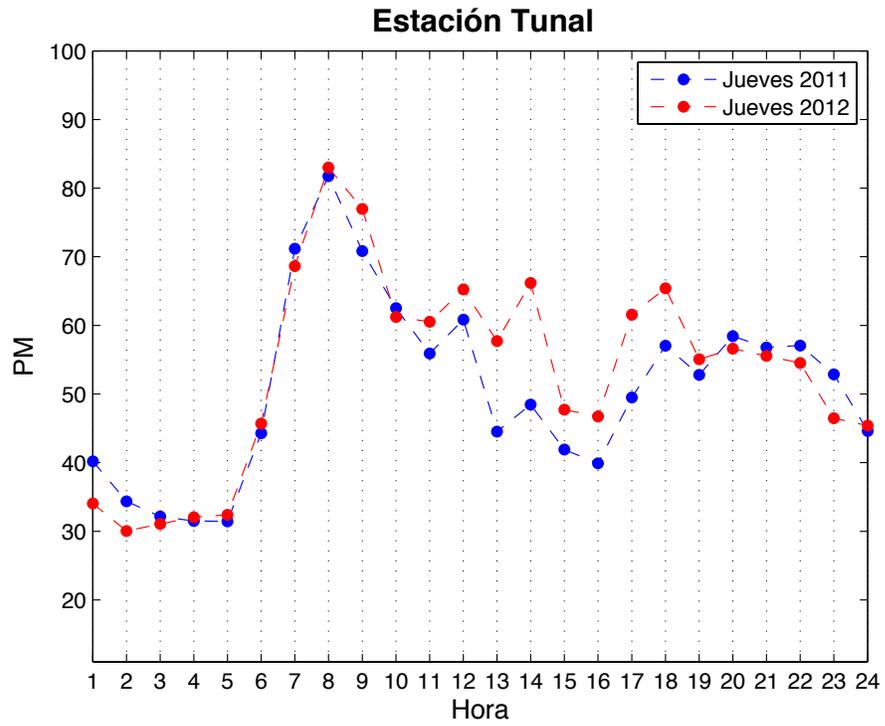
Gráfica A23. Comparativo hora a hora, Estación Tunal. Día Lunes.



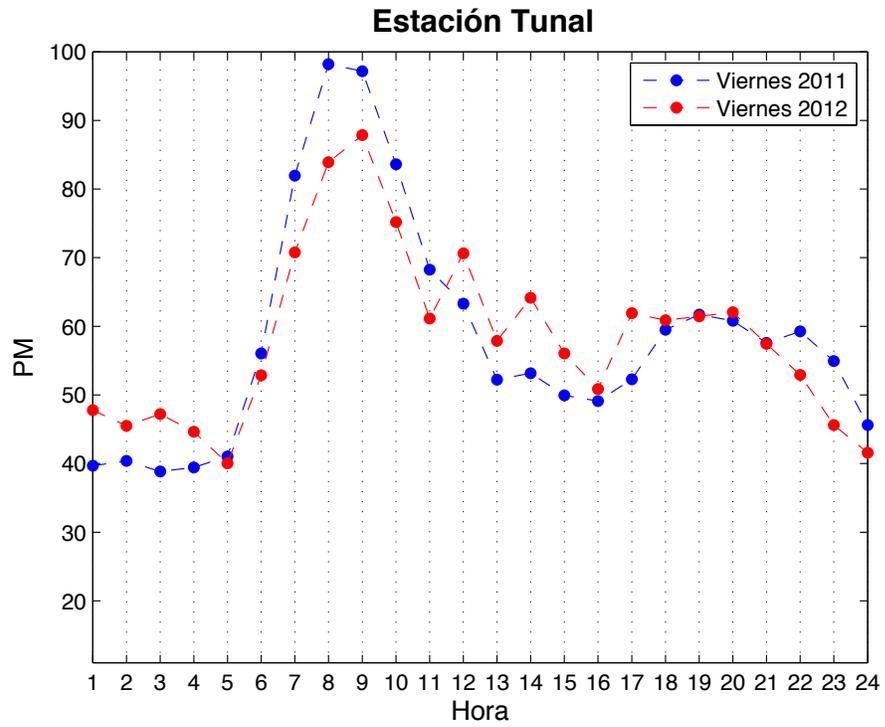
Gráfica A24. Comparativo hora a hora, Estación Tunal. Día Martes.



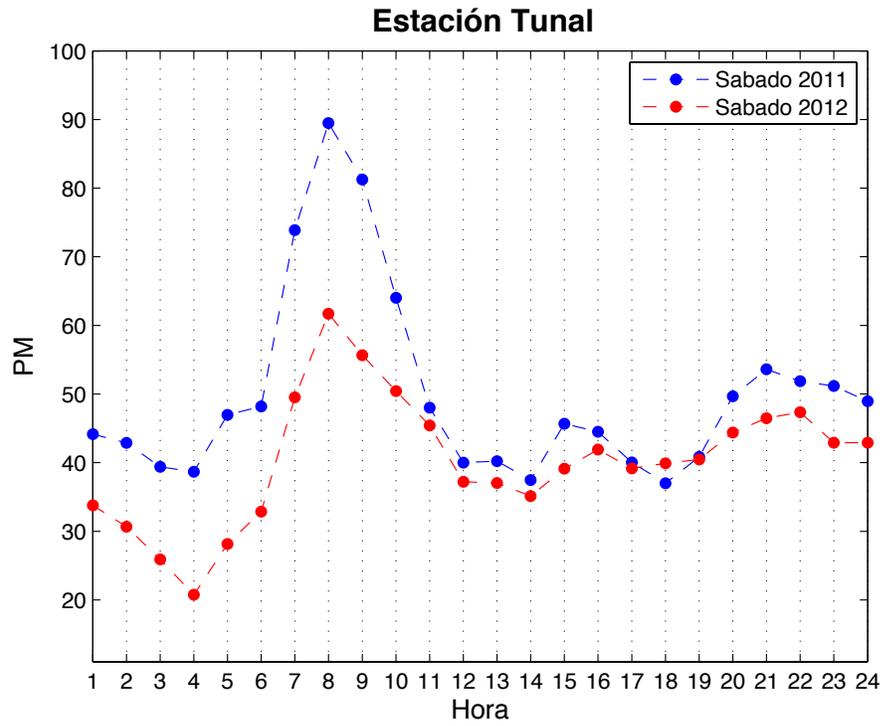
Gráfica A25. Comparativo hora a hora, Estación Tunal. Día Miércoles.



Gráfica A26. Comparativo hora a hora, Estación Tunal. Día Jueves.



Gráfica A27. Comparativo hora a hora, Estación Tunal. Día Viernes.



Gráfica A28. Comparativo hora a hora, Estación Tunal. Día Sábado.