

FORTALECIMIENTO DE LA RED DE MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AIRE EN EL VALLE DE ABURRÁ CON MEDIDORES PASIVOS

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO No. 606 DE 2005

Subdirección Ambiental, Área Metropolitana del Valle de Aburrá
Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA
SEDE MEDELLÍN



FORTALECIMIENTO DE LA RED DE MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AIRE EN EL VALLE DE ABURRÁ CON MEDIDORES PASIVOS

INFORME FINAL

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO No. 606 DE 2005



Febrero de 2006 - Agosto de 2007
Medellín, Octubre de 2007



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA
SEDE MEDELLÍN

Area
METROPOLITANA
del Valle de Aburrá

FORTALECIMIENTO DE LA RED DE MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AIRE EN EL
VALLE DE ABURRÁ CON MEDIDORES PASIVOS

Un proyecto de

Área Metropolitana del Valle de Aburrá
Ricardo Smith Quintero, Director

María del Pilar Restrepo Mesa, Subdirectora Ambiental

Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.
Óscar Almario García, Vicerrector de Sede

Ejecutado por
Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.

Coordinadora
Carmen Elena Zapata Sánchez. I. Petróleos. M.Sc.

Equipo de trabajo

Ricardo Quijano Hurtado. I. Mecánico. M.Sc.
Eliana Molina Vásquez. I. Sanitaria.
Claudia Marcela Rubiano Hernández. I. Petróleos.
Dora Cristina Barrientos Villegas. Asistente Administrativa.

Interventoría
Área Metropolitana del Valle de Aburrá
Gustavo Londoño Gaviria, I. Químico. M.Sc.

Medellín, Octubre de 2007

TABLA DE CONTENIDO

	pág.
RESUMEN EJECUTIVO.....	9
INTRODUCCIÓN.....	12
1 MARCO TEÓRICO.....	13
1.1 GENERALIDADES DE LOS CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS Y SUS EFECTOS EN LA SALUD.	13
1.1.1 Dióxido de azufre.	13
1.1.2 Dióxido de nitrógeno.....	14
1.1.3 Ozono.	14
1.1.4 Compuestos orgánicos volátiles (benceno, tolueno, xilenos).	15
1.2 MÉTODOS PASIVOS DE MEDICIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE.....	15
1.2.1 Captadores difusivos.....	16
1.2.2 Medición de partículas sedimentables.....	23
1.3 SISTEMA ENERGÉTICO DEL ÁREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ – EXPERIENCIA APLICACIÓN DEL MODELO MARKAL.....	25
2 MARCO NORMATIVO.....	28
3 SELECCIÓN DE SITIOS DE MONITOREO.....	32
3.1 MUNICIPIO DE LA ESTRELLA.....	33
3.2 MUNICIPIO DE CALDAS.....	34
3.3 MUNICIPIO DE SABANETA.	37
3.4 VÍA REGIONAL ZONA SUR.....	38
3.5 VÍA REGIONAL ZONA CENTRO.....	39
3.6 MUNICIPIO DE BARBOSA.....	39
3.7 MUNICIPIO DE GIRADOTA.....	41
3.8 MUNICIPIO DE COPACABANA.....	42
3.9 MUNICIPIO DE BELLO.....	45
3.10 MUNICIPIO DE ITAGÜÍ.....	47
3.11 VÍA REGIONAL ZONA SUR.....	48
3.12 MUNICIPIO DE MEDELLÍN – MUSEO DE ANTIOQUIA.....	49
3.13 MUNICIPIO DE MEDELLÍN – FACULTAD DE MINAS.....	50
3.14 AUTOPISTA NORTE.....	50
3.15 AVENIDA GUAYABAL.....	52
4 DESCRIPCIÓN DE LOS SITIOS DE MONITOREO PASIVO.....	54
4.1 BARBOSA.....	58
4.2 GIRARDOTA.....	59
4.3 COPACABANA.....	61
4.4 BELLO.....	62
4.5 AUTOPISTA NORTE.....	64
4.6 MUSEO DE ANTIOQUIA.....	68
4.7 FACULTAD DE MINAS.....	72
4.8 AVENIDA REGIONAL ZONA CENTRO – SENA.....	74
4.9 AVENIDA GUAYABAL.....	76
4.10 MAYORCA.....	81



	pág.
4.11 ITAGÜÍ.....	84
4.12 AUTOPISTA SUR (NAVITRANS).....	88
4.13 SABANETA.....	94
4.14 LA ESTRELLA.....	97
4.15 CALDAS.....	98
5 INSTALACIÓN Y OPERACIÓN DE LOS MUESTREADORES PASIVOS	100
6 ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	102
6.1 INFLUENCIA DE LAS VARIABLES METEOROLÓGICAS EN LAS MEDICIONES CON LOS TUBOS PASIVOS DE DIFUSIÓN PASSAM.....	102
6.2 DIÓXIDO DE AZUFRE.....	105
6.3 DIÓXIDO DE NITRÓGENO.....	111
6.4 OZONO.....	119
6.5 COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES.....	133
6.5.1 Benceno.....	133
6.5.2 Tolueno.....	140
6.5.3 Etilbenceno.....	145
6.5.4 Xilenos.....	149
6.6 PARTÍCULAS SEDIMENTABLES.....	154
6.6.1 <i>Análisis de tamaño y distribución de tamaño de partículas en 4 muestras de polvo sedimentable.....</i>	<i>161</i>
6.7 ESTADÍSTICA BÁSICA.....	162
6.7.1 <i>Dióxido de azufre.....</i>	<i>166</i>
6.7.2 <i>Dióxido de nitrógeno.....</i>	<i>167</i>
6.7.3 <i>Ozono.....</i>	<i>172</i>
6.7.4 <i>Compuestos orgánicos volátiles.....</i>	<i>173</i>
6.7.5 <i>Partículas sedimentables.....</i>	<i>180</i>
6.8 IDENTIFICACIÓN DE ZONAS CRÍTICAS DE CONTAMINACIÓN.....	183
6.9 CORRELACIÓN CON LOS MÉTODOS DE MEDICIÓN ACTIVOS.....	188
7 INFORME FINANCIERO	192
8 CONCLUSIONES	194
9 RECOMENDACIONES	198
BIBLIOGRAFÍA.....	202
ANEXOS	

LISTA DE TABLAS

	Pág.
TABLA 1.1. Comparación de ambos métodos de medición.	23
TABLA 1.2. Velocidades de sedimentación por tamaño de partículas.	24
TABLA 1.3. Tramos viales contemplados.	26
TABLA 2.1. Valores límites y guías de calidad del aire según la legislación vigente.	31
TABLA 3.1. Lista de contactos.	53
TABLA 4.1. Localización geográfica de las estaciones de monitoreo pasivo.	54
TABLA 4.2. Principales características de la estación de monitoreo Barbosa.	58
TABLA 4.3. Principales características de la estación de monitoreo Girardota.	59
TABLA 4.4. Principales características de la estación de monitoreo Copacabana.	61
TABLA 4.5. Principales características de la estación de monitoreo Bello.	62
TABLA 4.6. Principales características de la estación de monitoreo Autopista Norte.	64
TABLA 4.7. Principales fuentes fijas de emisión en un radio de 500 m de la estación Autopista Norte.	67
TABLA 4.8. Principales características de la estación de monitoreo Museo de Antioquia.	68
TABLA 4.9. Principales fuentes fijas de emisión en un radio de 500 m de la estación Museo de Antioquia.	71
TABLA 4.10. Principales características de la estación de monitoreo Facultad de Minas.	72
TABLA 4.11. Principales fuentes fijas de emisión en un radio de 500 m de la estación Facultad de Minas.	72
TABLA 4.12. Principales características de la estación de monitoreo SENA.	74
TABLA 4.13. Principales características de la estación de monitoreo Av. Guayabal.	76
TABLA 4.14. Principales fuentes fijas de emisión en un radio de 500 m de la estación Avenida Guayabal.	80
TABLA 4.15. Principales características de la estación de monitoreo Mayorca.	81
TABLA 4.16. Principales fuentes fijas de emisión en un radio de 500 m de la estación Mayorca.	83
TABLA 4.17. Principales características de la estación de monitoreo Itagiúí (1).	84
TABLA 4.18. Principales características de la estación de monitoreo Itagiúí (2).	85
TABLA 4.19. Principales fuente fijas de emisión en un radio de 500 m de la estación Itagiúí.	87
TABLA 4.20. Principales características de la estación de monitoreo Navitrans.	88
TABLA 4.21. Principales fuentes de emisión en un radio de 500 m de la estación Navitrans.	90
TABLA 4.22. Principales características de la estación de monitoreo Sabaneta.	94
TABLA 4.23. Principales fuentes fijas de emisión en un radio de 500 m de la estación Sabaneta.	96
TABLA 4.24. Principales características de la estación de monitoreo La Estrella.	97
TABLA 4.25. Principales características de la estación de monitoreo Caldas.	98
TABLA 4.26. Principales fuentes fijas de emisión en un radio de 500 m de la estación Caldas.	99
TABLA 5.1. Instalación y operación de los sensores pasivos en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá.	101
TABLA 6.1. Coeficientes de correlación de los parámetros meteorológicos con la fracción monitor automático/muestreador difusivo para el captador de ozono.	103
TABLA 6.2. Coeficientes de correlación de los parámetros meteorológicos con la fracción monitor automático/muestreador difusivo para el captador de dióxido de nitrógeno.	103
TABLA 6.3. Concentración promedio mensual de SO ₂ por monitor pasivo en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. µg/m ³	107
TABLA 6.4. Concentración promedio mensual de NO ₂ por monitor pasivo en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. µg/m ³	114
TABLA 6.5. Concentración promedio semanal de ozono por monitor pasivo en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. µg/m ³ . Período de monitoreo: 01 agosto - 25 octubre/2006.	120
TABLA 6.6 Concentración promedio semanal de ozono por monitor pasivo en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. µg/m ³ . Período de monitoreo: 25 octubre/06 – 17 enero/07.	121

<i>TABLA 6.7 Concentración promedio semanal de ozono por monitor pasivo en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Período de monitoreo: 16 enero – 11 abril/07.</i>	122
<i>TABLA 6.8 Concentración promedio semanal de ozono por monitor pasivo en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Período de monitoreo: 10 abril – 06 agosto/07.</i>	123
<i>TABLA 6.9 Concentración promedio mensual de ozono por monitor pasivo en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Período de monitoreo: 01 agosto/06 – 06 agosto/07.</i>	124
<i>TABLA 6.10. Concentración promedio mensual de Benceno por monitor pasivo en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. $\mu\text{g}/\text{m}^3$.</i>	135
<i>TABLA 6.11. Concentración promedio mensual de Tolueno por monitor pasivo en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. $\mu\text{g}/\text{m}^3$.</i>	140
<i>TABLA 6.12. Concentración promedio mensual de Etilbenceno por monitor pasivo en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. $\mu\text{g}/\text{m}^3$.</i>	145
<i>TABLA 6.13. Concentración promedio mensual de Xilenos por monitor pasivo en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. $\mu\text{g}/\text{m}^3$.</i>	149
<i>TABLA 6.14. Tasa de sedimentación de partículas en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. $\text{t}/\text{km}^2 - 30$ días.</i>	154
<i>TABLA 6.15. Descripción de las muestras de polvo sedimentable analizadas por tamaño y distribución de tamaño de partículas.</i>	161
<i>TABLA 6.16 Valores estadísticos para el período de monitoreo en las 15 estaciones.</i>	164
<i>TABLA 6.17. Concentraciones de SO_2 por monitor activo y pasivo.</i>	189
<i>TABLA 6.18. Concentraciones de NO_2 por monitor activo y pasivo.</i>	190

LISTA DE FIGURAS

	pág.
<i>FIGURA 4.1. Altura sobre el nivel del suelo de las estaciones de monitoreo.....</i>	55
<i>FIGURA 4.2. Distancia de las estaciones de monitoreo a la vía principal más cercana.</i>	55
<i>FIGURA 4.3. Esquema de ubicación de las estaciones de monitoreo pasivo.</i>	56
<i>FIGURA 4.4. Imagen satelital de la estación Bello – Fuente Google earth.</i>	63
<i>FIGURA 4.5. Imagen satelital de la estación Autopista Norte. Fuente: Google Earth.</i>	65
<i>FIGURA 4.6 Área de influencia de la estación Autopista Norte.</i>	67
<i>FIGURA 4.7 Área de influencia de la estación Museo de Antioquia.</i>	68
<i>FIGURA 4.8 Imagen satelital de la estación Museo de Antioquia. Fuente: Google Earth.</i>	69
<i>FIGURA 4.9. Imagen satelital de la estación Facultad de Minas. Fuente: Google Earth.</i>	73
<i>FIGURA 4.10 Área de influencia de la estación Facultad de Minas.</i>	73
<i>FIGURA 4.11. Imagen satelital de la estación SENA. Fuente: Google Earth.</i>	75
<i>FIGURA 4.12 Imagen satelital de estación Avenida Guayabal. Fuente: Google Earth.</i>	77
<i>FIGURA 4.13. Área de influencia de la estación Avenida Guayabal.</i>	79
<i>FIGURA 4.14. Área de influencia de la estación Mayorca.</i>	82
<i>FIGURA 4.15. Área de influencia en la estación Itagüí.</i>	86
<i>FIGURA 4.16. Área de influencia en la estación Navitrans.</i>	89
<i>FIGURA 4.17. Área de influencia en la estación Sabaneta.</i>	95
<i>FIGURA 4.18. Área de influencia de la estación Caldas.</i>	98
<i>FIGURA 6.1. Concentración promedio mensual de SO₂ por monitor pasivo en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Primer trimestre de monitoreo.</i>	106
<i>FIGURA 6.2 Concentración promedio mensual de SO₂ por monitor pasivo en el Área.</i>	109
<i>FIGURA 6.3 Concentración promedio mensual de SO₂ por monitor pasivo en el Área.</i>	110
<i>FIGURA 6.4 Concentración promedio mensual de SO₂ por monitor pasivo en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Cuarto trimestre de monitoreo.</i>	111
<i>FIGURA 6.5. Concentración promedio mensual de NO₂ por monitor pasivo en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Primer trimestre de monitoreo.</i>	113
<i>FIGURA 6.6 Concentración promedio mensual de NO₂ por monitor pasivo en el Área.</i>	116
<i>FIGURA 6.7 Concentración promedio mensual de NO₂ por monitor pasivo en el Área.</i>	117
<i>FIGURA 6.8 Concentración promedio mensual de NO₂ por monitor pasivo en el Área.</i>	118
<i>FIGURA 6.9. Concentración promedio semanal de ozono por monitor pasivo en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Período de monitoreo: 01-30 agosto/2006.</i>	126
<i>FIGURA 6.10 Concentración promedio semanal de ozono por monitor pasivo en el Área.</i>	126
<i>FIGURA 6.11. Concentración promedio semanal de ozono por monitor pasivo en el Área.</i>	127
<i>FIGURA 6.12. Concentración promedio semanal de ozono por monitor pasivo en el Área.</i>	127
<i>FIGURA 6.13 Concentración promedio semanal de ozono por monitor pasivo en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. µg/m³. Período de monitoreo: 21 noviembre - 20 diciembre/2006.</i>	128
<i>FIGURA 6.14 Concentración promedio semanal de ozono por monitor pasivo en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. µg/m³. Período de monitoreo: 19 diciembre/06 - 17 enero/07.</i>	128
<i>FIGURA 6.15 Concentración promedio semanal de ozono por monitor pasivo en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. µg/m³. Período de monitoreo: 16 enero - 14 febrero/07.</i>	129
<i>FIGURA 6.16 Concentración promedio semanal de ozono por monitor pasivo en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. µg/m³. Período de monitoreo: 13 febrero - 14 marzo/07.</i>	129
<i>FIGURA 6.17 Concentración promedio semanal de ozono por monitor pasivo en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. µg/m³. Período de monitoreo: 13 marzo - 11 abril/07.</i>	130

FIGURA 6.18 Concentración promedio semanal de ozono por monitor pasivo en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Período de monitoreo: 10 abril - 09 mayo/07.	130
FIGURA 6.19 Concentración promedio semanal de ozono por monitor pasivo en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Período de monitoreo: 08 mayo - 06 junio/07.	131
FIGURA 6.20 Concentración promedio semanal de ozono por monitor pasivo en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Período de monitoreo: 05 junio - 04 julio/07.	131
FIGURA 6.21 Concentración promedio semanal de ozono por monitor pasivo en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Período de monitoreo: 03 julio - 06 agosto/07.	132
FIGURA 6.22. Concentración promedio mensual de Benceno por monitor pasivo en el Área	134
FIGURA 6.23 Concentración promedio mensual de Benceno por monitor pasivo en el Área	137
FIGURA 6.24 Concentración promedio mensual de Benceno por monitor pasivo en el Área	138
FIGURA 6.25 Concentración promedio mensual de Benceno por monitor pasivo en el Área	139
FIGURA 6.26. Concentración promedio mensual de Tolueno por monitor pasivo en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Primer trimestre de monitoreo.	142
FIGURA 6.27 Concentración promedio mensual de Tolueno por monitor pasivo en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Segundo trimestre de monitoreo.	143
FIGURA 6.28 Concentración promedio mensual de Tolueno por monitor pasivo en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Tercer trimestre de monitoreo.	143
FIGURA 6.29 Concentración promedio mensual de Tolueno por monitor pasivo en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Cuarto trimestre de monitoreo.	144
FIGURA 6.30. Concentración promedio mensual de Etilbenceno por monitor pasivo en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Primer trimestre de monitoreo.	147
FIGURA 6.31 Concentración promedio mensual de Etilbenceno por monitor pasivo en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Segundo trimestre de monitoreo.	147
FIGURA 6.32 Concentración promedio mensual de Etilbenceno por monitor pasivo en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Tercer trimestre de monitoreo.	148
FIGURA 6.33 Concentración promedio mensual de Etilbenceno por monitor pasivo en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Cuarto trimestre de monitoreo.	148
FIGURA 6.34. Concentración promedio mensual de Xilenos por monitor pasivo en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Primer trimestre de monitoreo.	151
FIGURA 6.35 Concentración promedio mensual de Xilenos por monitor pasivo en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Segundo trimestre de monitoreo.	152
FIGURA 6.36 Concentración promedio mensual de Xilenos por monitor pasivo en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Tercer trimestre de monitoreo.	152
FIGURA 6.37 Concentración promedio mensual de Xilenos por monitor pasivo en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Cuarto trimestre de monitoreo.	153
FIGURA 6.38. Tasa de sedimentación de partículas en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá.	157
FIGURA 6.39 Tasa de sedimentación de partículas en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá.	158
FIGURA 6.40 Tasa de sedimentación de partículas en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá.	159
FIGURA 6.41. Tasa de sedimentación de partículas en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá.	160
FIGURA 6.42. Representación gráfica de los indicadores estadísticos.	163
FIGURA 6.43 Concentraciones promedio anuales de SO_2 por monitor pasivo en el Área	167
FIGURA 6.44. Diagrama de cajas y bigotes de las concentraciones de SO_2 en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá.	169
FIGURA 6.45 Concentraciones promedio anuales de NO_2 por monitor pasivo en el Área.	170
FIGURA 6.46. Diagrama de cajas y bigotes de las concentraciones de NO_2 en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá.	171
FIGURA 6.47 Concentraciones promedio anuales de ozono por monitor pasivo en el Área	173
FIGURA 6.48. Diagrama de cajas y bigotes de las concentraciones de Ozono en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá.	174
FIGURA 6.49 Concentraciones promedio anuales de benceno por monitor pasivo en el Área	176



<i>FIGURA 6.50. Concentraciones promedio anuales de tolueno por monitor pasivo en el Área</i>	177
<i>FIGURA 6.51. Diagrama de cajas y bigotes de las concentraciones de Benceno en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá.</i>	178
<i>FIGURA 6.52. Concentraciones promedio anuales de etilbenceno por monitor pasivo en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Período de monitoreo: 01 agosto/06 – 06 agosto/07.</i>	179
<i>FIGURA 6.53. Concentraciones promedio anuales de xilenos por monitor pasivo en el Área</i>	179
<i>FIGURA 6.54. Tasa de sedimentación de partículas promedio anual en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Período de monitoreo: 26 septiembre/06 – 15 agosto/07.</i>	181
<i>FIGURA 6.55. Diagrama de cajas y bigotes de las tasas de sedimentación de partículas en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá.</i>	182
<i>FIGURA 6.56. Identificación de zonas críticas de contaminación por SO₂ en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá.</i>	184
<i>FIGURA 6.57. Identificación de zonas críticas de contaminación por NO₂ en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá</i>	185
<i>FIGURA 6.58. Identificación de zonas críticas de contaminación por Benceno en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá.</i>	186
<i>FIGURA 6.59. Identificación de zonas críticas de contaminación por partículas sedimentables en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá</i>	187
<i>FIGURA 6.60. Correlación entre monitor pasivo y automático de NO₂ realizadas en Suiza.</i>	188
<i>FIGURA 6.61. Correlación entre los valores de SO₂ por medidor pasivo y activo.</i>	190
<i>FIGURA 6.62. Correlación entre los valores de NO₂ por medidor pasivo y activo.</i>	191

LISTA DE ANEXOS

ANEXO 1. Datos de campo del monitoreo pasivo de contaminantes.

ANEXO 2. Resultados de laboratorio.

ANEXO 3. Gráficos de contaminantes por estación de monitoreo.

ANEXO 4. Resultados de la medición de pH durante el monitoreo de partículas sedimentables.

ANEXO 5. Resultados de laboratorio del análisis de tamaño y distribución de tamaño de partículas en cuatro muestras de polvo sedimentable.

RESUMEN EJECUTIVO

El presente estudio fue realizado en el marco del Convenio Interadministrativo No. 606 de 2005 suscrito entre la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín y el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. El principal objetivo es el fortalecimiento de la monitoría de la calidad del aire en las zonas urbanas del Valle de Aburrá mediante la evaluación con medidores pasivos. Las concentraciones de dióxido de azufre (SO₂), dióxido de nitrógeno (NO₂), ozono (O₃), compuestos orgánicos volátiles (BTX) y la tasa de sedimentación de partículas se evaluaron en las principales vías del Valle. Los medidores se instalaron en 15 sitios del Área Metropolitana, cubriendo los 9 municipios de la jurisdicción y el programa de monitoreo tuvo una duración de un año.

La medición de gases se realizó mediante los tubos pasivos Passam, los cuales utilizan la propiedad de difusión molecular de los gases. Estos dispositivos contienen en su interior un filtro impregnado con una sustancia absorbente específica para cada gas y la cantidad de contaminante absorbida es proporcional a la concentración en el ambiente. Su exposición en el ambiente se realizó por períodos semanales para el caso del ozono y de 28 días para los demás gases. El análisis de laboratorio se realiza empleando técnicas de cromatografía iónica y espectrofotometría.

Los muestreadores ó captadores pasivos son ampliamente utilizados en Europa para el monitoreo de la calidad del aire ambiente. Su uso está reglamentado por la Comunidad Europea a través de la Norma EN 13528 de 2003. La técnica de muestreo difusivo se utiliza para la evaluación preliminar de la calidad del aire ambiente, la identificación de zonas críticas de contaminación, el diseño y optimización de redes de monitoreo, la medición de la calidad del aire en áreas sin riesgo de exceder los valores límites, la determinación de áreas de calidad del aire homogéneas, la evaluación de la contaminación en la vecindad de fuentes puntuales (tráfico, industria), así como para la evaluación de la contaminación en ecosistemas.

La medición de partículas sedimentables, conocida también como polvo sedimentable, utiliza el principio de la gravedad para la captura de polvo en un colector debidamente diseñado de acuerdo a la Norma ASTM D1739-98. El tiempo de exposición del colector de partículas es 30±2 días y al final del monitoreo las muestras se llevan al laboratorio y son analizadas por el método de sólidos totales.

La medición de polvo sedimentable es un método sencillo y económico para estimar el flujo de partículas del aire al suelo. Ésta metodología se utiliza en países de Centro y Sur América en estudios de calidad del aire, en Alemania y Suiza la captura de polvo sedimentable se usa para conocer el flujo de sustancias tóxicas como metales pesados que son aportadas al suelo.

Los resultados del estudio muestran que las concentraciones anuales de dióxido de azufre y dióxido de nitrógeno no sobrepasan la Norma Colombiana Anual de Calidad del Aire, pero en 12 de las 15 estaciones de monitoreo sí se supera el valor guía de la Organización Mundial de la Salud para dióxido de nitrógeno. Los niveles de ozono muestran la formación de éste contaminante en la zona norte y sur del Área Metropolitana, principalmente en las estaciones de Barbosa, Girardota, Copacabana, Sabaneta y La Estrella.

En 9 de las 15 estaciones se sobrepasa la Norma Colombiana Anual de Calidad del Aire para benceno y todas las estaciones superan la Guía Anual de la Organización Mundial de la Salud. La situación encontrada en el Área Metropolitana es preocupante si se considera el significado toxicológico que tiene el benceno para el hombre por sus efectos cancerígenos, principalmente de leucemia en trabajadores expuestos. En el caso del presente estudio, la población que vive ó transita por los sitios evaluados, se encuentra en riesgo ya que el benceno puede ser cancerígeno a niveles bajos por largos períodos de exposición.

Las mayores tasas de sedimentación de partículas son obtenidas en los sitios de monitoreo influenciados por actividades de construcción y mantenimiento de vías. Las estaciones Autopista Norte, Navitrans, Itagüí y Sabaneta reportan promedios anuales superiores a la Norma Argentina. La Norma Colombiana no especifica un valor límite para las partículas sedimentables aunque sí establece el método de análisis.

En el centro del Área Metropolitana se identifica un sector desde la estación Autopista Norte hasta la de Navitrans (Autopista Sur), donde se debe hacer un seguimiento de los niveles de dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno y benceno de acuerdo a las zonas críticas de contaminación identificadas en el estudio.

En concordancia con el estudio realizado, el Área Metropolitana del Valle de Aburrá debe presentarle al Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, como propuesta de nueva norma de calidad del aire, la Norma Europea EN 13528 de 2003 que aprueba el uso de captadores difusivos para la determinación de las concentraciones de gases y vapores en el aire ambiente.



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA
SEDE MEDELLÍN

Fortalecimiento de la Red de Monitoreo de la
Calidad del Aire en el Valle de Aburrá con
Medidores Pasivos.



La Norma ASTM D1739-98 para medición de polvo sedimentable, establecida en la Norma Colombiana de Calidad del Aire, se debe seguir aplicando en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá, para el seguimiento del impacto generado por las vías y el rodamiento de los vehículos. Se recomienda que el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial de la República de Colombia, revise los estudios de medición de polvo sedimentable que se han desarrollado en el país y a nivel internacional, para definir un valor límite permisible del contaminante.

INTRODUCCIÓN

Los métodos de muestreo pasivo son ampliamente utilizados para la evaluación de la calidad del aire, especialmente en países en desarrollo, por su bajo costo y manejo sencillo, en comparación con los métodos convencionales (analizadores continuos y métodos activos). Éstos métodos sirven como indicativo de la contaminación, permiten llevar a cabo evaluaciones de tendencias a largo plazo, e identificar zonas de riesgo que deben ser monitoreadas con métodos convencionales para verificar el cumplimiento de la legislación ambiental.

En el marco del Convenio Interadministrativo No. 606 de 2005 suscrito entre el Área Metropolitana del Valle de Aburrá y la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, se desarrolla el Proyecto de “Fortalecimiento de la Red de Monitoreo de la Calidad del Aire en el Valle de Aburrá con Medidores Pasivos”.

El objetivo principal del estudio es la medición y análisis de contaminantes atmosféricos en las principales vías de las zonas urbanas del Valle de Aburrá, mediante medidores pasivos. Se definieron 15 estaciones de monitoreo distribuidas en toda el Área Metropolitana, cubriendo los 9 municipios de la jurisdicción. Los contaminantes evaluados son el dióxido de nitrógeno, el dióxido de azufre, ozono, benceno, etilbenceno, tolueno, xilenos y partículas sedimentables. El período de medición es de un año, realizando mediciones semanales de ozono y mensuales para los demás contaminantes.

En la medición de gases se utilizan tubos pasivos, basados en la propiedad de difusión molecular y posteriormente son analizados en el laboratorio empleando técnicas de cromatografía iónica y espectrofotometría. La medición de partículas sedimentables utiliza el principio de gravedad para la captura del material, siguiendo el método estándar de la ASTM D1739 (1982, 1998).

1 MARCO TEÓRICO.

1.1 GENERALIDADES DE LOS CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS Y SUS EFECTOS EN LA SALUD.

A continuación se presenta una breve descripción de las principales características, fuentes de emisión y efectos en la salud del dióxido de azufre, el dióxido de nitrógeno, el ozono, los BTX (benceno, tolueno y xilenos) y las partículas sedimentables, contaminantes evaluados con técnicas de monitoreo pasivo en el presente estudio.

1.1.1 Dióxido de azufre.

El dióxido de azufre es un gas incoloro, de olor acre, soluble en agua, reactivo e irritante para el sistema respiratorio y puede conducir, con una exposición de larga duración, al incremento de enfermedades de las vías respiratorias como la bronquitis. En períodos cortos de exposición puede producir cambios en la función pulmonar en asmáticos (OMS, 2004).

El dióxido de azufre proviene en gran parte de la combustión de combustibles fósiles sobre todo del carbón sulfurado y en menor parte de los gases de escape de los vehículos que funcionan con diesel. La quema de leña es otra fuente antropogénica de éste contaminante. Los volcanes son una fuente natural del dióxido de azufre.

El dióxido de azufre es una sustancia que contribuye en la formación de la lluvia ácida. La oxidación del SO_2 genera SO_3 que rápidamente experimenta la hidratación para formar ácido sulfúrico. El monitoreo a largo plazo con métodos pasivos permite hacer un seguimiento de la contaminación en sistemas ecológicos sensibles.

En ciudades de países en desarrollo, las concentraciones medias anuales de dióxido de azufre en el aire ambiental pueden variar de niveles muy bajos a $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Las concentraciones pico medidas como promedios de diez minutos pueden ser mayores de $2.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en condiciones de poca dispersión atmosférica como las inversiones o cuando determinadas condiciones atmosféricas llevan las emisiones al nivel del suelo. El SO_2 también puede alcanzar altas concentraciones en algunos ambientes interiores a través del uso de combustibles que contienen azufre, como el carbón usado para la calefacción y la cocina (OMS, 2004).

1.1.2 Dióxido de nitrógeno.

El dióxido de nitrógeno es un gas tóxico, relativamente insoluble en agua. Éste gas puede inhalarse en grandes cantidades y penetrar a las vías respiratorias inferiores del pulmón, lo que puede generar respuestas biológicas. Al igual que el SO_2 , los individuos que padecen de asma son más susceptibles de desarrollar una respuesta de constricción bronquial. Se ha comprobado que el dióxido de nitrógeno es unas cuatro veces más tóxico que el monóxido de nitrógeno; presenta toxicidad cruzada con el ozono y de ahí su importancia toxicológica al formar nitratos de peracilo (Capó Martí, 2002).

Su origen puede ser natural, ya que se forma en las tempestades y erupciones volcánicas. Las fuentes antropogénicas son el tráfico motorizado, principalmente por la combustión en motores diesel, así como los fuegos domésticos y procesos industriales de combustión.

El dióxido de nitrógeno juega un papel importante como precursor en la formación de ozono y oxidantes, que son también tóxicos en especial para las plantas. El NO_2 es un contaminante tanto primario como secundario. Los vehículos automotores emiten NO y NO_2 . En la atmósfera, el NO se oxida y se transforma a dióxido lentamente en reacción con el oxígeno, pero rápidamente en reacción con el O_3 . Esto explica las bajas concentraciones de O_3 que generalmente se observan cerca de las fuentes de óxido de nitrógeno.

Las concentraciones ambientales de NO_2 en el aire son variables. Las concentraciones naturales de fondo en el aire ambiental pueden ubicarse en el rango de menos de $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a más de $9 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Las concentraciones anuales medias en el aire ambiental urbano pueden variar entre 20 y $90 \mu\text{g}/\text{m}^3$ con concentraciones máximas de 75 a $1.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ por hora. Las concentraciones de NO_2 en interiores pueden alcanzar concentraciones promedio de $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ durante varios días, con concentraciones máximas de $2.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ por hora en los casos en que hay dispositivos de calefacción de gas con poca ventilación (OMS, 2004).

1.1.3 Ozono.

El ozono es una forma alotrópica del oxígeno en condiciones normales, es un gas relativamente insoluble en agua, de color azulado y de olor picante. Es un gas tóxico irritante para los ojos y las vías respiratorias y que tiene un efecto fitotóxico importante. En contraste con el SO_2 y el NO_2 , hay muy poca diferencia en la respuesta de la función pulmonar entre los asmáticos y los individuos sanos. No obstante, todavía no se ha llegado a comprender la gran variabilidad de las respuestas individuales (OMS, 2004).

Es un contaminante secundario que se forma en la atmósfera a partir de la reacción de los óxidos de nitrógeno con la luz solar y por oxidación de los hidrocarburos. Puede ser originado por descargas eléctricas, radiaciones X, radiaciones UVA, arcos voltaicos (Capó Martí, 2002).

Es un constituyente normal del aire, cuya concentración aumenta con la altura, puesto que en las capas altas de la atmósfera es formado más intensamente por la acción de los rayos ultravioleta sobre el oxígeno. Cerca del suelo, su concentración es muy variable, pero podemos señalar que en ambientes limpios varía entre 40 y 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, mientras que en ambientes muy contaminados puede tomar dos caminos: o desaparecer por reaccionar con los hidrocarburos o alcanza proporciones peligrosas formando la niebla oxidante, con concentraciones que llega hasta 1.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Capó Martí, 2002).

1.1.4 Compuestos orgánicos volátiles (benceno, tolueno, xilenos).

Los hidrocarburos juegan un papel importante en los procesos fotoquímicos en la atmósfera y contribuyen en la formación de ozono. Los BTX, son compuestos aromáticos que son adicionados a la gasolina para aumentar su octanaje y son generados por la combustión de dicho combustible. Los compuestos aromáticos presentan propiedades tóxicas y anestésicas.

El benceno es un componente que tiene un significado toxicológico para el hombre por sus efectos cancerígenos, puede generar efectos en la salud como leucemia en trabajadores expuestos. La concentración ambiental promedio varía de 5 a 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (OMS, 2004).

El tolueno, agente utilizado a menudo como disolvente, es un elemento volátil que tiene efectos en el sistema nervioso central de trabajadores y es causante de malos olores. La concentración ambiental promedio varía de 5 a 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (OMS, 2004).

Los xilenos, en particular el m-xileno, es un elemento activo fotoquímicamente en la formación de ozono, se ha comprobado los efectos en el sistema nervioso central en humanos voluntarios, neurotoxicidad en ratas y malos olores. Concentración ambiental promedio entre 1 a 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (OMS, 2004).

1.2 MÉTODOS PASIVOS DE MEDICIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE.

Los medidores pasivos, a diferencia de los medidores activos manuales y automáticos, no involucran el movimiento activo del aire, es decir, no hay succión de aire mediante un motor, por consiguiente no requieren energía para su

funcionamiento. El muestreo pasivo utiliza las propiedades físicas y químicas de los contaminantes.

A continuación se presentan los fundamentos de la técnica de muestreo pasivo de gases mediante captadores difusivos y la técnica de muestreo pasivo de partículas conocida como polvo sedimentable.

1.2.1 Captadores difusivos.

Una técnica alternativa al uso de medidores en continuo, son los captadores o permeadores pasivos, que se han empleado para medir contaminantes como el SO_2 y el NO_2 (Krochmal and Kalina, 1997).

Estos dispositivos de toma de muestra, generalmente con forma de tubo o disco, recogen un contaminante específico por medio de su adsorción y/o absorción en un sustrato químico seleccionado. Después de su exposición durante un apropiado periodo de muestreo, que varía desde un par de horas hasta un mes, la muestra regresa al laboratorio, donde se realiza la desorción del contaminante y después se analiza cuantitativamente.

Los resúmenes del “First International Symposium of Diffusive Sampling” que tuvo lugar en Luxemburgo en el año 1986 definían a los muestreadores pasivos como: “Un difusor pasivo es un dispositivo capaz de captar muestras de contaminantes de gas o de vapor de la atmósfera, con una velocidad controlada por un proceso físico como la difusión a través de una capa de aire estático, o de permeación a través de una membrana, sin la intervención de un movimiento activo de aire a través del captador”

1.2.1.1 Fundamentos de los captadores difusivos.

Los captadores pasivos para la captación de gases se rigen por la Ley de Fick que relaciona el flujo de gas que difunde desde una región de alta concentración (externo abierto del tubo), con el tiempo de exposición y el área del captador, que está expuesto al contaminante.

En el difusor pasivo existe un volumen de aire donde se produce un gradiente de concentraciones desde la parte externa del volumen en contacto con el ambiente exterior y con una concentración ambiental, hasta la parte interna, donde se encuentra el agente absorbente, y que tiene una concentración nula de dicho contaminante a determinar. Este gradiente de concentraciones producido es la fuerza que mueve al contaminante por difusión a través del captador hasta llegar al absorbente.

La Ley de Fick se basa en que las moléculas de gas se difunden en todas direcciones con igual probabilidad. La suma de todos los movimientos resulta un transporte neto en la dirección de la concentración decreciente puesto que el número de moléculas que se mueve desde un punto en una determinada dirección es directamente proporcional a la concentración en dicho punto. Se puede entender también como si la difusión intentara eliminar el gradiente de concentraciones existente en un determinado espacio con el movimiento de moléculas hacia las zonas donde hay carencia de ellas. Esta ley, conocida como la Primera Ley de Fick de la difusión, fue descubierta empíricamente por Fick en el año 1855, aún desconociendo por aquel entonces las moléculas.

La Ley de Fick se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$F = D * [X] / L \quad (1)$$

Siendo,

F	Flujo del contaminante X (mol/cm ² .min)
D	Coefficiente de difusión del gas (cm ² /min)
[X]	Concentración ambiental del contaminante X (mol/cm ³)
L	Longitud de la zona de difusión (cm)

La cantidad de gas Q en moles, que difunde a través de un captador pasivo con un área a (cm²) y una longitud L (cm) por unidad de tiempo es:

$$Q = F * a * t \quad (2)$$

Sustituyendo el valor de F de la expresión (1):

$$Q = D * [X] * a * t / L \quad (3)$$

Teniendo en cuenta que el cociente de captación, S (cm³/min) es:

$$S = D * a / L \quad (4)$$

Sustituyendo en la ecuación (3) se obtiene:

$$Q = S * [X] * t \quad (5)$$

Y despejando

$$[X] = Q / S * t \quad (6)$$

Por lo tanto, conociendo el coeficiente de captación S del captador pasivo, la cantidad de gas en moles que ha difundido a través del captador (Q) y el tiempo que ha estado expuesto (t) se conocerá la concentración ambiental promedio del contaminante X en el aire durante el periodo muestreado (Galan Madruga et al., 2001).

1.2.1.2 Factores claves en los captadores difusivos.

Elección del absorbente

El funcionamiento del muestreador pasivo depende críticamente de la selección y uso del absorbente adecuado el cual debe tener una eficiencia de absorción elevada para el contaminante que se quiera medir. De esta forma, la presión de vapor residual del contaminante muestreado en la superficie del absorbente será muy pequeña con relación a la concentración del contaminante en el ambiente y la velocidad de captación será próxima a la del estado estacionario.

En el caso en el que se utilice un absorbente débil, la presión de vapor del contaminante muestreado no será nula, por lo tanto la diferencia de concentraciones entre el ambiente y el captador, que es la fuerza impulsora del proceso de difusión, será menor y el flujo del contaminante decrecerá con el tiempo de muestreo.

Otra manifestación de una mala elección del absorbente es la retrodifusión o difusión inversa. Esto puede suceder cuando después de un tiempo de muestreo la concentración del contaminante es mayor en la superficie del absorbente que la concentración en el ambiente externo, por lo tanto la fuerza impulsora de la difusión va en dirección contraria (Brown, 2002).

Geometría del Captador

La Geometría del captador es un factor clave que afecta al coeficiente de captación efectivo S , tal y como se observa en la propia definición:

$$S = D * a / L \quad (4)$$

La sección transversal del muestreador, a , y la longitud de difusión en el interior del muestreador, L , determinan principalmente el coeficiente de captación S o velocidad de captación para un contaminante determinado.

El coeficiente de captación es por tanto fijo para un gas o vapor concreto y puede únicamente ser alterado con cambios en el tamaño o forma de los captadores.

Los captadores que tienen forma de tubo (muestreo a través de una sección pequeña y larga) tienen generalmente coeficientes de muestreo pequeños, del orden de 1 ml/min o menos). Los muestreadores en forma de disco o placa (badge – type) tienen un coeficiente de captación intermedio, del orden de 10 ml/min. Los captadores radiales, en forma de tubo, pero muestreando a través de las paredes y no desde un extremo abierto, tienen los coeficientes de muestreo más elevados, del orden de 100 ml/min.

Efectos de los factores ambientales

Los factores ambientales pueden afectar a los captadores pasivos. Entre ellos podemos destacar la velocidad del aire, variaciones bruscas de la concentración de contaminantes y la temperatura. Los más importantes de todos ellos son la temperatura y la presión, las cuales afectan directamente el coeficiente de difusión D y pueden afectar también la capacidad del absorbente (Brown, 2002).

- Temperatura y Presión

En el caso de difusores pasivos ideales, la dependencia del flujo de contaminante muestreado con respecto a la temperatura y la presión está marcada por el coeficiente de difusión del analito. La dependencia del coeficiente de difusión, y por lo tanto del flujo de difusión se muestra en la siguiente expresión:

$$D = f(T^{n+1}, P^{-1}) \quad 0.5 < n < 1 \quad (7)$$

La dependencia del Flujo de contaminante F con la temperatura es del orden de $0,2 - 0,4 \% K^{-1}$.

En el caso de un captador no ideal, la dependencia con la temperatura del flujo de contaminante será compensada con la dependencia del coeficiente de absorción del analito con la temperatura.

En cualquier caso, es necesario conocer la medida de temperaturas y presiones a lo largo del periodo de muestreo.

- Humedad

La humedad puede afectar a la capacidad de absorción de absorbente hidrofílicos, tal como el carbón vegetal. La humedad normalmente reduce el tiempo de exposición a una concentración determinada previo a la saturación del absorbente,

puesto que aparece una concentración de analito en la superficie absorbente por la presión de vapor que hace que el muestreo pase a ser no lineal.

La condensación en las paredes internas expuestas en los captadores tipo tubos o en las rejillas de corriente producidas por elevadas humedades puede alterar el comportamiento de absorción. Algunos absorbentes sólo son efectivos en condiciones húmedas, por lo que una sequedad excesiva puede llegar a paralizar el proceso de absorción.

- Variaciones bruscas de la concentración exterior

Las ecuaciones obtenidas de la Ley de Fick asumen que el proceso se produce en condiciones estacionarias. Sin embargo, normalmente la concentración de contaminantes en el ambiente varía ampliamente a lo largo del tiempo. La cuestión que se plantea es si un captador pasivo dará una buena respuesta integrada o por lo contrario perderá los picos de contaminación antes de que puedan ser atrapados por el absorbente. El problema ha sido discutido teóricamente (Bartley et al, 1983) y prácticamente se ha demostrado que no hay problema siempre y cuando el tiempo de muestreo total sea como mínimo diez veces superior que la constante de tiempo del captador pasivo.

La constante de tiempo del captador pasivo se define como el tiempo que necesita una molécula para difundir a través del muestreador en condiciones estacionarias. La constante de tiempo, t , para la mayoría de los captadores comerciales está entre 1 y 10 segundos y viene determinada por la expresión:

$$t = l^2 / D \quad (8)$$

Donde t es la constante de tiempo del captador pasivo (en s).

- Velocidad del viento.

El movimiento del viento y la orientación de la muestra pueden afectar el funcionamiento de los captadores pasivos debido a su influencia sobre la longitud de paso difusiva. La masa captada por difusión es función de la longitud, l , y de la sección transversal A , de la zona de difusión en el captador. La longitud de paso difusiva nominal viene definida por la geometría del captador y es la distancia entre la superficie del absorbente y la cara externa del captador.

El problema de la variación de la longitud de paso efectiva puede ser minimizado incorporando una carcasa protectora del viento.

Los captadores tipo tubo normalmente no se ven afectados por las bajas velocidades del aire, excepción de aquellos que no tengan una carcasa protectora.

1.2.1.3 Comparación de métodos de medición continua frente a métodos pasivos.

Los procesos de medida en los analizadores automáticos son llevados a cabo por el propio analizador, sin intervención del operario, ni transporte de muestras de la zona de muestreo al laboratorio de análisis, evitando así la manipulación. Funcionan en continuo, dando perfiles del contaminante en cortos periodo de tiempo, generando datos en tiempo real, lo que permite realizar medidas en intervalos horarios o de fracciones de tiempo menores, y descubrir máximos, mínimos, episodios, o posibles ciclos diarios, y proporcionando una idea inmediata de lo que esta ocurriendo en la atmósfera en ese instante.

La gran capacidad de estos muestreadores automáticos se obtiene a expensas de los altos costos que implica su inversión inicial y su operación. Estos instrumentos tienden también a ser más susceptibles a problemas técnicos en comparación con los captadores pasivos, cuando no se cuenta con los programas de mantenimiento adecuados y con personal técnico cualificado, ya que requieren de técnicos especializados para la operación rutinaria de los equipos y de métodos más sofisticados de aseguramiento y control de la calidad. Estos captadores automáticos producen gran cantidad de datos que usualmente necesitan de sistemas telemétricos para su recopilación y computadores para su posterior procesamiento y análisis.

Existen redes de vigilancia de la contaminación que necesitan de la rápida respuesta, en poco tiempo, que proporciona un analizador automático, por ejemplo cuando se pretenden detectar valores máximos de concentraciones de contaminantes y situaciones de alerta para implementar medidas de contingencia. Pero su uso no siempre es imprescindible, ya que presentan una serie de inconvenientes: el precio de adquisición es elevado, son pesados y presentan dificultad en el transporte; manifestando además una dificultad intrínseca funcional de emplazarlos en algunos puntos de muestreo debido a su dependencia de una fuente generadora de corriente alterna así como de un personal especializado en su manejo.

Todo ello unido a que cuando se quieren estudiar efectos a largo plazo no se requiere tener datos de frecuencia menor a la diaria, hace necesario el desarrollo

de otras técnicas, complementarias a ésta, que puedan solventar los inconvenientes que presentan los analizadores en continuo y que además puedan servir como indicativos de los niveles de concentración de contaminantes que se dan en un área determinada (Hangarter, 1996).

Las ventajas del método de sistemas pasivos se basan en el hecho de solventar las dificultades esenciales que manifiestan los instrumentos automáticos en continuo (Koutrakis, P. 1993). Algunas de sus características más significativas como son el bajo costo de adquisición y analítico, la sencillez en la manipulación y la facilidad de transporte, así como la versatilidad de ubicación en el momento de localizarlos en los muestreos, hacen de los sistemas pasivos la herramienta idónea para la ejecución de estudios de base de detección de ozono troposférico que abarquen grandes áreas espaciales, a nivel provincial o regional (Liu et al., 1995).

El uso de esta tecnología de muestreadores pasivos nos proporciona un medio para obtener información confiable y de fácil mantenimiento. Puesto que son más baratos que los muestreadores continuos, se pueden utilizar en mayor cantidad, por lo que ofrecen la posibilidad de llevar a cabo campañas a gran escala cubriendo grandes áreas de muestreo, estudios de base, observación de tendencias e ingreso de información sobre las modalidades de contaminación del aire. Los aparatos de muestreo pasivo no son costosos ya que todos los análisis se pueden realizar de forma centralizada, no se requiere de personal técnico en la localización donde por lo general se encuentra buen recurso de laboratorio (Hangartner, 1996).

La técnica de los muestreadores pasivos esta muy indicada para hacer estudios de base o discriminatorios para la evaluación de la distribución espacial de los contaminantes y son muy utilizados para identificar zonas críticas donde existen elevadas concentraciones de dichos contaminantes (Hangartner, 1996).

En la TABLA 1.1 aparecen resumidas las ventajas e inconvenientes de ambos métodos de muestreo (Delgado, J. 2004).

TABLA 1.1. Comparación de ambos métodos de medición.

MÉTODO DE MEDIDA	VENTAJAS	INCONVENIENTES
CAPTADORES PASIVOS	<ul style="list-style-type: none"> Muy bajo coste de adquisición y analítico. Muy sencillos en la manipulación Útiles para estudios de base Estudio de efectos a largo plazo Estudio de amplias zonas de muestreo Versatilidad del emplazamiento Realización de estudios de base 	<ul style="list-style-type: none"> No son útiles para algunos contaminantes Medidas semanales, quincenales o mensuales Transporte de muestras y análisis en el laboratorio Determinan promedio del tiempo de muestreo Datos con incertidumbre
ANALIZADORES AUTOMÁTICOS	<ul style="list-style-type: none"> Comprobados científicamente Datos horarios Datos fiables Información en tiempo real Determina máximos, mínimos y ciclos diarios y situaciones de alerta No hay transporte de muestras Altas prestaciones 	<ul style="list-style-type: none"> Complejos técnicamente Costosos en inversión y en mantenimiento Requieren personal técnico cualificado Son equipos pesados Necesitan electricidad Poco versátiles en el emplazamiento

1.2.2 Medición de partículas sedimentables.

Las partículas presentes en la atmósfera que tienen velocidades de sedimentación apreciables, permaneciendo allí por cortos períodos de tiempo, se conocen como partículas sedimentables.

La velocidad de sedimentación de una partícula con un diámetro de 1 micra es de 0.006 cm/s. Los movimientos verticales del aire en el exterior normalmente son mayores que ese valor, de modo que las partículas de este tamaño no se sedimentan con rapidez en la atmósfera, como lo haría la arena gruesa, sino en lugar de ello se mueven con el gas y permanecen en suspensión durante largos períodos (De Nevers, 1998).

Partículas de diámetro superior a 20μ (= 0.02 mm), como la arena, poseen velocidades de sedimentación apreciables, de modo que es raro que el viento sople esas partículas hacia arriba o las sostenga arriba una vez que se encuentren en el aire. La velocidad de sedimentación en el aire para una partícula con un diámetro de 100 micras es de 45 cm/s aproximadamente (Capó Martí, 2002).

En la TABLA 1.2 se dan los valores de la velocidad de sedimentación para distintos tamaños de partículas, suponiéndolas esféricas, de densidad 1 gr/cm^3 y con el viento en calma (Henao, 1993).

TABLA 1.2. Velocidades de sedimentación por tamaño de partículas.

DIÁMETRO DE PARTÍCULAS (μ)	VELOCIDAD DE CAÍDA (cm/seg)
200	120
100	30
50	7
10	0.3
5	0.07
1	0.003
0.5	0.0007

Las partículas sedimentables se diferencian de las partículas en suspensión, en que las últimas sedimentan con tanta lentitud, que puede considerarse que permanecen en la atmósfera hasta que son eliminadas por precipitación. No existe una línea divisoria clara y simple entre las dos categorías, pero si se debe hacer una distinción arbitraria de éste tipo, se haría en alguna parte cerca de un diámetro de partícula de 10 micras (= 0.01 mm) (De Nevers, 1998).

El polvo sedimentable, como se le conoce también a las partículas sedimentables, es creado básicamente por el rompimiento de grandes partículas en procesos tales como: trituración, pulverización, perforaciones, explosiones; en la mezcla de materiales y operaciones como: transporte, tamizado, barreduras (Henao, 1993). La actividad de la construcción es una de las principales fuentes de generación de éste contaminante. El desgaste de los neumáticos y el polvo de las vías generan partículas que no permanecen largo tiempo en la atmósfera. Las partículas presentes en la atmósfera que tienen velocidades de sedimentación apreciables, permaneciendo allí por cortos períodos de tiempo, se conocen como partículas sedimentables.

El monitoreo pasivo de material particulado sedimentable, se basa en la colección de partículas, sin involucrar el movimiento activo del aire, es decir, no hay succión de aire mediante un motor como en el caso de los métodos activos, ya que las partículas son capturadas por acción de su propio peso en un colector debidamente diseñado.

La medición del polvo sedimentable es una técnica sencilla para evaluar la calidad del aire. Los resultados se reportan como tonelada depositada de polvo/Kilómetro²-mes. Estas cifras suministran información del promedio general de la calidad del aire, y también localizan áreas problemáticas. En el Valle de Aburrá, según estudios realizados por la Universidad Nacional, se han detectado zonas hasta con 70 t/km²-mes. Filadelfia tiene un promedio de 9 t/km²-mes, San Luis 14 t/km²-mes y Chicago tiene 17 t/km²-mes (Bedoya, 2002).

En el área de la salud ambiental, las partículas de diámetro mayor a 10μ son retenidas en la nariz y la garganta y no alcanzan a ingresar a los pulmones, mientras que las partículas menores de 10μ penetran directamente por las vías respiratorias y ocasionan alteraciones en éste sistema en diferentes sitios (Nieto, 1993).

1.3 SISTEMA ENERGÉTICO DEL ÁREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ – EXPERIENCIA APLICACIÓN DEL MODELO MARKAL.

El ÁREA Metropolitana, según lo previsto en la Ley 99 de 1993, cumple funciones de autoridad ambiental en el perímetro urbano de los municipios que hacen parte de su jurisdicción, es decir en lo que se conoce como Área Metropolitana. En las zonas rurales de los municipios la autoridad ambiental la ejercen las corporaciones autónomas regionales, en particular, CORANTIOQUIA y CORNARE. Dicha competencia ambiental ha permitido que el ÁREA Metropolitana como entidad planificadora consolide sus programas teniendo como directriz el medio ambiente, con labores de protección, recuperación y control en todos los proyectos planteados.

El ÁREA Metropolitana conscientes del valor importante que tiene la planificación energética y ambiental para la región, ha patrocinado la realización de proyectos como el estudio de Evaluación Integrada Ambiente - Energía - Economía para la Planificación Sostenible de Núcleos Locales, caso de aplicación área metropolitana del valle de aburrá, con la implementación del modelo Markal a través del posgrado en Aprovechamiento de Recursos Hidráulicos y el grupo de investigación en estudios energéticos de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín.

El modelo MARKAL es un modelo de optimización apoyado en herramientas de programación lineal. Es considerado un modelo de aproximación híbrida, bottom-up o top-down, que permite una representación tecnológica detallada y contiene un marco macroeconómico para la estimación de balance y equilibrio general. Para el modelamiento MARKAL del sistema de Área Metropolitana se partió de una serie de consideraciones, hipótesis y suposiciones sobre el desenvolvimiento actual y las tendencias de crecimiento de los sectores de consumo energético, por uso y por tecnología.

Con el fin de verificar y corroborar los sitios de selección de medidores pasivos, se ha revisado el contenido del estudio financiado por Área Metropolitana y se puede observar que el modelo desagregado consideró demandas por tramos viales, que fueron seleccionados por ser de muy alta demanda en la ciudad (vías arterias principales), lo que coincide con muchos de los sitios seleccionados y que

cumplen con el objeto del presente estudio. Se muestra en la tabla 1. los catorce (14) puntos que fueron tenidos en cuenta en el estudio de la aplicación de Markal.

Los agregados del modelo de evaluación para el área Metropolitana difieren en la escala geográfica de representación del sistema, que ofrecen resultados globales (Agregado) y a niveles de detalle tan finos (Desagregado) como cada industria, tramos viales y zonas residenciales y comerciales en grillas (500m X 500 m), con emisiones de contaminantes asociados a diferentes escenarios de la puesta en marcha del sistema energético general del Área Metropolitana.

Se debe aclarar que en el contexto, los sitios que se han propuesto para la instalación de medidores pasivos de gases, quiere cumplir con el objetivo estipulado por el contrato que se someten a presentación y aprobación por parte de la Interventoría del proyecto.

TABLA 1.3. Tramos viales contemplados.

ABREVIACIÓN	TRAMO VIAL O CORREDOR
ACN	Anillo Central
AEX	Anillo Exterior
AREA	Resto del Área Metropolitana
ATNR	La Autopista
AVRG	La regional
CL104	Corredor Calle 104
CL30	Corredor Calle 30
CL33	Calle 33
CR45	Corredor Carreras 45 y 46
CR80	Corredor Carrera 80
QBDM	Quebrada Doña María (Itagüí)
QBLA	Quebrada La Ayurá (Envigado)
QBLG	Quebrada La García (Bello)
TR34	Corredor Transversal 34

Uno de los resultados más interesantes es el despliegue de las emisiones en un esquema de discretización referenciado geográficamente. Esos mapas son muy importantes para la planeación de la reorganización de los centros de mayor consumo energético de la región como zonas industriales o de mayor tráfico vehicular. Permite reconocer las zonas del Área Metropolitana con mayor intensidad de emisiones y usarlo como base para medidas de mitigación y de control ambiental o para la implementación de planes de sustitución energética o mejoramiento de la eficiencia tecnológica, y muchos más.

Es de mucha importancia dilucidar que en la modelación MARKAL del sistema de Área Metropolitana apunta principalmente a la estimación de emisiones de contaminantes a la atmósfera como resultado de la puesta en marcha del sistema energético. Las emisiones se refieren a la cantidad de contaminante lanzado al aire por efecto, entre muchas otras, de la combustión energética. Las inmisiones se refieren a cuanto de esas emisiones permanecen en el aire luego de procesos de reacción fotoquímica, dispersión y otras que están ligadas a la circulación atmosférica local, su estacionalidad, vientos, temperatura y otras variables climáticas y geomorfológicas.

Los modelos de emisiones y de inmisiones tienen objetivos e implicaciones diferentes en los procesos de planificación. Normalmente los modelos de inmisiones parten de las emisiones y usan modelos de dispersión de contaminantes y de reacciones fotoquímicas para modelar la distribución espacial y estimar cantidades. Son modelos muy complejos y requieren gran capacidad de predicción climática y de representación de la circulación local, además deben ser alimentados por mediciones en campo a diferentes alturas en la vertical atmosférica. Estos modelos son muy interesantes y permitirán una vez estén disponibles para el Área Metropolitana refinar estudios de reorganización local, salud humana y otros, además de la importancia que tiene el conocer los patrones climáticos y de circulación de la región.

2 MARCO NORMATIVO

El uso de captadores difusivos para medir la calidad del aire está reglamentado por la Comunidad Europea a través de la Norma EN 13528 de 2002. De acuerdo con el Reglamento Interior del Comité Europeo de Normalización (CEN/CENELEC), están obligados a adoptar esta norma europea como norma nacional los organismos de normalización de los siguientes países: Alemania, Austria, Bélgica, Dinamarca, Eslovaquia, España, Finlandia, Francia, Grecia, Hungría, Irlanda, Islandia, Italia, Luxemburgo, Malta, Noruega, Países Bajos, Portugal, Reino Unido, República Checa, Suecia y Suiza.

La técnica de muestreo difusivo, bajo las Directivas de la Calidad del Aire de la Unión Europea, puede utilizarse para la clasificación de zonas, la evaluación preliminar de la calidad del aire ambiente, el diseño y optimización de redes, la medida de la calidad del aire en áreas sin riesgo de exceder los valores límites, la determinación de áreas de calidad del aire homogéneas, la evaluación de la contaminación en la vecindad de fuentes puntuales (tráfico, industria), así como para la evaluación de la contaminación en ecosistemas.

La Norma Europea EN 13528 especifica los requisitos y métodos de ensayo para la determinación de las características de funcionamiento de los captadores difusivos, además que proporciona directrices para la selección, uso y mantenimiento de éstos captadores en la determinación de las concentraciones de gases y vapores en atmósferas ambiente. Es responsabilidad principal del usuario elegir los procedimientos o dispositivos adecuados que cumplan los requisitos de ésta norma europea. Una manera de hacerlo es obtener la información ó confirmación del fabricante. El ensayo de tipo, ó más habitualmente, la evaluación de los criterios de funcionamiento de los procedimientos ó dispositivos, pueden ser realizados por el fabricante, usuario, laboratorio de ensayo ó de investigación y laboratorio de desarrollo, el que sea más apropiado.

Ésta norma consta de las siguientes partes:

EN 13528-1 – Calidad del aire ambiente. Captadores difusivos para la determinación de las concentraciones de gases y vapores. Requisitos y métodos de ensayo. *Parte 1: Requisitos generales.*

EN 13528-2 – Calidad del aire ambiente. Captadores difusivos para la determinación de las concentraciones de gases y vapores. Requisitos y métodos de ensayo. *Parte 2: Requisitos específicos y métodos de ensayo.*

EN 13528-3 – Calidad del aire ambiente. Captadores difusivos para la determinación de las concentraciones de gases y vapores. Requisitos y métodos de ensayo. *Parte 3: Guía para la selección, uso y mantenimiento.*

Aunque ésta norma se dirige específicamente al aire ambiente, el muestreo difusivo también es adecuado para la evaluación de la calidad del aire en ambiente interior. En el proyecto de Norma prEN 14412 se dan las directrices para la selección, uso y mantenimiento de los captadores difusivos usados para medir la calidad del aire interior.

La metodología de muestreo difusivo permite determinar diferentes gases en el aire y pueden diseñarse captadores para casi todos los gases emitidos por la industria y otros procesos, incluyendo óxidos de nitrógeno y azufre, ozono, BTX (benceno, tolueno y xilenos), amoníaco y aminas, especies oxigenadas incluyendo disolventes y aldehídos, halógenos y gases ácidos, sulfuro de hidrógeno, entre otros.

Las concentraciones de contaminantes medidas por los captadores difusivos, son evaluadas de acuerdo con los niveles máximos permisibles establecidos por la norma de calidad del aire en cada país.

Para la evaluación de los niveles de gases contaminantes en el aire, el presente estudio toma como referencia normativa la Resolución 601 del 04 de abril de 2006, expedida por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial de la República de Colombia, la cual establece las normas de calidad del aire para los contaminantes evaluados en la presente investigación: dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno, ozono y BTX (Benceno, Tolueno y Xileno). Además, se utiliza como referencia las Guías de Calidad del Aire de la Organización Mundial de la Salud (OMS). Estos valores son consignados en la TABLA 2.1.

Otra metodología de monitoreo pasivo utilizada en el presente estudio, tiene que ver con la medición de partículas sedimentables en el aire, también conocida a nivel internacional como precipitación de polvo. Ésta metodología está reglamentada según el "Método estándar para análisis y colección de polvo sedimentable (partículas sedimentables), D1739-98 de la ASTM.

La Organización Panamericana de la Salud (OPS), oficina regional para las Américas de la Organización Mundial de la Salud, utilizó la técnica de medición de polvo sedimentable, durante la operación de la Red Panamericana de Muestreo de la Contaminación del Aire (REDPANAIRES). El nivel de referencia sugerido por la OPS para polvo sedimentable en su Informe Final 1967-1980 (Serie Técnica 23), fue de $0.5 \text{ mg/cm}^2\text{-30 días}$, equivalente a $5 \text{ t/Km}^2\text{-30días}$. Si bien la evaluación de polvo sedimentable fue utilizada durante años como un indicativo de la contaminación del aire, en la actualidad no es un parámetro estudiado por la

Organización Mundial de la Salud debido a que no existen estudios epidemiológicos que demuestren la asociación entre éste contaminante y los efectos adversos en la salud. Por ésta razón la Organización Mundial de la Salud no sugiere valores para el polvo sedimentable y dicho nivel de referencia salió de vigencia.

Sin embargo, en países de América se continúa realizando la evaluación de polvo sedimentable en los estudios de calidad del aire, como es el caso del Programa de Aire Puro para Centro América, desarrollado entre el 2001 y el 2003 en Guatemala, Panamá, Honduras, Nicaragua y El Salvador. En Argentina, se tiene una norma aun vigente para polvo sedimentable de $1 \text{ mg/cm}^2\text{-30 días}$, equivalente a $10 \text{ t/Km}^2\text{-30días}$ (Ordenanza 39025 Ciudad de Buenos Aires) y no debe superarse en ninguna ocasión.

El Acta de Aire Limpio de Suiza, establece un estándar de calidad del aire para polvo sedimentable de $200 \text{ mg/m}^2\text{-día}$ (equivalente a $6 \text{ t/Km}^2\text{-30días}$) como nivel promedio anual.

En Colombia no existe normatividad para polvo sedimentable, por ésta razón se toma como referencia las normas de Suiza y Argentina. Estos valores se muestran en la TABLA 2.1.

TABLA 2.1. Valores límites y guías de calidad del aire según la legislación vigente.

Norma	Concentración (ug/m ³)			
	Dióxido de azufre	Dióxido de nitrógeno	Ozono	BTX
Colombiana	Promedio 1 año: 80	Promedio 8h: 80 Promedio 1 año: 5		
	Prom. 24h: 250	Promedio 24h: 150	Promedio 1h: 120	Tolueno. Prom. 1sem: 260.
OMS	Prom. 24h: 20	Promedio 1 año: 40 Promedio 1h: 200 No debe ser excedido.	Promedio 8h, máximo diario: 100	Benceno: No se recomienda un nivel seguro de exposición. Tolueno. Prom. 1sem: 260. Xilenos. Prom. 1 año: 870. Etilbenceno. Prom. 1 año: 22.000.
Europea	Prom. 24h: 125	Promedio 1 año: 40 Promedio horario: 200 No debe ser excedido más de 18h en 1 año.	Promedio 8h: 120 No debe ser excedido más de 25 días en 1 año.	Benceno Promedio 1 año: 5
<i>Partículas sedimentables (t/Km²-30días)</i>				
Argentina	10. No debe superarse en ninguna ocasión.			
Suiza	Promedio 1 año: 6			

3 SELECCIÓN DE SITIOS DE MONITOREO.

Para la selección de los sitios de monitoreo se tuvieron en cuenta las recomendaciones del fabricante de los muestreadores difusivos (Laboratorio Passam de Suiza) y las recomendaciones establecidas por la Norma EN 13528-3- Calidad del aire ambiente. Captadores difusivos para la determinación de las concentraciones de gases y vapores. Requisitos y métodos de ensayo. *Parte 3: Guía para la selección, uso y mantenimiento:*

- Al menos 1 metro alejado de los edificios u otros obstáculos principales para evitar los efectos de las perturbaciones locales.
- Altura de toma de muestra: 1.5 – 4.0 m. Al menos 2.5 m desanimará el robo y vandalismo.
- Evitar la vecindad inmediata de árboles, arbustos, etc., para minimizar efectos de insectos que ocasionan problemas.
- Los captadores deberán situarse, en la medida de lo posible, fuera del alcance de personas no autorizadas.

Para la localización de los sitios de monitoreo de partículas sedimentables, se tuvieron en cuenta las recomendaciones establecidas en la norma ASTM D1739-98 "Método estándar para análisis y colección de polvo sedimentable (partículas sedimentables)":

- El sitio de muestreo debe ser un área abierta, sin estructuras mayores de 1 m en un radio de 20 m del soporte del recipiente.
- Debe estar retirado de fuentes locales de contaminación y de objetos, por ejemplo árboles, escapes de aire y canales de ventilación que puedan afectar la sedimentación de la materia.
- Las elevaciones hasta objetos más altos de 20 m no deben exceder 30° de la horizontal.
- Se debe evitar colocar los recipientes cerca de chimeneas. Si es posible, el sitio para el muestreo deberá estar a más de 10 veces la longitud de un conducto en funcionamiento y contra el viento, de acuerdo con la dirección más frecuente de éste.
- El sitio de monitoreo debe ser de fácil acceso y debe brindar seguridad contra vandalismo.

Además de éstos requerimientos, el Convenio 606 de 2005, mediante el cual se desarrolla el presente estudio, establece que los medidores pasivos se deben "instalar en las principales vías del valle de Aburrá".

A continuación se presenta un reporte de las visitas realizadas por el equipo de trabajo para la selección de los sitios de monitoreo.

3.1 MUNICIPIO DE LA ESTRELLA.

El día 24 de marzo de 2006 se realizó la visita de reconocimiento al municipio de La Estrella para definir el sitio de ubicación de la estación de monitoreo con métodos pasivos. A esta visita asistieron la ingeniera y auxiliar de campo del proyecto.

En la Alcaldía Municipal se contactó al personal de la UMATA (TABLA 3.1) con el fin de obtener información sobre los puntos de mayor interés para el proyecto.

Se hizo un recorrido con el personal de la alcaldía en el cual se identificaron 3 posible sitios de monitoreo:

- Centro Administrativo Municipal:

Esta ubicado sobre la vía principal de ingreso al municipio y ofrece condiciones de seguridad y fácil acceso.



Centro Administrativo
Municipal de La Estrella



Vía principal de ingreso al parque
Municipio de La Estrella

- Urbanización Villa Campestre

Esta ubicada en una zona de asentamiento industrial, a 200 metros aproximadamente de la vía Regional y cerca a Manufacturas Muñoz.

Dispone de una terraza en la portería para la ubicación de los muestreadores con una altura aproximada de 2.5 metros y vigilancia permanente.



Portería Urbanización Villa Campestre
Municipio de La Estrella



Urbanización Villa Campestre
Municipio de La Estrella

- Estación de Policía:

Corresponde al sitio de ubicación de la estación de monitoreo activa de La Red de Monitoreo de la Calidad del Aire en el Valle de Aburrá, por lo tanto se considera dentro de las alternativas viables para la ubicación de los sensores pasivos. La Estación de Policía está ubicada a una cuadra del parque principal. No fue posible ingresar a las instalaciones.

En común acuerdo con el interventor del proyecto se seleccionó como sitio de monitoreo en el Municipio de La Estrella el Centro Administrativo Municipal, por estar ubicado sobre la principal vía de ingreso al parque central y cumplir con los requerimientos para la ubicación de los sensores pasivos.

3.2 MUNICIPIO DE CALDAS.

El día 24 de marzo de 2006 se realizó la visita de reconocimiento al municipio de Caldas. En la Alcaldía Municipal se contactó al personal de la Unidad Ambiental (TABLA 3.1) con el fin de obtener información de los puntos de mayor interés para el proyecto. No fue posible hacer el recorrido con los funcionarios de la alcaldía, debido a que el municipio se encontraba en emergencia invernal, sin embargo se identificaron 3 sitios posibles de ubicación:

- Funeraria Renacer

Está localizada sobre la vía principal de ingreso y salida del parque central, sobre la cual se ubican los paraderos de los colectivos. El sitio dispone de una terraza amplia en el tercer piso y se tiene la autorización de la administración para la instalación y operación de los equipos.



Funeraria Renacer. Municipio de Caldas.



Vía Principal del Municipio de Caldas.

- Hospital San Vicente de Paul:

Corresponde al sitio de ubicación de la estación de monitoreo activa de La Red de Monitoreo de la Calidad del Aire en el Valle de Aburrá, por lo tanto se considera dentro de las alternativas viables para la ubicación de los sensores pasivos. El hospital está ubicado sobre una de las principales vías del municipio. En la estación de La Red de Monitoreo de la Calidad del Aire en el Valle de Aburrá se mide actualmente partículas suspendidas totales (TSP) y se dispone del espacio y la infraestructura necesaria para la ubicación de los sensores pasivos.



Hospital San Vicente de Paul. Estación de monitoreo
de La Red de Monitoreo de la Calidad del Aire en el
Valle de Aburrá. Municipio de Caldas.

- Plaza de mercado municipal:



Plaza de mercado Municipio de Caldas (Vista 1)



Plaza de mercado Municipio de Caldas (Vista 2)

Está ubicada a una cuadra del parque principal, entre dos vías de alto flujo vehicular (calle 48 y 49). En el segundo piso de la edificación se dispone de una amplia terraza con fácil acceso para la ubicación de los sensores pasivos, sin embargo no ofrece condiciones de seguridad, debido al ingreso de personas no autorizadas a ésta terraza en días pasados, según información suministrada por la administración.

En el municipio de Caldas se seleccionó como sitio de monitoreo la Funeraria Renacer, debido a que ofrece condiciones de seguridad para los muestreadores, está ubicada sobre una vía de flujo vehicular importante y cumple con los requerimientos para la ubicación de los sensores pasivos.

3.3 MUNICIPIO DE SABANETA.

El día 24 de marzo de 2006 se contactó al personal de la Unidad Ambiental en la Alcaldía Municipal (TABLA 3.1) con el fin de obtener información sobre los puntos de mayor interés para el proyecto.

Se visitó el Hospital Venancio Díaz Díaz, ubicado sobre la calle 77 sur, una vía de alto flujo vehicular en el municipio. El hospital dispone de una terraza en el segundo piso para la ubicación de los muestreadores, sin embargo no fue posible ingresar a ella para verificar las condiciones de instalación. Este sitio ofrece condiciones de seguridad para el monitoreo.



Hospital Venancio Díaz Díaz. Sabaneta.



Vía de alto flujo vehicular en Sabaneta (calle 77 sur).

El día 13 de julio se realizó la visita al Hospital Venancio Díaz Díaz para inspeccionar el sitio de instalación de los sensores pasivos. Este sitio no se considera adecuado para el monitoreo ya que el acceso a la terraza es inseguro y el funcionamiento de los aires acondicionados puede afectar los resultados del muestreo.

En vista de la situación se realizó la búsqueda de otro sitio de monitoreo sobre la calle 77 sur y se identificó la portería de La Bombonera como sitio probable para la ubicación de los sensores. El 18 de julio se obtuvo la autorización por parte de la gerencia para la ubicación de la estación de monitoreo en dichas instalaciones.



Portería La Bombonera. Sabaneta.

3.4 VÍA REGIONAL ZONA SUR.

El día 24 de marzo de 2006 se hizo un recorrido sobre la vía regional en el sentido norte-sur y a la altura del municipio de Itagüi se visitó la empresa Navitrans. Este sitio dispone de una terraza en la portería para la ubicación de los muestreadores pasivos, con una altura aproximada de 2.5 metros y vigilancia permanente. Éste sitio se considera estratégico para el monitoreo de la calidad del aire.



Portería Navitrans Vía Regional Itagüi



Navitrans Itagüi

3.5 VÍA REGIONAL ZONA CENTRO.

El día 24 de marzo de 2006 se hizo un recorrido sobre la vía regional en el sentido sur-norte y se visitó la sede central del SENA, la cual dispone de una terraza en la portería para la ubicación de los muestreadores pasivos. Este sitio ofrece condiciones de seguridad para el monitoreo y es de fácil acceso.



Portería SENA cerca de la Vía Regional



Portería SENA

3.6 MUNICIPIO DE BARBOSA.

El día 5 de abril de 2006 se realizó la visita de reconocimiento al municipio de Barbosa para definir el sitio de ubicación de la estación de monitoreo con métodos pasivos. A esta visita asistieron el co-investigador del proyecto, la ingeniera y la auxiliar de campo.

En la Alcaldía Municipal se contactó al personal de la Unidad Ambiental (TABLA 3.1) con el fin de obtener información sobre los puntos de mayor interés para el proyecto.

Se visitaron los siguientes sitios:

- Plaza de Mercado Abelardo Valencia

Está ubicada a 50 metros aproximadamente de la vía Medellín – Puerto Berrío, es un sitio estratégico para el monitoreo de la calidad del aire, pero no dispone de una terraza para la ubicación de los sensores pasivos.



Plaza de mercado municipio de Barbosa.

- Hospital San Vicente de Paúl

Corresponde al sitio de ubicación de la estación de monitoreo activa de La Red de Monitoreo de la Calidad del Aire en el Valle de Aburrá y se considera dentro de las alternativas viables para la ubicación de los sensores pasivos. El hospital está localizado sobre una de las vías de mayor flujo vehicular en el municipio y a 100 metros aproximadamente de la vía Medellín – Puerto Berrío. El sitio dispone de la infraestructura necesaria para la instalación de los sensores y el acceso seguro del personal, adecuada por la Red.



Hospital San Vicente de Paul.



Estación de monitoreo de La Red de Monitoreo de la Calidad del Aire en el Valle de Aburrá. Municipio de Barbosa.

- Jardín Infantil de la Parroquia Jesús de la Divina Misericordia

Está ubicado a 50 metros de la vía Medellín – Puerto Berrío. Dispone de una terraza en un cuarto piso, a una altura aproximada de 8 metros sobre el nivel del suelo, es de fácil acceso y es un sitio estratégico para el monitoreo de la calidad del aire por la cercanía a ésta vía regional.



Jardín Infantil Parroquia Jesús de la Divina
Misericordia



Acceso a la terraza del Jardín Infantil.

En acuerdo con el interventor del proyecto se seleccionó como sitio de monitoreo en el municipio de Barbosa el Jardín Infantil de la Parroquia Jesús de la Divina Misericordia, por la cercanía a la vía regional Medellín-Puerto Berrío y por cumplir con los requerimientos de ubicación de los sensores pasivos.

3.7 MUNICIPIO DE GIRADOTA.

El día 5 de abril de 2006 se contactó al personal de la Secretaría de Agricultura, Desarrollo Rural y Medio Ambiente (TABLA 3.1) en la Alcaldía Municipal, para obtener información de los puntos de mayor interés para el proyecto. Se visitó la Institución Educativa Manuel José Sierra. En éste sitio se encuentra ubicada la estación de monitoreo de La Red de Monitoreo de la Calidad del Aire en el Valle de Aburrá. La Institución está localizada sobre la calle 14, una de las vías de mayor flujo vehicular en el área urbana, por ser paso de la ruta de buses y colectivos del municipio. El sitio dispone de una terraza amplia, de fácil acceso y a una altura de 7 metros aproximadamente del suelo.

Se hizo un recorrido por el área urbana del municipio con el personal de la alcaldía, pero no se identificaron más sitios que cumplieran los requerimientos

para la ubicación de los sensores pasivos. Se visitó por ejemplo un Jardín infantil localizado sobre la vía al Hatillo, pero éste no dispone de terraza.



Institución Educativa Manuel José Sierra



Estación de monitoreo de La Red de Monitoreo de la Calidad del Aire en el Valle de Aburrá. Municipio de Girardota.

3.8 MUNICIPIO DE COPACABANA.

El día 5 de abril de 2006 se realizó un recorrido por el área urbana del municipio, con un funcionario de la Unidad Ambiental (TABLA 3.1) de la Alcaldía Municipal, con el fin de identificar los puntos de mayor interés para el proyecto. Se visitaron los siguientes sitios:

- Hospital Santa Margarita

Corresponde al sitio de ubicación de la estación de monitoreo activa de La Red de Monitoreo de la Calidad del Aire en el Valle de Aburrá, el cual cumple con los requerimientos para la ubicación de los sensores pasivos. El hospital está localizado sobre la calle 49, una de las vías de mayor flujo vehicular en el municipio. Este sitio dispone de la infraestructura necesaria para la instalación de los sensores y el acceso seguro del personal, la cual fue adecuada por La Red.



Hospital Santa Margarita.



Estación de monitoreo de La Red de Monitoreo de la
Calidad del Aire en el Valle de Aburrá. Copacabana.

- Plaza de mercado municipal

Está localizada sobre la calle 49, en un tramo de alto flujo vehicular, por lo tanto se considera un sitio estratégico para el monitoreo de la calidad del aire. Dispone de una terraza a una altura aproximada de 2 metros sobre el nivel del suelo, con fácil acceso, sin embargo éste sitio no se considera seguro para los muestreadores, ya que los sensores quedarían expuestos y podrían estar al alcance de personas no autorizadas. Si bien en el día el sitio cuenta con vigilancia, en la noche se tienen alarmas que no incluyen la protección de la terraza.



Plaza de mercado. Municipio de Copacabana.



Plaza de mercado. Municipio de Copacabana.

- Andina de Curtidos



Andina de Curtidos.



Calle 49. Municipio de Copacabana.

Es una empresa que se encuentra en liquidación, está ubicada también sobre la calle 49. Dispone de una terraza en la portería, con fácil acceso, a una altura aproximada de 3 metros sobre el nivel del suelo. Este sitio ofrece condiciones de seguridad ya que tiene vigilancia permanente. Se debe tener en cuenta que el proceso de liquidación podría afectar el permiso para la ubicación de los sensores por el cambio de propietario en un futuro, sin embargo, se cuenta con el apoyo de la unidad ambiental para los trámites que se requieran.

- Complejo Educativo José Miguel Restrepo y Puerta

Está localizado sobre la calle 49, al frente de la empresa Andina de Curtidos. Este sitio no dispone de acceso a la terraza del edificio, por lo tanto no se considera una alternativa viable para la instalación de los muestreadores.



Complejo Educativo José Miguel Restrepo y
Puerta (vista 1).



Complejo Educativo José Miguel Restrepo y Puerta (vista 2).

En el municipio de Copacabana se seleccionó como sitio de monitoreo el Hospital Santa Margarita, debido a que ofrece condiciones de seguridad para los muestreadores, está ubicado sobre una vía de flujo vehicular importante y cumple con los requerimientos para la ubicación de los sensores pasivos.

3.9 MUNICIPIO DE BELLO.

El día 5 de abril de 2006 se realizó un recorrido por los alrededores del parque principal de Bello, con el fin de identificar los puntos de mayor interés para el proyecto.

- Oficina de Servicio al Cliente de Empresas Públicas de Medellín.

Está localizada sobre una de las vías de mayor flujo vehicular del área urbana del municipio, ya que corresponde a la vía de salida a Medellín de las rutas de buses y colectivos. Dispone de una terraza amplia en el tercer piso, la cual se observa despejada en sus alrededores. No fue posible ingresar a las instalaciones ya que se debe tramitar el permiso previamente.



Oficina de Servicio al Cliente de Empresas
Públicas de Medellín. Municipio de Bello (vista 1)



Oficina de Servicio al Cliente de Empresas Públicas de
Medellín. Municipio de Bello (vista 2).

No se identificaron más sitios que cumplieran los requerimientos para la ubicación de los sensores pasivos. Sobre la Autopista Norte se visitó el edificio de COTRAFA, que tiene una terraza muy alta (15 metros aproximadamente) para realizar las mediciones con los sensores y el Hospital Rafael Uribe Uribe, que no dispone de terraza.

El día 27 de abril de 2006 se realizó la visita para inspeccionar la terraza de la Oficina de Servicio al Cliente de Empresas Públicas de Medellín ubicada en Bello, a la cual asistieron un funcionario de dicha empresa y la Ingeniera del proyecto. El sitio ofrece las condiciones necesarias para la instalación de los sensores pasivos, es de fácil acceso y tiene vigilancia permanente.



Edificio de COTRAFA. Municipio de Bello.



Hospital Rafael Uribe Uribe. Municipio de Bello.

3.10 MUNICIPIO DE ITAGÜÍ.

El día 25 de abril de 2006 se realizó la visita para la selección del sitio de monitoreo en el municipio de Itagüí. A esta visita asistieron la ingeniera del proyecto y la auxiliar de campo.

En la Alcaldía Municipal se contactó al personal de la Unidad Ambiental (ver TABLA 3.1) con el fin de obtener información sobre las vías de mayor flujo vehicular y los posibles sitios para la ubicación de los sensores pasivos. Se visitaron los siguientes sitios:

- Institución Educativa San José

Está ubicada en la Glorieta de Pilsen, sobre la carrera 51, que es una vía de alto flujo vehicular en el municipio. Esta edificación no tiene una terraza disponible para la ubicación de los medidores.

- Institución Educativa Avelino Saldarriaga

Está localizada sobre la calle 39, una vía de alto flujo vehicular en el municipio, por ser el paso de buses y colectivos. Es un sitio estratégico para el monitoreo de la calidad del aire, dispone de una terraza amplia en el segundo piso para la instalación de los sensores y es de fácil acceso.



Institución Educativa Avelino Saldarriaga.



Terraza Institución Educativa Avelino Saldarriaga.

- Éxito Itagüí

Está ubicado sobre la calle 39, vía de alto flujo vehicular. El sitio dispone de una terraza amplia, con acceso seguro y ofrece seguridad para los medidores.



Éxito Itagüí.



Terraza Éxito Itagüí.

En acuerdo con el interventor del proyecto se seleccionó como sitio de monitoreo en el Municipio de Itagüí la Institución Educativa Avelino Saldarriaga, por estar ubicada sobre una vía de alto flujo vehicular y por cumplir con los requerimientos para la ubicación de los sensores pasivos.

3.11 VÍA REGIONAL ZONA SUR

El día 25 de abril de 2006 se visitó el Centro Comercial Mayorca localizado en el municipio de Sabaneta. Este sitio se considera estratégico para el monitoreo de la calidad del aire, por estar ubicado entre la Avenida Las Vegas y La Avenida Regional. Dispone de una terraza amplia en el tercer nivel, correspondiente a la zona de parqueaderos, en la cual es posible instalar los sensores, ofrece condiciones de seguridad para los muestreadores y es de fácil acceso.



Terraza Centro Comercial Mayorca.



Vista a la Av. Regional desde Mayorca.

3.12 MUNICIPIO DE MEDELLÍN – MUSEO DE ANTIOQUIA.

El día 25 de abril de 2006 se visitó la zona centro de Medellín, por los alrededores del Edificio Miguel de Aguinaga, donde opera actualmente la estación de La Red de Monitoreo de la Calidad del Aire en el Valle de Aburrá. Esta edificación no se considera adecuada para la instalación de los sensores pasivos ya que estarían a una altura aproximada de 20 metros sobre el suelo y el objetivo del proyecto es realizar el monitoreo cerca a vías principales.

En éste sentido se visitó El Museo de Antioquia, localizado sobre la Avenida de Greiff, una vía de alto flujo vehicular. Este sitio dispone de una terraza amplia, para la instalación de los sensores, ofrece seguridad y es de fácil acceso.



Museo de Antioquia.



Terraza Museo de Antioquia.

3.13 MUNICIPIO DE MEDELLÍN – FACULTAD DE MINAS.

La estación de monitoreo de La Red de Monitoreo de la Calidad del Aire en el Valle de Aburrá se encuentra ubicada en la Facultad de Minas de la Universidad Nacional y se considera un punto estratégico para la medición de la calidad del aire por la cercanía a la Carrera 80, la cual es una de las vías de mayor flujo vehicular de la ciudad y la vía de salida hacia los municipios del Occidente Antioqueño y la Costa Atlántica.

El sitio ofrece condiciones de seguridad para los muestreadores, es de fácil acceso y cumple con los requerimientos para la ubicación de los sensores.



Facultad de Minas Universidad Nacional de Colombia

3.14 AUTOPISTA NORTE.

El día 25 de abril de 2006 se visitaron los siguientes sitios sobre la Autopista Norte:

- Solla S.A.

Esta empresa está ubicada entre la Autopista Norte y la vía Regional, considerándola un sitio estratégico para el monitoreo de la calidad del aire. Sin embargo, al ingresar a las instalaciones se observó que no dispone de una terraza para la ubicación de los medidores, además, teniendo en cuenta el espacio interno, no se garantizaría la distancia mínima de 20 metros entre las chimeneas existentes y el sitio de muestreo.



Solla S.A. (vista 1).



Solla S.A. (vista 2).

- Centro de Recibo de Paquetes TCC

Está localizado sobre la Autopista Norte, en el municipio de Bello. El sitio dispone de una terraza amplia en un segundo piso para la instalación de los sensores y es de fácil acceso.



TCC Bello.



Terraza TCC Bello.

El día 27 de abril se visitó la Planta de teléfonos Florencia de Empresas Públicas de Medellín, localizada sobre la Autopista Norte, a la altura de la entrada a la vía Medellín-Bogotá. Este sitio se considera una alternativa viable para el monitoreo de calidad del aire en la Autopista Norte, por su ubicación estratégica y además dispone de la infraestructura necesaria para la instalación de los sensores pasivos. Es importante anotar que a 70 metros aproximadamente de la Planta de teléfonos

se ubica una chimenea perteneciente a la Empresa CIPA, cumpliendo la distancia mínima requerida para el monitoreo.



Planta de Teléfonos Florencia - EEPPM

En acuerdo con el interventor del proyecto se seleccionó como sitio de monitoreo en la Autopista Norte la Planta de teléfonos Florencia, por estar ubicada sobre una vía de alto flujo vehicular y por cumplir con los requerimientos para la ubicación de los sensores pasivos.

3.15 AVENIDA GUAYABAL.

El 28 de junio de 2006 se realizó la salida de campo por parte de la Ingeniera y la Auxiliar del proyecto, para seleccionar un sitio de monitoreo sobre la Avenida Guayabal. Después de realizar un recorrido se identificó la Cooperativa John F. Kennedy, sede Campoamor como sitio probable de monitoreo. El edificio dispone de una terraza amplia en el segundo piso con acceso fácil y no hay presencia de obstáculos en sus alrededores.



Cooperativa John F. Kennedy. Avenida Guayabal.

TABLA 3.1. Lista de contactos

MUNICIPIO	ENTIDAD	CONTACTO(S)	TELÉFONO
La Estrella	UMATA. Centro Administrativo Municipal.	Juan Fernando Muñoz, Juliber Antonio Loaiza (Funcionarios)	3092687 Ext: 111 ó 113.
Caldas	Unidad Ambiental. Alcaldía Municipal.	Juan Camilo Barreneche. (Funcionario)	3788535
Caldas	Funeraria Renacer	Federico Álvarez. (Administrador)	2782355
Caldas	Plaza de mercado municipal	Mario Villegas Muñoz. (Director Cooperativa)	3037454
Sabaneta	Unidad Ambiental. Alcaldía Municipal.	Sergio Montoya, Claudia Patricia Escobar (Funcionarios)	2880098 Ext: 135 ó 142.
Sabaneta	Hospital Venancio Díaz Díaz	Rubén Darío Cano. (Gerente Administrativo)	2889701 Ext: 106
Sabaneta	La Bombonera	David Santiago Giraldo (Gerente)	3783245
Sabaneta	Centro Comercial Mayorca	Gloria Bernal Bohorquez (Administradora)	3730335 3766752 Fax: 3725748
Itagüí	Navitrans	Mariela Velásquez Pérez. (Revisora Fiscal)	3730051 3736908
Itagüí	Unidad Ambiental. Centro Administrativo Municipal.	Diana Castillo (Funcionaria)	2770629
Itagüí	Institución Educativa Avelino Saldarriaga	Fernando García. (Rector)	2813158
Itagüí	Éxito Itagüí	Jorge Soto (Jefe de Negocio Mercado)	3787200 3787205
Barbosa	Unidad Ambiental. Centro Administrativo Municipal.	Edier Velásquez (Funcionario)	4548378 4548375
Barbosa	Parroquia Jesús de la Divina Misericordia	John Jairo Yepes (Párroco)	4062119
Girardota	Secretaría de Agricultura, Desarrollo Rural y Medio Ambiente.	Adriana Torres (Funcionaria)	4052580 4052581
Girardota	Institución Educativa Manuel José Sierra	Bibiana Ospina (Rectora)	2890222
Copacabana	Unidad Ambiental. Centro Administrativo Municipal.	Jairo Gómez Quiceno (Funcionario)	2740069 Ext: 123
Copacabana	Plaza de mercado municipal.	Sandra Milena Pérez (Administradora)	2744997
Copacabana	Hospital Santa Margarita	John Jairo Cardona Gil (Subdirector Administrativo)	2740203 Ext: 114
Bello	Oficina de Servicio al Cliente de EPPM.	Francisco Javier Álvarez Bernal (Jefe Departamento Unidad Edificios)	3805350
Bello (Autopista Norte)	Centro de Recibo de Paquetes TCC	Carlos Augusto Saldarriaga (Gerente TCC Medellín)	4444888
Medellín	Museo de Antioquia	Álvaro Morales Ríos (Secretario General)	2513636 Ext:112 Fax: 2510874
Medellín (Autopista Norte)	Planta de teléfonos Florencia. EPPM.	Francisco Javier Álvarez Bernal (Jefe Departamento Unidad Edificios) Jorge Vargas (Ingeniero Mantenimiento)	3805350 3805023

4 DESCRIPCIÓN DE LOS SITIOS DE MONITOREO PASIVO

La *TABLA 4.1* muestra la localización de cada una de las estaciones de monitoreo pasivo de calidad del aire en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá y en la *FIGURA 4.1* y la *FIGURA 4.2* se consigna la altura sobre el nivel del suelo y la distancia a la vía para cada una de las estaciones.

TABLA 4.1. Localización geográfica de las estaciones de monitoreo pasivo.

Municipio	Sitio de monitoreo	Altitud (m.s.n.m.)	Coordenadas planas	
			X	Y
Barbosa	Parroquia Jesús de la Divina Misericordia	1.315	861199,626377	1204242,64311
Girardota	Institución Educativa Manuel José Sierra	1.441	848576,226932	1196985,51061
Copacabana	Hospital Santa Margarita	1.433	841939,138793	1194099,60755
Bello	Oficina Central EEPPM	1.468	836104,597914	1192227,67153
Medellín	Autopista Norte Estación Florencia EEPPM	1.486	836147,005703	1189953,69202
Medellín	Museo de Antioquia	1.513	834897,202185	1183394,61279
Medellín	Facultad de Minas	1.554	832278,016595	1185721,36631
Medellín	SENA	1.513	834136,389972	1183635,34285
Medellín	Avenida Guayabal	1.539	833384,325816	1179045,61253
Itagüí	Institución Educativa Avelino Saldarriaga	1.609	829647,335353	1174086,13308
Itagüí	Navitrans	1.605	829161,620508	1172928,7046
La Estrella	Centro Administrativo Municipal	1.757	826859,389389	1172893,6707
Sabaneta	La Bombonera	1.614	828702,600712	1172352,84042
Sabaneta	Centro Comercial Mayorca	1.590	830925,441815	1173443,34082
Caldas	Funeraria Renacer	1.771	827447,642695	1165726,86826

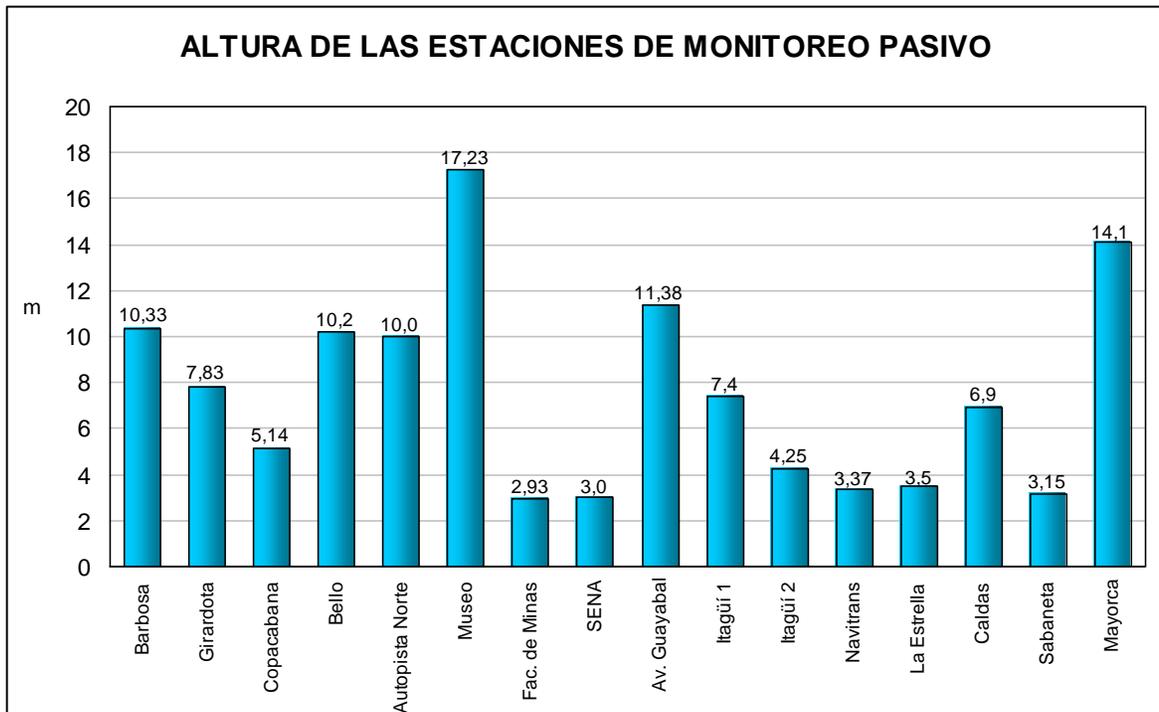


FIGURA 4.1. Altura sobre el nivel del suelo de las estaciones de monitoreo.

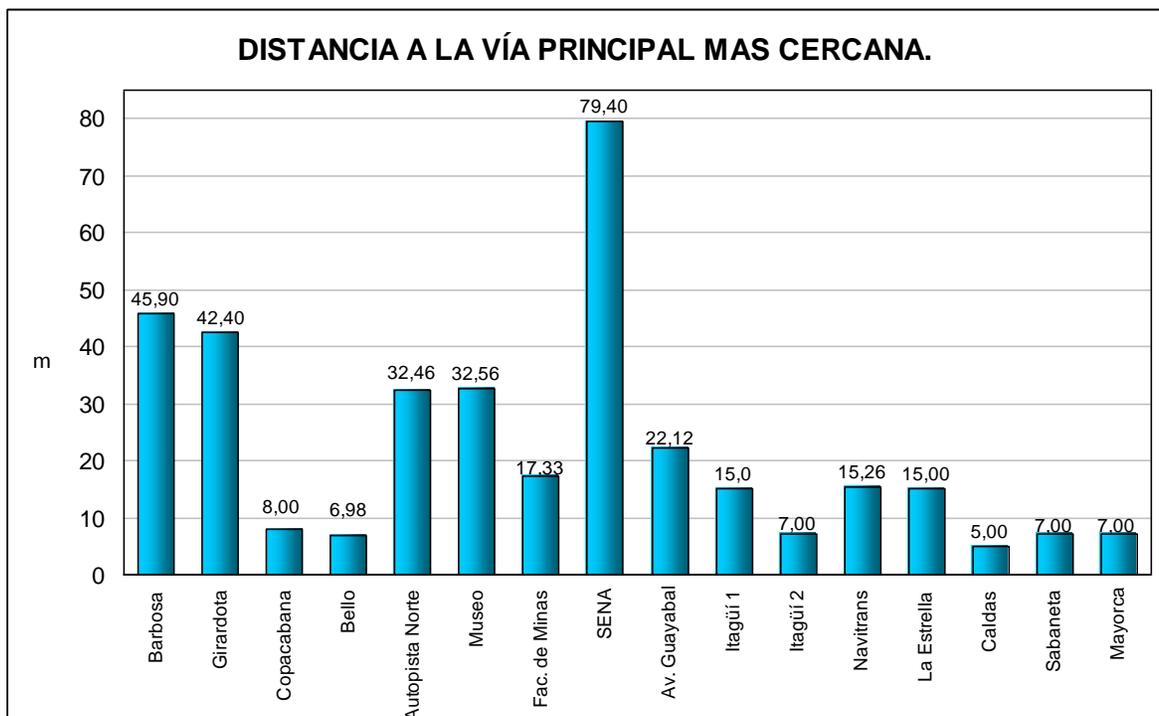


FIGURA 4.2. Distancia de las estaciones de monitoreo a la vía principal más cercana.

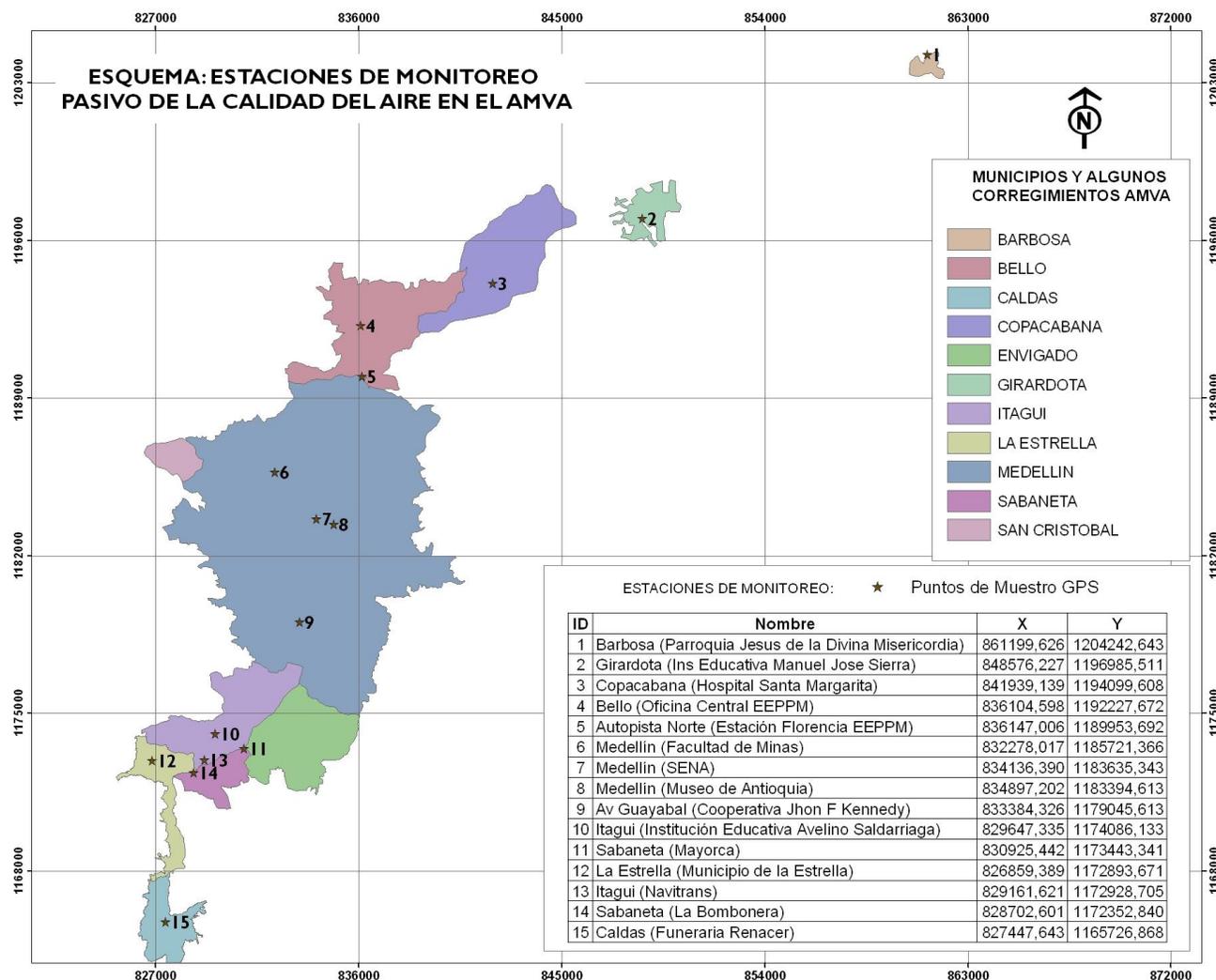


FIGURA 4.3. Esquema de ubicación de las estaciones de monitoreo pasivo.

La evaluación de los niveles de contaminación del aire en vías principales del Área Metropolitana, es el objetivo primordial del estudio. Sin embargo, para lograr una mejor descripción de los sitios de monitoreo se tuvieron en cuenta las emisiones de las fuentes fijas cercanas a las estaciones, las cuales pueden afectar los resultados del monitoreo. Se elaboró un inventario de fuentes fijas en un radio de 500 metros alrededor de cada estación, por recomendación del laboratorio fabricante de los medidores pasivos y considerando que la metodología de muestreo pasivo es representativa del lugar de medida inmediato. Es importante anotar que la información de calidad del aire que suministra el Inventario es puntual y los resultados obtenidos con los tubos pasivos corresponden a promedios anuales, no obstante, dicha información servirá como un indicativo de la calidad del aire en las cercanías de las estaciones.

En la elaboración del inventario se utilizó la cartografía digital en ArcGis del Inventario de Emisiones del Área Metropolitana del Valle de Aburrá del año 2005, elaborado por la Universidad Pontificia Bolivariana. Esta información fue suministrada por la interventoría del proyecto.

Las estaciones de monitoreo pasivo de la calidad del aire distribuidas a lo largo del Área Metropolitana del Valle de Aburrá fueron georreferenciadas en campo usando un receptor de GPS navegador marca TRIMBLE, propiedad de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín.

Los datos se ingresaron en el software de la ESRI llamado ArcGis 9.1 de propiedad de la Universidad Nacional, usando el, validándolos y ajustándolos previamente según observaciones de campo y cartografía básica digital suministrada por el Área Metropolitana del Valle de Aburrá.

Una vez validados los puntos, los datos en formato *.shp, se llevaron a coordenadas planas con los siguientes parámetros:

Origen: Bogotá

Sistema de Proyección: Colombia_Bogota_Zone

Proyección: Transversa de Mercator

Falso Este: 1.000.000

Falso Norte: 1.000.000

Meridiano Central: -74,08091667

Factor de Escala: 1.0

Latitud de Origen: 4,59904722

Unidad Lineal: Metro.

Creada una cobertura (layer) que contenía las 15 estaciones de monitoreo, se realizó una sobreposición con la capa temática denominada Fuentes Fijas,

existente en la cartografía. No obstante, al detectar que dicho dato georreferenciado no contenía en sus atributos tabulares asociados (*.dbf) la información suficiente para el análisis requerido, esta tabla se complementó con otras tablas existentes originalmente en formato (*.xls).

Se utilizaron las herramientas del "Geoprocessing" contenidas en ArcGis para crear áreas de interés de 500 metros de radio a cada una de las estaciones de monitoreo y posteriormente se identificaron las fuentes fijas existentes en el área de influencia para cada estación de monitoreo.

4.1 BARBOSA.

TABLA 4.2. Principales características de la estación de monitoreo Barbosa.

Estación	Jardín Infantil de la Parroquia Jesús de la Divina Misericordia
Identificación	Barbosa
Temperatura promedio del municipio ¹	23°C
Coordenadas planas	X: 861199,626377, Y: 1204242,64311
Dirección	Carrera 20B # 34 Esquina
Altura sobre el nivel del suelo	10.33 m
Vía principal más cercana	Vía Regional Medellín – Puerto Berrio.
Distancia al eje de la vía principal más cercana	45.9 m
Representatividad del sitio de monitoreo	Vía Regional Medellín – Puerto Berrio.
Principales fuentes fijas de emisión en un radio de 500m de la estación.	No se identificaron en el Inventario de Fuentes del AMVA del 2005.

La estación del municipio de Barbosa puede considerarse representativa de la Vía Regional Medellín – Puerto Berrio ya que no se identifican fuentes fijas cercanas. A pesar de la altura de la estación de monitoreo (10.33m) y la dispersión de los contaminantes por acción del viento, se alcanza a captar la emisión de la vía, teniendo en cuenta que la altura de emisión de contaminantes por el exhosto de los vehículos de carga pesada diesel es aproximadamente de 2.2m sobre el nivel del suelo.

¹ Sitio Web oficial del Municipio de Barbosa.



Estación de monitoreo en Barbosa.



Alrededores de la estación Barbosa



Vía Regional Medellín – Puerto Berrio.

4.2 GIRARDOTA.

TABLA 4.3. Principales características de la estación de monitoreo Girardota.

Estación	Institución Educativa Manuel José Sierra
Identificación	Girardota
Temperatura promedio del municipio ²	22°C
Coordenadas planas	X: 848576,226932, Y: 1196985,51061
Dirección	Carrera 14 # 7 – 49
Altura sobre el nivel del suelo	7.83 m
Vía principal más cercana	Carrera 14.
Distancia al eje de la vía principal más cercana	42.4 m
Representatividad del sitio de monitoreo	Carrera 14.
Principales fuentes fijas de emisión en un radio de 500m de la estación.	No se identificaron en el Inventario de Fuentes del AMVA del 2005.

² Sitio Web oficial del Municipio de Girardota.

La estación del municipio de Girardota puede considerarse representativa de la carrera 14, vía de circulación de transporte público, dado que no se identifican fuentes fijas cercanas. Sin embargo es importante tener en cuenta que a pesar de la altura de la estación de monitoreo (7.83m) y la dispersión de los contaminantes por acción del viento, se alcanza a captar la emisión de la vía.



Estación de monitoreo en Girardota.



Carrera 14 – Vía de circulación del transporte público en el municipio de Girardota.

4.3 COPACABANA.

TABLA 4.4. Principales características de la estación de monitoreo Copacabana.

Estación	Hospital Santa Margarita
Identificación	Copacabana
Temperatura promedio del municipio ³	21 °C
Coordenadas planas	X: 841939,138793 Y: 1194099,60755
Dirección	Carrera 45 # 52 – 26
Altura sobre el nivel del suelo	5.14 m
Vía principal más cercanas	Carrera 45
Distancia al eje de la vía principal más cercana	6.0 m
Representatividad del sitio de monitoreo	Carrera 45.
Principales fuentes fijas de emisión en un radio de 500m de la estación.	No se identificaron en el Inventario de Fuentes del AMVA del 2005.

La estación del municipio de Copacabana puede considerarse representativa de la carrera 45, debido a que no se identifican fuentes fijas cercanas.



Tubos pasivos de difusión para la medición de gases en la estación Copacabana.



Colector de partículas sedimentables. Estación Copacabana.

³ Sitio Web oficial del Municipio de Copacabana.



Colector de partículas en Copacabana.



Carrera 45 Municipio de Copacabana.

4.4 BELLO.

TABLA 4.5. Principales características de la estación de monitoreo Bello.

Estación	Oficina Central de Bello EEPPM
Identificación	Bello
Temperatura promedio del municipio ⁴	23°C
Coordenadas planas	X: 836104,597914 Y: 1192227,67153
Dirección	Carrera 50 # 46 – 46
Altura sobre el nivel del suelo	10.20 m
Vía principal más cercana	Carrera 50
Distancia al eje de la vía principal más cercana	5.0 m
Representatividad del sitio de monitoreo	Carrera 50.
Principales fuentes fijas de emisión en un radio de 500m	No se identificaron en el Inventario de Fuentes del AMVA del 2005.

La estación de monitoreo en Bello puede considerarse representativa de la carrera 50, debido a la cercanía al eje de la vía (5.0m) y que no se identifican fuentes fijas cercanas. Es importante tener en cuenta que ésta vía se caracteriza por ser la ruta de salida de los vehículos de transporte público hacia Medellín.

⁴ Sitio Web oficial del Municipio de Bello.



FIGURA 4.4. Imagen satelital de la estación Bello – Fuente Google earth.



Muestreador pasivo de gases. Estación Bello.



Colector de partículas sedimentables. Estación Bello.



Estación Bello.



Carrera 50. Estación Bello.

4.5 AUTOPISTA NORTE.

TABLA 4.6. Principales características de la estación de monitoreo Autopista Norte.

Estación	Estación Florencia EEPPM
Municipio	Medellín
Identificación	Autopista Norte
Temperatura promedio del municipio ⁵	24° C
Coordenadas planas	X: 836147,005703 Y: 1189953,69202
Dirección	Carrera 64AA # 54 – 50
Altura sobre el nivel del suelo	10.0 m
Vías principales más cercanas	Autopista Norte – Autopista Medellín - Bogotá.
Distancia al eje de la vía principal más cercana	10.0 m
Representatividad del sitio de monitoreo	Zona industrial y de alto flujo vehicular.
Principales fuentes fijas de emisión en un radio de 500 m.	Ver TABLA 4.7.

⁵ Sitio Web oficial del Municipio de Medellín.



FIGURA 4.5. Imagen satelital de la estación Autopista Norte. Fuente: Google Earth.



Muestreador pasivo de gases. Estación Autopista Norte.



Colector Estación Autopista Norte.



Planta de Teléfonos Florencia de EEPPM.



Autopista Norte.

TABLA 4.7. Principales fuentes fijas de emisión en un radio de 500 m de la estación Autopista Norte.

EMPRESA	EQUIPO	H_CHIMENEA m	COMBUSTIBLE	CARACTERISTICAS PROCESO PRODUCTIVO	CO	CO2	NOX	MP	MP	SO2	FECHA
					mg/m3	mg/m3	Kg/h	Kg/h	mg/m3	Kg/h	
CIPA S.A			CARBON BITUMIN	GENERACION DE VAPOR	0,00000784	5,40000	0,279	0,043		0,372	
CIPA S.A			CARBON BITUMIN	GENERACION DE VAPOR	0,00000967	6,80000	0,31	0,046		0,652	
CIPA S.A	CALDERA	20,00	CARBON BITUMIN	GENERACION DE VAPOR	0,00000261	0,12000		0,27	239,57		7-Jul-2003

En el Inventario de emisiones se observa el aporte de dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno y material particulado a la atmósfera que realiza la empresa CIPA. Éstas concentraciones pueden ser captadas por la estación de monitoreo debido a la dispersión de los contaminantes hacia el sitio de monitoreo por acción de los vientos en dirección norte-sur. En la FIGURA 4.6 se observa la ubicación de la estación Autopista Norte y la empresa CIPA.

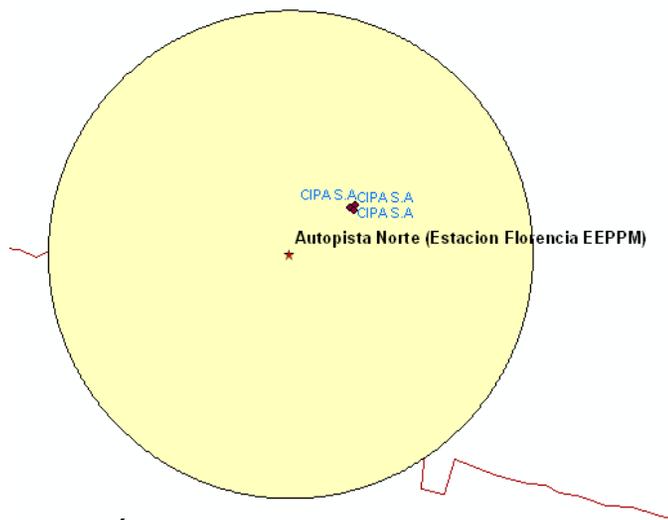


FIGURA 4.6 Área de influencia de la estación Autopista Norte.

4.6 MUSEO DE ANTIOQUIA.

TABLA 4.8. Principales características de la estación de monitoreo Museo de Antioquia.

Estación	Museo de Antioquia
Identificación	Museo
Temperatura promedio del municipio ⁶	24°C
Coordenadas planas	X: 834897.202185 Y: 1183394.6127
Dirección	Carrera 52 # 52 -43
Altura sobre el nivel del suelo	17.23 m
Vía(s) principal(es) más cercanas	Calle 52 – Avenida de Greiff
Distancia al eje de la vía principal más cercana	9.0 m
Representatividad del sitio de monitoreo	Calle 52 – Avenida de Greiff.
Principales fuentes fijas de emisión en un radio de 500 m.	Ver Tabla 5.10.
Observaciones	Comparación con los métodos activos ubicados en el Edificio Miguel de Aguinaga utilizados por La Red de Monitoreo de la Calidad del Aire en el Valle de Aburrá.

En la FIGURA 4.7 se observa el área de influencia de la estación Museo de Antioquia, donde sólo se identifica como fuente fija el Hotel Nutibara.

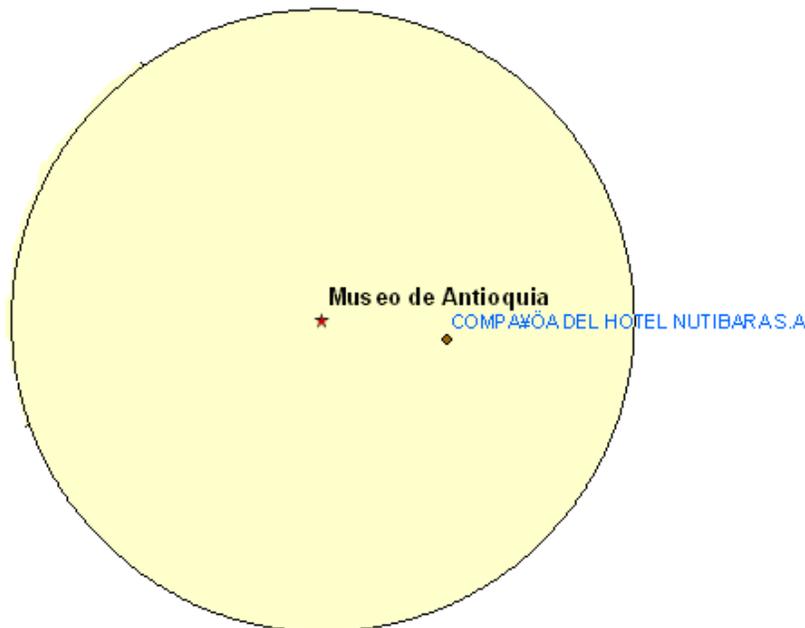


FIGURA 4.7 Área de influencia de la estación Museo de Antioquia.

⁶ Sitio Web oficial del Municipio de Medellín.



FIGURA 4.8 Imagen satelital de la estación Museo de Antioquia. Fuente: Google Earth.



Colector Estación Museo de Antioquia.



Muestreador de gases Estación Museo de Antioquia.



Avenida de Greiff



Museo de Antioquia

TABLA 4.9. Principales fuentes fijas de emisión en un radio de 500 m de la estación Museo de Antioquia.

EMPRESA	EQUIPO	H_CHIMENEA m	COMBUSTIBLE	CARACTERISTICAS PROCESO PRODUCTIVO	CO2 mg/m3	NOX Kg/h	NOX mg/m3	MP Kg/h	MP mg/m3	FECHA
COMPAÑIA DEL HOTEL NUTIBARA S.A	CALDERA PIROTUBULAR	40,00	FUEL OIL # 2	PRODUCCION VAPOR DE AGUA PARA COCCION, LAVANDERIA Y CALENTAMIENTO DE AGUA	2	0,44	65	0,36	50	22-Oct-2003

En el Inventario de emisiones se observa el aporte de óxidos de nitrógeno y material particulado a la atmósfera de la caldera del Hotel Nutibara. A pesar que en el inventario no está medido el dióxido de azufre, es importante anotar que los combustibles pesados como el fuel oil, aportan éste contaminante al aire.

4.7 FACULTAD DE MINAS.

TABLA 4.10. Principales características de la estación de monitoreo Facultad de Minas.

Estación	Facultad de Minas de la Universidad Nacional de Colombia.
Identificación	Fac. Minas
Temperatura promedio del municipio ⁷	24°C
Coordenadas planas	X: 832278.016595 Y: 1185721.36631
Dirección	Carrera 80 x Calle 65
Altura sobre el nivel del suelo	2.93 m
Vías principales más cercanas	Carrera 80 – Calle 65
Distancia al eje de la vía principal más cercana	15.0 m
Representatividad del sitio de monitoreo	Carrera 80 x Calle 65
Principales fuentes fijas de emisión en un radio de 500 m.	Ver TABLA 4.11
Observaciones	Comparación con los métodos activos utilizados por la Red de Monitoreo de la Calidad del Aire en el Valle de Aburrá.

TABLA 4.11. Principales fuentes fijas de emisión en un radio de 500 m de la estación Facultad de Minas.

EMPRESA	EQUIPO	H_CHIMENEA m	COMBUSTIBLE	CONSUMO COMBUSTIBLE gal/h	FECHA
COLPISOS	CALDERA		FUEL OIL # 2	2,00	28-Jul-2003
POCHO PAN LTDA	2 HORNO GIRATOR	15,00	GAS NATURAL		15-Oct-2002

En el Inventario de emisiones no se registra el aporte de contaminantes por fuentes fijas. A pesar que no hay mediciones, es importante anotar que los combustibles pesados como el fuel oil aportan dióxido de azufre al aire y en el caso del gas natural, su combustión produce emisiones de óxidos de nitrógeno. Para el presente estudio, las fuentes fijas identificadas no tienen un aporte representativo de contaminantes que pueda afectar las mediciones con métodos pasivos, por lo tanto se considera que la estación Facultad de Minas es representativa de las emisiones provenientes de la Carrera 80 en el cruce con la Calle 65.

La FIGURA 4.10 muestra el área de influencia de la estación Facultad de Minas.

⁷ Sitio Web oficial del Municipio de Medellín.



FIGURA 4.9. Imagen satelital de la estación Facultad de Minas. Fuente: Google Earth.

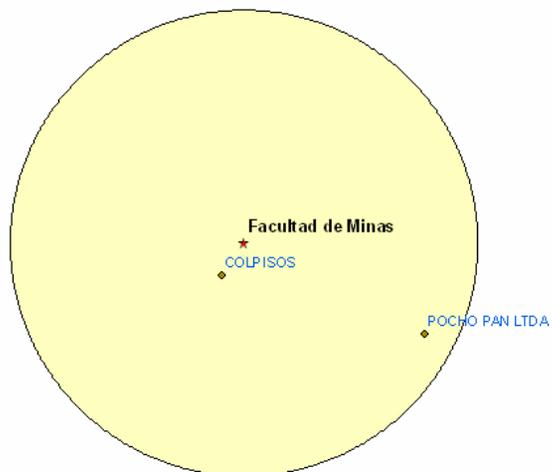


FIGURA 4.10 Área de influencia de la estación Facultad de Minas.



Estación de monitoreo en la Facultad de Minas.



Carrera 80.



Cruce carrera 80 con calle 65.

4.8 AVENIDA REGIONAL ZONA CENTRO – SENA.

TABLA 4.12. Principales características de la estación de monitoreo SENA.

Estación	Edificio Central SENA Regional Antioquia
Identificación	SENA
Municipio	Medellín
Temperatura promedio del municipio ⁸	24°C
Coordenadas planas	X: 834136.389972 Y: 1183635.34285
Dirección	Calle 51 # 57-70
Altura sobre el nivel del suelo	3.0 m
Vías principales más cercanas	Avenidas Ferrocarril y Regional
Distancia al eje de la vía principal más cercana	40.0 y 70.0 m respectivamente.
Representatividad del sitio de monitoreo	Avenidas Regional y Ferrocarril.
Principales fuentes fijas de emisión en un radio de 500 m.	No se identificaron en el Inventario de Fuentes del AMVA del 2005.

⁸ Idem.

La estación de monitoreo en el SENA se considera representativa de las emisiones producidas en la Avenida Regional y la Avenida Ferrocarril al no identificarse fuentes fijas de emisión cercanas.



FIGURA 4.11. Imagen satelital de la estación SENA. Fuente: Google Earth.



Estación de monitoreo en la Avenida Regional (SENA).



Estación SENA – vista hacia la avenida ferrocarril.



Estación de monitoreo en la Avenida Regional (SENA).

4.9 AVENIDA GUAYABAL.

TABLA 4.13. Principales características de la estación de monitoreo Av. Guayabal.

Estación	Cooperativa John F. Kennedy sede Campoamor
Identificación	Guayabal
Municipio	Medellín
Temperatura promedio del municipio ⁹	24°C
Coordenadas planas	X: 833384.325816 Y: 1179045.61253
Dirección	Carrera 52 # 7 – 21 Av. Guayabal
Altura sobre el nivel del suelo	11.38 m
Vía principal más cercana	Avenida Guayabal
Distancia al eje de la vía principal más cercana	8.0 m
Representatividad del sitio de monitoreo	Zona industrial y de alto flujo vehicular (Avenida Guayabal).
Principales fuentes fijas de emisión en un radio de 500 m.	Ver TABLA 4.14.

El Inventario de emisiones indica el aporte de óxidos de nitrógeno, material particulado y dióxido de azufre a la atmósfera por las diferentes industrias asentadas en el área de influencia de la estación Avenida Guayabal. De acuerdo con las mediciones realizadas por la Red de Monitoreo de la Calidad del Aire en el Valle de Aburrá en la estación ubicada en la Planta de Aguas Residuales de San Fernando, la dirección predominante de los vientos en la zona es la nor-noreste (NNE). Si se considera ésta dirección de vientos para la zona de influencia se

⁹ Sitio Web oficial del Municipio de Medellín.

observa que las industrias como Química Amtex S.A. y Coltabaco, no tendrían influencia en las mediciones realizadas en la estación de monitoreo con métodos pasivos. Es importante anotar que Industrias IMAR y el Laboratorio Higietex, si bien fueron identificadas en el Inventario, no presentan registro de emisiones, por lo tanto no tienen influencia en las mediciones del estudio.



FIGURA 4.12 Imagen satelital de estación Avenida Guayabal. Fuente: Google Earth.



Estación de monitoreo en la Avenida Guayabal.



Avenida Guayabal.



Alrededores de la estación Avenida Guayabal.

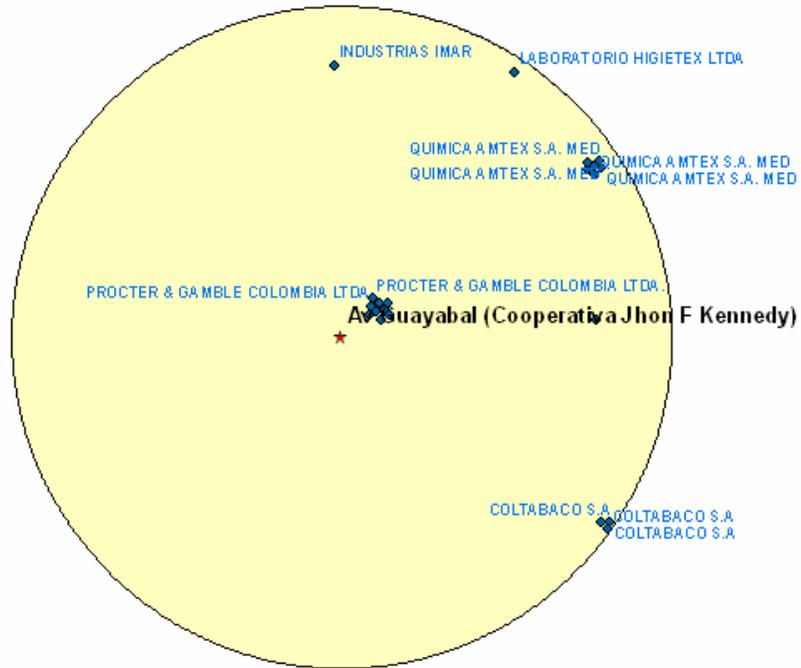


FIGURA 4.13. Área de influencia de la estación Avenida Guayabal.

TABLA 4.14. Principales fuentes fijas de emisión en un radio de 500 m de la estación Avenida Guayabal.

EMPRESA	EQUIPO	H_CHIMENEA	COMBUSTIBLE	CARACTERISTICAS PROCESO PRODUCTIVO	CO	CO2	NOX	NOX	MP	MP	PM10	SO2	SO2	H2SO4	H2SO4	FECHA
		m			mg/m3	mg/m3	Kg/h	mg/m3	Kg/h	mg/m3	mg/m3	Kg/h	mg/m3	Kg/h	mg/m3	
COLTABACO S.A	CALDERA #1	15,00	FUEL OIL # 2	GENERACION DE VAPOR		11,57000	4,54	812,95	1,12	200,62		0,96	171,27	0,01	1,8	5-May-2003
COLTABACO S.A	CALDERA #2	15,00	FUEL OIL # 2	GENERACION DE VAPOR	0,00000261	10,05000	7,74	571,19	2,04	150,63		1,94	143,39	0,18	13,06	6-May-2003
COLTABACO S.A	CALDERA #3	16,00	FUEL OIL # 2	GENERACION DE VAPOR	0,00000261	12,79000	2,12	478,2	0,92	198,9		1,06	228,01			7-May-2003
INDUSTRIAS IMAR	HORNO	7,00	GLP			0,00000										27-Nov-2002
LABORATORIO HIGIETEX LTDA	CALDERA PIROTUBULAR	15,00	CARBON BITUMINOSO	LAVADO Y BLANQUEADO DE ALGODON		7,50000										5-May-1995
PROCTER & GAMBLE COLOMBIA LTDA.	TORRE DE SULFON	17,50	FUEL OIL # 2	PRODUCCION DE ACIDO SULFONICO		4,90000		ND	0,11	30,97		ND				1-Feb-2003
PROCTER & GAMBLE COLOMBIA LTDA.	TORRE DE DETERG	35,00	GAS NATURAL	SECADO DE DETERGENTE (torre de secado 1)		0,00930	5,81	100	5,2	97,71	0,01					11-Feb-2003
PROCTER & GAMBLE COLOMBIA LTDA.	TORRE DE DETERG	35,00	GAS NATURAL	SECADO DE DETERGENTE (torre de secado 2)		0,00850	6,25	100	4,83	82,32	0,01					11-Feb-2003
PROCTER & GAMBLE COLOMBIA LTDA.	TORRE DE DETERG	35,00	GAS NATURAL	SECADO DE DETERGENTE (torre de secado 3)		0,01000	6,04	100	4,87	89,79	0,01					11-Feb-2003
PROCTER & GAMBLE COLOMBIA LTDA.	TORRE DE DETERG	35,00	GAS NATURAL	SECADO DE DETERGENTE		0,01400	0,26	4,14	3,39	52,95						11-Feb-2004
PROCTER & GAMBLE COLOMBIA LTDA.	TORRE DE SULFON	17,50	FUEL OIL # 2	PRODUCCION DE SULFANATO DE ALQUILBENCENO		2,40000	0,03	73,37	0,02	0,01		0,7	0,4	3,09E+04	1,76E+04	11-Feb-2004
PROCTER & GAMBLE COLOMBIA LTDA.	TORRE DE DETERG	35,00	GAS NATURAL	SECADO DE DETERGENTE		0,01400	ND	ND	2,96	0,05						26-Mar-2004
PROCTER & GAMBLE COLOMBIA LTDA.	TORRE DE DETERG	35,00	GAS NATURAL	SECADO DE DETERGENTE		0,01030	0,47	5,96	0,69	8,81						28-Jun-2005
PROCTER & GAMBLE COLOMBIA LTDA.	TORRE DE SULFON	17,50	GAS NATURAL	PRODUCCION DE SULFANATO DE ALQUILBENCENO		5,22000	0,01	5,96	0,04			ND		0,04	19,78	13-Jul-2005
PROELASTICOS S.A	CALDERA		GAS NATURAL			0,00000										27-Nov-2002
QUIMICA AMTEX S.A. MED	CALDERA	15,00	CRUDO	GENERACION DE VAPOR	0,00000261	9,57000	0,64	432,55	0,11	76,51		0,09	61,19			23-Mar-2004
QUIMICA AMTEX S.A. MED	CALDERA	15,00	CRUDO	GENERACION DE VAPOR	0,00000522	11,03000	1,62	373,03	0,6	138,54		0,35	79,84			23-Mar-2004
QUIMICA AMTEX S.A. MED	CALDERA DE ACEI	15,00	FUEL OIL # 2	CALENTAMIENTO DE ACEITE TERMICO	0,00000261	7,30000	0,05	85,69	2,81*10-3	4,55		7,24E+02	117,36			25-Mar-2004
QUIMICA AMTEX S.A. MED	SECADOR	15,00		SECADO DE CMC 1		0,00000			0,66	98,9						20-Abr-2004
QUIMICA AMTEX S.A. MED	SECADOR	15,00		SECADO DE CMC 2		0,00000	0,03	2,35	0,07	5,71						20-Abr-2004
QUIMICA AMTEX S.A. MED	SECADOR	15,00	CARBON BITUMINOSO	SECADO DE CMC 2		0,00000										6-Sep-2005

4.10 MAYORCA.

TABLA 4.15. Principales características de la estación de monitoreo Mayorca.

Estación	Centro Comercial Mayorca
Identificación	Mayorca
Municipio	Sabaneta
Temperatura promedio del municipio ¹⁰	21°C
Coordenadas planas	X: 830925.441815 Y: 1173443.34082
Dirección	Calle 51 Sur No. 48-57
Altura sobre el nivel del suelo	14.10 m
Vía(s) principal(es) más cercanas	Avenida Regional y Avenida Las Vegas
Distancia al eje de la vía principal más cercana	Se verificará mediante cartografía suministrada por AMVA.
Representatividad del sitio de monitoreo	Avenida Regional y Avenida Las Vegas
Principales fuentes fijas de emisión en un radio de 500 m.	Ver TABLA 4.16.



Estación de monitoreo en la Avenida Regional - Mayorca.



Avenida Regional – Mayorca.

¹⁰ Sitio Web oficial del Municipio de Sabaneta.

En la FIGURA 4.14 se observa el área de influencia de la estación Mayorca. Las industrias Colpisa Motriz y Comestibles DAN, ubicadas al norte de la estación de monitoreo, no presentan registro de emisiones. Si se considera la dirección de los vientos en el sentido norte-sur, predominante a lo largo del Río Medellín, se tiene que la zona industrial no influye en las mediciones realizadas con los tubos pasivos ya que la estación se localiza al norte de la zona industrial. Por ésta razón se considera que la estación Mayorca es representativa de las emisiones generadas por los vehículos que circulan por las Avenidas Regional y las Vegas.

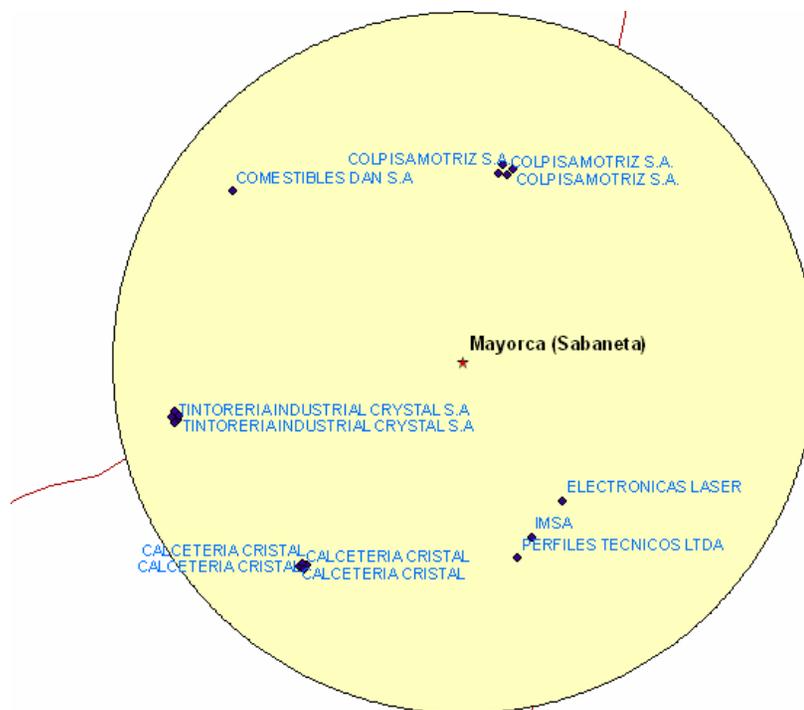


FIGURA 4.14. Área de influencia de la estación Mayorca.

TABLA 4.16. Principales fuentes fijas de emisión en un radio de 500 m de la estación Mayorca.

EMPRESA	EQUIPO	H_CHIMENEA	COMBUSTIBLE	CARACTERISTICAS PROCESO PRODUCTIVO	CO	CO2	NOX	NOX	MP	MP	SO2	SO2	H2SO4	H2SO4	FECHA		
		m			mg/m3	mg/m3	mg/m3	mg/m3	mg/m3	mg/m3	mg/m3	mg/m3	mg/m3	mg/m3	DIA	MES	AÑO
CALCETERIA CRISTAL	CALDERA	20,00	CARBON BITUMINOSO	GENERACION DE VAPOR	0,00009900	5,60000		0,231428571	0,7964	53,6	5,36	359,9	0,135	9	18	5	2005
CALCETERIA CRISTAL	CALDERA	20,00	CARBON BITUMINOSO	GENERACION DE VAPOR	0,00000666	7,50000		0,171428571	2,2437	280,7	2,0229	253	0,02972	3,7	19	5	2005
CALCETERIA CRISTAL	CALDERA ACUATUB	15,00	CARBON BITUMINOSO	GENERACION DE VAPOR	0,00001567	9,90000	1,840	77,5	1,035	40	4,79	207,44	0,135	5,670	27	9	2005
CALCETERIA CRISTAL	CALDERA ACUATUB	15,00	CARBON BITUMINOSO	GENERACION DE VAPOR	0,00001045	23,30000	1,13	124,1	1,67	180	2,490	280,28			28	9	2005
COLPISA MOTRIZ S.A.	SISTEMA DE EXTR	15,00	CARBON BITUMINOSO	CABINA LAVADO DE CANECAS Y TAMBORES											22	2	2005
COLPISA MOTRIZ S.A.	HORNOS LABORATO	7,00	CARBON BITUMINOSO			0,00100									22	2	2005
COLPISA MOTRIZ S.A.	CABINA DE APLIC	7,00		APLICACION DE PRIMER GRIS 60/60		0,00000									22	2	2005
COLPISA MOTRIZ S.A.	CABINA DE APLIC	7,00				0,00100									22	2	2005
COMESTIBLES DAN S.A	CALDERA PIROTUB	16,00	GAS NATURAL	GENERACION DE VAPOR		0,00000									14	2	2006
ELECTRONICAS LASER	RESISTENCIA ELE	9,20				9,50000			0,103	418,08					18	5	1995
IMSA	CALDERA	15,00	CARBON BITUMINOSO	GENERACION DE VAPOR		10,30000			0,111	433					6	3	1998
PERFILES TECNICOS LTDA	HORNO DE FUNDIC	15,00	ACEITE	FUNDICION DE ALUMINIO	0,00002351	7,00000			0,219	19					19	8	2003
TINTORERIA INDUSTRIAL CRYSTAL S.A	CALDERA PIROTUB		CARBON BITUMINOSO	GENERACION DE VAPOR	0,00001567	5,00000	1,84		1,03		4,79						
TINTORERIA INDUSTRIAL CRYSTAL S.A	CALDERA PIROTUB		CARBON BITUMINOSO	GENERACION DE VAPOR	0,00001045	6,70000	1,13		1,67		2,49						
TINTORERIA INDUSTRIAL CRYSTAL S.A	CALDERA	25,00	CARBON BITUMINOSO	GENERACION DE VAPOR	0,00002351	7,33000	1	142,22	1,58	226,27	0,41	58,18	0,01	1,96	12	8	2003
TINTORERIA INDUSTRIAL CRYSTAL S.A	CALDERA	25,00	CARBON BITUMINOSO	CALENTAMIENTO DE ACEITE TERMICO	0,00001306	5,28000	1,23	215,58	0,79	121,17	0,19	32,48	0,01	0,89	13	8	2003
TINTORERIA INDUSTRIAL CRYSTAL S.A	CALDERA	24,60	CARBON BITUMINOSO	GENERACION DE VAPOR	0,00000784	6,90000	1,3	209,78	1,15	185,64	0,28	45,26	0,01	1,39	14	8	2003

4.11 ITAGÜÍ.

En el Municipio de Itagüí las mediciones se realizaron en dos sitios localizados en la Institución Educativa Avelino Saldarriaga. Entre el 2 de agosto y el 1 de noviembre de 2006, la estación de monitoreo se ubicó en una terraza interna de la institución, identificada como Estación Itagüí (1); y posteriormente en la terraza de la portería localizada sobre la calle 39, identificada como Estación Itagüí (2). Éste cambio obedeció a reformas locativas en la terraza interna de la institución.

TABLA 4.17. Principales características de la estación de monitoreo Itagüí (1).

Estación	Institución Educativa Avelino Saldarriaga
Identificación	Itagüí (1)
Temperatura promedio del municipio ¹¹	21°C
Coordenadas planas	X: 829647.335353 Y: 1174086.13308
Dirección	Calle 39 # 49 – 77
Altura sobre el nivel del suelo	7.4 m
Vía principal más cercana	Calle 39
Distancia al eje de la vía principal más cercana	41.85 m
Representatividad del sitio de monitoreo	Calle 39
Principales fuentes fijas de emisión en un radio de 500 m.	TABLA 4.19



Estación de monitoreo en Itagüí.(1)

¹¹ Sitio Web oficial del Municipio de Itagüí.

TABLA 4.18. Principales características de la estación de monitoreo Itagüí (2).

Estación	Institución Educativa Avelino Saldarriaga
Identificación	Itagüí (2)
Temperatura promedio del municipio ¹²	21°C
Coordenadas planas	X: 829647.335353 Y: 1174086.13308
Dirección	Calle 39 # 49 – 77
Altura sobre el nivel del suelo	4.25 m
Vía principal más cercana	Calle 39
Distancia al eje de la vía principal más cercana	4.25 m
Representatividad del sitio de monitoreo	Calle 39.
Principales fuentes fijas de emisión en un radio de 500 m.	Ver TABLA 4.19.



Estación de monitoreo en Itagüí (2).



Calle 39. Estación de Monitoreo del Municipio de Itagüí.

¹² Idem.

La FIGURA 4.15 muestra el área de influencia de la estación Itagüí. De acuerdo con estudios de calidad del aire realizados en el Valle de Aburrá, la zona sur, especialmente el municipio de Itagüí, se caracteriza por ser un sumidero de la contaminación que ocurre en el Valle de Aburrá, debido a la dispersión de contaminantes que ocurre en el Valle por acción del viento que tiene una dirección predominante en el sentido norte-sur. Haciendo ésta consideración, la zona industrial identificada en los alrededores de la estación Avenida Guayabal, tiene influencia en las mediciones realizadas en la estación Itagüí con métodos pasivos.

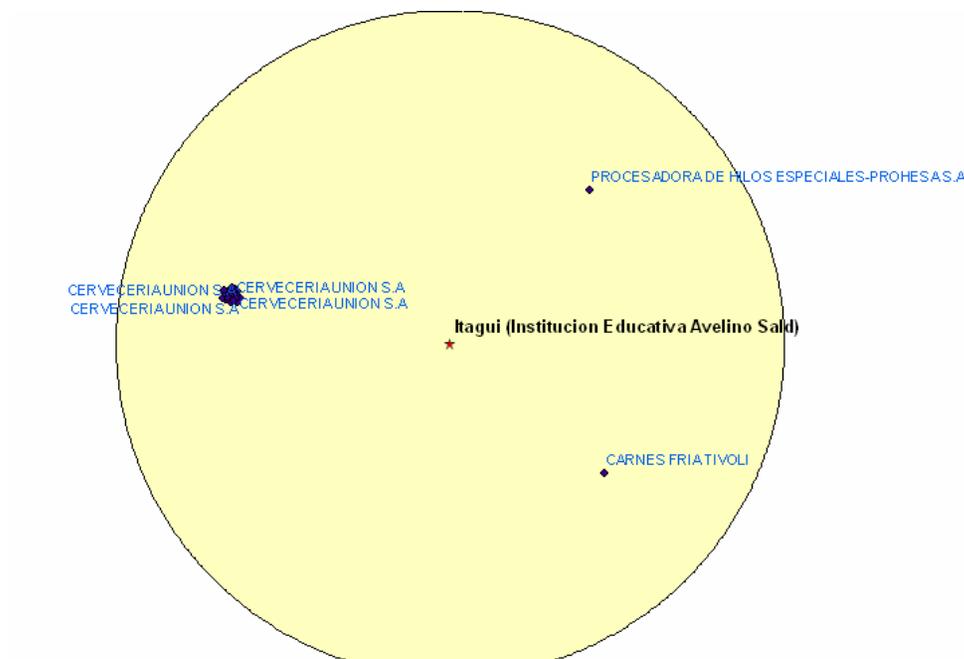


FIGURA 4.15. Área de influencia en la estación Itagüí.

TABLA 4.19. Principales fuente fijas de emisión en un radio de 500 m de la estación Itagüí.

EMPRESA	EQUIPO	H_CHIMENEA m	COMBUSTIBLE	CARACTERISTICAS PROCESO PRODUCTIVO	CO	CO2	NOX	NOX	MP	MP	PM10	SO2	SO2	H2SO4	FECHA			
					mg/m3	mg/m3	Kg/h	mg/m3	Kg/h	mg/m3	Kg/h	mg/m3	Kg/h	mg/m3	DIA	MES	AÑO	
CARNES FRIA TIVOLI	3 HORNOS		GAS NATURAL			0.00000										16	4	2002
CERVECERIA UNION S.A	CALDERA #2	27,00	FUEL OIL # 2	GENERACION DE VAPOR		0.13100			1,93	198,98						31	1	2003
CERVECERIA UNION S.A	CALDERA #1	29,50	CARBON BITUMINOSO	GENERACION DE VAPOR	0.00000836	10.22000	2,7	190	3,19	289,23	3,172	0,86	63,92			24	11	2003
CERVECERIA UNION S.A	CALDERA #4	29,50	CARBON BITUMINOSO	GENERACION DE VAPOR	0.00000261	12.88000	1,42	90	4,25	273,26	4,28128	1,31	84,11			25	11	2003
CERVECERIA UNION S.A	CALDERA #6	30,00	ACEITE	GENERACION DE VAPOR		9.67000	2,09	190	0,43	43,59	0,682	0,61	61,67			26	11	2003
CERVECERIA UNION S.A	CALDERA #2	27,00	ACEITE	GENERACION DE VAPOR	0.00000261	12.20000	1,44	190	0,62	61,27	0,9548	0,73	72,21			27	11	2003
CERVECERIA UNION S.A	CALDERA # 6	27,00	CRUDO	GENERACION DE VAPOR	0.00000261	8.78000	0,6	50	1,45	136,18	2,1824	1,23	116,08			28	4	2004
CERVECERIA UNION S.A	CALDERA #2	27,00	CRUDO	GENERACION DE VAPOR	0.00000522	10.86000	1,52	220	5,83	621,58	8,866	1,08	115,18			29	4	2004
CERVECERIA UNION S.A	CALDERA #4	29,50	CARBON BITUMINOSO	GENERACION DE VAPOR		11.29000	3,6	210	4,44	265,22		0,58	34,69			17	11	2004
CERVECERIA UNION S.A	CALDERA#5	20,00	CRUDO	GENERACION DE VAPOR	0.00000261	12.84000	4,65	1130	2,08	377,43	2,032	0,35	53,35			17	11	2004
CERVECERIA UNION S.A	CALDERA # 1	29,50	CARBON BITUMINOSO	GENERACION DE VAPOR	0.00000784	8.47000	4,78	340	2,93	217,58		0,24	18,14			18	11	2004
CERVECERIA UNION S.A	CALDERA#2	27,00	CRUDO	GENERACION DE VAPOR	0.00000261	8.57000	1,9	230	2,52	217,58	4,774	0,81	73,63			19	11	2004
CERVECERIA UNION S.A	CALDERA # 6	27,00	CRUDO	GENERACION DE VAPOR		9.77000	2,18	300	1,47	149,37	2,046	1,04	106,02			22	11	2004
CERVECERIA UNION S.A	CALDERA #3	30,00	CARBON BITUMINOSO	PRODUCCION DE VAPOR, PARA EL LAVADO Y ESTERILIZACION DE BOTELLAS Y COCIMIENTO DE LA CEBADA.	0.00000522	11.50000	5,56	419,55	2,56	193,4		10,03	756,94			15	4	2005
CERVECERIA UNION S.A	CALDERA #3	30,00	CARBON BITUMINOSO	PRODUCCION DE VAPOR, PARA EL LAVADO Y ESTERILIZACION DE BOTELLAS Y COCIMIENTO DE LA CEBADA.	0.00007837	10.80000	2,97	245,05	2,29	229,89		8,14	671,98	88,99		11	5	2005
CERVECERIA UNION S.A	CALDERA #3	30,00	CARBON BITUMINOSO	GENERACION DE VAPOR			2,88	253,52	2,42	212,46		5,73	503,93			1	11	2005
CERVECERIA UNION S.A	CALDERA #1	29,50	CARBON BITUMINOSO	GENERACION DE VAPOR	0.00000261	11.84000	4,47	367,18	7,04	578,97		9,8	805,62			2	11	2005
CERVECERIA UNION S.A	CALDERA#6	27,00	CRUDO	GENERACION DE VAPOR	0.00000261	9.58000	3,15	306,85	1,33	197,4		10,45	1017,2			3	11	2005
CERVECERIA UNION S.A	CALDERA #2	27,00	CRUDO	GENERACION DE VAPOR	0.00000261	9.41000	3,52	321,09	7,3	666,81		5,95	542,99			4	11	2005
CERVECERIA UNION S.A	CALDERA#5	20,00	CRUDO	GENERACION DE VAPOR	0.00000261	11.95000	1,86	358,4	5,17	666,81		7,6	1466,63	48,19		16	11	2005
CERVECERIA UNION S.A	CALDERA #4	29,50	CARBON BITUMINOSO	GENERACION DE VAPOR	0.00000261	13.23000	7,68	735,86	7,76	440,52		13,97	792,52			15	12	2005
CERVECERIA UNION S.A	CALDERA PIROTUB	30,00	CARBON BITUMINOSO	GENERACION DE VAPOR	0.00008620	10.70000	1,39	110,4	2,74	210		8,96	712,00	22		19	10	2005
CERVECERIA UNION S.A	CALDERA PIROTUB	30,00	CARBON BITUMINOSO	GENERACION DE VAPOR	0.00007837	11.10000	2,63	164	2,41	150		6,97	446,20			2	11	2005
PROCESADORA DE HILOS ESPECIALES- PROHESA	CALDERA PIROTUB	15,00	CRUDO	PROCESAMIENTO O ELABORACION DE FIBRAS, HILOS O HILAZAS A BASE DE FIBRAS SINTETICAS		15.40000	0,510	12%	0,70	650		0,44	11%			2	10	2003

4.12 AUTOPISTA SUR (NAVITRANS).

TABLA 4.20. Principales características de la estación de monitoreo Navitrans.

Estación	Navitrans
Identificación	Navitrans
Municipio	Itagüí
Temperatura promedio del municipio ¹³	21°C
Coordenadas planas	X: 829161.620508 Y: 11729228.7046
Dirección	Calle 11 sur # 50 - 50
Altura sobre el nivel del suelo	3.37 m
Vía principal más cercana	Autopista Sur
Distancia al eje de la vía principal más cercana	15.26 m
Representatividad del sitio de monitoreo	Autopista Sur y zona industrial.
Principales fuentes fijas de emisión en un radio de 500 m.	Ver TABLA 4.21.



Colector de partículas en la Estación Navitrans.



Medidor pasivo de gases en la Estación Navitrans.



Avenida Regional – Zona Sur.



¹³ Sitio Web oficial del Municipio de Itagüí.

La FIGURA 4.16 muestra el área de influencia de la estación Navitrans. Si se considera la dirección de los vientos en el sentido norte-sur, predominante a lo largo del Río Medellín, se tiene que las industrias localizadas al norte de la estación de monitoreo, influyen en las mediciones realizadas con los tubos pasivos. Las industrias localizadas al sur de la estación, entre las que se encuentra Sumicol, la cual reporta el mayor número de emisiones, no influyen en las mediciones realizadas con métodos pasivos, ya que la estación se localiza al norte de la zona industrial.

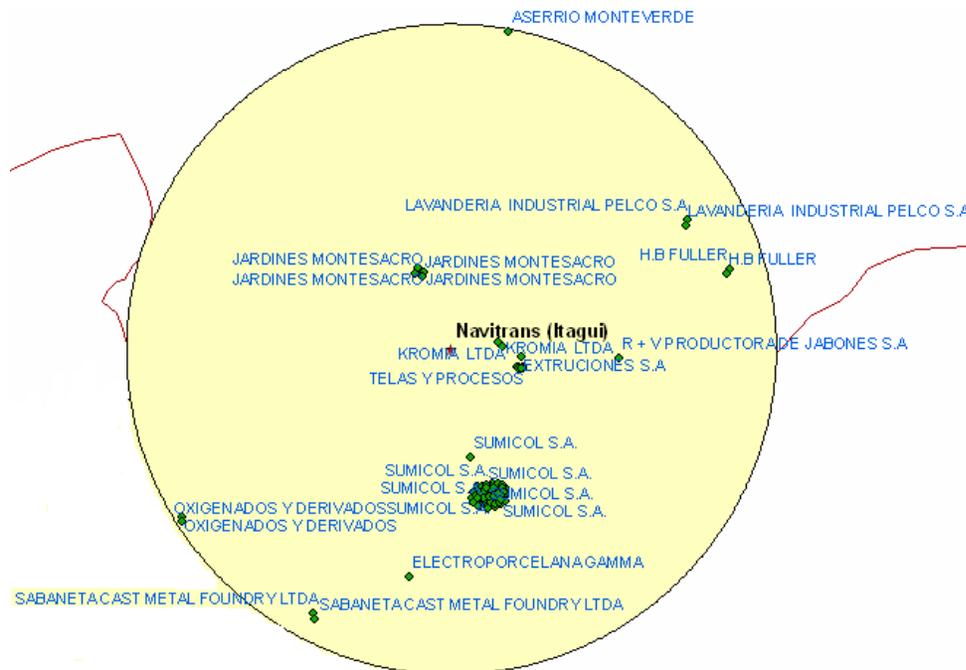


FIGURA 4.16. Área de influencia en la estación Navitrans.

TABLA 4.21. Principales fuentes de emisión en un radio de 500 m de la estación Navitrans.

EMPRESA	EQUIPO	H_CHIME m	COMBUSTIBLE	CARACTERISTICAS PROCESO PRODUCTIVO	CO	CO2	NOX	NOX	MP	MP	SO2	SO2	H2SO4	H2SO4	FECHA		
					mg/m3	mg/m3	Kg/h	mg/m3	Kg/h	mg/m3	Kg/h	mg/m3	Kg/h	mg/m3	DIA	MES	AÑO
ASERRIO MONTEVERDE	HORNO	16,00	GAS/MADERA	SECADO DE TABLILLA	0,00010449				0,060	148					18	3	2003
ELECTROPORCELANA GAMMA	HORNOS DE COCID		GAS NATURAL												16	9	2003
EXTRUCIONES S.A	CALENTADOR DE A	15,00	CARBON BITUMINOSO	GENERACION DE VAPOR	0,88		0,076		0,12		0,114				15	7	2004
H.B FULLER	CALDERA	12,00	GAS NATURAL	GENERACION DE VAPOR											1	10	2003
H.B FULLER	CALDERA	17,00	GAS NATURAL												1	10	2003
LAVANDERIA INDUSTRIAL PELCO S.A	CALDERA PIROTUB	23,00	CARBON BITUMINOSO	GENERACION DE VAPOR	0,00000031	0,70	0,022	2,26	1,56	162	1,24	127,00	0,285	30	3	2	2006
LAVANDERIA INDUSTRIAL PELCO S.A	CALDERA PIROTUB	22,00	CARBON BITUMINOSO	GENERACION DE VAPOR	0,00000731	6,50	0,4115	101,6	1,1992	282,8	0,307	75,8	0,0225	5,6	23	3	2005
JARDINES MONTESACRO	HORNO CREMATORI	20,00	GAS NATURAL		0,00000784	3,00	0,12	65,99	0,08	50	0,03	11,00		5	1	9	2005
JARDINES MONTESACRO	HORNO CREMATORI	20,00	GAS NATURAL		0,00000784	2,50	0,38	139,84	0,46	260	0,01	7,00		4	1	9	2005
JARDINES MONTESACRO	HORNO CREMATORI	20,00	GAS NATURAL		0,00000261	3,10	0,16	52,79	0,05	30	0,008	2		2	2	9	2005
JARDINES MONTESACRO	HORNO CREMATORI	20,00	GAS NATURAL		0,00000261	3,20	0,08	43,27	0,15	80	0,018	10,00		3	2	9	2005
KROMIA LTDA	CALDERA ACUATUB	18,00	CARBON BITUMINOSO	GENERACION DE VAPOR	0,00000000	7,00	0,21	189,55	0,23	204,21	0,15	138,86			25	10	2002
KROMIA LTDA	CALDERA ACUOTUB	18,00	CARBON BITUMINOSO	GENERACION DE VAPOR	0,00000418	6,70	0,098	125,7	0,11	142	0,087	112,00	0,008	11	8	9	2005
OXIGENADOS Y DERIVADOS	CALDERA	15,00	FUEL OIL # 2	GENERACION DE VAPOR											11	1	2005
OXIGENADOS Y DERIVADOS	CALDERA	15,00	FUEL OIL # 2	GENERACION DE VAPOR											11	1	2005
R + V PRODUCTORA DE JABONES S.A	CALDERA	16,80	FUEL OIL # 2	GENERACION DE VAPOR	0,00000026	8,50		0	0,1665	110,2	1,0494	694,1	0,1626	107,5	23	8	2005

EMPRESA	EQUIPO	H_CHIME m	COMBUSTIBLE	CARACTERISTICAS PROCESO PRODUCTIVO	CO	CO2	NOX	NOX	MP	MP	SO2	SO2	H2SO4	H2SO4	FECHA		
					mg/m3	mg/m3	Kg/h	mg/m3	Kg/h	mg/m3	Kg/h	mg/m3	Kg/h	mg/m3	Kg/h	DIA	MES
SABANETA CAST METAL FOUNDRY LTDA	COLECTOR DE MAT	8,00		RECOLECCION DE MATERIAL PARTICULADO RESIDUAL					0,6105	114,2					26	5	2004
SUMICOL S.A.	HORNO I+D ENFRI	15,00	GAS NATURAL	ENFRIAMIENTO DE BALDOSAS		0,47			0,01	5,36	ND				22	2	2003
SUMICOL S.A.	HORNO I+D PRECA	15,00	GAS NATURAL	PRECALENTAMIENTO DE BALDOSAS		0,73			0,01	7,77	ND				22	2	2003
SUMICOL S.A.	ATOMIZADOR 0.39	15,00	KEROSENE	SECADO		1,13	0,06	50	0,03	26,22	3,10E+05	0,03			8	4	2003
SUMICOL S.A.	HORNO CONTINUO	20,00	GAS NATURAL	FRITA9508	0,00000052	0,78	0,99	218,62	3,92	864,16	0,18	40,81			16	6	2003
SUMICOL S.A.	1 LINEA DE TRIT	15,00		TRITURACION DE CALIZA					0,48	72,88					16	6	2003
SUMICOL S.A.	SECADERO #1	15,00	FUEL OIL # 2	SECADO DE ARENA OLGA 325		1,53	0,17	32,17	0,19	36,38	0,21	39	3,05E+03	0,57	16	6	2003
SUMICOL S.A.	SECADERO #2	15,00	FUEL OIL # 2	SECADO DE ARENA	0,00000078	2,19	0,12	40,92	0,1	35,98	0,01	4,16	0,002	0,53	16	6	2003
SUMICOL S.A.	CALDERA	15,00	FUEL OIL # 2	GENERACION DE VAPOR		2,59	0,09	42,52	0,04	18,31	0,01	3,29	3,48E+04	0,16	17	6	2003
SUMICOL S.A.	2 CALDERIN DE Y	16,00	FUEL OIL # 2	YESO 202		12,50	0,38	215,61	0,12	68,65	0,07	39,1	1,38E+03	0,77	17	6	2003
SUMICOL S.A.	HORNO I+D PRECA	15,00	GAS NATURAL	PRECALENTAMIENTO DE BALDOSAS		1,04	0,01	8,09	0,01	8,34	ND				18	6	2003
SUMICOL S.A.	SECADERO DE GRA	15,00	GAS NATURAL	SECADO DE GRANILLA	0,00000261			ND	0,06	19,95	ND				18	6	2003
SUMICOL S.A.	FILTRO DE MANGA	20,00		COMPUESTOS		0,00			0,05	26,72					20	6	2003
SUMICOL S.A.	FILTRO LINEA 2	15,00		TRITURACION DE FELDESPATO					1,21	117,66					15	10	2003
SUMICOL S.A.	MOLINO #7	20,00		MOLIENDA FELDESPATO LADINO					0,14	59,07					15	10	2003
SUMICOL S.A.	MOLINO # 4	15,00	GAS NATURAL	MOLIENDA ARENA OLGA 325					1,8	66,91					16	10	2003
SUMICOL S.A.	EMPACADORA LINE	15,00		PEGACOR 93102 Y 93106			0,98	218,62	0,09	19,91					20	10	2003
SUMICOL S.A.	FILTRO GRANDE	15,00	GAS NATURAL	CAPTURA MATERIAL DE LINEAS DE TRITURACION, BANDAS TRANSPORTADORAS, EMPAQUE DE MOLINOS, SECADER		0,19			0,22	10,4					20	10	2003
SUMICOL S.A.	FILTRO DE CRUDO	15,00		YESO MODELO					0,12	29,27					21	10	2003

EMPRESA	EQUIPO	H_CHIME	COMBUSTIBLE	CARACTERISTICAS PROCESO PRODUCTIVO	CO	CO2	NOX	NOX	MP	MP	SO2	SO2	H2SO4	H2SO4	FECHA		
		m			mg/m3	mg/m3	Kg/h	mg/m3	Kg/h	mg/m3	Kg/h	mg/m3	Kg/h	mg/m3	Kg/h	DIA	MES
SUMICOL S.A.	FILTRO DE MOLIE	15,00		ESTUCOR					0,08	22,9					21	10	2003
SUMICOL S.A.	FILTRO MOLIENDA	15,00		ESTUCOR					0,21	73,09					21	10	2003
SUMICOL S.A.	FILTRO CONCOLOR	15,00		PRODUCCION DE CONCOLOR					0,16	26,72					22	10	2003
SUMICOL S.A.	FILTRO CP 25	15,00		CALDERIN DE YESOS					0,09	23,22					23	10	2003
SUMICOL S.A.	FILTRO DE MANGA	15,00		EMPAQUE DE YESO 200					0,2	37,19					23	10	2003
SUMICOL S.A.	FILTRO DE CALCI	15,00		YESO MODELO					0,2	71,6					24	10	2003
SUMICOL S.A.	FILTRO DE MANGA	15,00		PRODUCCION DE GRANILLA					0,14	52,12					28	10	2003
SUMICOL S.A.	HORNO CONTINUO	20,00	GAS NATURAL	FRITA 9573		2,30	0,54	121,16	0,71	157,64	3,47E+04	0,08	3,99E+03	0,89	28	10	2003
SUMICOL S.A.	ATOMIZADOR 0.39	20,00	KEROSENE	SERIGRAFIA SR 362		19,10	0,13	121,54	0,04	40,29	1,02E+03	0,97			29	10	2003
SUMICOL S.A.	HORNO ROTATORIO	20,00	KEROSENE	FRITA 9925		2,30	0,13	25,96	1,56	313,91	0,11	21,54			29	10	2003
SUMICOL S.A.	HORNO CONTINUO	20,00	GAS NATURAL	FRITA 9573	0,00000261	0,74	1,93	347,43	5,27	947,94	0,01	1,87			14	9	2004
SUMICOL S.A.	HORNO I +D PREC	15,00	GAS NATURAL	PRECALENTAMIENTO DE BALDOSA	0,00000261	0,74	0,01	7,9	0,01	6,4	2,12E+04	0,15			14	9	2004
SUMICOL S.A.	CALDERIN LINEA	20,00	FUEL OIL # 2	CALCINADO		21,13	0,001	1,72	0,04	67,77	8,10E+04	1,27	5,96E+06	0,01	15	9	2004
SUMICOL S.A.	ATOMIZADOR 0.39	20,00	KEROSENE	SERIGRAFIA SR362		1,18	100,00%	5,64	0,07	56,57	3,22E+04	0,26			16	9	2004
SUMICOL S.A.	SECADERO #2	20,00	FUEL OIL # 2	SECADO DE ARENA OLGA 325		2,36	0,19	46,52	0,34	84,65	2,41E+02	5,98	9,74E+05	0,02	16	9	2004
SUMICOL S.A.	SECADERO DE GRA	15,00	GAS NATURAL	SECADO DE GRANILLA		0,24	0,004	1,72	0,11	44,47	9,98E+04	0,39			16	9	2004
SUMICOL S.A.	CALDERA	25,00	FUEL OIL # 2	GENERACION DE VAPOR		7,96	0,09	130	0,03	39,6	1,77E+02	24,98	2,99E+04	0,42	17	9	2004
SUMICOL S.A.	BANDA TRANSPORT	25,00		TRANSPORTE DE ARENAS			0,42	121,54	0,07	20,39					22	9	2004
SUMICOL S.A.	TOLVA DE ALIMEN	25,00		TRANSPORTE DE ARENAS		0,00070	0,78	121,54	2,76	428,67					22	9	2004
SUMICOL S.A.	EMPACADORA LINEA	15,00		ESTUCOR			0,47	121,54	0,09	22,64					22	1	2005
SUMICOL S.A.	MOLIENDA PRIMAR	15,00		ESTUCOR			0,39	121,54	0,01	1,71					22	1	2005

EMPRESA	EQUIPO	H_CHIME	COMBUSTIBLE	CARACTERISTICAS PROCESO PRODUCTIVO	CO	CO2	NOX	NOX	MP	MP	SO2	SO2	H2SO4	H2SO4	FECHA		
		m			mg/m3	mg/m3	Kg/h	mg/m3	Kg/h	mg/m3	Kg/h	mg/m3	Kg/h	mg/m3	Kg/h	DIA	MES
SUMICOL S.A.	FILTRO CALDERIN	15,00		ESTUCOR			0,34	121,54	0,02	7,22					26	1	2005
SUMICOL S.A.	CALDERIN LINEA	15,00	FUEL OIL # 2	ESTUCOR		1,00	0,11	30,42	0,02	6,17	0,05	14,35	6,06E+03	1,73	27	1	2005
SUMICOL S.A.	MOLIENDA PRIMAR	15,00		ESTUCOR			0,41	121,54	0,03	10,29					1	2	2005
SUMICOL S.A.	MOLIENDA SECUND	15,00		ESTUCOR			0,37	121,54	0,05	15,09					1	2	2005
SUMICOL S.A.	HORNO CONTINUO	20,00	GAS NATURAL	FRITA 9573		0,78	0,69	127,62	0,84	156,22	0,61	113,18			5	4	2005
SUMICOL S.A.	FILTRO DE GRANI	15,00		PRODUCCION DE GRANILLA			0,49	121,54	0,45	111					7	4	2005
SUMICOL S.A.	HORNO I +D PREC	15,00	GAS NATURAL	PRECALENTAMIENTO DE BALDOSA		0,77	0,01	9,88	0,02	11,62	ND				7	4	2005
SUMICOL S.A.	SECADERO DE GRA	15,00	GAS NATURAL	SECADO DE GRANILLA		0,12		ND	0,07	24,71	ND				7	4	2005
SUMICOL S.A.	ATOMIZADOR 0.39	20,00	KEROSENE	SERIGRAFIA		1,43	0,02	14,58	0,09	84,27	ND				8	4	2005
SUMICOL S.A.	FILTRO DE MANGA	20,00		COMPUESTOS		0,001	0,003	1,72	0,03	21,15					8	4	2005
SUMICOL S.A.	TOLVA DE ALIMEN	15,00		TRANSPORTE DE ARENAS			0,05	11,99	0,04	8,61					21	4	2005
TELAS Y PROCESOS	CALDERA ACUATUB	25,00	CARBON BITUMINOSO	GENERACION DE VAPOR		9,50		47,75	0,118			2,61			1	4	2004
TELAS Y PROCESOS	CALDERA ACUATUB	31,00	CARBON BITUMINOSO	GENERACION DE VAPOR	0,00007837	7,50		54,49	0,233			94,04			14	4	2004
TELAS Y PROCESOS	CALDERA ACUOTUB	31,00	CARBON BITUMINOSO	GENERACION DE VAPOR	0,00000261	8,00	0,468	199,4	0,627	163	0,54	230	0,025	10,9	1	12	2005
TEÑIDOS Y ACABADOS ASOCIADOS LTDA	CALDERA PIROTUB	21,00	CARBON BITUMINOSO	GENERACION DE VAPOR	0,00002612	6,90	0,64	127,6	1,36	270	1,47	265			30	8	2005
TEÑIDOS Y ACABADOS ASOCIADOS LTDA	CALDERA ACUATUB	21,00	CARBON BITUMINOSO		0,00002612	7,40		162,8	1,0295	224,8		347		15,1	7	12	2004
TEÑIDOS Y ACABADOS ASOCIADOS LTDA	CALDERA ACUATUB	21,00	CARBON BITUMINOSO	GENERACION DE VAPOR	0,00002612	7,00	0,61	111,06	0,7	150	0,61	135	0,025	6	23	8	2005
TEÑIDOS Y ACABADOS ASOCIADOS LTDA	CALDERA ACUATUB	21,00	CARBON BITUMINOSO		0,00002612	6,90	1,44	83,06	1,36	270	1,44	265		5,55	30	8	2005

4.13 SABANETA.

TABLA 4.22. Principales características de la estación de monitoreo Sabaneta.

Estación	La Bombonera
Identificación	Sabaneta
Temperatura promedio del municipio ¹⁴	21°C
Coordenadas planas	X: 828702.600712 Y: 1172352.84042
Dirección	Calle 77 sur # 47 b - 70
Altura sobre el nivel del suelo	3.15 m
Vía principal más cercana	Calle 77 sur
Distancia al eje de la vía principal más cercana	6.0 m
Representatividad del sitio de monitoreo	Calle 77 sur
Principales fuentes fijas de emisión en un radio de 500 m.	Ver TABLA 4.23.



Muestreadores pasivos en la Estación Sabaneta.



Estación de monitoreo en Sabaneta.

¹⁴ Sitio Web oficial del Municipio de Sabaneta.

La FIGURA 4.17 muestra el área de influencia de la estación Sabaneta, la cual presenta una intersección con el área de influencia de Navitrans. De acuerdo con el Inventario de emisiones, no hay un aporte representativo de contaminantes por la zona industrial ya que la mayoría de las fuentes identificadas no presentan registro de emisiones. Por ésta razón, la estación Sabaneta se considera representativa de las emisiones producidas en la Calle 77 sur.

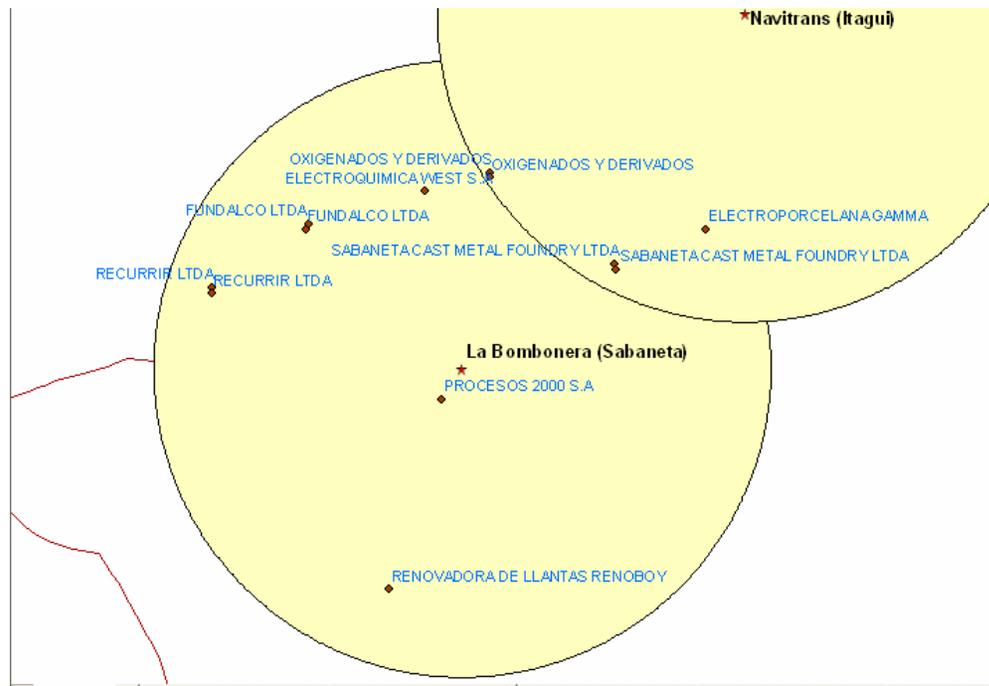


FIGURA 4.17. Área de influencia en la estación Sabaneta.

TABLA 4.23. Principales fuentes fijas de emisión en un radio de 500 m de la estación Sabaneta.

EMPRESA	SEC_IND	EQUIPO	H_CHIMENEA	COMBUSTIBLE	CARACTERISTICAS PROCESO PRODUCTIVO	CO	CO2	NOX	NOX	MP	MP	SO2	SO2	H2SO4	H2SO4	FECHA		
			m			mg/m3	mg/m3	Kg/h	mg/m3	Kg/h	mg/m3	Kg/h	mg/m3	Kg/h	mg/m3	Kg/h	DIA	MES
ELECTROPORCELANA GAMMA	CVL	HORNOS DE COCID		GAS NATURAL												16	9	2003
ELECTROQUIMICA WEST S.A	MMC	CALDERA PIROTUB	15,00	FUEL OIL # 2												24	7	2003
FUNDALCO LTDA	MMC	HORNO DE FUSIO	15,00	FUEL OIL # 2	FUNDICION Y ELABORACION DE PIEZAS DE ALUMINIO	0.00001045	6.000000			0,187	107,1	0,003	20	0,03	172	6	5	2003
FUNDALCO LTDA	MMC	HORNO QUEMADOR	15,00	ACEITE	GENERACION DE VAPOR		3.900000	0,242	132,4	0,066	36	0,006	3,00	0,075	41	10	2	2006
OXIGENADOS Y DERIVADOS	QMC	CALDERA	15,00	FUEL OIL # 2	GENERACION DE VAPOR											11	1	2005
OXIGENADOS Y DERIVADOS	QMC	CALDERA	15,00	FUEL OIL # 2	GENERACION DE VAPOR											11	1	2005
PROCESOS 2000 S.A	QMC	EXTRACTOR	15,00		INYECCION Y EXTRACCION DE AIRE					0,0862	17,9					31	8	2004
RECURRIR LTDA	TXT	CALDERA	6,00	GAS NATURAL												16	3	2005
RECURRIR LTDA	TXT	HORNO	7,00	GAS NATURAL												16	3	2005
RENOVADORA DE LLANTAS RENOBOY	PCE	CALDERA	20,00	GAS NATURAL												8	7	2005
SABANETA CAST METAL FOUNDRY LTDA	MMC	COLECTOR DE MAT	8,00		RECOLECCION DE MATERIAL PARTICULADO RESIDUAL					8,2611	67,7					26	5	2004
SABANETA CAST METAL FOUNDRY LTDA	MMC	COLECTOR DE MAT	8,00		RECOLECCION DE MATERIAL PARTICULADO RESIDUAL					0,6105	114,2					26	5	2004

4.14 LA ESTRELLA.

TABLA 4.24. Principales características de la estación de monitoreo La Estrella.

Estación	Centro Administrativo Municipal
Identificación	La Estrella
Temperatura promedio del municipio ¹⁵	20°C
Coordenadas planas	X: 826859.389389 Y: 1172893.6707
Dirección	Calle 80 sur # 58 - 78
Altura sobre el nivel del suelo	3.50 m
Vía principal más cercana	Calle 80
Distancia al eje de la vía principal más cercana	15.0 m
Representatividad del sitio de monitoreo	Calle 80.
Principales fuentes fijas de emisión en un radio de 500 m.	No se identificaron en el Inventario de Fuentes del AMVA del 2005.



Estación de monitoreo en La Estrella.



Calle 80 sur en el Municipio de la Estrella.

¹⁵ Sitio Web oficial del Municipio de La Estrella.

La estación del municipio de La Estrella se considera representativa de las emisiones producidas en la Carrera 80, debido a que no se identifican fuentes fijas cercanas.

4.15 CALDAS.

TABLA 4.25. Principales características de la estación de monitoreo Caldas.

Estación	Funeraria Renacer
Identificación	Caldas
Temperatura promedio del municipio ¹⁶	19°C
Coordenadas Planas	X: 827447.64269 Y: 1165726.86826
Dirección	Carrera 50 # 127 sur - 73
Altura sobre el nivel del suelo	6.90 m
Vía principal más cercana	Carrera 50
Distancia al eje de la vía principal más cercana	5.0 m
Representatividad del sitio de monitoreo	Carrera 50.
Principales fuentes fijas de emisión en un radio de 500 m.	Ver TABLA 4.26.

La estación de monitoreo en Caldas se considera representativa de las emisiones producidas en la carrera 50, debido a la cercanía al eje de la vía (5.0m) y a que no se registran emisiones para la única fuente fija identificada en el Inventario. La carrera 50 entre las calles 127 sur y 128 sur se caracteriza por la ubicación de sitios de despacho de los colectivos, lo que genera congestión vehicular en ésta vía.

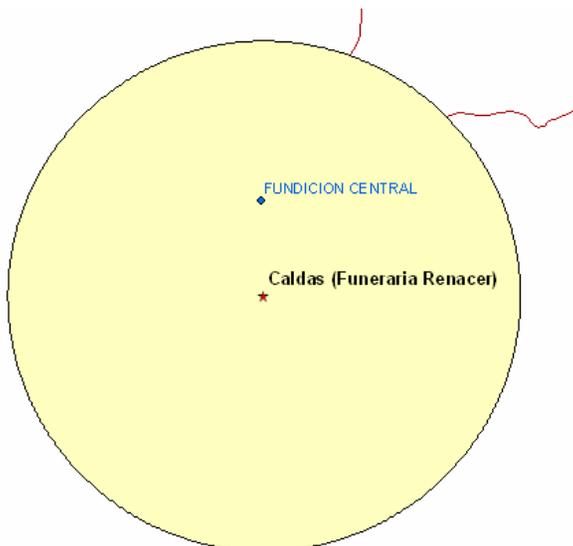


FIGURA 4.18. Área de influencia de la estación Caldas.

¹⁶ Sitio Web oficial del Municipio de Caldas.

TABLA 4.26. Principales fuentes fijas de emisión en un radio de 500 m de la estación Caldas.

EMPRESA	SEC_IND	EQUIPO	ALTURA CHIMENEA m	COMBUSTIBLE	CONSUMO COMBUSTIBLE Kg/h	FECHA		
						DIA	MES	AÑO
FUNDICION CENTRAL	MMC	HORNO CUBILOTE	12,00	CARBON BITUMINOSO	700,00	12	12	2002



Estación de monitoreo en Caldas.



Estación de monitoreo en Caldas.

5 INSTALACIÓN Y OPERACIÓN DE LOS MUESTREADORES PASIVOS

La *TABLA 5.1* muestra las fechas de instalación de los muestreadores pasivos y las fechas de inicio y fin de monitoreo en cada una de las estaciones de calidad del aire en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. En las estaciones Bello y Autopista Norte se inició el monitoreo 5 semanas más tarde, debido a los trámites administrativos que fueron necesarios para la autorización de ingreso a las instalaciones de Empresas Públicas de Medellín.

TABLA 5.1. Instalación y operación de los sensores pasivos en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá.

Municipio	Sitio de monitoreo	Instalación sensores pasivos	Inicio del monitoreo		Fin del monitoreo	
			Tubos de difusión	Partículas sedimentables	Tubos de difusión	Partículas sedimentables
Barbosa	Parroquia Jesús de la Divina Misericordia	Julio 25 de 2006	Agosto 1 de 2006	Agosto 1 de 2006	Julio 31 de 2007	Julio 31 de 2007
Girardota	Institución Educativa Manuel José Sierra	Julio 25 de 2006	Agosto 1 de 2006	Agosto 1 de 2006	Julio 31 de 2007	Julio 31 de 2007
Copacabana	Hospital Santa Margarita	Julio 25 de 2006	Agosto 1 de 2006	Agosto 1 de 2006	Julio 31 de 2007	Julio 31 de 2007
Bello	Oficina Central EEPPM	Septiembre 5 de 2006	Septiembre 5 de 2006	Septiembre 5 de 2006	Agosto 6 de 2007	Agosto 6 de 2007
Medellín	Autopista Norte Estación Florencia EEPPM	Septiembre 5 de 2006	Septiembre 5 de 2006	Septiembre 5 de 2006	Agosto 6 de 2007	Agosto 6 de 2007
Medellín	Museo de Antioquia	Julio 25 de 2006	Agosto 1 de 2006	Agosto 1 de 2006	Julio 31 de 2007	Julio 31 de 2007
Medellín	Facultad de Minas	Julio 25 de 2006	Agosto 1 de 2006	Agosto 1 de 2006	Julio 31 de 2007	Julio 31 de 2007
Medellín	SENA	Julio 26 de 2006	Agosto 2 de 2006	Agosto 9 de 2006*	Agosto 1 de 2007	Agosto 8 de 2007
Medellín	Avenida Guayabal. Cooperativa John F. Kennedy	Julio 26 de 2006	Agosto 2 de 2006	Agosto 2 de 2006	Agosto 1 de 2007	Agosto 1 de 2007
Itagüí	Institución Educativa Avelino Saldarriaga	Julio 26 de 2006	Agosto 2 de 2006	Agosto 2 de 2006	Agosto 1 de 2007	Agosto 1 de 2007
Itagüí	Navitrans	Julio 26 de 2006	Agosto 2 de 2006	Agosto 2 de 2006	Agosto 1 de 2007	Agosto 1 de 2007
La Estrella	Centro Administrativo Municipal	Julio 26 de 2006	Agosto 2 de 2006	Agosto 2 de 2006	Agosto 1 de 2007	Agosto 1 de 2007
Sabaneta	La Bombonera	Julio 26 de 2006	Agosto 2 de 2006	Agosto 9 de 2006*	Agosto 1 de 2007	Agosto 8 de 2007
Sabaneta	Centro Comercial Mayorca	Julio 26 de 2006	Agosto 2 de 2006	Agosto 2 de 2006	Agosto 1 de 2007	Agosto 15 de 2007
Caldas	Funeraria Renacer	Julio 26 de 2006	Agosto 2 de 2006	Agosto 2 de 2006	Agosto 1 de 2007	Agosto 1 de 2007

*Se descartó la muestra de la primera semana por una fuga de agua en el colector. Se reinició el muestreo con el colector reparado por el fabricante.

6 ANÁLISIS DE RESULTADOS.

En el capítulo 6.1 se presenta un soporte técnico suministrado por el Laboratorio Passam sobre la influencia de las variables meteorológicas en las mediciones con captadores difusivos. En los demás capítulos se analizan los resultados de la monitoría de dióxido de azufre (SO_2), dióxido de nitrógeno (NO_2), ozono (O_3) y compuestos orgánicos volátiles: benceno, etilbenceno, tolueno y xilenos (BTX), utilizando tubos pasivos de difusión y los resultados de la medición de partículas sedimentables. El período de análisis comprende del 1 de agosto de 2006 al 6 de agosto de 2007 para los tubos pasivos de difusión. Se reportan concentraciones mensuales (28 días de medición) para el SO_2 , NO_2 y BTX y concentraciones semanales (7 días de medición) en el caso del ozono. El período de análisis para partículas sedimentables comprende del 26 de septiembre de 2006 al 15 de agosto de 2007.

Los datos de campo para el monitoreo pasivo de contaminantes y los resultados de laboratorio se presentan en los Anexo 1 y 2 respectivamente.

6.1 INFLUENCIA DE LAS VARIABLES METEOROLÓGICAS EN LAS MEDICIONES CON LOS TUBOS PASIVOS DE DIFUSIÓN PASSAM.

La influencia de las variables meteorológicas en la medición de contaminantes atmosféricos con captadores difusivos, ha sido evaluada en el laboratorio bajo condiciones controladas. Según estudios realizados por el laboratorio Passam ubicado en Suiza, fabricante de los captadores difusivos utilizados en el presente estudio, variables como la humedad relativa, la temperatura y el viento no presentan una influencia directa en las mediciones con tubos pasivos para ciertos rangos. No hay efecto por humedad relativa para valores entre 20 y 80% y la temperatura no tiene efecto entre 5 y 45°C. La velocidad del viento presenta una influencia destacable en los tubos pasivos sin el dispositivo de protección contra lluvias y luz solar. Con el uso de protectores, la influencia de la velocidad del viento es menor al 10% en el rango de 0.1 a 4 m/seg.

Los captadores difusivos también han sido validados en campo con monitores automáticos. Los datos mostrados en la TABLA 6.1, fueron obtenidos durante 6 meses de verano en seis estaciones a través de los Alpes Europeos, para altitudes entre 600 y 2.000 metros sobre el nivel del mar. En total se realizaron 126 mediciones. Para el análisis estadístico de los datos, los parámetros meteorológicos fueron correlacionados con la fracción monitor automático/muestreador difusivo.

TABLA 6.1. Coeficientes de correlación de los parámetros meteorológicos con la fracción monitor automático/muestreador difusivo para el captador de ozono.

	Temperatura	Humedad*	Velocidad del viento	Presión atmosférica	Radiación solar
Unidad	°C	%	m/seg	mbar	Watt/m ²
Correlación r	0.013	0.002	0.002	0.04	0.014
Rango _{min}	4	0	1.9	820	38
Rango _{max}	27	7	3.3	925	75
Mediana	15.5	3	2.3	900	52
Prueba de mediana	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

*Medida en días de lluvia.

n.s.: no significativo.

Los resultados del estudio indican que todos los coeficientes de correlación son cercanos a cero y no son significativos para el rango de valores mostrado en la tabla.

La altitud registrada para las 15 estaciones de monitoreo del presente estudio oscila entre 1315 y 1771 metros sobre el nivel del mar, por lo tanto entraría en el rango del estudio. Las temperaturas promedio en cada sitio de monitoreo, oscilan entre 19 y 24°C, que estarían también dentro del rango del estudio realizado en los Alpes Europeos. Esto significa que no hay influencia de la temperatura, la humedad, la presión atmosférica y la radiación solar en los resultados obtenidos con los captadores difusivos de ozono.

Para el dióxido de nitrógeno, los datos mostrados en la TABLA 6.2 fueron obtenidos durante un año de mediciones en tres sitios de monitoreo en la misma ciudad. En total se dispone de 78 mediciones.

TABLA 6.2. Coeficientes de correlación de los parámetros meteorológicos con la fracción monitor automático/muestreador difusivo para el captador de dióxido de nitrógeno.

	Temperatura	Humedad	Velocidad del viento	Radiación solar
Unidad	°C	% rel.	m/seg	Watt/m ²
Correlación r	0.136	0.113	0.021	-0.019
Rango _{min}	-0.7	42	0.7	15
Rango _{max}	23	85	2.6	273
Mediana	11.2	67	1.4	112
Prueba de mediana	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

n.s.: no significativo.

Hay una correlación leve con la temperatura y la humedad, pero la prueba de mediana fue negativa en todos los casos. Estos estudios indican que no hay influencia de las variables meteorológicas analizadas en los resultados obtenidos con los captadores difusivos de dióxido de nitrógeno.

Es importante anotar que las tasas de difusión utilizadas por el Laboratorio Passam para el cálculo de la concentración de cada tipo de contaminante, fueron calculadas a una temperatura de 20°C para el SO₂, NO₂ y BTX, teniendo en cuenta la temperatura promedio del sitio de medición. En la literatura no se reporta la tasa de difusión para el ozono y por lo tanto ésta fue obtenida en campo, encontrando una ecuación para éste contaminante. En el presente estudio no se hicieron correcciones adicionales a éstas tasas de difusión y por lo tanto se tomaron las concentraciones de los gases en µg/m³ tal como las envió el laboratorio Passam (Ver Anexo 2). Las tasas de difusión utilizadas para cada contaminante fueron:

SO₂: 11.9 ml/min a 20°C.

NO₂: 0.9047 ml/min a 20°C.

BTX: 6.44 ml/min a 20°C.

Ozono: PS [mabs] = 0.0255 [mg/m³. h] r = 0.83; donde

PS = Passive Sampler y mabs = miliabsorbancia.

6.2 DIÓXIDO DE AZUFRE.

La TABLA 6.3 muestra las concentraciones promedio mensuales de SO_2 obtenidas en las 15 estaciones de monitoreo ubicadas en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. La evaluación del SO_2 por el método de la cromatografía iónica reporta todos los datos por encima del límite de detección de $0.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$, a excepción del resultado reportado como no detectable en la Estación de Caldas. Es importante anotar que el método pasivo tiene un límite de detección inferior al método activo manual (Colorimetría con Pararosanilina), el cual es de $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Los resultados de dióxido de azufre se comparan con la Norma Colombiana Anual de $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$. La Organización Mundial de la Salud, no establece un valor guía anual, puesto que el cumplimiento con el valor guía para 24 horas ($20 \mu\text{g}/\text{m}^3$) asegurará niveles bajos del promedio anual (OMS, 2005).

En la parte inferior de las gráficas de resultados se registran las observaciones de campo que pueden ser útiles para el análisis de la información.

En la FIGURA 6.1 se observan las concentraciones promedio mensuales de SO_2 alcanzadas en el primer trimestre de monitoreo, el cual comprende los meses de agosto, septiembre y octubre de 2006. Estos niveles no muestran una tendencia a superar la Norma Colombiana Anual de $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Las concentraciones más altas son reportadas en la estación Autopista Norte. El gran aporte de SO_2 que se registra en el sitio de monitoreo se debe a la influencia de la zona industrial, tal como se encontró en el Inventario de emisiones realizado en un radio de 500 m alrededor de la estación (Ver FIGURA 4.6). Allí se identificaron las emisiones de la empresa CIPA, la cual utiliza carbón bituminoso como combustible, generando emisiones de dióxido de azufre a la atmósfera. Además hay una influencia de los vientos que vienen del norte que dispersan los contaminantes hacia el sitio de monitoreo y por lo tanto están siendo captados por los tubos pasivos de difusión. También se destaca el alto flujo vehicular que caracteriza el sector, debido a la confluencia de la Autopista Norte y la vía Medellín–Bogotá. Las estaciones Facultad de Minas e Itagüí también registran niveles importantes de SO_2 y están ubicadas cerca de vías con flujo de transporte público. La estación Facultad de Minas, es representativa del flujo vehicular presente en el sector (Cra 80 x Calle 65), caracterizado por el transporte público y el tráfico pesado que va en dirección a la carretera al mar. Éste tipo de vehículos utiliza principalmente el diesel como combustible, el cual es una fuente de emisión de dióxido de azufre a la atmósfera.

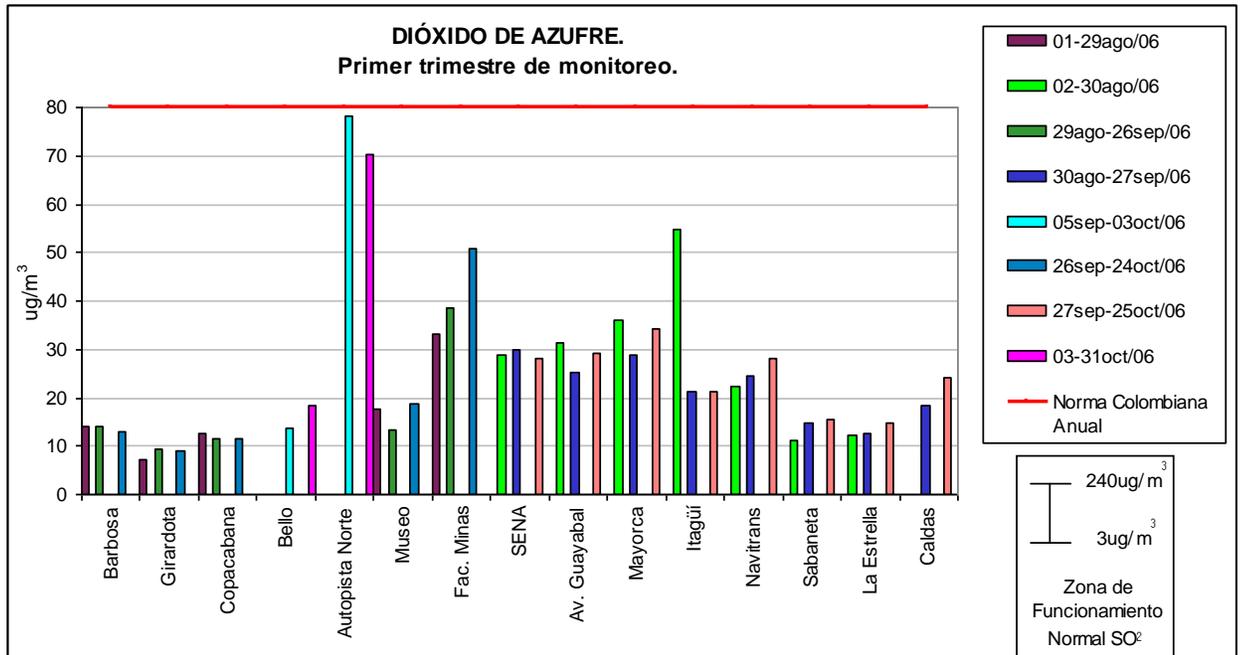


FIGURA 6.1. Concentración promedio mensual de SO₂ por monitor pasivo en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Primer trimestre de monitoreo.

El segundo trimestre de monitoreo de SO₂, comprende los meses de noviembre y diciembre de 2006 y enero de 2007. Estos niveles no muestran una tendencia a superar la Norma Colombiana Anual de 80 µg/m³ tal como se indica en la FIGURA 6.2. En la mayoría de las estaciones se observa que en el último período de monitoreo (diciembre/06-enero/07) las concentraciones de dióxido de azufre bajaron con respecto al período anterior, comportamiento que está asociado a la disminución del transporte público por la temporada de vacaciones. Es importante anotar que a partir del 01 de noviembre/06 se cambió el sitio de monitoreo en la Estación Itagüí a una terraza más cerca a la vía, lo que explica el aumento en las concentraciones registradas a partir de éste período.

TABLA 6.3. Concentración promedio mensual de SO₂ por monitor pasivo en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. µg/m³.

Fecha de monitoreo	Barbosa	Girardota	Copacabana	Bello	Autopista Norte	Museo	Fac. Minas	SENA	Av. Guayabal	Mayorca	Itagüí	Navitrans	Sabaneta	La Estrella	Caldas
Norma Colombiana Anual	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
01-29ago/06	14,1	7,3	12,6			17,5	33,3								
02-30ago/06								28,8	31,4	36,1	54,7	22,2	11,1	12,2	n.d.
29ago-26sep/06	13,9	9,4	11,5			13,4	38,7								
30ago-27sep/06								29,8	25,4	29	21,1	24,4	14,8	12,7	18,5
05sep-03oct/06				13,8	78,2										
26sep-24oct/06	12,8	8,9	11,6			18,7	50,9								
27sep-25oct/06								28,1	29,1	34,4	21,2	28,1	15,6	14,8	24,0
03-31oct/06				18,3	70,4										
24oct-21nov/06	11,6	6,3	7,9			25,7	24,4								
25oct-22nov/06								29,9	27,4	31,2	39,6	32,1	15,9	14,7	19,0
31oct-28nov/06				19,9	66,9										
21nov-19dic/06	10,4	7,2	10,6			21,1	36,1								
22nov-20dic/06								36,6	24,7	34,4	37,9	33,6	17,4	18,9	21,6
28nov-26dic/06				13,9	66,8										
19dic/06-16ene/07	9,4	6,8	8,9			15,5	23,8								
20dic/06-17ene/07								19,9	20,3	26,9	44,3	24,0	15,3	13,8	22,3
26dic/06-23ene/07				8,3	59,2										
16ene-13feb/07	7,5	6,0	10,9			16,5	27,5								
17ene-14feb/07								24,2	22,6	26,6	29,8	26,5	16,9	10,9	16,0
23ene-20feb/07				12,5	68,0										

n.d : no detectable

Fecha de monitoreo	Barbosa	Girardota	Copacabana	Bello	Autopista Norte	Museo	Fac. Minas	SENA	Av. Guayabal	Mayorca	Itagüí	Navitrans	Sabaneta	La Estrella	Caldas
Norma Colombiana Anual	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
13feb-13mar/07	12,7	6,6	15,5			15,1	30,0								
14feb-14mar/07								28,8	24,0	26,9	30,7	27,3	12,0	10,9	12,9
20feb-20mar/07				13,8	68,6										
13mar-10abr/07	7,4	5,6	9,5			14,8	24,7								
14mar-11abr/07								26,4	20,0	24,0	32,6	25,0	12,2	13,3	12,9
20mar-17abr/07				12,6	67,3										
10abr-8may/07	11,4	6,2				19,9	30,7								
11abr-8may/07			8,4												
11abr-9may/07								35,2	30,5	35,6	37,2	8,0	16,5	19,4	11,9
17abr-15may/07				18,2	67,5										
8may-5jun/07	12,1	6,9	12,5			21,3	28,7								
9may-6jun/07								36,9	32,0	37,9	37,7	28,2	15,7	15,3	15,4
15may-12jun/07				17,4	56,3										
5jun-03jul/07	10,4	7,3	10,2			15,0	27,8								
6jun-04jul/07								33,7	24,1	35,4	29,5	32,7	13,1	10,2	15,0
12jun-10jul/07				16,0	74,4										
03-31jul/07 ⁽¹⁾	5,7	4,4	21,6			14,7	19,7								
04jul-01ago/07								21,7	16,6	21,8	24,0	21,8	9,3	11,7	8,8
10jul-06ago/07				12,1	56,2										
PROMEDIO ARITMÉTICO	15,7	12,1	16,6	19,8	67,7	22,1	34,0	32,9	29,2	34,3	37,2	29,6	19,0	18,5	21,4
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	18,7	19,6	18,6	18,4	7,4	17,0	15,3	14,5	15,3	14,1	15,3	15,8	17,7	17,9	18,2
VALOR MÁXIMO	80,0	80,0	80,0	80,0	80,0	80,0	80,0	80,0	80,0	80,0	80,0	80,0	80,0	80,0	80,0
VALOR MÍNIMO	5,7	4,4	7,9	8,3	56,2	13,4	19,7	19,9	16,6	21,8	21,1	8,0	9,3	10,2	8,8

⁽¹⁾Se usó duplicado en la estación Fac. Minas. La concentración es el promedio aritmético de los 2 valores obtenidos: 20,1 y 19,4 ug/m³.

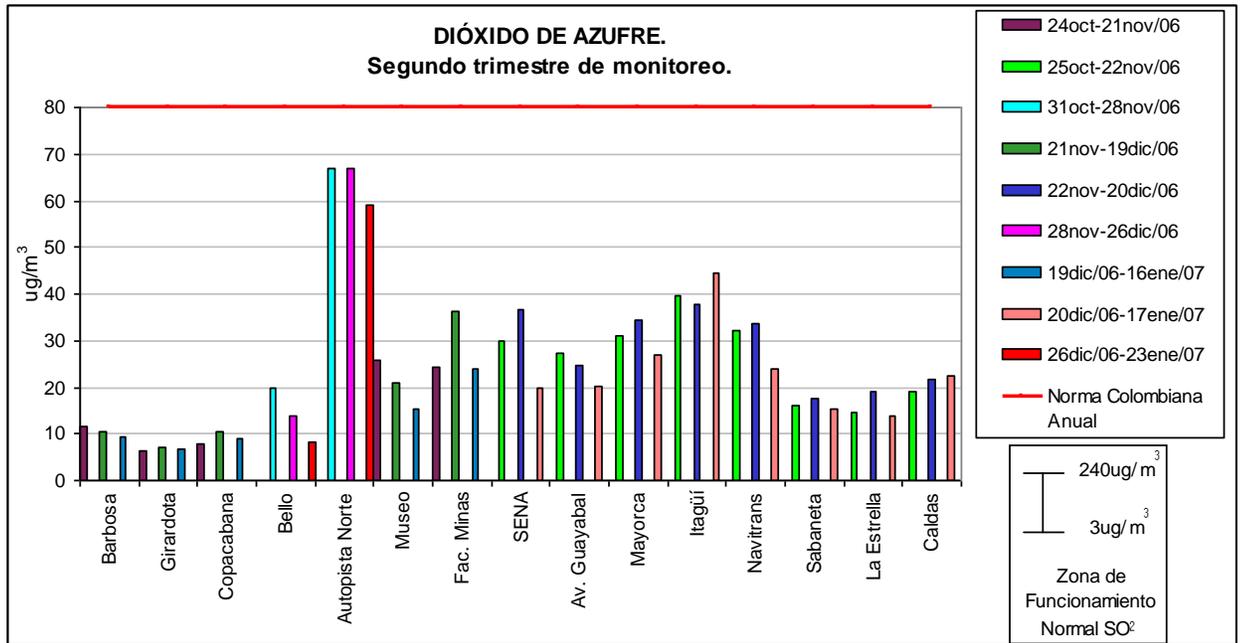


FIGURA 6.2 Concentración promedio mensual de SO₂ por monitor pasivo en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Segundo trimestre de monitoreo.

Estación	Fecha	Observaciones de campo
Itagüí	01nov/06	Se cambió el sitio de muestreo a una terraza más cerca a la vía.
Mayorca	22nov/06	Se habilita el parqueadero cerca de los muestreadores.
Caldas	03ene/07	Traslado del paradero de microbuses ubicado al frente de la estación.

Las concentraciones de SO₂ reportadas durante los meses de febrero, marzo, abril y los primeros 15 días de mayo de 2007, que son ilustradas en la FIGURA 6.3, están por debajo de la Norma Colombiana Anual. Se observa que en general estos niveles disminuyeron con respecto al trimestre anterior, comportamiento que puede estar asociado a la temporada de lluvias registrada en marzo y abril, fenómeno meteorológico que produce un efecto de lavado en la atmósfera.

En el cuarto trimestre de monitoreo, se observa que las concentraciones están por debajo de la Norma Colombiana Anual para dióxido de azufre (ver FIGURA 6.4). En el período de monitoreo comprendido entre el 03-31jul/07 se usó un duplicado del medidor de SO₂ en la Estación Facultad de Minas. En éste período la concentración reportada es el promedio aritmético de los dos valores obtenidos: 20.1 y 19.4 µg/m³, lo que muestra la confiabilidad del método de muestreo difusivo.

La distribución de los niveles de dióxido de azufre en el Área Metropolitana, muestra que las mayores concentraciones se presentan en la zona centro del

Valle de Aburrá, entre la estación Autopista Norte y la estación Navitrans, observando una asociación con la quema de combustibles tanto a nivel industrial como vehicular. Las estaciones ubicadas en los extremos norte y sur del valle reportan las menores concentraciones de SO₂. Éstos sitios de monitoreo se caracterizan por ser zonas de menor actividad vehicular en comparación con la actividad que se presenta en el centro de la ciudad de Medellín.

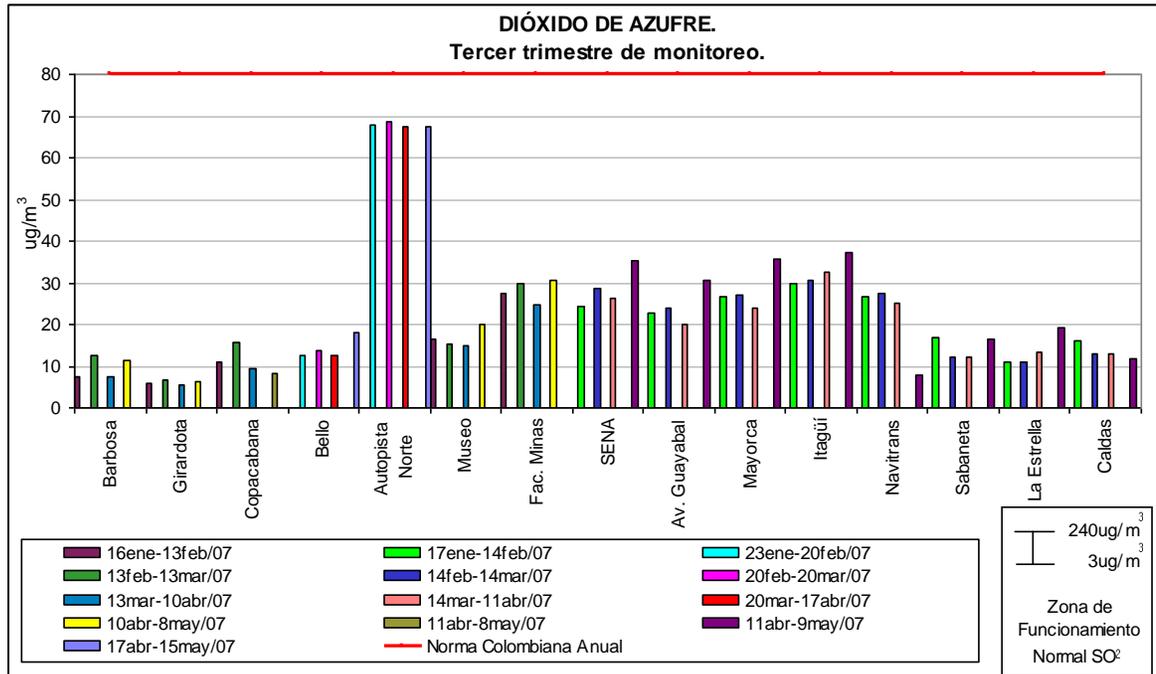


FIGURA 6.3 Concentración promedio mensual de SO₂ por monitor pasivo en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Tercer trimestre de monitoreo.

Estación	Fecha	Observaciones de campo
Navitrans	17ene a 07mar/07	Trabajos de repavimentación en la vía (Autopista Sur).
	19mar y 01may/07	Días festivos.
Mayorca	21mar/07	Se cambió el sitio de monitoreo a una terraza separada del parqueadero.

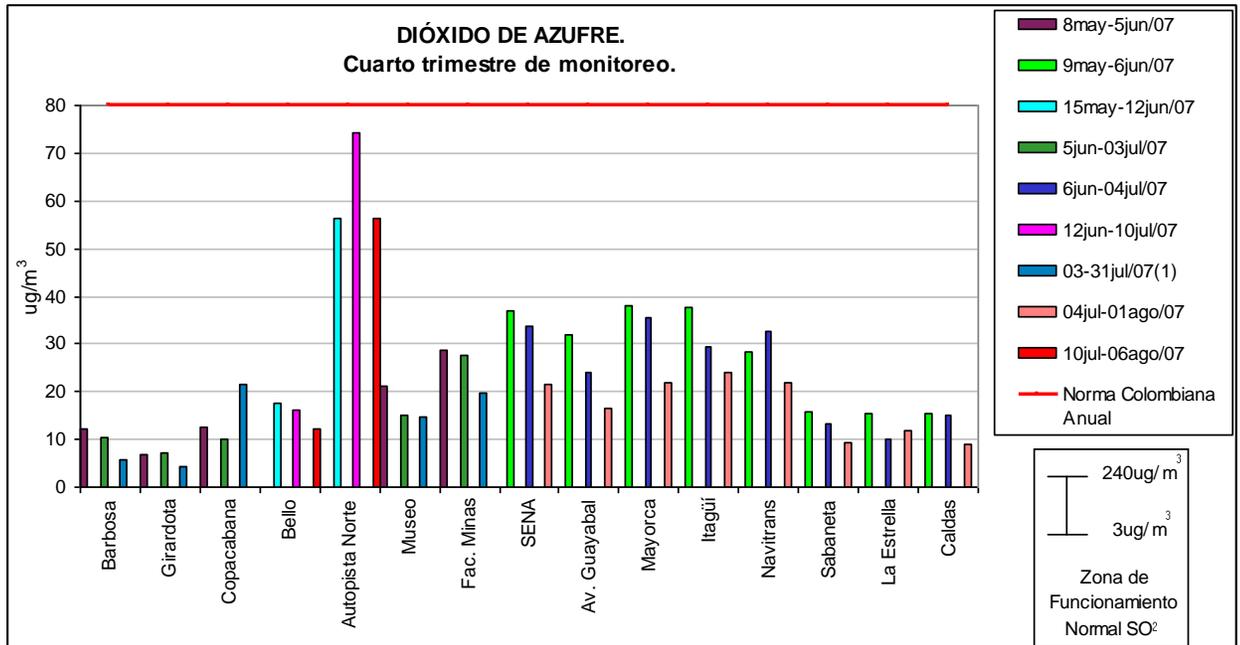


FIGURA 6.4 Concentración promedio mensual de SO₂ por monitor pasivo en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Cuarto trimestre de monitoreo.

Estación	Fecha	Observaciones de campo
Autopista Norte y Bello	03jul a 6ago/07	Cierre de la Avenida Regional. Incremento del flujo vehicular en la Autopista Norte.
-	21may, 11 y 18jun, 2 y 20jul/07	Días festivos.

6.3 DIÓXIDO DE NITRÓGENO.

Según la TABLA 6.4, la evaluación del dióxido de nitrógeno por el método de espectrofotometría, reporta todos los valores por encima del límite de detección de $0.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Es importante anotar que el método pasivo tiene un límite de detección inferior al método activo manual (Colorimetría con Arsenito de Sodio), el cual es de $9 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

De acuerdo con las figuras 6.5 a 6.8, los valores obtenidos de dióxido de nitrógeno están dentro del rango de trabajo ó zona de funcionamiento normal. Las concentraciones promedio mensuales de NO₂ registradas en el Área Metropolitana son inferiores a la Norma Colombiana Anual de $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$, sin embargo sí se supera el valor guía de la Organización Mundial de la Salud ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$) en la mayoría de la estaciones.

En la parte inferior de las gráficas de resultados se registran las observaciones de campo que pueden ser útiles para el análisis de la información.

Las Estaciones Barbosa, Girardota y Copacabana reportan las concentraciones más bajas de NO₂, reflejando la poca actividad vehicular en las vías cercanas. Estas concentraciones son inferiores al valor guía de la Organización Mundial de la Salud. Los mayores niveles de NO₂ se registran en la estación SENA, localizada cerca de vías de alto flujo vehicular, como son la Avenida Regional, la Avenida Ferrocarril y la Calle 50 (Colombia). Es importante destacar que a pesar de la presencia de árboles en los alrededores de la estación, se alcanzan a detectar las emisiones de dióxido de nitrógeno que son aportadas por los vehículos, lo que indica que hay una dispersión de los contaminantes que son generados en las vías.

Durante el primer trimestre de monitoreo que comprende los meses de agosto, septiembre y octubre (ver FIGURA 6.5), se alcanzaron concentraciones más altas de dióxido de nitrógeno con respecto al segundo trimestre en la zona centro del Valle de Aburrá (ver FIGURA 6.6). Éste comportamiento puede estar asociado a los eventos de precipitación reportados principalmente en octubre y noviembre. El cambio de sitio de monitoreo el 01nov/06 en la estación Itagüí a una terraza más cerca a la vía, se ve reflejado en el aumento de los niveles de dióxido de nitrógeno durante el segundo, tercer y cuarto trimestre de monitoreo, debido a la influencia del tráfico vehicular, caracterizado principalmente por microbuses y automóviles.

Durante el tercer trimestre de monitoreo en la estación Navitrans, se observa que los niveles de dióxido de nitrógeno aumentaron después de finalizados los trabajos de repavimentación realizados sobre la Autopista Sur (ver FIGURA 6.7).

Las concentraciones de dióxido de nitrógeno registradas en el cuarto trimestre de monitoreo, están por debajo de la Norma Colombiana Anual (ver FIGURA 6.8). Se observa el aumento de las concentraciones de dióxido de nitrógeno detectadas en las estaciones Bello y Autopista Norte durante el período de monitoreo comprendido entre el 10jul-06ago/07, debido al aumento del flujo vehicular en la Autopista Norte por el cierre de la Avenida Regional.

Se observa un comportamiento muy definido en la distribución de los niveles de dióxido de nitrógeno en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. En la zona norte los niveles son los más bajos y empiezan a incrementarse a medida que se tienen sitios de medición más cerca de la zona centro del valle, alcanzando las concentraciones más altas en las estaciones Facultad de Minas y SENA. En la zona sur (Itagüí, Sabaneta y La Estrella) los niveles van disminuyendo y se observa nuevamente un incremento en el extremo sur del valle (Estación Caldas). Éste comportamiento está asociado principalmente con el uso de la gasolina en los motores de combustión interna y la mayor actividad vehicular que reporta el centro de Medellín, en comparación con otros municipios del Área Metropolitana.

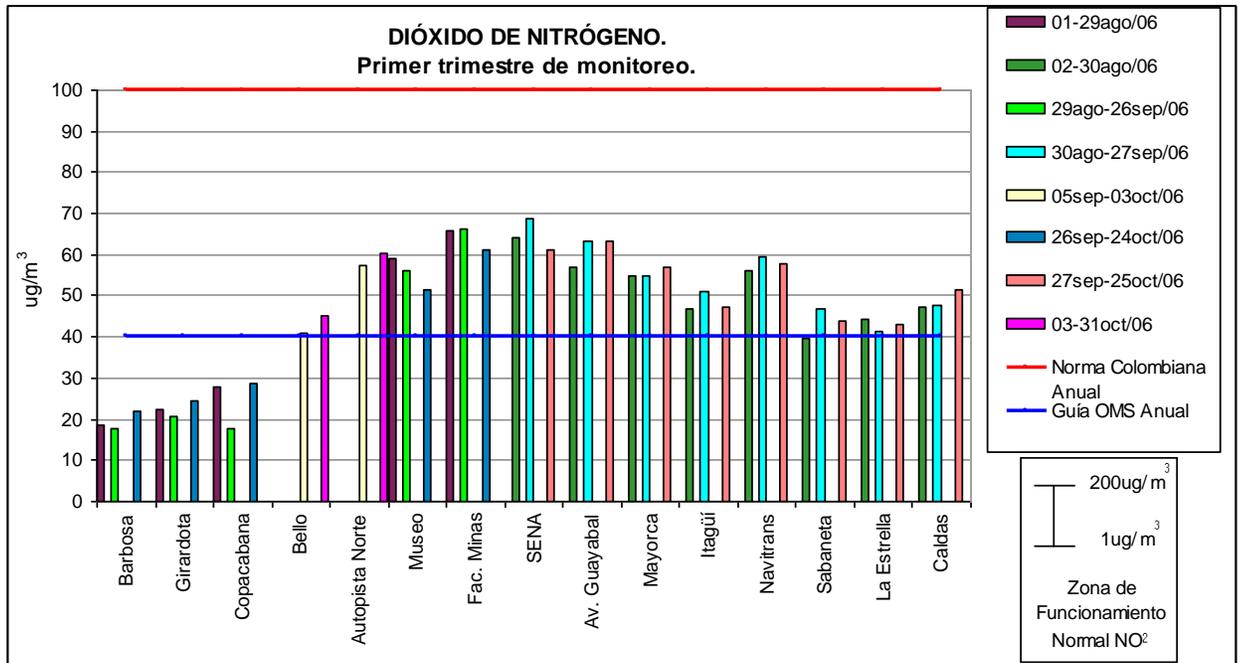


FIGURA 6.5. Concentración promedio mensual de NO₂ por monitor pasivo en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Primer trimestre de monitoreo.

Fecha	Observaciones de campo
07ago, 21ago, 16oct/06	Días festivos.

TABLA 6.4. Concentración promedio mensual de NO₂ por monitor pasivo en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. µg/m³.

Fecha de monitoreo	Barbosa	Girardota	Copacabana	Bello	Autopista Norte	Museo	Fac. Minas	SENA	Av. Guayabal	Mayorca	Itagüí	Navitrans	Sabaneta	La Estrella	Caldas
Norma Colombiana Anual	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Guía OMS Anual	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
01-29ago/06	18,7	22,2	27,7			59	65,7								
02-30ago/06								64,3	57,1	55,0	46,8	56,2	39,7	44,4	47,3
29ago-26sep/06	17,7	20,7	17,7			56,3	66,1								
30ago-27sep/06								68,6	63,1	54,8	51	59,7	46,7	41,5	47,8
05sep-03oct/06				40,8	57,2										
26sep-24oct/06	22,0	24,4	28,6			51,3	61,0								
27sep-25oct/06								61,0	63,2	57,1	47,1	57,7	43,8	43,1	51,5
03-31oct/06				45,2	60,3										
24oct-21nov/06	16,8	21,1	17,4			53,9	66,2								
25oct-22nov/06								32,0	56,5	55,8	43,2	54,0	36,9	38,5	51,1
31oct-28nov/06				46,0	53,1										
21nov-19dic/06	18,0	19,6	25,1			52,5	51,7								
22nov-20dic/06								60,1	53,4	53,0	62,6	61,2	39,8	48,2	44,8
28nov-26dic/06				40,5	45,0										
19dic/06-16ene/07	16,0	22,3	20,7			48,6	50,5								
20dic/06-17ene/07								58,1	52,3	52,4	58,3	53,8	42,6	41,7	51,6
26dic/06-23ene/07				35,5	44,8										
16ene-13feb/07	17,3	18,9	20,6			52,4	55								
17ene-14feb/07								61,5	54,8	53,2	61,3	55,6	45,3	38,6	42,5
23ene-20feb/07				36,1	53,4										

Fecha de monitoreo	Barbosa	Girardota	Copacabana	Bello	Autopista Norte	Museo	Fac. Minas	SENA	Av. Guayabal	Mayorca	Itagüí	Navitrans	Sabaneta	La Estrella	Caldas
Norma Colombiana Anual	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Guía OMS Anual	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
13feb-13mar/07	22,1	21,8	26,2			56,7	67,5								
14feb-14mar/07								68,6	59,7	61,4	70,4	64,9	51,5	44,0	50,6
20feb-20mar/07				43,5	66,0										
13mar-10abr/07	19,6	22,4	29,5			62,0	66,0								
14mar-11abr/07								58,1	65,5	69,5	67,5	67,4	51,0	50,4	44,9
20mar-17abr/07				45,0	62,5										
10abr-8may/07	19,3	22,1	28,6			60,8	67,9								
11abr-9may/07								67,4	66,9	54	70,9	64,5	48,8	45,3	43,9
17abr-15may/07				40,8	59,1										
8may-5jun/07	23,2	23,4	29,6			59,5	66,4								
9may-6jun/07								71,3	61,2	59,8	62,5	58,0	44,8	45,1	38,0
15may-12jun/07				46,5	58,5										
05jun-03jul/07	15,7	18,4	19,3			41,4	47,6								
06jun-04jul/07								45,6	43,7	45,1	52,8	52,9	39,1	34,4	40,9
12jun-10jul/07				37,8	48,0										
03-31jul/07	20,2	21,5	24,3			52,0	56,9								
04jul-01ago/07								61,3	52,8	62,6	64,0	58,1	43,8	40,6	40,6
10jul-06ago/07				41,7	55,3										
PROMEDIO ARITMÉTICO	25,8	27,9	30,4	45,7	57,4	56,4	61,9	61,2	59,3	58,2	59,9	60,3	47,6	46,4	49,0
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	21,4	20,6	20,1	16,0	14,3	13,6	13,6	15,4	13,5	13,5	14,8	12,7	15,1	15,4	14,8
VALOR MÁXIMO	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
VALOR MÍNIMO	15,7	18,4	17,4	35,5	40,0	40,0	40,0	32,0	40,0	40,0	40,0	40,0	36,9	34,4	38,0

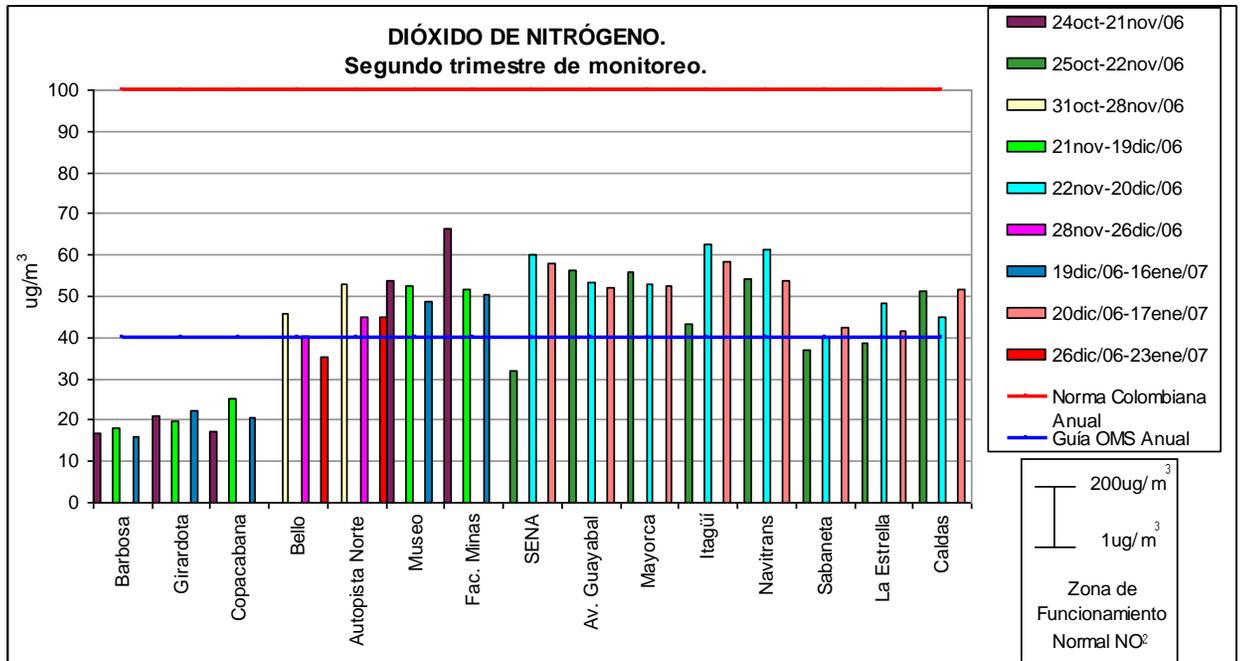


FIGURA 6.6 Concentración promedio mensual de NO₂ por monitor pasivo en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Segundo trimestre de monitoreo.

Estación	Fecha	Observaciones de campo
Itagüí	01nov/06	Se cambió el sitio de muestreo a una terraza más cerca a la vía.
Mayorca	22nov/06	Se habilita el parqueadero cerca de los muestreadores.
Caldas	03ene/07	Traslado del paradero de microbuses ubicado al frente de la estación.
-	06 y 13nov, 08 y 05dic/06; 01 y 08ene/07	Día festivo.

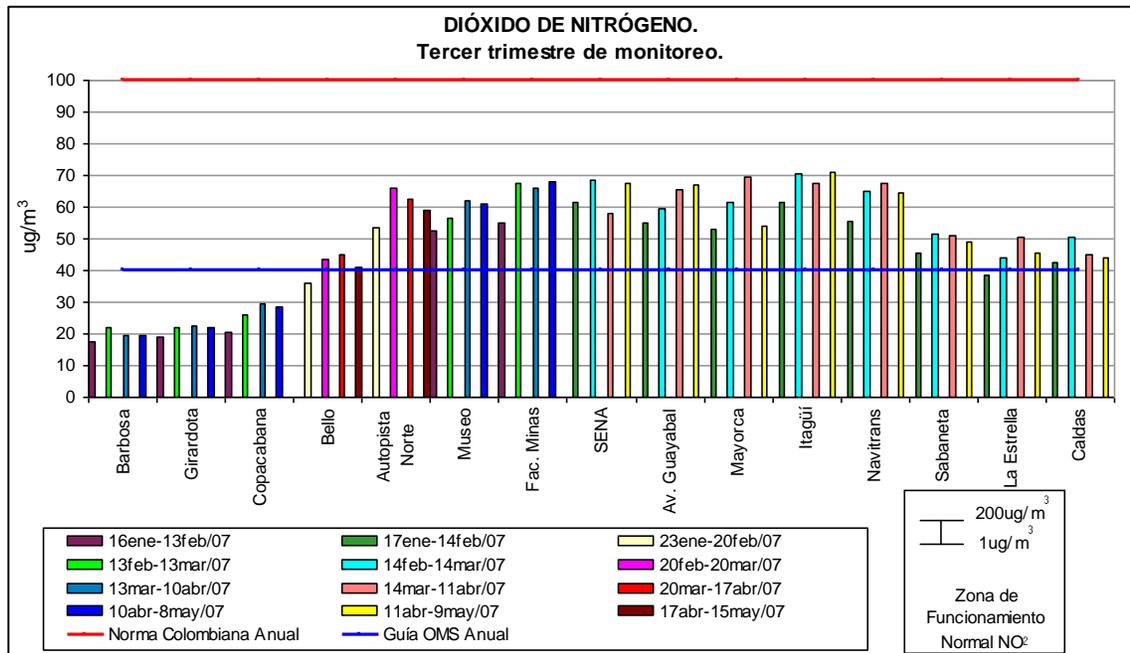


FIGURA 6.7 Concentración promedio mensual de NO₂ por monitor pasivo en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Tercer trimestre de monitoreo.

Estación	Fecha	Observaciones de campo
Navitrans	17ene a 07mar/07	Trabajos de repavimentación en la vía (Autopista Sur).
-	19mar y 01may/07	Días festivos.
Mayorca	21mar/07	Se cambió el sitio de monitoreo a una terraza alejada del parqueadero.

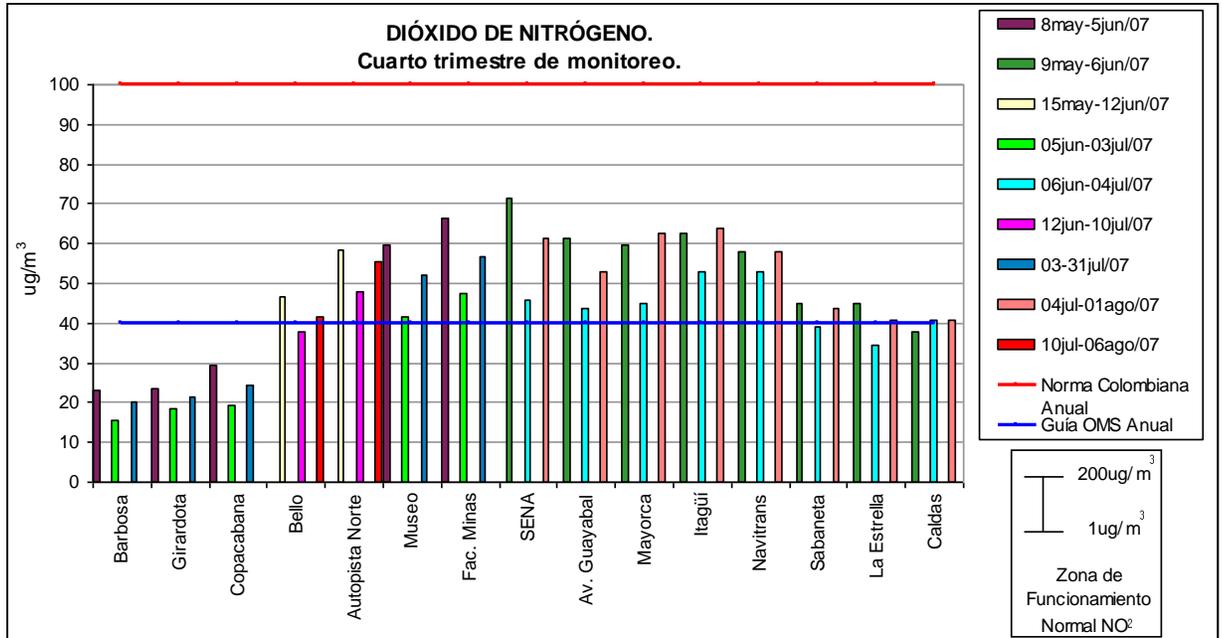


FIGURA 6.8 Concentración promedio mensual de NO₂ por monitor pasivo en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Cuarto trimestre de monitoreo.

Estación	Fecha	Observaciones de campo
Autopista Note y Bello	03jul a 6ago/07	Cierre de la Avenida Regional. Incremento del flujo vehicular en la Autopista Norte.
-	21may, 11 y 18 jun y 2 y 20jul/07	Días festivos.

6.4 OZONO.

Las Tablas 6.5 a 6.9 muestran las concentraciones promedio semanales de ozono en los cuatro trimestres de monitoreo respectivamente, registradas en las 15 estaciones ubicadas en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. La evaluación del ozono por el método de espectrofotometría, reporta todos los valores por encima del límite de detección de $5.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Es importante anotar que los datos que el laboratorio reporta como “no medible” y que fueron registrados en la Estación Sabaneta (13-20dic/06) y Autopista Norte (19-26dic/06) ocurren por defectos en el muestreador, presencia de insectos u otras causas que impiden llevar a cabo el método de análisis. La TABLA 6.9 muestra la concentración promedio mensual de ozono en cada una de las estaciones para todo el período de monitoreo.

TABLA 6.5. Concentración promedio semanal de ozono por monitor pasivo en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Período de monitoreo: 01 agosto - 25 octubre/2006.

Fecha de monitoreo	Barbosa	Girardota	Copacabana	Bello	Autopista Norte	Museo	Fac. Minas	SENA	Av. Guayabal	Mayorca	Itagüí	Navitrans	Sabaneta	La Estrella	Caldas
01-08ago/06	33,7	34,8	33,2			30,2	30,2								
08-15ago/06	26,9	38,2	34,7			31,2	25,1								
15-22ago/06	32,2	44,9	44,4			43,1	27,6								
22-29ago/06	36,9	45,9	39,4			37,7	23,3								
02-09ago/06								23,9	42,2	37,5	44,8	30,1	41,2	60,2	35,3
09-16ago/06								22,7	23,7	28,7	41,6	25,5	38,0	42,7	32
16-23ago/06								27,6	35,0	9,7	40,2	28,8	48,5	47,6	37
23-30ago/06								24,7	34,8	34,4	48,2	31,4	52,1	52,7	37,8
29ago-05sep/06	37,4	45,2	46,1			32,8	26,1								
05-12sep/06	44,8	33,4	46,7	34,6	37,5	43,8	25,6								
12-19sep/06	41,7	*	42,9	37	28,2	41,5	31,9								
19-26sep/06	42,1	43,9	46,9	40,1	36,2	39,1	32,6								
30ago-06sep/06								21,6	33,6	38,1	49,9	35,0	54,0	57,5	40,9
06-13sep/06								29,9	38,3	41,4	51,6	33,9	58,9	63,3	39,8
13-20sep/06								24,4	34,9	41,2	40,0	30,9	46,7	53,5	31,8
20-27sep/06								28,7	34,1	37,8	44,8	29,0	50,6	56,4	37,6
26sep-03oct/06	34,3	35,1	44	39,2	42,4	37,9	26,6								
03-10oct/06	28,8	35,4	29,5	32,6	28,3	32,6	21,4								
10-17oct/06	32,2	34,8	40,6	35	24,8	30,4	19,2								
17-24oct/06	25	33,3	34,5	26,2	21,2	26,2	16,7								
27sep-04oct/06								22,2	26,2	34,9	44,2	27,3	44,3	45,4	33,9
04-11oct/06								23,8	25,7	35,6	50,1	27,4	43,5	43,5	33,4
11-18oct/06								19,9	28,2	34,3	39,4	27,3	41,5	43,4	28,9
18-25oct/06								21,1	22,1	29,9	34,9	20,2	38,0	38,1	26,7

*No se muestreó. Tubo difusivo mal instalado.

TABLA 6.6 Concentración promedio semanal de ozono por monitor pasivo en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Período de monitoreo: 25 octubre/06 – 17 enero/07.

Fecha de monitoreo	Barbosa	Girardota	Copacabana	Bello	Autopista Norte	Museo	Fac. Minas	SENA	Av. Guayabal	Mayorca	Itagüí	Navitrans	Sabaneta	La Estrella	Caldas
24-31oct/06	33,0	40,0	38,8	33,0	28,5	39,8	22,4								
31oct-07nov/06	26,7	28,4	34,9	29,5	31,3	33,6	19,7								
07-14nov/06	34,1	37,3	39,7	31,7	29,0	33,2	23,2								
14-21nov/06	26,5	35,0	35,4	29,8	26,8	30,0	21,6								
25oct-01nov/06								25,1	33,2	30,8	44,6	26,2	51,0	43,8	31,6
01-08nov/06								20,0	30,4	28,3	30,1	28,0	47,7	45,5	29,8
08-15nov/06								22,9	29,5	24,8	29,2	24,0	40,5	42,2	30,1
15-22nov/06								21,9	29,4	28,0	24,4	20,0	37,0	35,0	26,2
21-28nov/06	32,3	33,7	32,3	32,1	28,2	30,9	23,3								
28nov-05dic/06	24,9	28,4	32,5	23,1	25,7	29,4	18,0								
05-12dic/06	25,9	28,9	37,3	25,2	26,1	27,4	18,2								
12-19dic/06	25,9	25,8	26,9	28,8	28,0	31,6	20,4								
22-29nov/06								25,0	27,3	3,1	31,6	18,9	40,2	37,8	28,1
29nov-06dic/06								19,6	23,3	50,1	31,2	23,1	41,2	42,2	31,3
06-13dic/06								23,6	27,6	31,2	27,6	25,2	40,9	40,3	27,9
13-20dic/06								18,6	24,2	28,9	25,5	22,2	*	38,0	33,1
19-26dic/06	26,7	29,4	29,4	22,7	*	26,8	19,5								
26dic/06-02ene/07	29,5	30,7	31,6	34,9	35,0	30,6	28,8								
02-09ene/07	31,6	30,1	38,7	35,0	38,1	28,8	29,0								
09-16ene/07	28,3	28,7	35,4	28,4	36,4	28,6	27,7								
20-27dic/06								18,0	28,8	29,3	24,0	20,0	46,3	39,2	33,7
27dic/06-03ene/07								24,6	23,6	26,0	25,9	23,6	40,0	39,8	31,8
03-10ene/07								24,7	27,0	27,7	24,7	27,5	42,4	46,5	34,7
10-17ene/07								17,9	20,3	31,7	21,6	21,1	34,0	38,9	32,4

*Dato reportado por el laboratorio como "unmedible" (no medible)

TABLA 6.7 Concentración promedio semanal de ozono por monitor pasivo en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Período de monitoreo: 16 enero – 11 abril/07.

Fecha de monitoreo	Barbosa	Girardota	Copacabana	Bello	Autopista Norte	Museo	Fac. Minas	SENA	Av. Guayabal	Mayorca	Itagüí	Navitrans	Sabaneta	La Estrella	Caldas
16-23ene/07		28,9	37,9	^[1]	37,5	27,1	25,3								
16-24ene/07	31,5														
23-30ene/07		27,3	35,8	36,8 ^[2]	29,5	26,9	22,1								
24-30ene/07	46,3														
30ene-06feb/07	41,8	41,9	31,1	28,3	48,1	32,2	24,7								
06-13feb/07	36,9	38,9	49,5	39,8	34,0	34,4	27,4								
17-24ene/07								26,0	32,9	35,2	32,2	31,0	47,2	57,7	45,0
24-31ene/07								25,1	30,0	27,2	31,9	33,9	38,6	49,4	39,0
31ene-07feb/07								29,4	38,1	40,2	33,0	41,5	47,2	64,6	43,3
07-14feb/07								31,3	29,4	39,9	37,7	38,6	52,3	65,0	48,0
13-20feb/07	44,1	50,4	49,6	41,8	36,7	44,9	32,1								
20-27feb/07	47,6	61,3 ^[3]	58,2	44,3	52,8	47,3	32,3								
27feb-06mar/07	43,6	53,9	55,4	37,0	46,3	40,9	30,7								
06-13mar/07	50,1	51,2	49,9	38,8	37,1	40,7	29,0								
14-21feb/07								32,7	38,2	37,5	36,8	36,9	47,9	57,8	41,9
21-28feb/07								39,4	41,5	43,9	37,8	36,4	62,9	66,1	57,2
28feb-07mar/07								30,4	31,9	46,4	35,4	31,6	46,6	63,0	47,3
07-14mar/07								31,0	45,1	40,5	34,4	28,6	53,8	57,1	42,6
13-21mar/07	50,4														
21-27mar/07	50,2														
13-20mar/07		59,8	61,3	54,8	51,2	48,9	39,8								
20-27mar/07		53,5	54,9	41,0	44,6	42,0	30,1								
27mar-03abr/07	41,2	41,2	48,3	33,7	32,9	32,5	29,2								
03-10abr/07	40,0	42,0	47,1	34,9	33,9	40,4	33,5								
14-21mar/07								41,1	41,8	44,2	38,5	37,4	58,3	60,6	49,1
21-28mar/07								31,1	37,9	33,7	32,2	27,8	44,3	46,5	36,5
28mar-04abr/07								25,7	29,0	28,9	30,2	27,1	47,1	48,5	35,4
04-11abr/07								31,2	34,0	32,8	33,8	25,9	46,2	48,5	32,8

^[1]No se muestreó.

^[2]Se usó duplicado. La concentración es el promedio aritmético de los 2 valores obtenidos: 36,1 y 37,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

^[3]Se usó duplicado. La concentración es el promedio aritmético de los 2 valores obtenidos: 60,8 y 61,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

TABLA 6.8 Concentración promedio semanal de ozono por monitor pasivo en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Período de monitoreo: 10 abril – 06 agosto/07.

Fecha de monitoreo	Barbosa	Girardota	Copacabana	Bello	Autopista Norte	Museo	Fac. Minas	SENA	Av. Guayabal	Mayorca	Itagüí	Navitrans	Sabaneta	La Estrella
10-17abr/07	35,4	37,1	43,0	38,4	37,5	37,2	30,6							
17-25abr/07	35,6													
25-30abr/07	37,8													
17-24abr/07		42,1	34,0	32,0	29,5	32,3	23,1							
24-30abr/07		43,5	48,2	35,2	38,7	35,5	23,6							
30abr-08may/07	31,7	29,6	30,6	26,7	30,6	32,4	24,7							
11-18abr/07								27,3	34,1	32,9	26,6	24,6	38,6	40,5
18-25abr/07								21,7	30,1	27,8	32,8	24,4	44,7	45,5
25abr-02may/07								22,9	34,6	31,5	34,4	25,1	47,4	51,6
02-09may/07								25,4	32,9	28,2	31,0	23,3	38,0	45,7
08-15may/07	29,4	26,0	33,7	26,8	32,2	28,3	21,1							
15-22may/07	33,2	36,0	44,8	26,2	28,8	35,6	28,5							
22-29may/07	27,6	33,2	32,0	22,2	31,5	37,2	23,6							
29may-05jun/07	30,2	33,6	36,5	25,4	26,1	28,4	22,9							
09-16may/07								17,7	22,1	22,8	29,6	26,6	38,8	50,0
16-23may/07								23,6	34,9	28,7	25,1	25,5	46,7	45,4
23-30may/07								23,8	32,0	23,1	25,4	18,6	30,3	31,5
30may-06jun/07								18,9	27,3	26,5	26,5	19,5	33,1	36,2
05-12jun/07	26,2	32,2	31,9	25,4	25,5	23,8	19,8							
12-19jun/07	31,2	31,6	31,4	23,4	26,9	25,3	22,9							
19-26jun/07	27,2	22,3	31,8	17,2	23,0	23,3	18,6							
26jun-03jul/07	26,0	29,2	22,5	22,5	28,9	23,3	17,4							
06-13jun/07								17,3	27,8	24,1	29,2	24,1	39,5	39,9
13-20jun/07								19,1	24,5	22,8	30,4	17,1	36,4	27,0
20-27jun/07								23,4	25,3	25,5	26,2	21,7	32,0	39,0
27jun-04jul/07								23,3	24,5	20,0	23,5	21,9	31,6	30,9
03-10jul/07	28,5	29,2	21,2	31,0	31,0	30,7	21,2							
10-17jul/07	31,5	35,7	36,7	26,2	25,9	26,4	19,9							
17-24jul/07	37,0	33,9	*	26,4	27,5	32,5	23,4							
24-31jul/07	34,2	37,0	45,9	25,7	41,2	36,9	26,4							
31jul-06ago/07				30,3	32,5									
04-11jul/07								27,8	26,6	29,2	27,5	21,7	43,9	38,6
11-18jul/07								22,1	27,2	27,3	27,5	24,9	40,8	42,3
18-25jul/07								25,8	37,8	28,4	29,4	28,1	54,2	47,7
25jul-01ago/07								24,4	32,8	30,3	32,6	29,1	50,8	57,5

*Muestra perdida porque no se pudo ingresar al sitio a los 7 días de exposición.

TABLA 6.9 Concentración promedio mensual de ozono por monitor pasivo en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Período de monitoreo: 01 agosto/06 – 06 agosto/07.

Fecha de monitoreo	Barbosa	Girardota	Copacabana	Bello	Autopista Norte	Museo	Fac. Minas	SENA	Av. Guayabal	Mayorca	Itagüí	Navitrans	Sabaneta	La Estrella	Caldas
01-30ago/06	32,4	41,0	37,9			35,6	26,6								
02-30ago/06								24,7	33,9	27,6	43,7	29,0	45,0	50,8	35,5
29ago-26sep/06	41,5	40,8	45,7	37,2	34,0	39,3	29,1								
30ago-27sep/06								26,2	35,2	39,6	46,6	32,2	52,6	57,7	37,5
26sep-24oct/06	30,1	34,7	37,2	33,3	29,2	31,8	21,0								
27sep-25oct/06								21,8	25,6	33,7	42,2	25,6	41,8	42,6	30,7
24oct-21nov/06	30,1	35,2	37,2	31,0	28,9	34,2	21,7								
25oct-22nov/06								22,5	30,6	28,0	32,1	24,6	44,1	41,6	29,4
21nov-19dic/06	27,3	29,2	32,3	27,3	27,0	29,8	20,0								
22nov-20dic/06								21,7	25,6	28,3	29,0	22,4	40,8	39,6	30,1
19dic/06-16ene/07	29,0	29,7	33,8	30,3	36,5	28,7	26,3								
20dic/06-17ene/07								21,3	24,9	28,7	24,1	23,1	40,7	41,1	33,2
16ene-13feb/07	39,1	34,3	38,6	35,0	37,3	30,2	24,9								
17ene-14feb/07								28,0	32,6	35,6	33,7	36,3	46,3	59,2	43,8
13feb-13mar/07	46,4	54,2	53,3	40,5	43,2	43,5	31,0								
14feb-14mar/07								33,4	39,2	42,1	36,1	33,4	52,8	61,0	47,3
13mar-10abr/07	45,5	49,1	52,9	41,1	40,7	41,0	33,2								
14mar-11abr/07								32,3	35,7	34,9	33,7	29,6	49,0	51,0	38,5
10abr-08may/07	35,1	38,1	39,0	33,1	34,1	34,4	25,5								
11abr-09may/07								24,3	32,9	30,1	31,2	24,4	42,2	45,8	36,3
08may-05jun/07	30,1	32,2	36,8	25,2	29,7	32,4	24,0								
09may-06jun/07								21,0	29,1	25,3	26,7	22,6	37,2	40,8	28,7
05jun-03jul/07	27,7	28,8	29,4	22,1	26,1	23,9	19,7								
06jun-04jul/07								20,8	25,5	23,1	27,3	21,2	34,9	34,2	32,2
03-31jul/07	32,8	34,0	34,6			31,6	22,7								
04jul-01ago/07								25,0	31,1	28,8	29,3	26,0	47,4	46,5	35,8
31jul-06ago/07				30,3	32,5										
Norma Colombiana octohoraria	80,0	80,0	80,0	80,0	80,0	80,0	80,0	80,0	80,0	80,0	80,0	80,0	80,0	80,0	80,0
Norma Colombiana horaria	120,0	120,0	120,0	120,0	120,0	120,0	120,0	120,0	120,0	120,0	120,0	120,0	120,0	120,0	120,0
PROMEDIO ARITMÉTICO	34,4	37,0	39,1	32,2	33,2	33,5	25,0	24,8	30,9	31,2	33,5	26,9	44,2	47,1	35,3
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	6,6	7,7	7,3	6,0	5,7	5,3	4,2	4,2	4,6	5,6	6,9	4,7	5,4	8,3	5,6
VALOR MÁXIMO	46,4	54,2	53,3	41,1	43,2	43,5	33,2	33,4	39,2	42,1	46,6	36,3	52,8	61,0	47,3
VALOR MÍNIMO	27,3	28,8	29,4	22,1	26,1	23,9	19,7	20,8	24,9	23,1	24,1	21,2	34,9	34,2	28,7

Las concentraciones promedio semanales de ozono para cada mes de monitoreo se ilustran en las figuras 6.9 a 6.21, éstos valores no sobrepasan la Norma Colombiana Octohoraria de $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y Horaria de $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Se observa que para éste contaminante, a diferencia del dióxido de azufre y el dióxido de nitrógeno, las mayores concentraciones se registran en los sitios de monitoreo ubicados en la zona norte y sur del Área Metropolitana. Éste comportamiento se atribuye a las características de formación del ozono en la atmósfera, por reacciones fotoquímicas de los óxidos de nitrógeno, que al dispersarse en el aire, tiende a acumularse en las laderas, tal como se ha evidenciado en estudios de calidad del aire con monitores automáticos en el Valle de Aburrá. Es por tal razón que las zonas norte y sur del Área Metropolitana, por sus características rurales y topográficas, actúan como sumideros de ozono. Además, los resultados permiten corroborar el estudio realizado por Corantioquia de evaluación de los niveles de ozono en las zonas rurales del Valle de Aburrá, en donde se registran mayores concentraciones en Sabaneta y La Estrella que en Caldas, debido al ascenso de vientos que se da en el extremo sur del valle por la topografía existente (lo que se conoce como el ancón sur), que disminuye la formación de ozono en éste municipio.

El rango de valores obtenidos para las concentraciones de ozono, está dentro de la zona de funcionamiento normal de los tubos difusivos (Ver figuras 6.9 a 6.21), lo que indica que no hay saturación para los 7 días de medición. La muestra de ozono tomada en la estación Copacabana durante el período del 17-27jul/07 (ver TABLA 6.8) debió ser descartada porque no se pudo ingresar al sitio de monitoreo a los 7 días de exposición del captador, lo que arrojó un dato erróneo en el análisis de laboratorio.

El uso de duplicados en las Estaciones Bello (23-30ene/07) y Girardota (20-27feb/07), muestra la confiabilidad del método de muestreo difusivo. En estos dos casos las concentraciones obtenidas son muy aproximadas: 36.1 y $37.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para Bello, $60,8$ y $61,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para Girardota.

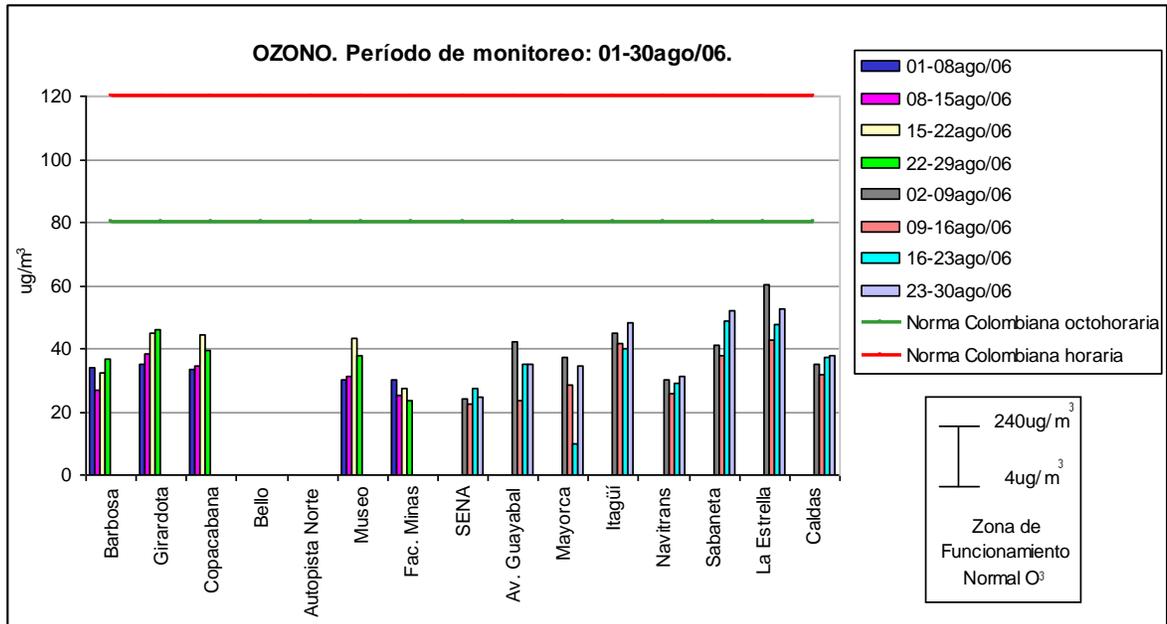


FIGURA 6.9. Concentración promedio semanal de ozono por monitor pasivo en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Período de monitoreo: 01-30 agosto/2006.

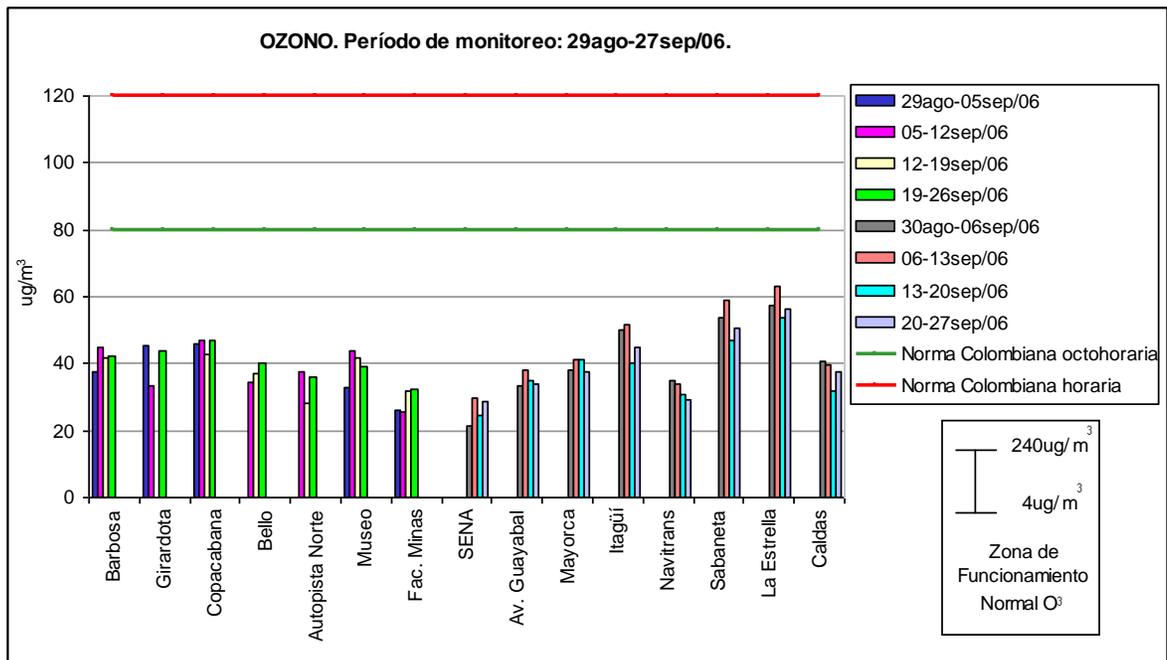


FIGURA 6.10 Concentración promedio semanal de ozono por monitor pasivo en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Período de monitoreo: 29 agosto - 27 septiembre/2006.

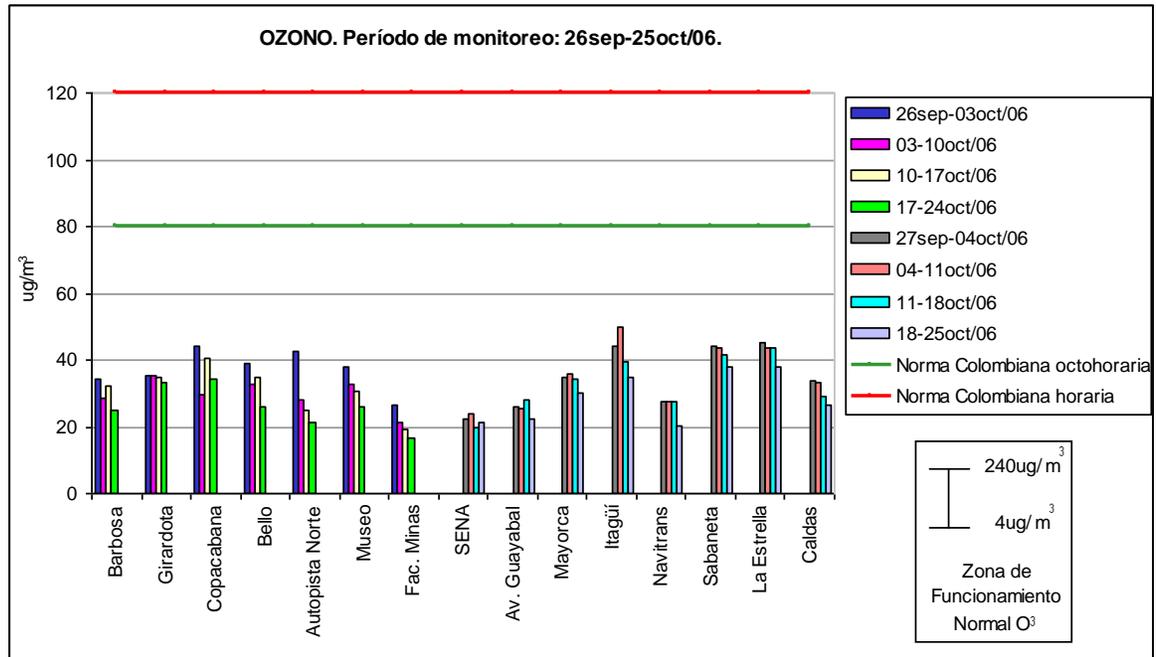


FIGURA 6.11. Concentración promedio semanal de ozono por monitor pasivo en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Período de monitoreo: 26 septiembre - 25 octubre/2006.

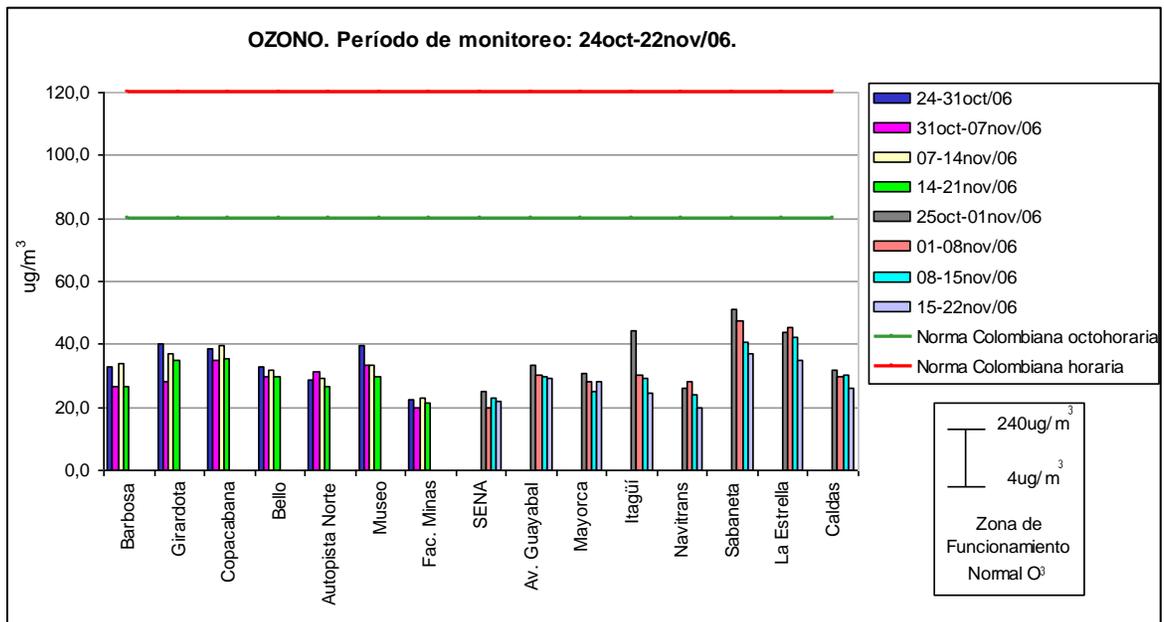


FIGURA 6.12. Concentración promedio semanal de ozono por monitor pasivo en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Período de monitoreo: 24 octubre - 22 noviembre/2006.

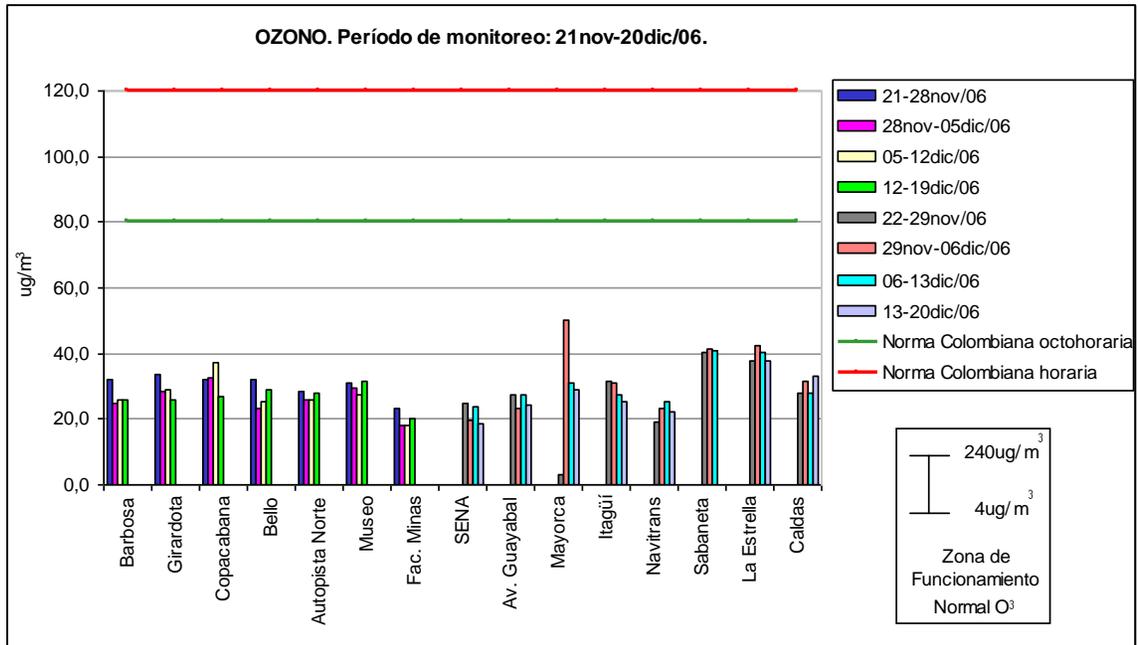


FIGURA 6.13 Concentración promedio semanal de ozono por monitor pasivo en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Período de monitoreo: 21 noviembre - 20 diciembre/2006.

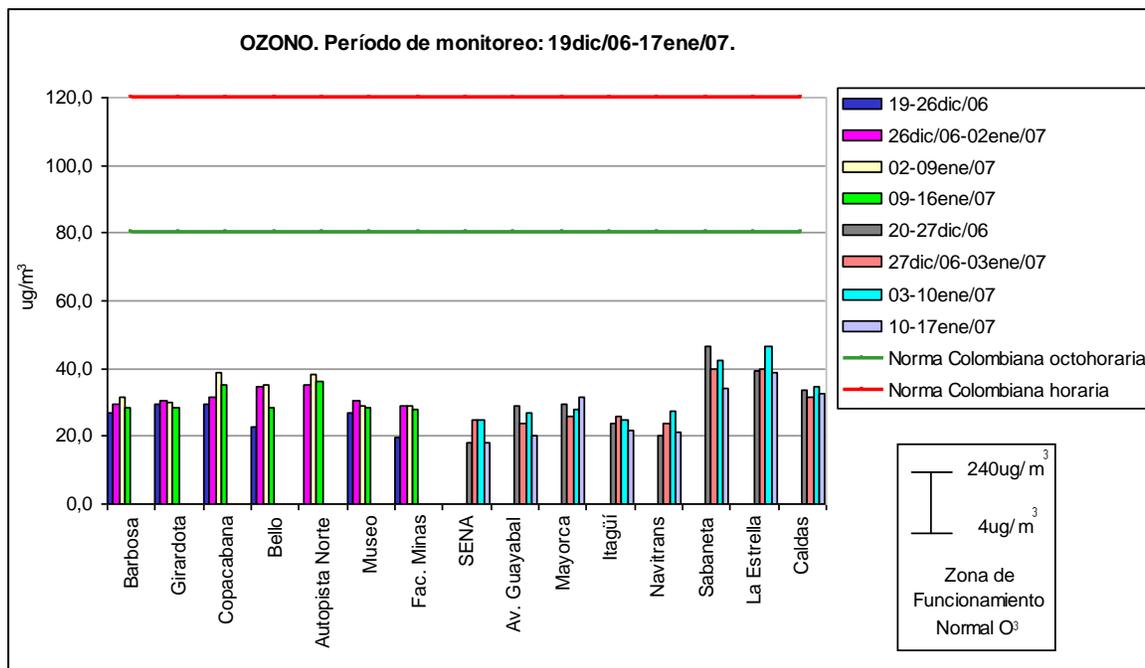
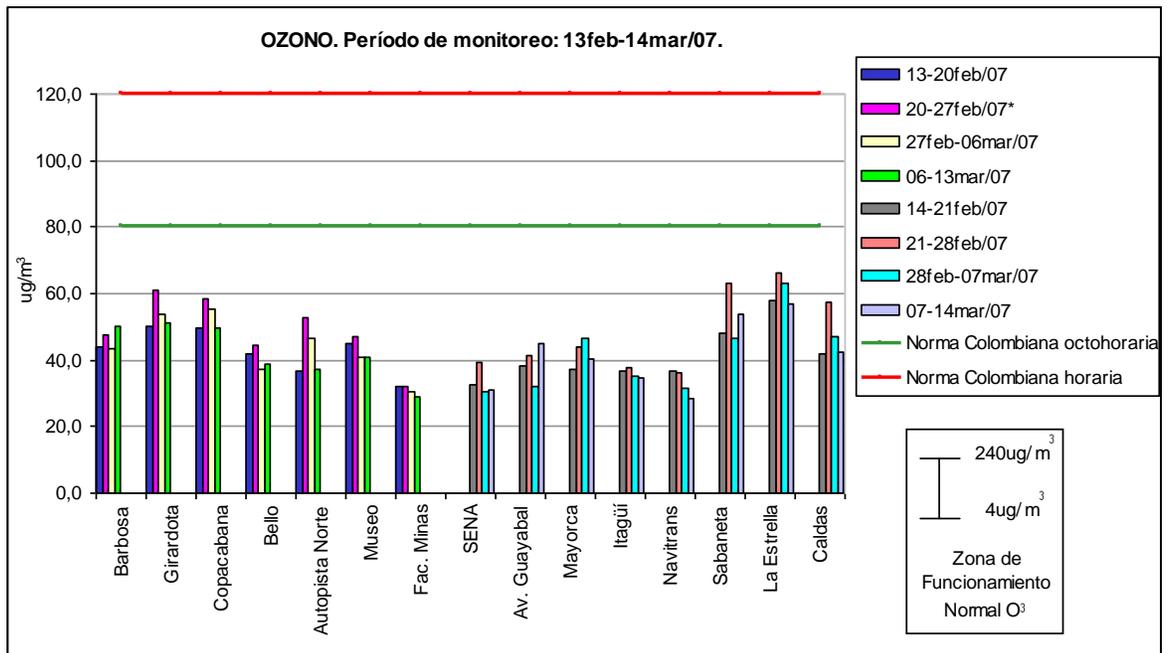
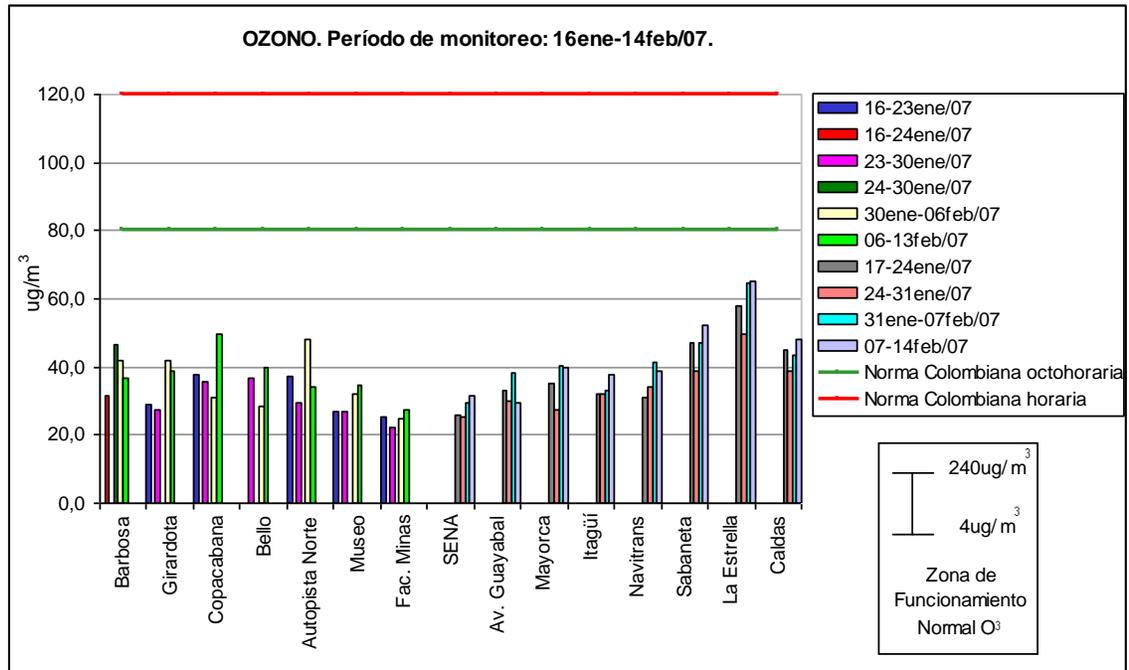


FIGURA 6.14 Concentración promedio semanal de ozono por monitor pasivo en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Período de monitoreo: 19 diciembre/06 - 17 enero/07.



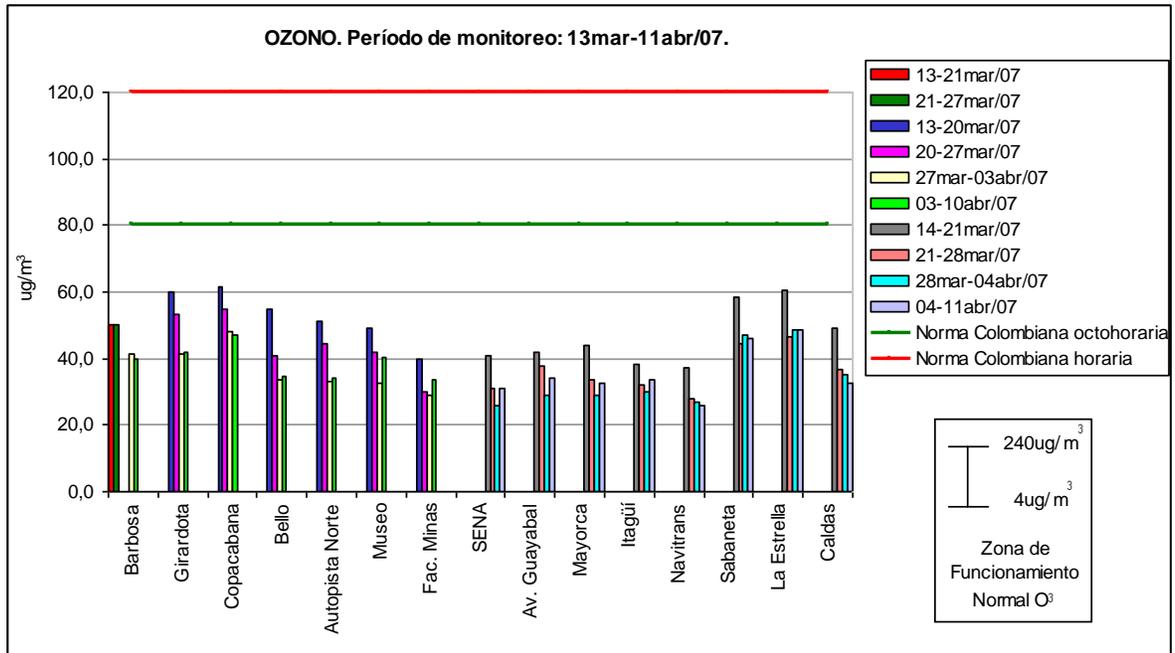


FIGURA 6.17 Concentración promedio semanal de ozono por monitor pasivo en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Período de monitoreo: 13 marzo - 11 abril/07.

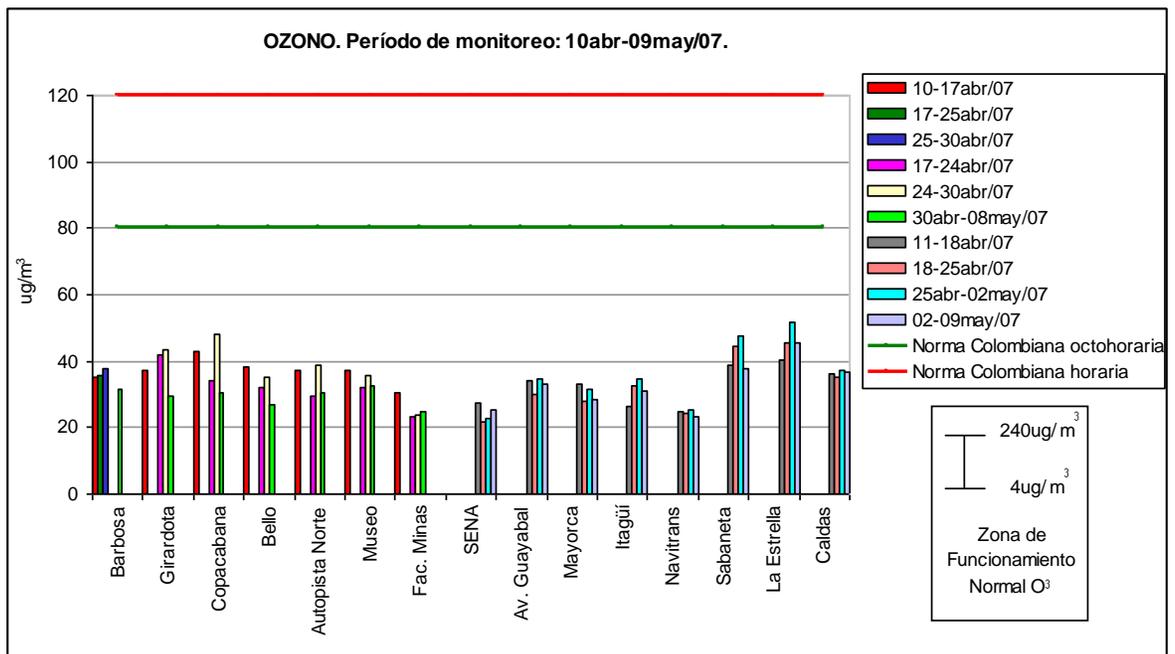
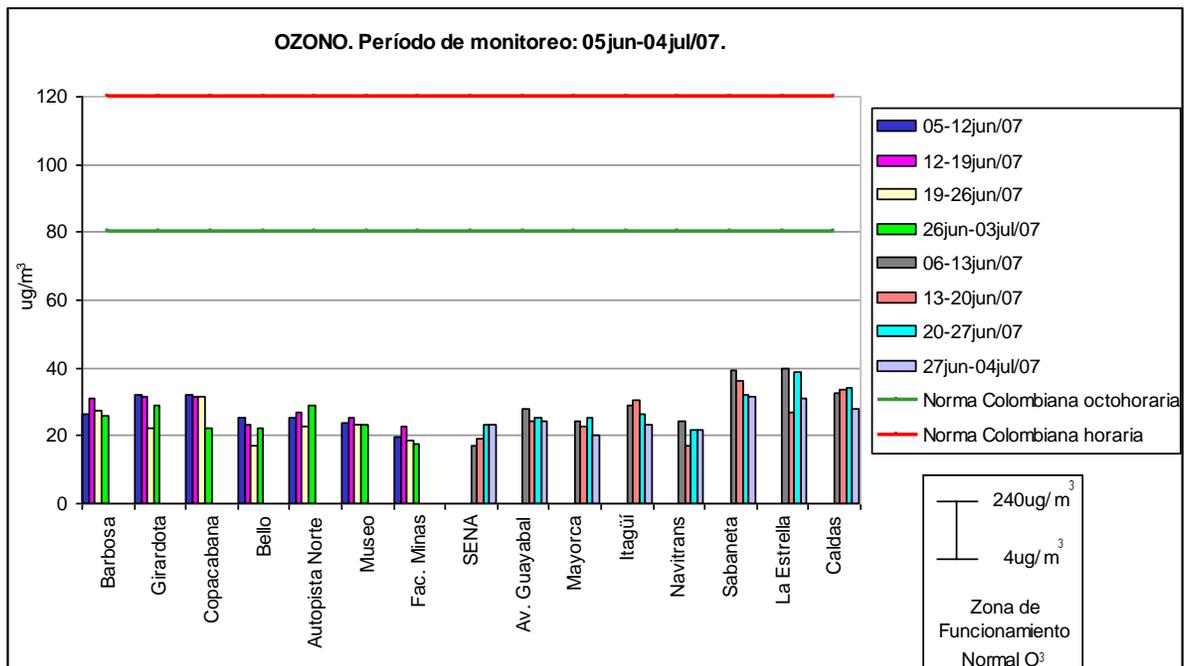
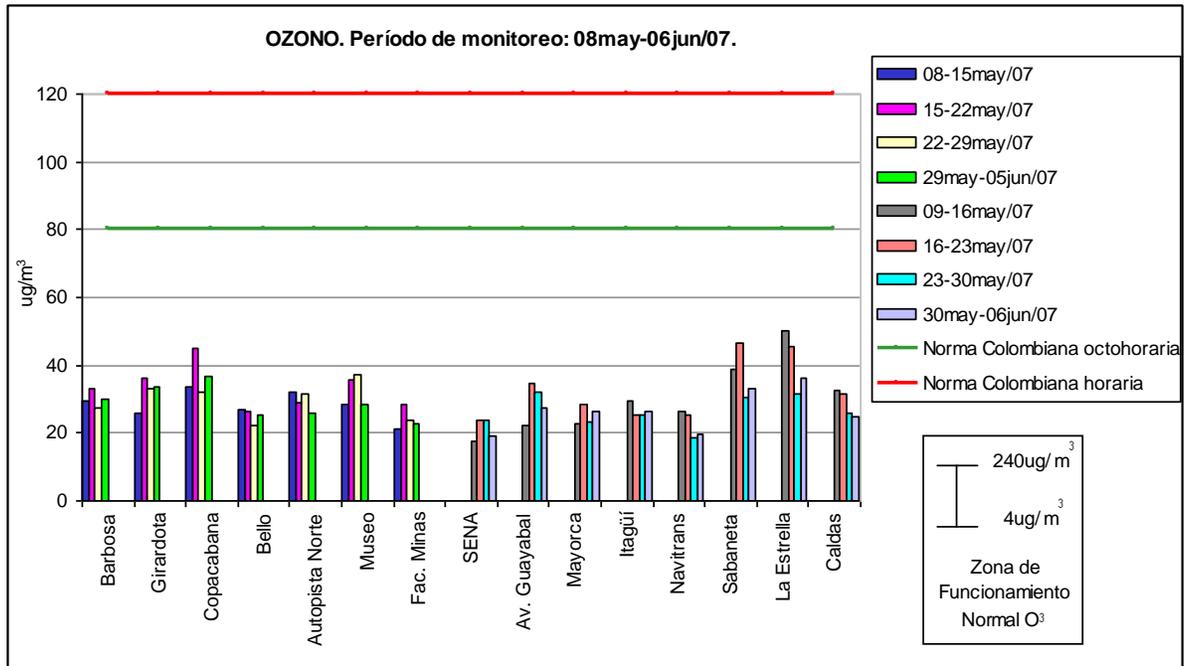


FIGURA 6.18 Concentración promedio semanal de ozono por monitor pasivo en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Período de monitoreo: 10 abril - 09 mayo/07.



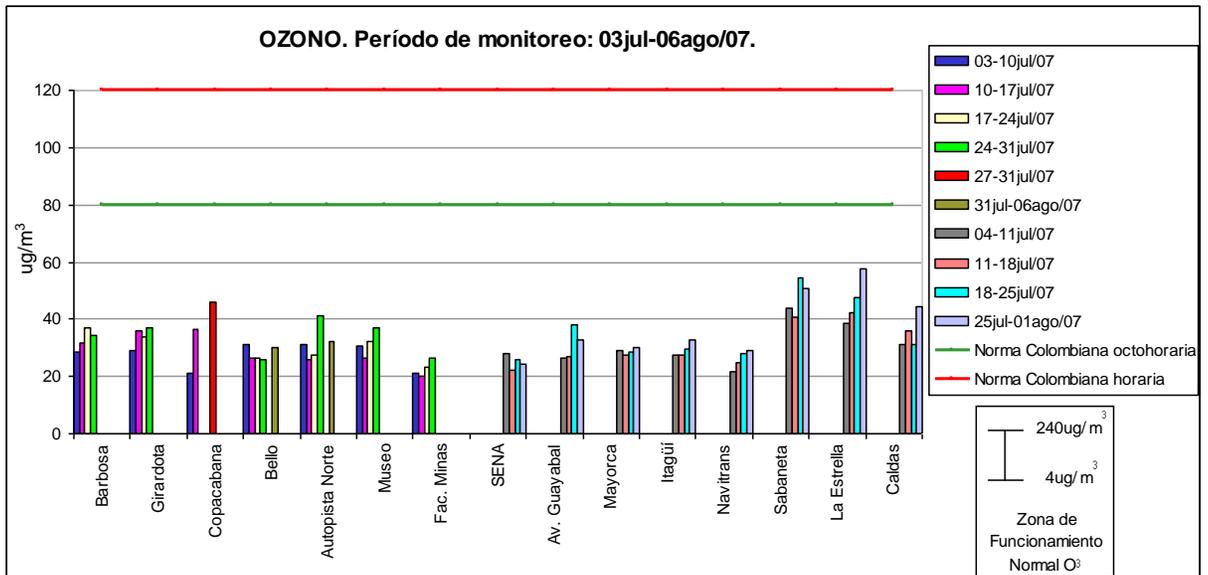


FIGURA 6.21 Concentración promedio semanal de ozono por monitor pasivo en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Período de monitoreo: 03 julio - 06 agosto/07.

6.5 COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES.

Las tablas 6.10 a 6.13 muestran las concentraciones promedio mensuales para cada uno de los compuestos orgánicos volátiles que son analizados: benceno, tolueno, etilbenceno y xilenos. Todos los valores reportados son superiores al límite de detección del método de cromatografía de gases para análisis de BTX ($0.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$), a su vez, están dentro del rango de trabajo ó zona de funcionamiento normal de los tubos difusivos, tal como lo indican las figuras 6.20 a 6.35.

6.5.1 Benceno.

Las Figuras 6.22 a 6.25, ilustran el comportamiento mensual del benceno en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá durante los cuatro trimestres de monitoreo respectivamente. Las concentraciones más altas se registran en las estaciones Autopista Norte, Museo, Facultad de Minas, SENA, Avenida Guayabal, Navitrans, Mayorca, Itagüí y Sabaneta, las cuales muestran una tendencia a superar la Norma Colombiana Anual de $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Estos niveles están asociados directamente con las emisiones de los vehículos que funcionan a gasolina, como taxis, particulares, camionetas y microbuses que todavía utilizan la gasolina como combustible. Es importante anotar que la Organización Mundial de la Salud no recomienda un valor seguro de exposición al benceno, el cual tiene efectos cancerígenos en la salud humana.

En la parte inferior de las gráficas de resultados se registran las observaciones de campo que pueden ser útiles para el análisis de la información.

En el primer trimestre de monitoreo los niveles más altos de benceno se alcanzan en la estación SENA, caracterizada por la cercanía a vías de alto flujo vehicular (ver FIGURA 6.22). En la estación Itagüí se observa que las concentraciones aumentaron en el segundo trimestre de monitoreo (ver FIGURA 6.23), esto se debe a que en dicho período se cambió la ubicación inicial de los medidores pasivos por un sitio más cercano a la vía y por consiguiente los tubos difusivos alcanzan a captar mayores concentraciones de benceno.

El tercer trimestre de monitoreo coincidió con la temporada de lluvias, en éste se observa que las concentraciones disminuyeron en comparación con los otros períodos de monitoreo (ver FIGURA 6.24). Es importante anotar que el benceno presente en el aire se disuelve en el agua y puede llegar a contaminar aguas superficiales y subterráneas.

En el cuarto trimestre de monitoreo las estaciones Autopista Norte, Museo, Facultad de Minas, SENA, Av. Guayabal, Mayorca, Itagüí y Navistrans reportan concentraciones superiores a la Norma Colombiana Anual de $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (ver

FIGURA 6.25). Se observa el aumento de las concentraciones de benceno detectadas en las estaciones Bello y Autopista Norte durante el período de monitoreo comprendido entre el 10jul-06ago/07, debido al aumento del flujo vehicular en la Autopista Norte por el cierre de la Avenida Regional. También se observa que en la estación Barbosa, se registra un evento extraordinario de contaminación en el período 05jun-03jul/07, alcanzando un valor máximo de $6.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Éste evento se atribuye a que en dicho período se presentaron 3 días festivos, donde es posible que se haya incrementado el flujo vehicular en la Troncal Medellín-Puerto Berrío.

Para la estación Facultad de Minas no se reportan resultados en las fechas de análisis comprendidas entre el 19dic/06-16ene/07 y el 8may-5jun/07 (ver TABLA 6.10) debido a que el tubo se desintegró durante el muestreo. Éste comportamiento se debe al efecto del calor que hace que se salgan los tapones del tubo. Éste efecto fue subsanado en las mediciones posteriores sujetando los extremos del tubo con un clip, por recomendación del Laboratorio Passam, fabricante de los medidores.

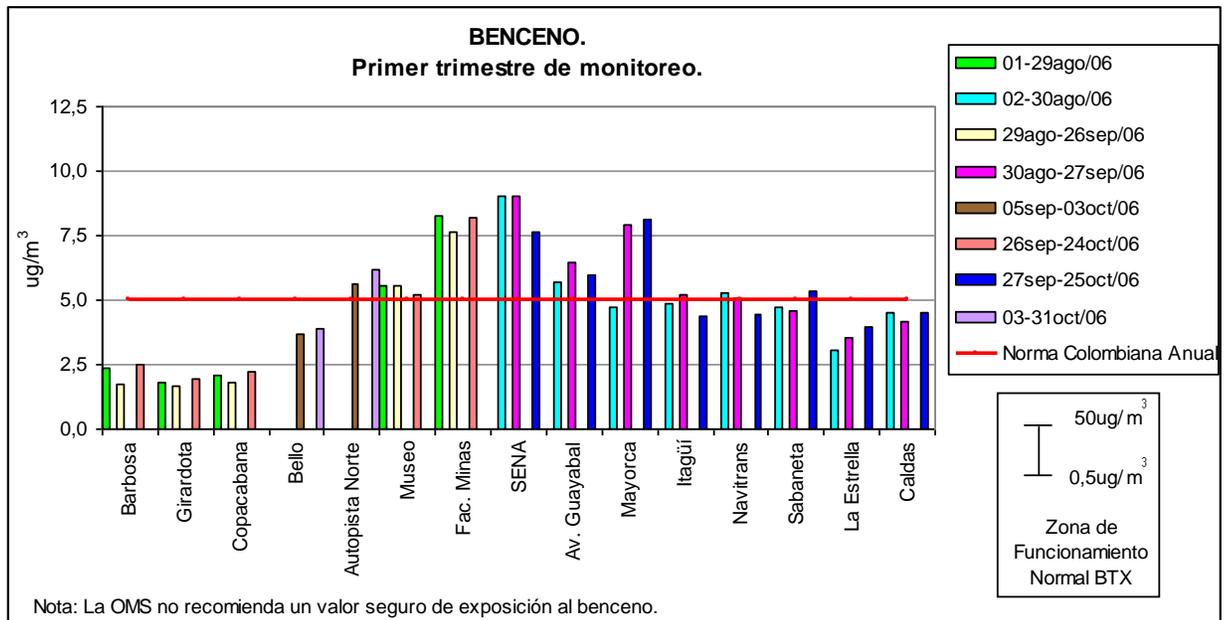


FIGURA 6.22. Concentración promedio mensual de Benceno por monitor pasivo en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Primer trimestre de monitoreo.

Fecha	Observaciones de campo
07ago, 21ago, 16oct/06	Lunes festivo.

TABLA 6.10. Concentración promedio mensual de Benceno por monitor pasivo en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Fecha de monitoreo	Barbosa	Girardota	Copacabana	Bello	Autopista Norte	Museo	Fac. Minas	SENA	Av. Guayabal	Mayorca	Itagüí	Navitrans	Sabaneta	La Estrella	Caldas
01-29ago/06	2,4	1,8	2,1			5,6	8,2								
02-30ago/06								9,0	5,7	4,7	4,9	5,3	4,7	3,0	4,5
29ago-26sep/06	1,8	1,7	1,8			5,6	7,7								
30ago-27sep/06								9,0	6,5	7,9	5,2	5,1	4,6	3,5	4,2
05sep-03oct/06				3,7	5,6										
26sep-24oct/06	2,5	1,9	2,2			5,2	8,2								
27sep-25oct/06								7,6	6,0	8,1	4,4	4,4	5,4	3,9	4,5
03-31oct/06				3,9	6,2										
24oct-21nov/06	2,1	2,1	2,3			6,1	9,0								
25oct-22nov/06								8,9	6,9	5,3	8,0	5,6	5,5	4,5	5,6
31oct-28nov/06				4,8	7,0										
21nov-19dic/06	2,4	2,0	2,1			6,6	9,0								
22nov-20dic/06								9,0	7,3	6,5	10,7	6,0	5,8	4,9	6,1
28nov-26dic/06				4,6	6,6										
19dic/06-16ene/07	1,9	1,9	1,9			5,2	*								
20dic/06-17ene/07								7,1	6,6	6,4	10,8	5,9	6,1	5,0	5,9
26dic/06-23ene/07				3,8	5,5										
16ene-13feb/07	2,4	1,9	2,1			5,1	8,2								
17ene-14feb/07								6,8	5,4	5,7	9,9	5,4	5,4	4,0	5,1
23ene-20feb/07				3,5	5,4										

* Dato no disponible. El muestreador se desintegró.

Fecha de monitoreo	Barbosa	Girardota	Copacabana	Bello	Autopista Norte	Museo	Fac. Minas	SENA	Av. Guayabal	Mayorca	Itagüí	Navitrans	Sabaneta	La Estrella	Caldas
13feb-13mar/07	2,8	2,1	2,1			5,0	8,1								
14feb-14mar/07								7,7	5,7	5,4	9,7	6,2	5,3	4,2	5,1
20feb-20mar/07				4,2	5,8										
13mar-10abr/07	1,9	2,1	2,1			5,8	5,4								
14mar-11abr/07								7,9	6,2	5,6	8,6	5,2	4,6	4,3	4,2
20mar-17abr/07				4,0	5,8										
10abr-8may/07	*	2,0	1,9			6,0	9,1								
11abr-9may/07								8,7	6,9	5,8	9,3	5,4	5,0	5,7	4,7
17abr-15may/07				4,5	6,5										
8may-5jun/07	1,8	1,9	2,5			6,2	*								
9may-6jun/07								9,5	6,5	6,6	9,1	5,0	4,9	4,3	4,6
15may-12jun/07				4,5	6,4										
05jun-03jul/07	6,7	1,2	1,8			5,1	6,8								
06jun-04jul/07								1,8	4,6	5,9	8,2	4,8	4,9	3,5	4,0
12jun-10jul/07				2,8	4,3										
03-31jul/07	1,4	1,3	1,6			4,3	6,5								
04jul-01ago/07								7,0	4,6	6,0	7,8	5,0	4,6	3,3	4,0
10jul-06ago/07				3,5	4,9										
Norma Colombiana Anual	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
PROMEDIO ARITMÉTICO	2,5	1,8	2,0	4,0	5,8	5,5	7,8	7,7	6,1	6,2	8,2	5,3	5,1	4,2	4,8
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	1,4	0,3	0,2	0,6	0,8	0,6	1,2	2,0	0,8	1,0	2,2	0,5	0,5	0,7	0,7
VALOR MÁXIMO	6,7	2,1	2,5	4,8	7,0	6,6	9,1	9,5	7,3	8,1	10,8	6,2	6,1	5,7	6,1
VALOR MÍNIMO	1,4	1,2	1,6	2,8	4,3	4,3	5,4	1,8	4,6	4,7	4,4	4,4	4,6	3,0	4,0

* Dato no disponible. El muestreador se desintegró.

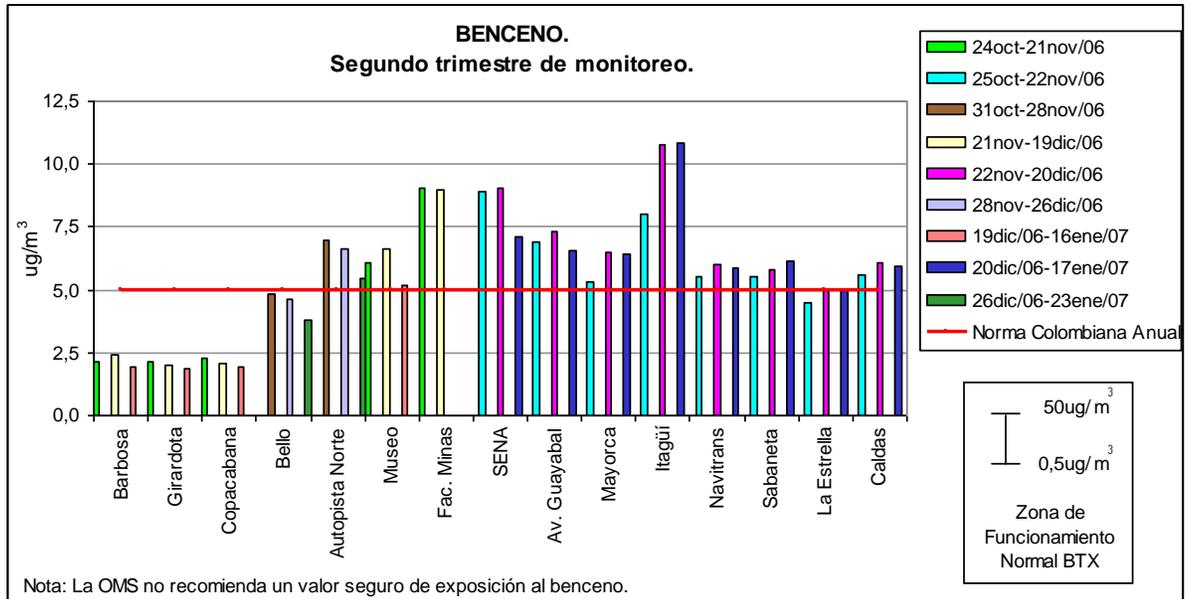


FIGURA 6.23 Concentración promedio mensual de Benceno por monitor pasivo en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Segundo trimestre de monitoreo.

Estación	Fecha	Observaciones de campo
Itagüí	01nov/06	Se cambió el sitio de muestreo a una terraza más cerca a la vía.
Mayorca	22nov/06	Se habilita el parqueadero cerca de los muestreadores.
Caldas	03ene/07	Traslado del paradero de microbuses ubicado al frente de la estación.
-	06 y 13nov, 08 y 05dic/06; 01 y 08ene/07	Día festivo.

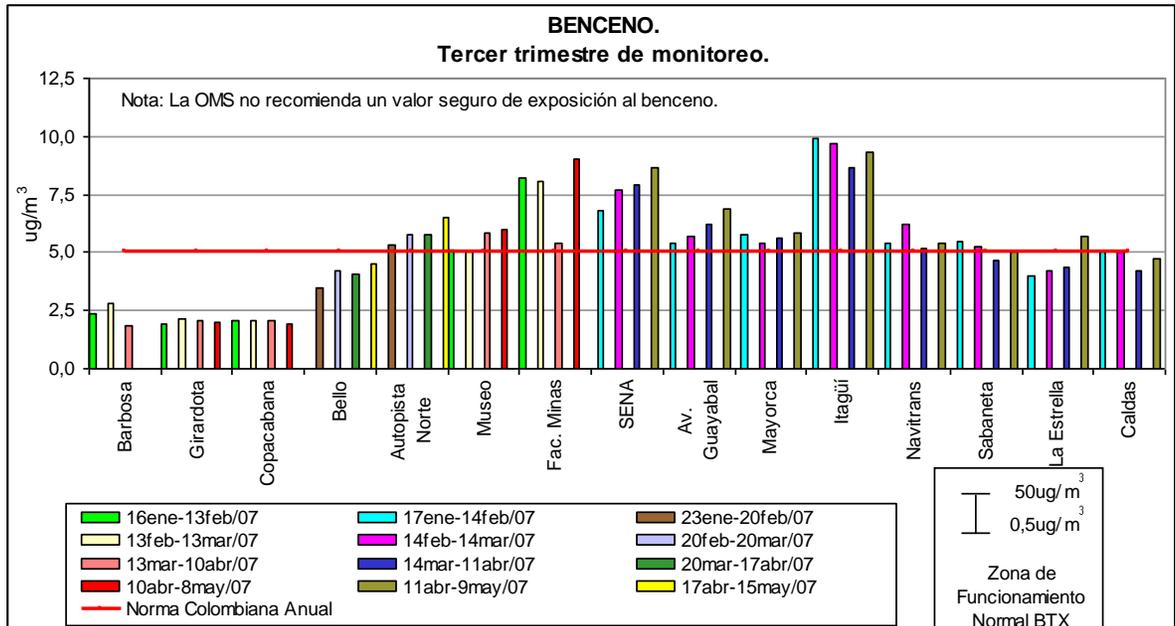


FIGURA 6.24 Concentración promedio mensual de Benceno por monitor pasivo en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Tercer trimestre de monitoreo.

Estación	Fecha	Observaciones de campo
Navitrans	17ene a 07mar/07	Trabajos de repavimentación en la vía (Autopista Sur).
-	19mar, 5 y 6abr y 01may/07	Días festivos.
Mayorca	21mar/07	Se cambió el sitio de monitoreo a una terraza separada del parqueadero.

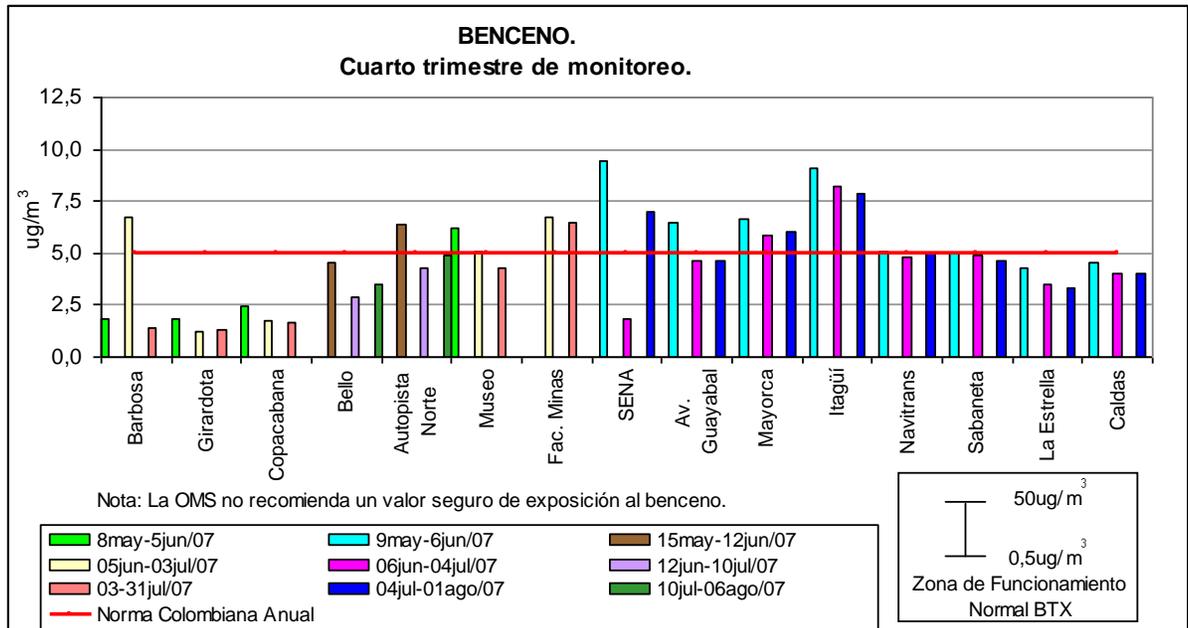


FIGURA 6.25 Concentración promedio mensual de Benceno por monitor pasivo en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Cuarto trimestre de monitoreo.

Estación	Fecha	Observaciones de campo
Autopista Note y Bello	03jul a 6ago/07	Cierre de la Avenida Regional. Incremento del flujo vehicular en la Autopista Norte.
-	21may, 11 y 18 jun y 2 y 20jul/07	Días festivos.

6.5.2 Tolueno.

TABLA 6.11. Concentración promedio mensual de Tolueno por monitor pasivo en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Fecha de monitoreo	Barbosa	Girardota	Copacabana	Bello	Autopista Norte	Museo	Fac. Minas	SENA	Av. Guayabal	Mayorca	Itagüí	Navitrans	Sabaneta	La Estrella	Caldas
01-29ago/06	6,1	4,3	8,5			26,2	20,7								
02-30ago/06								25,9	28,2	24,4	24,2	26,9	21,0	14,3	15,4
29ago-26sep/06	2,5	4,3	8,1			29,9	22,5								
30ago-27sep/06								26,3	24,1	28,1	28,6	23,3	23,3	15,9	14,3
05sep-03oct/06				16,4	15,3										
26sep-24oct/06	4,4	5,7	11,4			27,9	21,9								
27sep-25oct/06								24,3	23,6	27,0	24,6	23,9	25,2	14,7	14,1
03-31oct/06				17,6	22,5										
24oct-21nov/06	2,9	4,8	8,4			32,6	24,2								
25oct-22nov/06								27,8	28,7	28,7	38,4	33,1	27,6	21,8	16,5
31oct-28nov/06				20,5	25,6										
21nov-19dic/06	3,8	4,9	9,5			38,2	23,6								
22nov-20dic/06								27,1	30,7	28,7	49,4	30,7	31,6	19,4	20,8
28nov-26dic/06				20,6	20,4										
19dic/06-16ene/07	3,3	4,3	7,3			25,0	*								
20dic/06-17ene/07								19,9	25,2	23,8	51,9	28,2	24,6	17,2	25,2
26dic/06-23ene/07				15,8	17,3										
16ene-13feb/07	3,2	4,2	6,5			24,4	19,1								
17ene-14feb/07								20,3	21,0	23,7	46,4	33,4	25,9	22,2	17,8
23ene-20feb/07				17,3	20,1										

* Dato no disponible. El muestreador se desintegró.

Fecha de monitoreo	Barbosa	Girardota	Copacabana	Bello	Autopista Norte	Museo	Fac. Minas	SENA	Av. Guayabal	Mayorca	Itagüí	Navitrans	Sabaneta	La Estrella	Caldas
13feb-13mar/07	3,0	4,9	6,6			24,0	20,7								
14feb-14mar/07								22,2	20,2	22,9	42,0	36,7	24,8	14,5	16,2
20feb-20mar/07				13,2	17,8										
13mar-10abr/07	2,9	4,2	7,6			35,8	14,2								
14mar-11abr/07								26,6	30,2	25,5	39,3	26,2	25,7	16,4	14,9
20mar-17abr/07				16,5	19,9										
10abr-8may/07	*	6,3	8,4			32,9	26,4								
11abr-9may/07								28,1	61,5	24,5	41,8	25,4	25,9	36,3	16,3
17abr-15may/07				34,4	20,8										
8may-5jun/07	3,9	5,6	12,8			32,4	*								
9may-6jun/07								27,4	28,3	34,2	34,2	22,9	23,5	15,8	15,4
15may-12jun/07				16,5	21,9										
05jun-03jul/07	18,1	3,2	11,3			71,9	71,9								
06jun-04jul/07								2,4	17,4	20,5	27,9	20,4	24,1	11,6	12,5
12jun-10jul/07				11,1	12,2										
03-31jul/07	2,4	4,0	12,9			25,0	16,9								
04jul-01ago/07								22,3	21,5	24,8	38,3	28,9	28,0	12,9	14,3
10jul-06ago/07				12,8	16,1										
PROMEDIO ARITMÉTICO	4,7	4,7	9,2	17,7	19,2	32,8	25,7	23,1	27,7	25,9	37,5	27,7	25,5	17,9	16,4
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	4,4	0,8	2,2	6,0	3,6	12,6	15,7	6,8	10,9	3,5	9,1	4,8	2,6	6,4	3,3
VALOR MÁXIMO	18,1	6,3	12,9	34,4	25,6	71,9	71,9	28,1	61,5	34,2	51,9	36,7	31,6	36,3	25,2
VALOR MÍNIMO	2,4	3,2	6,5	11,1	12,2	24,0	14,2	2,4	17,4	20,5	24,2	20,4	21,0	11,6	12,5

* Dato no disponible. El muestreador se desintegró.

Las concentraciones promedio mensuales de tolueno en los cuatro trimestres de monitoreo son ilustradas en las figuras 6.26 a 6.29. Las concentraciones registradas son inferiores al valor límite semanal de $260 \mu\text{g}/\text{m}^3$ establecido por la Norma Colombiana para el tolueno. Esto indica que no hay problemas de contaminación del aire por tolueno en el Área Metropolitana.

En el segundo trimestre de monitoreo se alcanzaron a detectar concentraciones en la estación Itagüí por encima del rango de funcionamiento normal del tubo difusivo para BTX ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$), sin presentarse inconveniente alguno en el análisis de laboratorio.

En el segundo trimestre de monitoreo se observa el mismo comportamiento analizado anteriormente para la estación Itagüí, en donde las concentraciones aumentaron al ubicar los tubos pasivos más cerca de la vía.

Las concentraciones registradas durante el período comprendido entre el 05jun-03jul/07 en las estaciones Museo y Facultad de Minas aumentaron con respecto a los otros períodos de medición, alcanzando valores por encima de los $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Éste incremento puede obedecer a los tres lunes festivos que se presentaron en el período de monitoreo, en éstos fines de semana aumenta el flujo de automóviles que se desplaza por la carretera al mar hacia el occidente antioqueño con fines recreativos. En el centro de la ciudad el transporte público disminuye y se presenta mayor actividad de los vehículos que funcionan a gasolina.

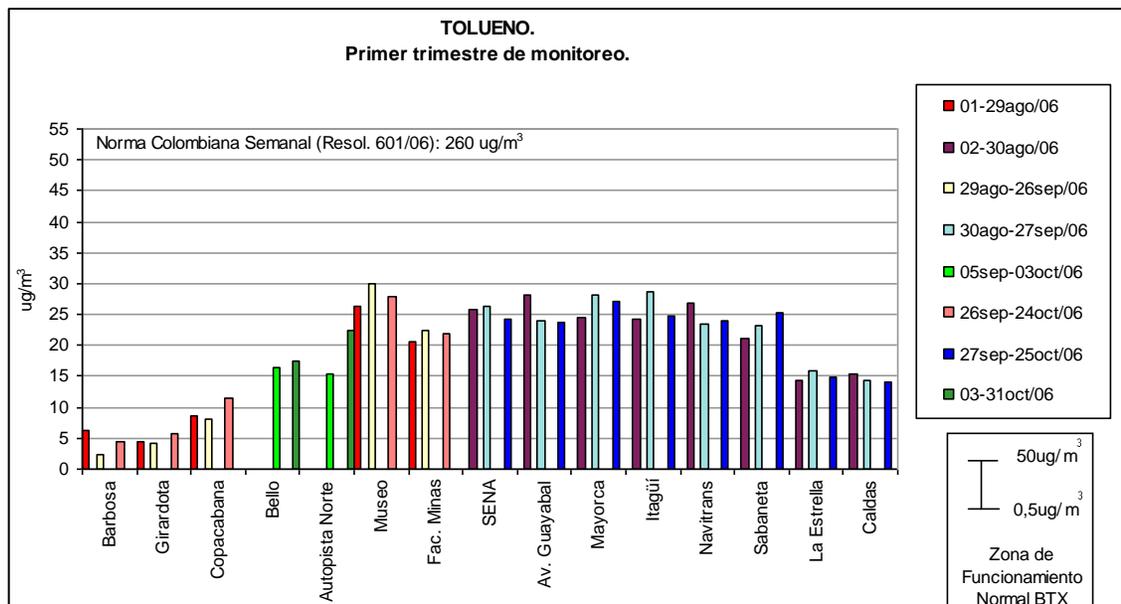


FIGURA 6.26. Concentración promedio mensual de Tolueno por monitor pasivo en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Primer trimestre de monitoreo.

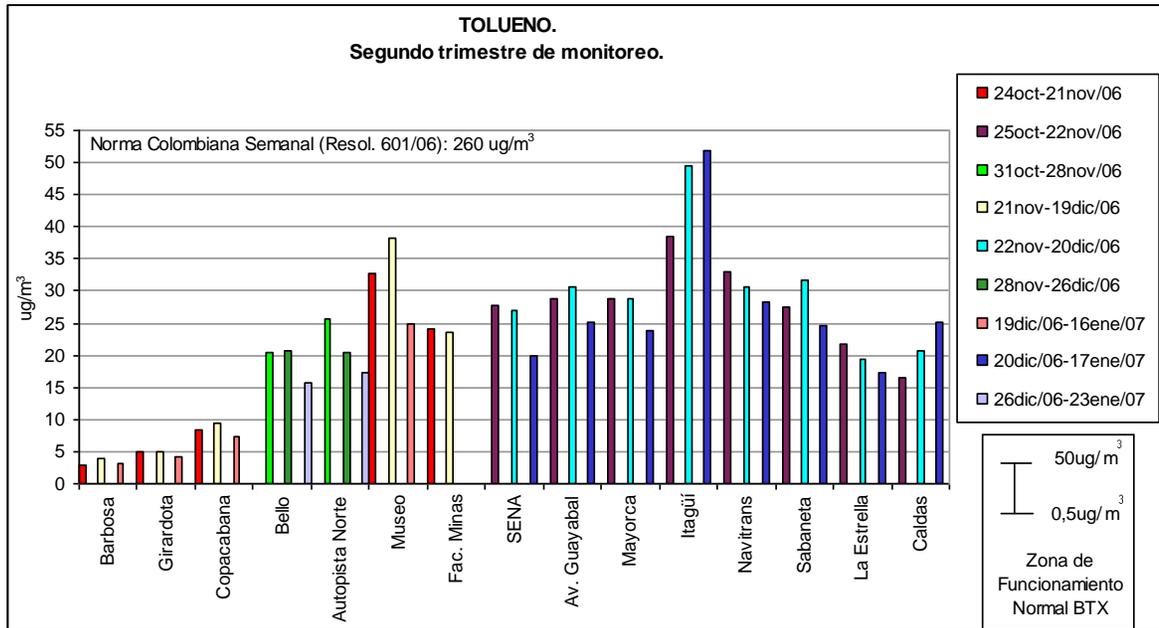


FIGURA 6.27 Concentración promedio mensual de Tolueno por monitor pasivo en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Segundo trimestre de monitoreo.

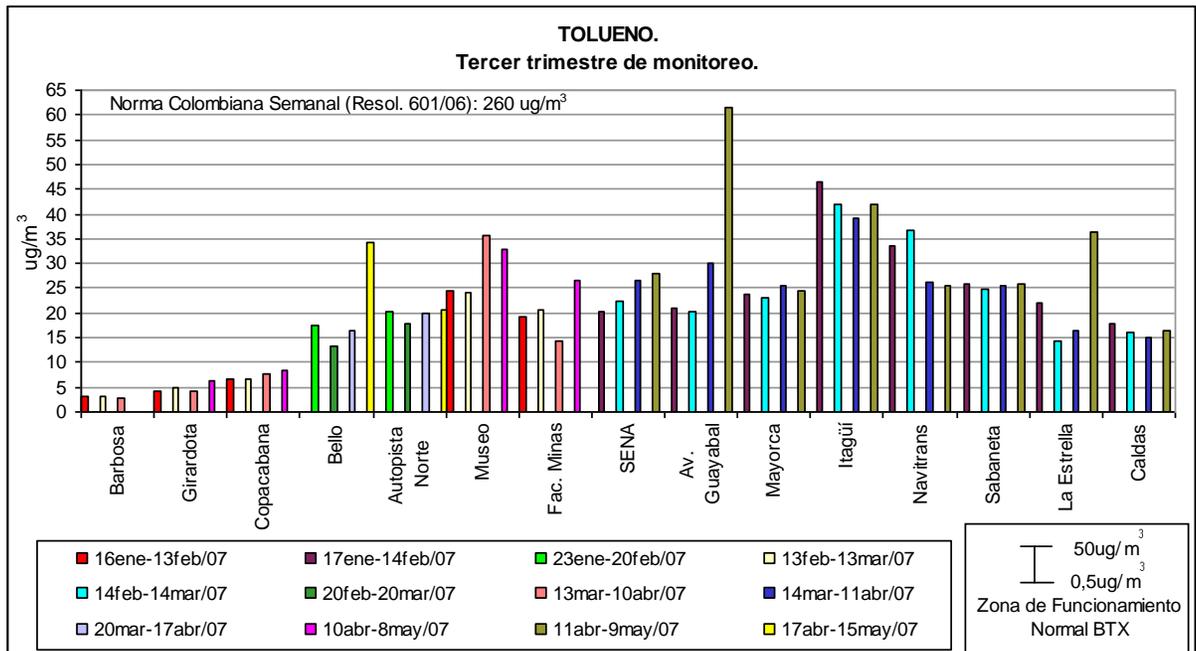


FIGURA 6.28 Concentración promedio mensual de Tolueno por monitor pasivo en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Tercer trimestre de monitoreo.

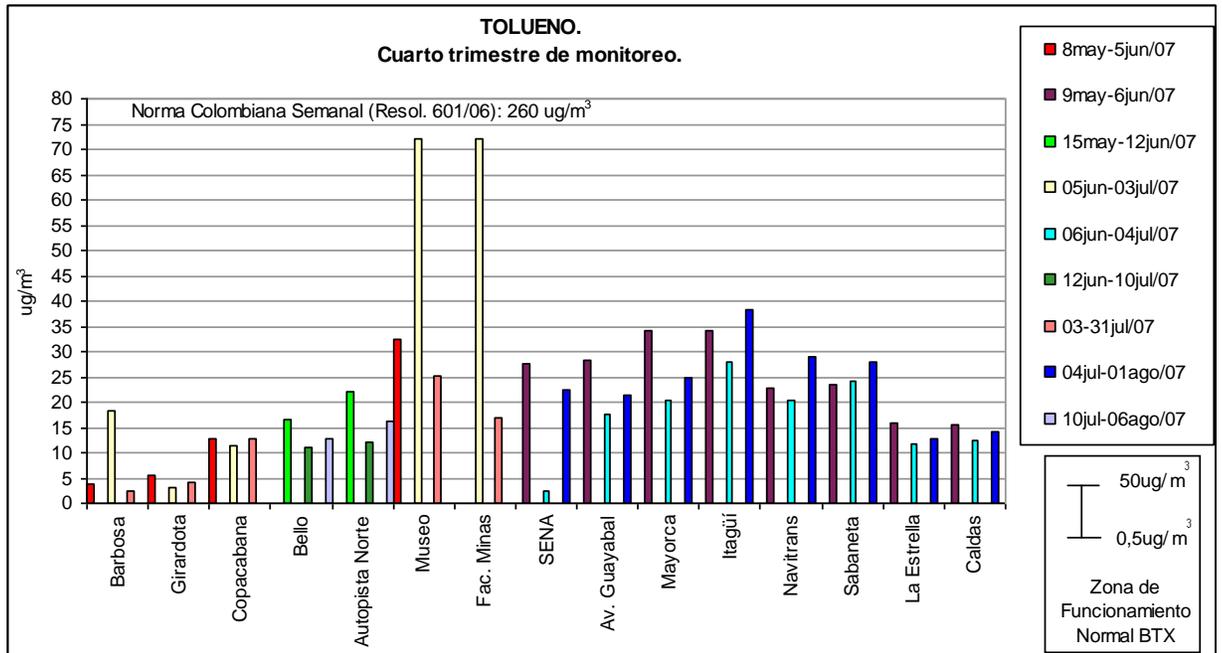


FIGURA 6.29 Concentración promedio mensual de Tolueno por monitor pasivo en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Cuarto trimestre de monitoreo.

6.5.3 Etilbenceno.

TABLA 6.12. Concentración promedio mensual de Etilbenceno por monitor pasivo en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Fecha de monitoreo	Barbosa	Girardota	Copacabana	Bello	Autopista Norte	Museo	Fac. Minas	SENA	Av. Guayabal	Mayorca	Itagüí	Navitrans	Sabaneta	La Estrella	Caldas
01-29ago/06	2,4	2,7	4,7			8,1	5,8								
02-30ago/06								9,2	9,4	8,7	7,6	9,4	13,1	4,9	5,7
29ago-26sep/06	1,4	2,1	3,5			7,9	6,6								
30ago-27sep/06								8,8	7,7	9,1	9,2	9,5	8,3	5,0	4,2
05sep-03oct/06				7,8	6,7										
26sep-24oct/06	1,5	2,3	4,1			8,3	5,7								
27sep-25oct/06								7,9	7,1	8,4	8,1	8,6	8,7	5,3	5,5
03-31oct/06				8,2	7,2										
24oct-21nov/06	1,1	2,4	2,9			7,4	5,7								
25oct-22nov/06								5,4	6,3	7,3	8,7	5,4	6,9	4,6	5,7
31oct-28nov/06				6,3	5,5										
21nov-19dic/06	1,1	1,7	2,7			7,6	4,7								
22nov-20dic/06								6,3	6,3	7,2	10,8	7,0	5,8	5,3	5,2
28nov-26dic/06				8,0	5,3										
19dic/06-16ene/07	1,1	1,5	2,0			5,3	*								
20dic/06-17ene/07								4,2	4,7	6,3	10,5	6,3	5,0	4,1	4,4
26dic/06-23ene/07				6,3	4,0										
16ene-13feb/07	0,8	1,5	2,5			5,6	4,2								
17ene-14feb/07								4,1	3,9	6,2	10,6	6,6	5,7	4,0	3,4
23ene-20feb/07				5,3	4,1										

* Dato no disponible. El muestreador se desintegró al momento del retiro.

Fecha de monitoreo	Barbosa	Girardota	Copacabana	Bello	Autopista Norte	Museo	Fac. Minas	SENA	Av. Guayabal	Mayorca	Itagüí	Navitrans	Sabaneta	La Estrella	Caldas
13feb-13mar/07	1,0	2,0	2,8			7,1	4,0								
14feb-14mar/07								4,7	4,1	6,2	10,0	10,0	4,5	3,4	3,5
20feb-20mar/07				4,3	3,8										
13mar-10abr/07	1,0	1,7	2,5			11,1	3,0								
14mar-11abr/07								7,1	9,8	6,2	8,4	5,6	6,1	3,7	3,3
20mar-17abr/07				4,6	4,2										
10abr-8may/07	*	1,6	2,7			7,0	6,0								
11abr-9may/07								6,7	10,4	7,3	10,0	6,8	5,3	10,6	3,9
17abr-15may/07				10,8	5,1										
8may-5jun/07	1,3	3,0	3,7			7,4	*								
9may-6jun/07								7,7	6,2	8,1	9,1	6,7	5,5	4,5	3,9
15may-12jun/07				5,7	5,5										
05jun-03jul/07	4,8	1,4	6,8			10,3	3,5								
06jun-04jul/07								0,5	3,0	5,1	11,3	5,8	5,4	3,3	2,7
12jun-10jul/07				3,5	4,3										
03-31jul/07	0,5	1,8	2,4			4,9	3,7								
04jul-01ago/07								5,2	4,6	7,3	8,9	6,8	5,1	2,6	3,6
10jul-06ago/07				3,4	3,9										
PROMEDIO ARITMÉTICO	1,5	2,0	3,3	6,2	5,0	7,5	4,8	6,0	6,4	7,2	9,5	7,3	6,6	4,7	4,2
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	1,1	0,5	1,3	2,2	1,1	1,8	1,2	2,3	2,4	1,2	1,1	1,6	2,3	1,9	1,0
VALOR MÁXIMO	4,8	3,0	6,8	10,8	7,2	11,1	6,6	9,2	10,4	9,1	11,3	10,0	13,1	10,6	5,7
VALOR MÍNIMO	0,5	1,4	2,0	3,4	3,8	4,9	3,0	0,5	3,0	5,1	7,6	5,4	4,5	2,6	2,7

* Dato no disponible. El muestreador se desintegró al momento del retiro.

Las figuras 6.30 a 6.33 ilustran las concentraciones promedio mensuales de etilbenceno en los cuatro trimestres de monitoreo. Es de anotar que no existe normatividad colombiana para éste contaminante. La Organización Mundial de la Salud recomienda un valor guía de $22.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ como promedio anual. Las concentraciones registradas en el Área Metropolitana son inferiores a éste valor, lo que indica que los niveles de etilbenceno no son preocupantes.

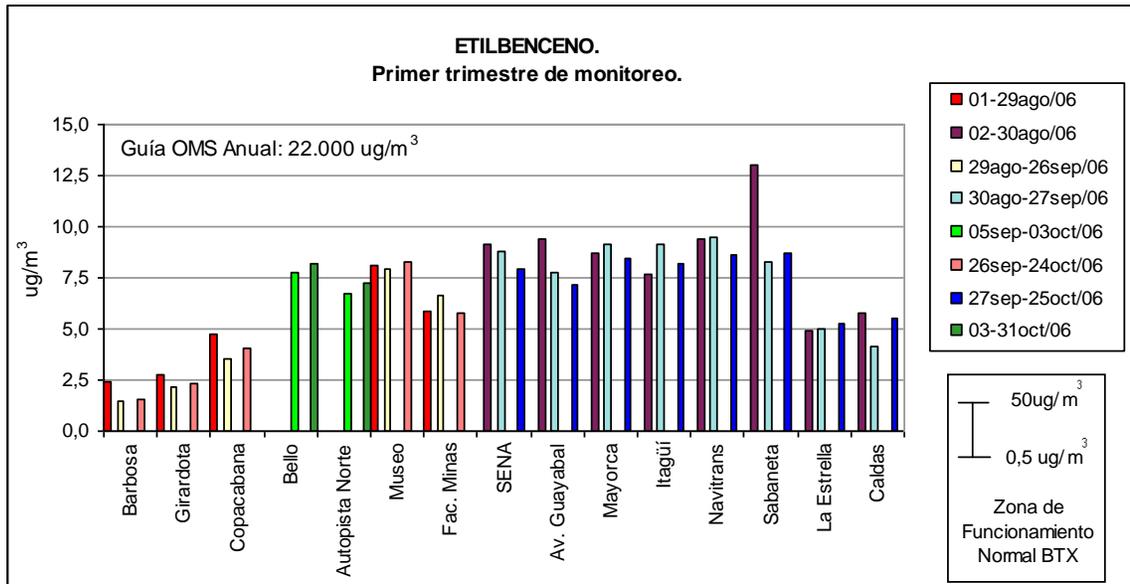


FIGURA 6.30. Concentración promedio mensual de Etilbenceno por monitor pasivo en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Primer trimestre de monitoreo.

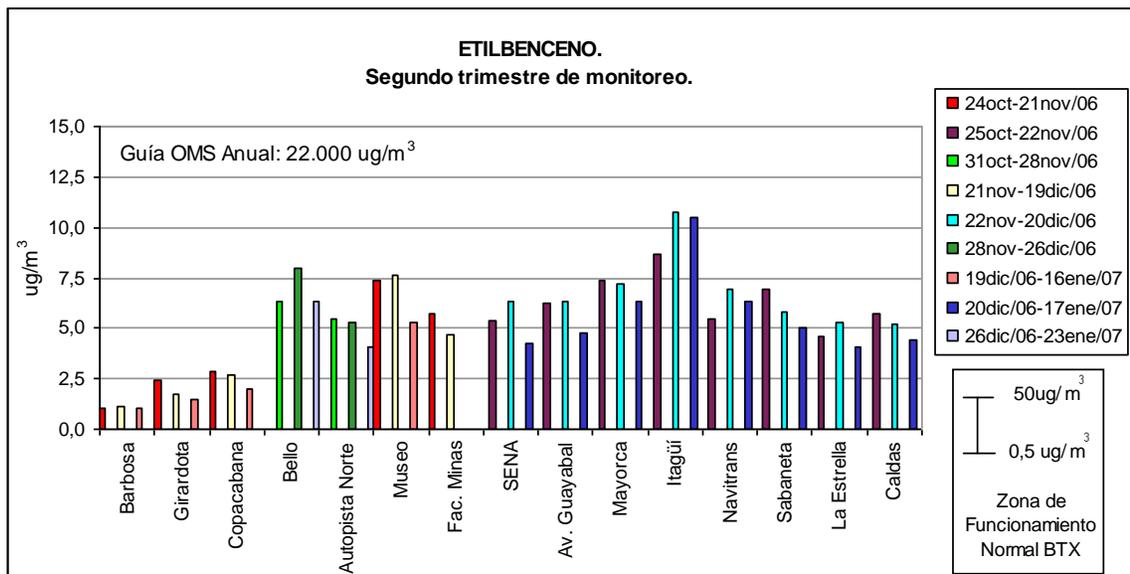


FIGURA 6.31 Concentración promedio mensual de Etilbenceno por monitor pasivo en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Segundo trimestre de monitoreo.

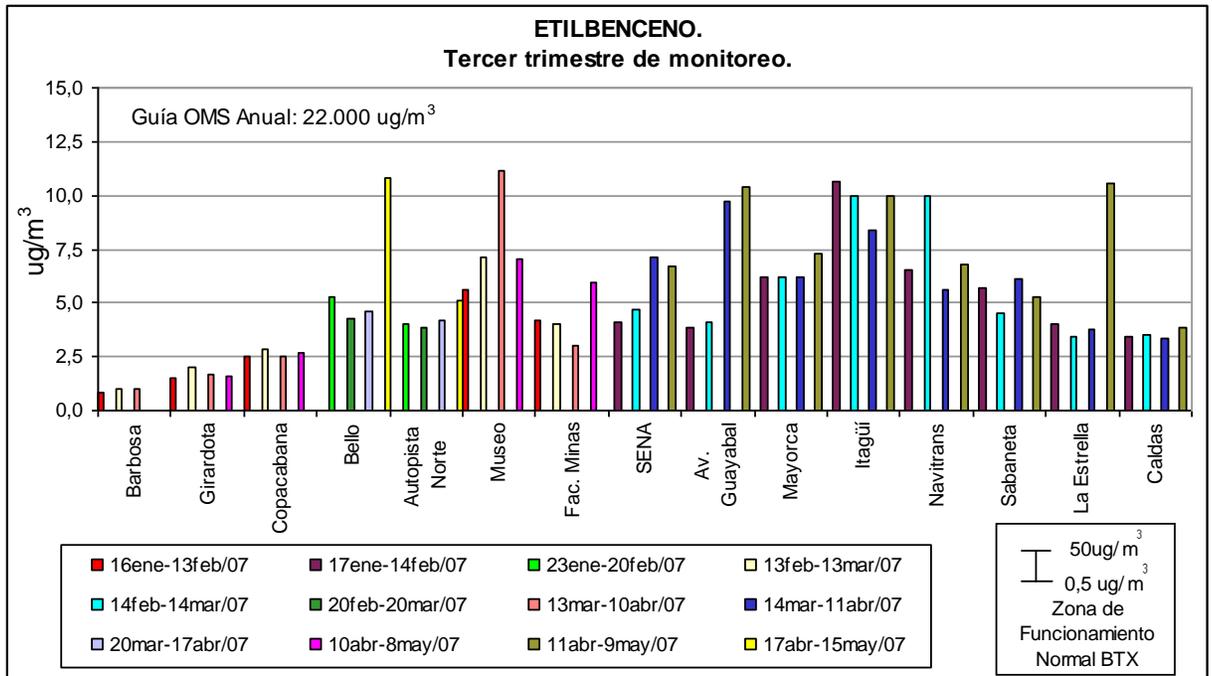


FIGURA 6.32 Concentración promedio mensual de Etilbenceno por monitor pasivo en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Tercer trimestre de monitoreo.

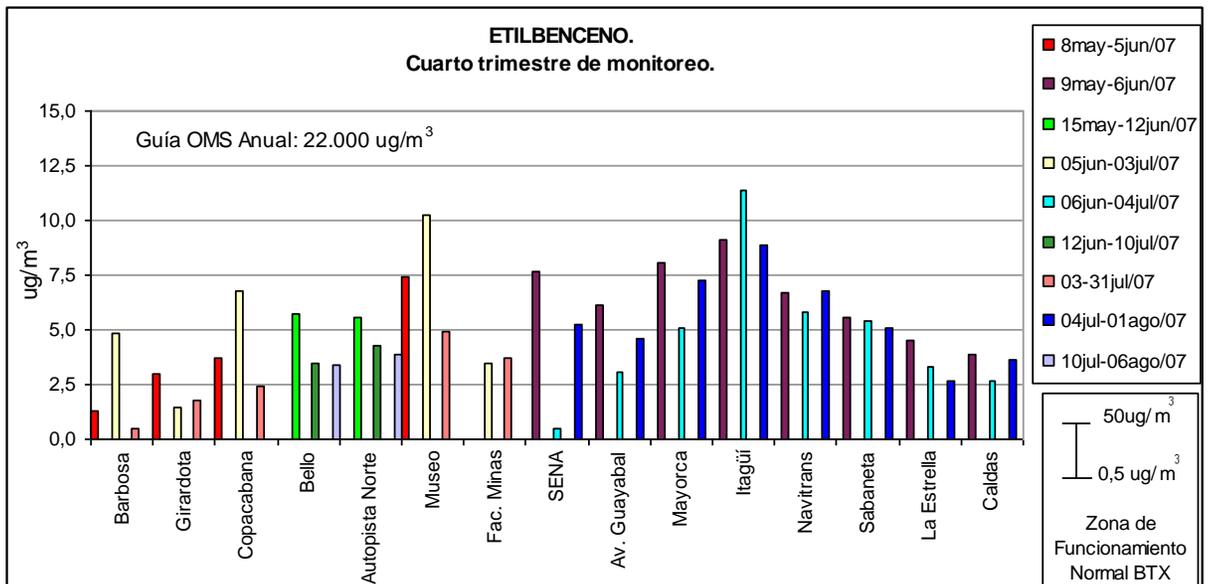


FIGURA 6.33 Concentración promedio mensual de Etilbenceno por monitor pasivo en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Cuarto trimestre de monitoreo.

6.5.4 Xilenos.

TABLA 6.13. Concentración promedio mensual de Xilenos por monitor pasivo en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Fecha de monitoreo	Barbosa	Girardota	Copacabana	Bello	Autopista Norte	Museo	Fac. Minas	SENA	Av. Guayabal	Mayorca	Itagüí	Navitrans	Sabaneta	La Estrella	Caldas
01-29ago/06	9,4	10,3	19,3			31,1	27,4								
02-30ago/06								36,3	40,3	34,7	30,4	38,8	46,0	20,0	21,8
29ago-26sep/06	4,4	9,1	14,9			34,5	28,4								
30ago-27sep/06								35,6	31,7	37,8	39,4	41,6	39,6	23,6	19,0
05sep-03oct/06				29,8	27,2										
26sep-24oct/06	5,8	8,9	15,7			32,7	27,5								
27sep-25oct/06								32,9	29,7	35,3	34,5	36,9	37,7	21,7	18,1
03-31oct/06				32,8	30,1										
24oct-21nov/06	5,7	10,7	13,0			35,8	28,9								
25oct-22nov/06								36,3	31,9	36,8	48,7	34,0	35,5	29,7	21,4
31oct-28nov/06				36,6	29,2										
21nov-19dic/06	6,1	8,8	12,1			39,8	28,1								
22nov-20dic/06								34,4	32,3	37,1	59,3	35,6	30,1	26,2	24,9
28nov-26dic/06				42,2	26,2										
19dic/06-16ene/07	4,6	7,4	10,2			30,8	*								
20dic/06-17ene/07								23,5	24,6	32,4	57,3	32,8	25,7	19,3	20,9
26dic/06-23ene/07				33,6	20,6										
16ene-13feb/07	4,4	6,9	11,7			28,3	21,4								
17ene-14feb/07								23,5	21,5	32,2	55,7	32,6	28,0	17,8	16,6
23ene-20feb/07				25,9	20,0										

* Dato no disponible. El muestreador se desintegró al momento del retiro.

Fecha de monitoreo	Barbosa	Girardota	Copacabana	Bello	Autopista Norte	Museo	Fac. Minas	SENA	Av. Guayabal	Mayorca	Itagüí	Navitrans	Sabaneta	La Estrella	Caldas
13feb-13mar/07	4,3	8,9	13,6			37,3	21,6								
14feb-14mar/07								27,0	21,2	26,6	51,3	37,9	21,8	16,7	16,8
20feb-20mar/07				21,3	19,5										
13mar-10abr/07	3,4	7,8	11,4			45,2	15,8								
14mar-11abr/07								34,9	51,2	30,4	44,0	28,2	26,3	20,4	16,5
20mar-17abr/07				21,6	21,4										
10abr-8may/07	*	7,8	11,9			36,7	30,7								
11abr-9may/07								39,0	47,1	32,9	50,4	33,6	26,3	36,5	17,6
17abr-15may/07				38,1	24,7										
8may-5jun/07	5,4	13,4	15,9			37,2	*								
9may-6jun/07								35,2	29,7	37,2	48,1	30,4	26,9	21,7	18,9
15may-12jun/07				26,9	25,7										
05jun-03jul/07	22,2	6,4	35,8			38,4	18,0								
06jun-04jul/07								2,1	18,6	28,8	59,5	28,1	26,0	14,7	17,3
12jun-10jul/07				18,0	21,8										
03-31jul/07	2,5	7,0	11,0			25,7	19,3								
04jul-01ago/07								27,2	22,5	36,1	47,1	36,6	26,2	14,4	17,9
10jul-06ago/07															
PROMEDIO ARITMÉTICO	6,5	8,7	15,1	29,7	24,2	34,9	24,3	29,8	30,9	33,7	48,1	34,4	30,5	21,7	19,1
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	5,2	1,9	6,7	7,7	3,7	5,2	5,2	9,8	10,0	3,5	9,1	4,1	7,0	6,2	2,5
VALOR MÁXIMO	22,2	13,4	35,8	42,2	30,1	45,2	30,7	39,0	51,2	37,8	59,5	41,6	46,0	36,5	24,9
VALOR MÍNIMO	2,5	6,4	10,2	18,0	19,5	25,7	15,8	2,1	18,6	26,6	30,4	28,1	21,8	14,4	16,5

* Dato no disponible. El muestreador se desintegró al momento del retiro.

Las concentraciones promedio mensuales de xilenos en los cuatro trimestres de monitoreo son ilustradas en las figuras 6.34 a 6.37. La Norma Colombiana no establece un valor límite para éste contaminante. La Organización Mundial de la Salud sugiere un valor guía anual de $870 \mu\text{g}/\text{m}^3$, lo que indica que no hay problemas de contaminación del aire por xilenos en los sitios evaluados. Es importante anotar que los xilenos están asociados con la contaminación de aguas superficiales y subterráneas.

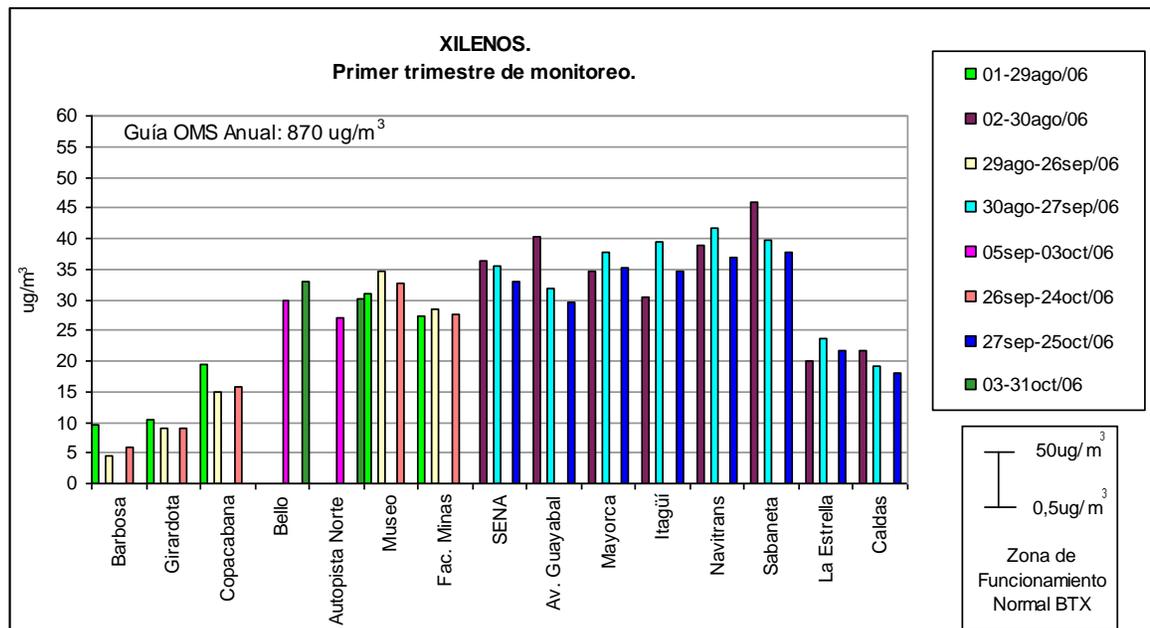


FIGURA 6.34. Concentración promedio mensual de Xilenos por monitor pasivo en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Primer trimestre de monitoreo.

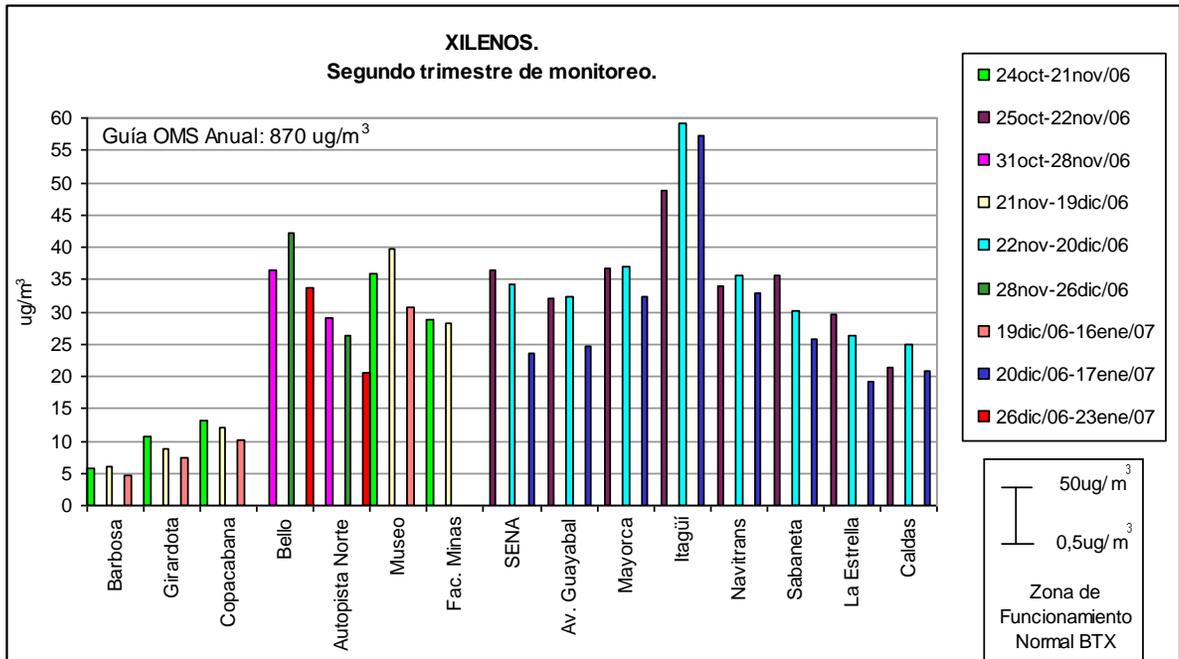


FIGURA 6.35 Concentración promedio mensual de Xilenos por monitor pasivo en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Segundo trimestre de monitoreo.

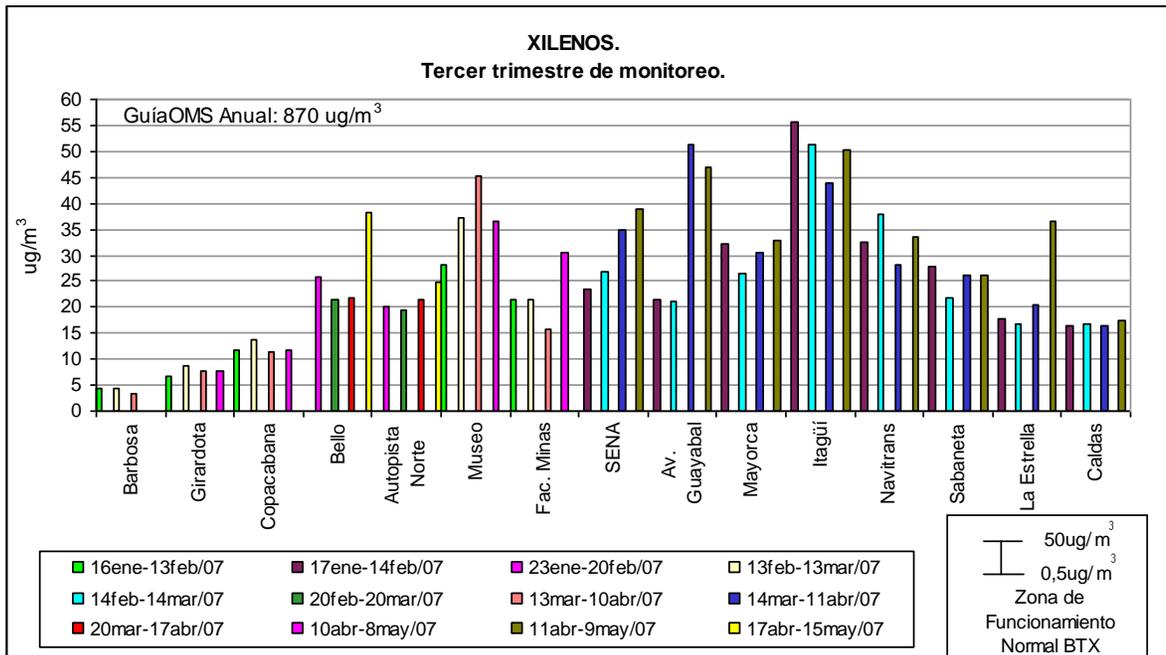


FIGURA 6.36 Concentración promedio mensual de Xilenos por monitor pasivo en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Tercer trimestre de monitoreo.

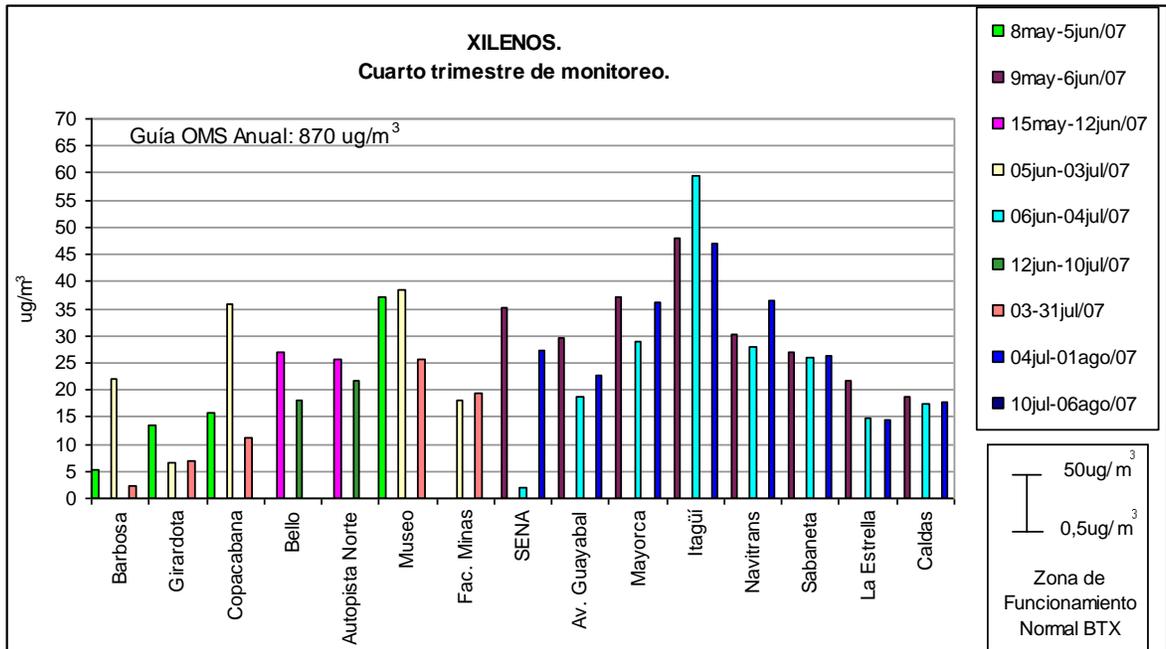


FIGURA 6.37 Concentración promedio mensual de Xilenos por monitor pasivo en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Cuarto trimestre de monitoreo.

6.6 PARTÍCULAS SEDIMENTABLES.

La TABLA 6.14 muestra la tasa de sedimentación de partículas en las 15 estaciones de monitoreo ubicadas en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá, la cual se expresa como la cantidad de partículas recolectada por kilómetro cuadrado durante 30 días.

TABLA 6.14. Tasa de sedimentación de partículas en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. t/km² – 30 días.

Fecha de monitoreo	Barbosa	Girardota	Copacabana	Bello	Autopista Norte	Museo	Fac. Minas	SENA	Av. Guayabal	Mayorca	Itagüí	Navitrans	Sabaneta	La Estrella	Caldas
Norma Suiza	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0
Norma Argentina	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
26sep-24oct/06	2,0	0,4	5,5			3,0	10,6								
27sep-25oct/06									10,0	7,8	7,0	20,7		4,0	4,1
03-31oct/06				6,4	14,9										
04oct-01nov/06								7,4					15,4		
24oct-21nov/06	2,8	0,1	1,6			0,8	9,2								
25oct-22nov/06									5,5	3,9	9,5	14,8		1,8	1,6
31oct-28nov/06				8,8	0,1										
01-29nov/06								2,3					8,8		
21nov-19dic/06	2,0	1,7	2,8			5,0	2,7								
22nov-20dic/06									6,6	5,8	11,7	17,8		3,1	11,3
28nov-26dic/06				5,8	8,8										
29nov-27dic/06								6,8					12,3		
19dic/06-16ene/07	2,4	3,4	2,1			3,7	5,2								
20dic/06-17ene/07									4,7	6,4	7,8	11,6		4,2	10,5
26dic/06-23ene/07				7,2	8,4										
27dic/06-24ene/07								4,8					6,5		
16ene-13feb/07	2,4	2,4	32,5			6,1	10,7								
17ene-14feb/07									6,8	6,0	9,2	15,3		5,2	7,8
23ene-20feb/07				6,6	8,8										
24ene-21feb/07								9,5					5,9		

Fecha de monitoreo	Barbosa	Girardota	Copacabana	Bello	Autopista Norte	Museo	Fac. Minas	SENA	Av. Guayabal	Mayorca	Itagüí	Navitrans	Sabaneta	La Estrella	Caldas
13feb-13mar/07	7,8	3,6	7,4			6,2	6,7								
14feb-14mar/07									6,9	6,6	12,3	16,3		7,9	9,4
20feb-20mar/07				7,6	10,4										
21feb-21mar/07								10,0					15,9		
13mar-10abr/07	9,3	6,5	6,1			6,6	9,5								
14mar-11abr/07									12,8	13,7	17,9	18,3		4,5	16,5
20mar-17abr/07				7,4	11,3										
21mar-18abr/07								10,0					16,4		
10abr-08may/07	3,9	3,2	3,8			*	8,9								
11abr-09may/07									8,6	7,9	10,6	26,5		7,3	8,3
17abr-15may/07				8,9	13,1										
18abr-16may/07								4,4					11,7		
08may-05jun/07	11,1	4,4	2,4			13,5	8,7								
09may-06jun/07									9,8	8,0	9,8	32,0		10,3	4,9
15may-12jun/07				11,0	17,2										
16may-13jun/07								13,9					19,0		
05jun-03jul/07	3,8	2,1	4,0			5,2	4,6								
06jun-04jul/07									23,0		10,2	14,5		8,6	7,3
12jun-10jul/07				6,1	4,9										
13jun-11jul/07								6,8					10,0		
20jun-18jul/07										8,1					
03-31jul/07	9,2	2,8	7,8			8,4	7,0								
04jul-01ago/07									14,0		13,6	24,1		12,2	8,3
10jul-06ago/07				8,8	15,2										
11jul-08ago/07								13,3					26,5		
18jul-15ago/07										3,4					
Promedio aritmético	5,2	2,8	6,9	7,7	10,3	5,9	7,6	8,1	9,9	7,1	10,9	19,3	13,5	6,3	8,2
Desviación estándar	3,5	1,8	8,7	1,6	4,9	3,4	2,6	3,6	5,2	2,7	3,0	6,1	6,0	3,2	4,0
Valor máximo	11,1	6,5	32,5	11,0	17,2	13,5	10,7	13,9	23,0	13,7	17,9	32,0	26,5	12,2	16,5
Valor mínimo	2,0	0,1	1,6	5,8	0,1	0,8	2,7	2,3	4,7	3,4	7,0	11,6	5,9	1,8	1,6

Las tasas de sedimentación registradas en los períodos de monitoreo comprendidos entre el 01-29ago/06 y el 29ago-26sep/06, se descartaron debido a un ajuste que se realizó en la cantidad de sulfato de cobre (CuSO_4) adicionado a la muestra y por lo tanto éstos resultados no se tienen en cuenta para el análisis de la información.

Para el análisis de los resultados de partículas sedimentables, se toma como referencia la Norma Suiza de $6 \text{ t/km}^2\text{-30días}$ y la Norma Argentina de $10 \text{ t/km}^2\text{-30días}$ por no existir normatividad colombiana para éste contaminante. Para el período de monitoreo 26sep-27dic/06, ilustrado en la FIGURA 6.38, se observa que en 10 de las 15 estaciones se sobrepasa el valor límite establecido por la Norma Suiza. Las estaciones Autopista Norte, Facultad de Minas, Navitrans, Itagüí, Sabaneta y Caldas reportan tasas de sedimentación de partículas superiores a la Norma Argentina. La tasa de sedimentación más alta se registra en la estación Navitrans ($20.7 \text{ t/km}^2\text{-30días}$), la cual se caracteriza por medir el impacto del flujo vehicular de la Autopista Sur.

En el segundo período de monitoreo (ver FIGURA 6.39) comprendido entre el 19dic/06 y el 21mar/07 se observa que en la estación Copacabana se presentó un evento extraordinario de contaminación por partículas sedimentables, alcanzando un valor máximo de $32,5 \text{ t/km}^2\text{-30 días}$. En la estación Navitrans se observa un aumento en la tasa de sedimentación de partículas, el cual está asociado a los trabajos de repavimentación en la Autopista Sur durante el período comprendido entre el 17 de enero y el 7 de marzo de 2007, los cuales afectan la medición de partículas sedimentables.

En la FIGURA 6.40 se ilustra el tercer período de monitoreo de partículas sedimentables. La estación Navitrans registra un aumento en las tasa de sedimentación de partículas, alcanzando un máximo de $32 \text{ t/km}^2\text{-30 días}$. La estación La Estrella también registra un aumento en la tasa de sedimentación de partículas que está asociado a los trabajos de construcción en la casa contigua al sitio de monitoreo.

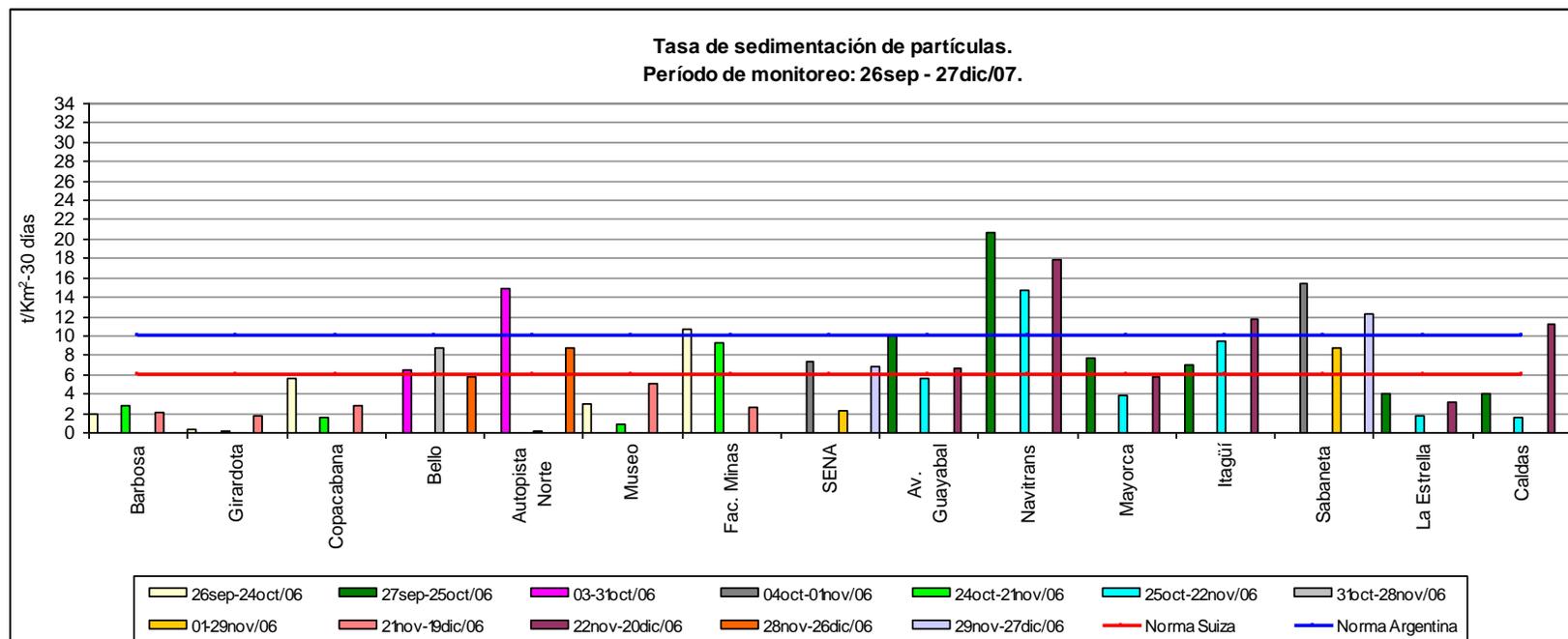


FIGURA 6.38. Tasa de sedimentación de partículas en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Período de monitoreo: 26 septiembre – 27 diciembre/06.

Para el cuarto período de monitoreo 05jun-08ago/07, ilustrado en la FIGURA 6.41, se observa que las obras de construcción en el techo de la parroquia contigua a la estación de monitoreo de Barbosa, aumentaron la tasa de sedimentación de partículas en el último mes de monitoreo. El cierre de la Avenida Regional en los meses de julio y agosto y el aumento del flujo vehicular en la Autopista Norte, se reflejó en un aumento de las partículas sedimentables medidas en las estaciones Bello y Autopista Norte, durante el período 10jul-06ago/07. Es de anotar que en la estación La Estrella, el 4 de junio se trasladó el colector de partículas a un sitio más cercano a la vía, fecha a partir de la cual se detectaron tasas de sedimentación de partículas más altas con respecto a los períodos anteriores.

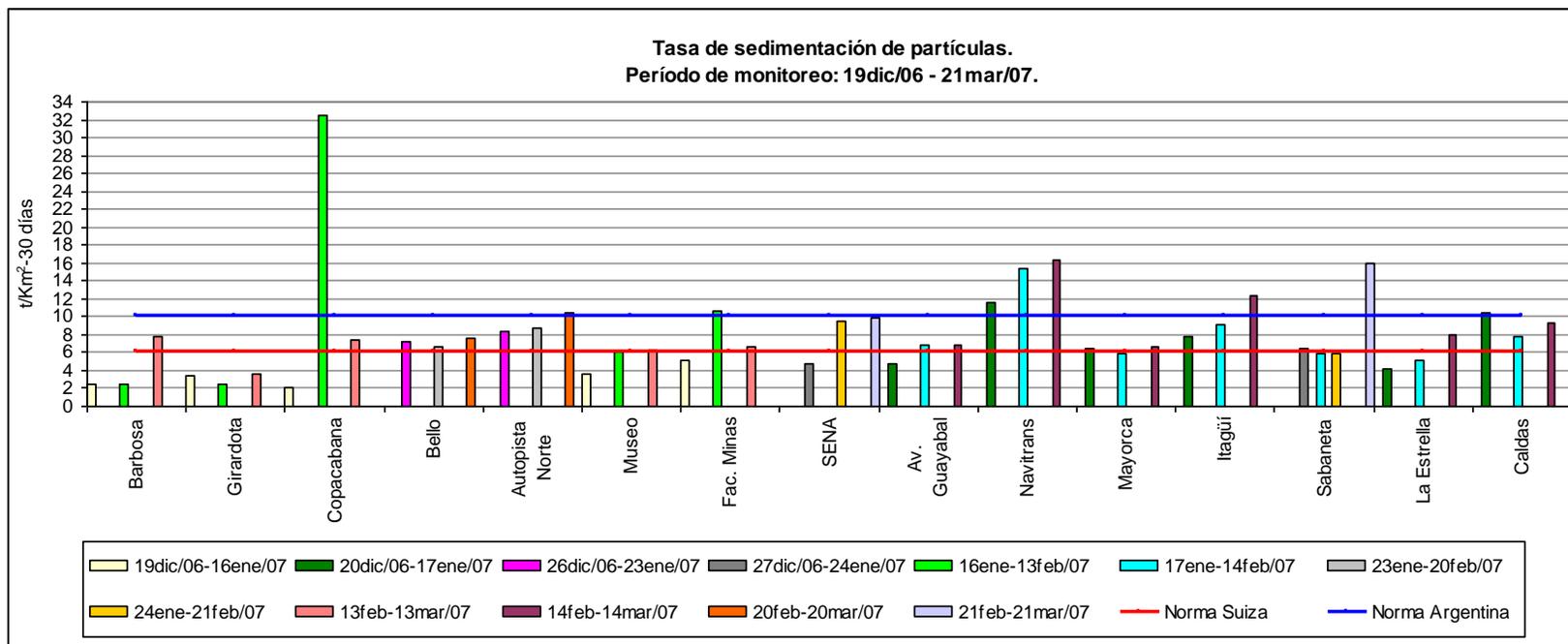
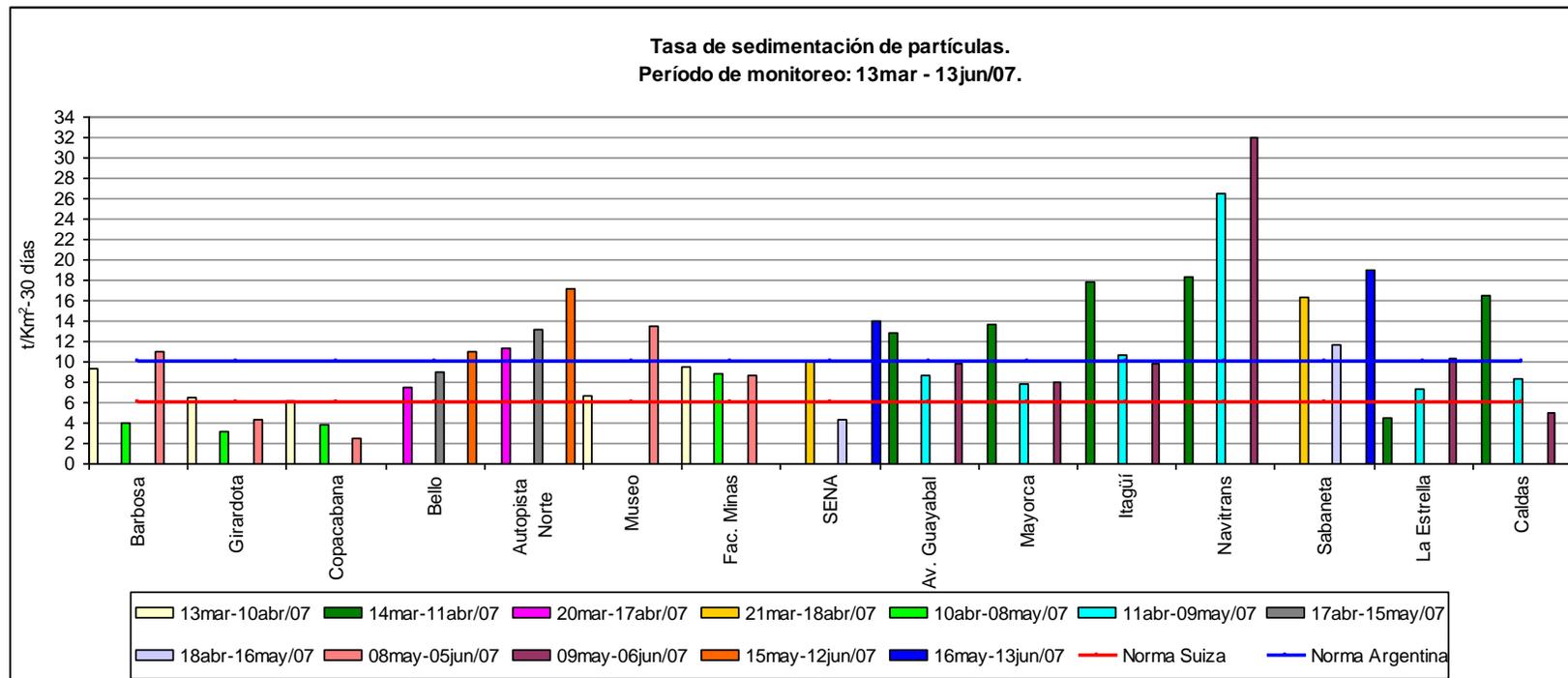


FIGURA 6.39 Tasa de sedimentación de partículas en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Período de monitoreo: 19 diciembre/06 – 21 marzo/07.

Estación	Fecha	Observaciones de campo
Navitrans	17ene a 07mar/07	Trabajos de repavimentación en la Autopista Sur.
-	21may, 11 y 18 jun y 2 y 20jul/07	Días festivos.



**FIGURA 6.40 Tasa de sedimentación de partículas en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá.
Período de monitoreo: 13 marzo – 13 junio/07.**

Estación	Fecha	Observaciones de campo
La Estrella	9may a 01ago/07	Trabajos de construcción en la casa contigua al sitio de monitoreo.

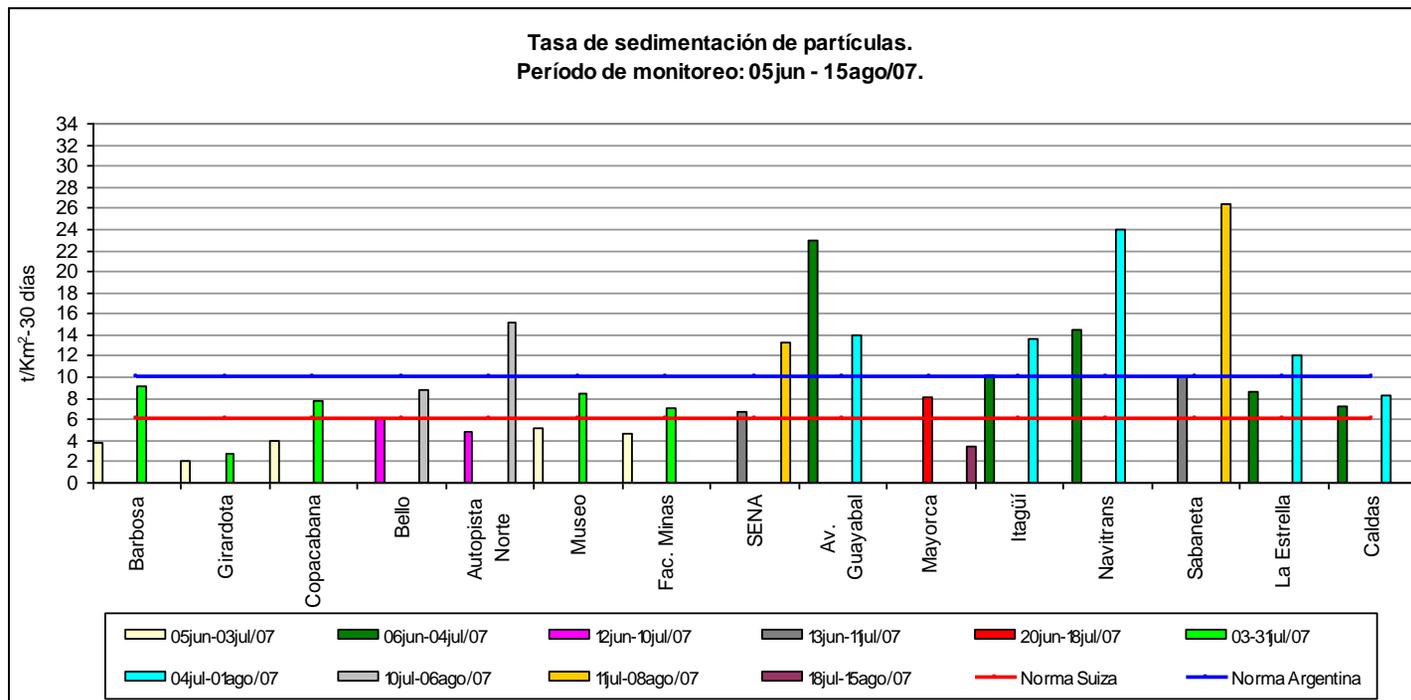


FIGURA 6.41. Tasa de sedimentación de partículas en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Período de monitoreo: 05 junio – 15 agosto/07.

Estación	Fecha	Observaciones de campo
Barbosa	17 a 31jul/07	Cambio del techo de la parroquia.
Autopista Norte y Bello	03jul a 8ago/07	Cierre de la Avenida Regional. Incremento del flujo vehicular en la Autopista Norte.
La Estrella	4jun/07	Cambio de ubicación del colector a un sitio más cercano a la vía.
-	21may, 11 y 18 jun y 2 y 20jul/07	Días festivos.

Las vías de importante flujo vehicular se encuentran entre las principales causas de la presencia de las partículas sedimentables en el aire, por la resuspensión de polvos y el desgaste de los neumáticos en los vehículos. Otra fuente importante de emisión en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá son las actividades de construcción y demolición, en donde se llevan a cabo procesos de trituración y pulverización de grandes partículas.

En el Anexo 3 se presentan las concentraciones de SO₂, NO₂, ozono y BTX y la tasa de sedimentación de partículas para cada una de las 15 estaciones de monitoreo.

En el proyecto se tomaron mediciones de pH durante el monitoreo de partículas sedimentables, con el fin de observar si éstas mediciones pueden servir como indicativo de la presencia de lluvia ácida en el Área Metropolitana de Valle de Aburrá. Éstos se resultados se muestran en el Anexo 4.

6.6.1 Análisis de tamaño y distribución de tamaño de partículas en 4 muestras de polvo sedimentable.

Se realizó un análisis de tamaño y distribución de tamaño de partículas en las muestras de polvo sedimentable descritas en la TABLA 6.15.

TABLA 6.15. Descripción de las muestras de polvo sedimentable analizadas por tamaño y distribución de tamaño de partículas.

MUESTRA #	CÓDIGO	DESCRIPCION	PERÍODO DE RECOLECCIÓN
1	050-07.	Copacabana. Mes 7.	Enero 16 – Febrero 13/07.
2	052-07	Facultad de Minas. Mes 7.	Enero 16 – Febrero 13/07.
3	055-07	Autopista Sur - Navitrans. Mes 7.	Enero 17 – Febrero 14/07
4	067-07	Autopista Norte. Mes 6.	Enero 23 – Febrero 20/07
5		BLANCO	

El análisis fue realizado en el Equipo Coulter LS 130 del Laboratorio de Análisis Especiales de la Facultad de Minas de la Universidad Nacional, Sede Medellín. El Informe de resultados se muestra en el Anexo 5. Éste análisis permite determinar para un diámetro específico, el % acumulado de volumen en la muestra. El análisis del blanco no reportó ningún tamaño de partículas, por lo tanto no se tiene resultado alguno. Esto significa que la muestra inicial no aporta partículas detectables.

En la estación Copacabana el tamaño de partículas varía entre 0.01 y 75.63 µm, el 10% del volumen de partículas tiene un diámetro menor ó igual a 2.651 µm y el

18% corresponde a un diámetro menor ó igual a $10.39 \mu\text{m}$. El tamaño de partícula promedio es de $26.73 \mu\text{m}$, con una desviación estándar de $17.9 \mu\text{m}$.

En la estación Facultad de Minas el tamaño de partículas varía entre 0.25 y $2.4 \mu\text{m}$, el 100% del volumen de partículas tiene un diámetro menor ó igual a $1.842 \mu\text{m}$. El tamaño de partícula promedio es de $0.956 \mu\text{m}$, con una desviación estándar de $0.588 \mu\text{m}$. Este comportamiento muestra un tamaño de partícula muy homogéneo, en donde predomina el material fino.

En la estación Autopista Sur – Navitrans el tamaño de partículas varía entre 0.13 y $60.1 \mu\text{m}$, el 12% del volumen de partículas tiene un diámetro menor ó igual a $2.651 \mu\text{m}$ y el 43% corresponde a un diámetro menor ó igual a $10.39 \mu\text{m}$. El tamaño de partícula promedio es de $19.01 \mu\text{m}$, con una desviación estándar de $16.2 \mu\text{m}$.

En la estación Autopista Norte el tamaño de partículas varía entre 0.13 y $85.1 \mu\text{m}$, el 6% del volumen de partículas tiene un diámetro menor ó igual a $2.651 \mu\text{m}$ y el 19% corresponde a un diámetro menor ó igual a $10.39 \mu\text{m}$. El tamaño de partícula promedio es de $36.69 \mu\text{m}$, con una desviación estándar de $23.2 \mu\text{m}$.

Las partículas finas que se obtuvieron con la medición de partículas sedimentables se deben al fenómeno de arrastre por efecto de la precipitación ó por efecto de la aglomeración de partículas que se observa en el hollín y que tienen una consistencia grasosa.

6.7 ESTADÍSTICA BÁSICA.

En la TABLA 6.16 se presentan los promedios aritméticos, la desviación estándar, los valores máximos y mínimos obtenidos para cada uno de los contaminantes evaluados en las 15 estaciones de monitoreo.

La FIGURA 6.44, la FIGURA 6.46, la FIGURA 6.48 y la FIGURA 6.51, muestran el diagrama de cajas y bigotes de las concentraciones de dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno, ozono y benceno respectivamente. El diagrama de cajas y bigotes es una representación gráfica de los indicadores estadísticos de una variable. Éste gráfico de resumen está basado en la mediana, los cuartiles y los valores extremos (máximo y mínimo). La caja representa la amplitud intercuartil que contiene el 50% de los valores centrales. Los "bigotes" son las líneas que se extienden desde la caja hasta los valores más altos y más bajos. En la FIGURA 6.42 se explica cada uno de los componentes del diagrama de cajas y bigotes.

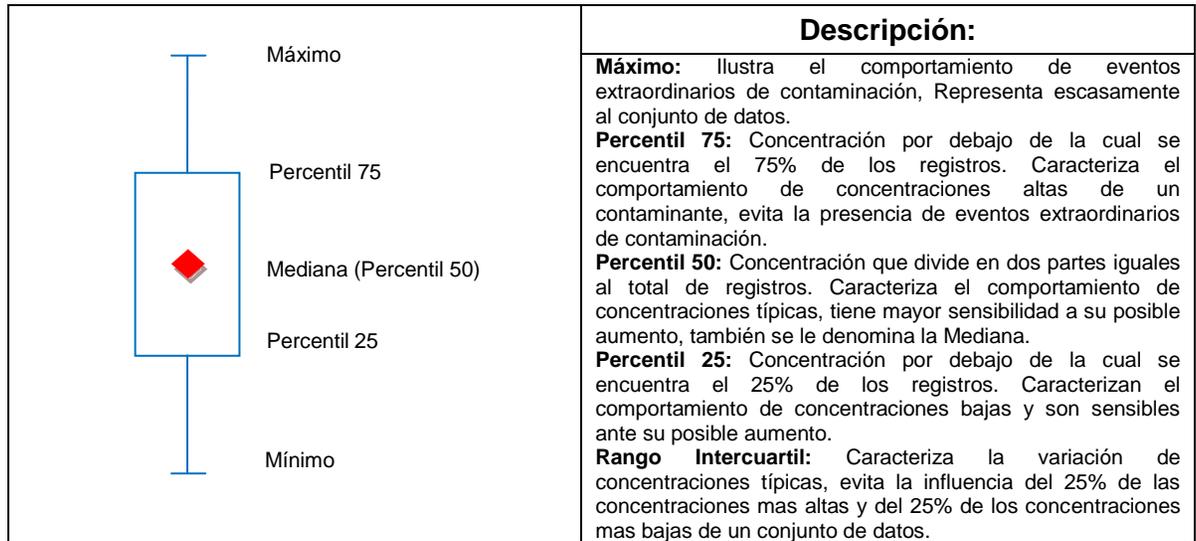


FIGURA 6.42. Representación gráfica de los indicadores estadísticos.

TABLA 6.16 Valores estadísticos para el período de monitoreo en las 15 estaciones.

	Barbosa	Girardota	Copacabana	Bello	Autopista Norte	Museo	Fac. Minas	SENA	Av. Guayabal	Mayorca	Itagüí	Navitrans	Sabaneta	La Estrella	Caldas
Concentración de SO₂ (ug/m³).															
Promedio aritmético	10,7	6,8	11,7	14,7	66,7	17,6	30,5	29,2	25,2	30,8	33,9	25,7	14,3	13,8	16,5
Desviación estándar	2,6	1,3	3,6	3,3	6,6	3,5	8,0	5,4	4,7	5,2	9,5	6,5	2,5	2,9	4,6
Valor máximo	14,1	9,4	21,6	19,9	78,2	25,7	50,9	36,9	32,0	37,9	54,7	33,6	17,4	19,4	24,0
Valor mínimo	5,7	4,4	7,9	8,3	56,2	13,4	19,7	19,9	16,6	21,8	21,1	8,0	9,3	10,2	8,8
Concentración de NO₂ (ug/m³).															
Promedio aritmético	19,0	21,4	24,3	41,6	55,3	54,3	60,7	59,8	57,7	56,4	58,3	58,8	44,1	42,8	45,8
Desviación estándar	2,4	1,7	4,6	3,8	6,7	5,6	7,3	10,6	6,4	5,9	9,3	4,6	4,6	4,3	4,6
Valor máximo	23,2	24,4	29,6	46,5	66,0	62,0	67,9	71,3	66,9	69,5	70,9	67,4	51,5	50,4	51,6
Valor mínimo	15,7	18,4	17,4	35,5	44,8	41,4	47,6	32,0	43,7	45,1	43,2	52,9	36,9	34,4	38,0
Concentración de ozono (ug/m³).															
Promedio aritmético	34,4	37,0	39,1	32,2	33,2	33,5	25,0	24,8	30,9	31,2	33,5	26,9	44,2	47,1	35,3
Desviación estándar	6,6	7,7	7,3	6,0	5,7	5,3	4,2	4,2	4,6	5,6	6,9	4,7	5,4	8,3	5,6
Valor máximo	46,4	54,2	53,3	41,1	43,2	43,5	33,2	33,4	39,2	42,1	46,6	36,3	52,8	61,0	47,3
Valor mínimo	27,3	28,8	29,4	22,1	26,1	23,9	19,7	20,8	24,9	23,1	24,1	21,2	34,9	34,2	28,7
Concentración de benceno (ug/m³).															
Promedio aritmético	2,5	1,8	2,0	4,0	5,8	5,5	7,8	7,7	6,1	6,2	8,2	5,3	5,1	4,2	4,8
Desviación estándar	1,4	0,3	0,2	0,6	0,8	0,6	1,2	2,0	0,8	1,0	2,2	0,5	0,5	0,7	0,7
Valor máximo	6,7	2,1	2,5	4,8	7,0	6,6	9,1	9,5	7,3	8,1	10,8	6,2	6,1	5,7	6,1
Valor mínimo	1,4	1,2	1,6	2,8	4,3	4,3	5,4	1,8	4,6	4,7	4,4	4,4	4,6	3,0	4,0

	Barbosa	Girardota	Copacabana	Bello	Autopista Norte	Museo	Fac. Minas	SENA	Av. Guayabal	Mayorca	Itagüí	Navitrans	Sabaneta	La Estrella	Caldas
Concentración de tolueno (ug/m³).															
Promedio aritmético	4,7	4,7	9,2	17,7	19,2	32,8	25,7	23,1	27,7	25,9	37,5	27,7	25,5	17,9	16,4
Desviación estándar	4,4	0,8	2,2	6,0	3,6	12,6	15,7	6,8	10,9	3,5	9,1	4,8	2,6	6,4	3,3
Valor máximo	18,1	6,3	12,9	34,4	25,6	71,9	71,9	28,1	61,5	34,2	51,9	36,7	31,6	36,3	25,2
Valor mínimo	2,4	3,2	6,5	11,1	12,2	24,0	14,2	2,4	17,4	20,5	24,2	20,4	21,0	11,6	12,5
Concentración de etilbenceno (ug/m³).															
Promedio aritmético	1,5	2,0	3,3	6,2	5,0	7,5	4,8	6,0	6,4	7,2	9,5	7,3	6,6	4,7	4,2
Desviación estándar	1,1	0,5	1,3	2,2	1,1	1,8	1,2	2,3	2,4	1,2	1,1	1,6	2,3	1,9	1,0
Valor máximo	4,8	3,0	6,8	10,8	7,2	11,1	6,6	9,2	10,4	9,1	11,3	10,0	13,1	10,6	5,7
Valor mínimo	0,5	1,4	2,0	3,4	3,8	4,9	3,0	0,5	3,0	5,1	7,6	5,4	4,5	2,6	2,7
Concentración de xilenos (ug/m³).															
Promedio aritmético	6,5	8,7	15,1	29,7	24,2	34,9	24,3	29,8	30,9	33,7	48,1	34,4	30,5	21,7	19,1
Desviación estándar	5,2	1,9	6,7	7,7	3,7	5,2	5,2	9,8	10,0	3,5	9,1	4,1	7,0	6,2	2,5
Valor máximo	22,2	13,4	35,8	42,2	30,1	45,2	30,7	39,0	51,2	37,8	59,5	41,6	46,0	36,5	24,9
Valor mínimo	2,5	6,4	10,2	18,0	19,5	25,7	15,8	2,1	18,6	26,6	30,4	28,1	21,8	14,4	16,5
Tasa de sedimentación de partículas (t /Km² - 30 días.).															
Promedio aritmético	5,2	2,8	6,9	7,7	10,3	5,9	7,6	8,1	9,9	7,1	10,9	19,3	13,5	6,3	8,2
Desviación estándar	3,5	1,8	8,7	1,6	4,9	3,4	2,6	3,6	5,2	2,7	3,0	6,1	6,0	3,2	4,0
Valor máximo	11,1	6,5	32,5	11,0	17,2	13,5	10,7	13,9	23,0	13,7	17,9	32,0	26,5	12,2	16,5
Valor mínimo	2,0	0,1	1,6	5,8	0,1	0,8	2,7	2,3	4,7	3,4	7,0	11,6	5,9	1,8	1,6

6.7.1 Dióxido de azufre.

La FIGURA 6.43 muestra las concentraciones promedio de dióxido de azufre obtenidas en 15 estaciones de monitoreo del Área Metropolitana del Valle de Aburrá, para un año de monitoreo comprendido entre el 01 agosto/06 y el 06 agosto/07. Los niveles encontrados no superan la Norma Colombiana Anual de Calidad del Aire de $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$, la concentración promedio más alta es de $66.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y se registra en la estación Autopista Norte. El gran aporte de SO_2 que se registra en ésta estación se debe a la influencia de la zona industrial circundante, donde se identifica el uso de carbón bituminoso como combustible, el cual genera emisiones de dióxido de azufre a la atmósfera. La dirección predominante de los vientos en el sector, en el sentido norte-sur, favorece la dispersión de los contaminantes hacia el sitio de monitoreo, el cual está ubicado al sur de la zona industrial y a una altura de 10 metros sobre el nivel del suelo. Por estas razones, los niveles de dióxido de azufre medidos en la estación Autopista Norte, son representativos de la zona industrial que allí se asienta.

La Organización Mundial de la Salud, no establece un valor guía anual para el dióxido de azufre, por considerar que el valor guía para 24 horas ($20 \mu\text{g}/\text{m}^3$) asegurará niveles bajos del promedio anual. Al analizar los promedios anuales de dióxido de azufre, se observa que las estaciones Autopista Norte, Facultad de Minas, SENA, Avenida Guayabal, Mayorca, Itagüí y Navitrans superan la Guía para 24 horas de la Organización Mundial de la Salud. Es importante anotar que el dióxido de azufre es un gas irritante para el sistema respiratorio y puede conducir, con una exposición de larga duración, al incremento de enfermedades de las vías respiratorias como la bronquitis.

La distribución de los niveles de dióxido de azufre en el Área Metropolitana, muestra que las mayores concentraciones se presentan en la zona centro del Valle de Aburrá, observando una asociación con la quema de combustibles tanto a nivel industrial como vehicular. Las estaciones ubicadas en los extremos norte y sur del valle reportan las menores concentraciones de SO_2 y se caracterizan por una menor actividad vehicular en comparación con la actividad que se presenta en el centro de la ciudad de Medellín.

En la FIGURA 6.44 se presenta el diagrama de cajas y bigotes de las concentraciones de dióxido de azufre, el cual permite observar la distribución de los datos en cada uno de los puntos de monitoreo. Las estaciones Autopista Norte, Facultad de Minas, Itagüí y Navitrans, presentan un rango de datos (intervalo comprendido entre el valor mínimo y el máximo) más amplio en comparación con las demás estaciones, el rango de datos de la estación Autopista Norte no se traslapa con el rango de las demás estaciones, mostrando la diferencia en la fuente de emisión de las concentraciones de dióxido de azufre medidas en dicha

estación. El rango intercuartil de las estaciones Barbosa, Giradota, Copacabana y La Estrella es más pequeño que el de las demás estaciones, indicando una menor dispersión de las concentraciones típicas en dichas estaciones. La mediana más alta se registra en la estación Autopista Norte y la mediana más baja en la estación Girardota.

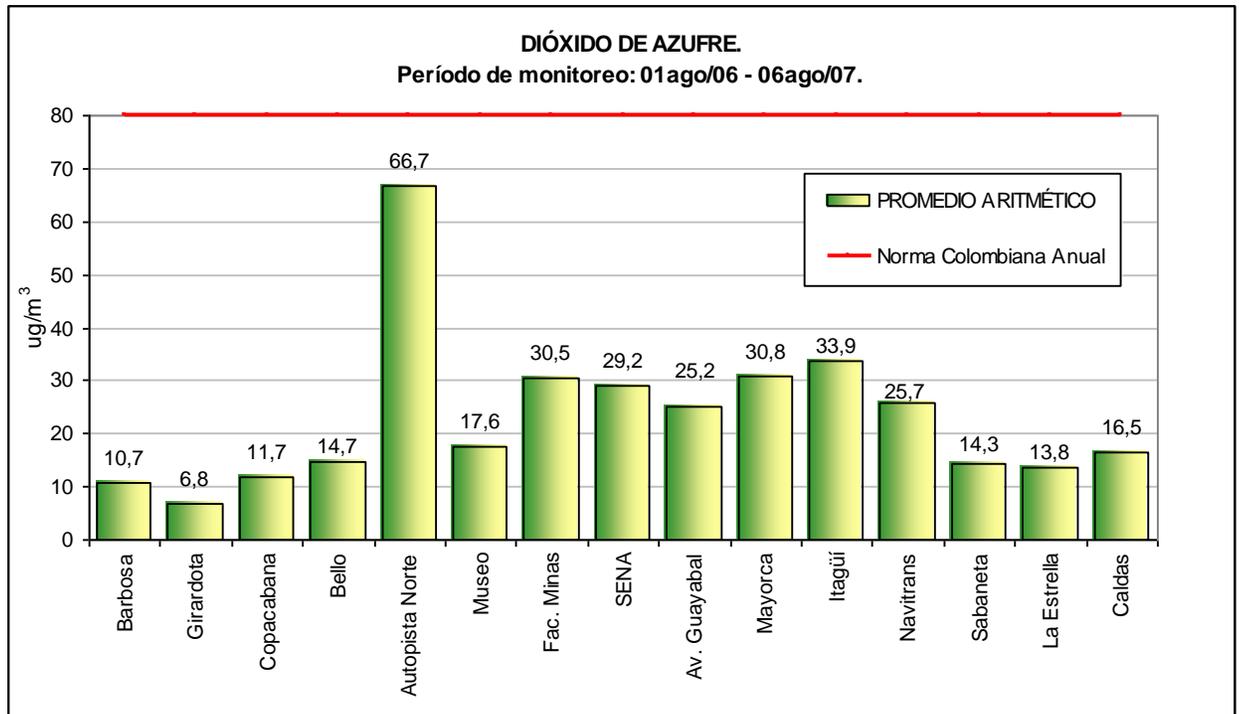


FIGURA 6.43 Concentraciones promedio anuales de SO₂ por monitor pasivo en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Período de monitoreo: 01 agosto/06 – 06 agosto/07.

6.7.2 Dióxido de nitrógeno.

Las concentraciones promedio anuales de dióxido de nitrógeno en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá son ilustradas en la FIGURA 6.45, las cuales no superan la Norma Colombiana Anual de Calidad del Aire para NO₂ de 100 µg/m³. Sin embargo, 12 de las 15 estaciones de monitoreo sí superan la Guía Anual de la Organización Mundial de la Salud de 40 µg/m³. Éste gas puede tener efectos en la salud, al inhalarse en grandes cantidades y penetrar a las vías respiratorias inferiores del pulmón, afectando éste sistema. Al igual que el dióxido de azufre, los individuos que padecen de asma se encuentran entre la población más susceptible de desarrollar una respuesta de constricción bronquial. Es importante destacar que la Norma Europea de Calidad del Aire también establece un valor máximo permisible anual de 40 µg/m³.

Los promedios anuales más bajos de NO_2 se registran en las estaciones Barbosa, Girardota y Copacabana, reflejando la poca actividad vehicular en las vías cercanas. Éstos 3 sitios de monitoreo son los únicos que reportan niveles inferiores al valor guía de la Organización Mundial de la Salud para la protección de la salud pública. Los mayores niveles de NO_2 se registran en las estaciones Facultad de Minas y SENA, con valores de 60.7 y 59.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente. Éstos sitios de monitoreo están ubicados cerca a vías de flujo vehicular importante y no se identifica la influencia de fuentes fijas de dióxido de nitrógeno, por lo tanto los niveles de contaminación medidos, se consideran representativos de las emisiones producidas por los vehículos.

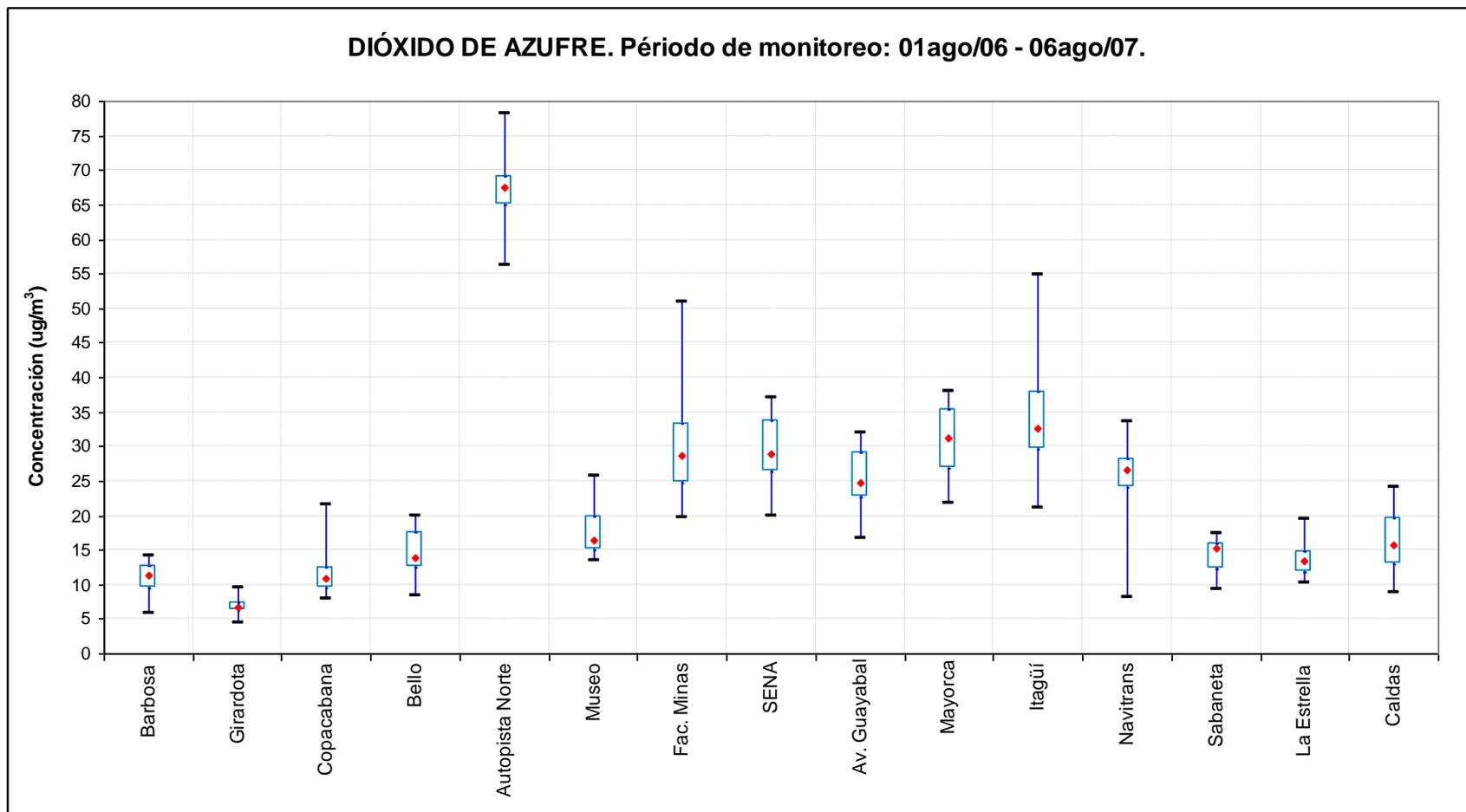


FIGURA 6.44. Diagrama de cajas y bigotes de las concentraciones de SO₂ en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá.

Se observa un comportamiento muy definido en la distribución de los niveles de dióxido de nitrógeno en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. En la zona norte los niveles son los más bajos y empiezan a incrementarse a medida que se tienen sitios de medición más cerca de la zona centro del valle. En la zona sur (Sabaneta, La Estrella y Caldas) los niveles vuelven a disminuir y las menores concentraciones se registran en la estación La Estrella. Éste comportamiento está asociado principalmente con el uso de la gasolina en los motores de combustión interna y la mayor actividad vehicular que reporta el centro de Medellín, en comparación con otros municipios del Área Metropolitana.

En la FIGURA 6.46 se observa las variaciones de las concentraciones de dióxido de nitrógeno para cada uno de los puntos de monitoreo. El rango intercuartil de las estaciones Facultad de Minas e Itagüí es más amplio que el de las demás estaciones, lo que indica una mayor dispersión de las concentraciones típicas en dichas estaciones. La mediana más alta se registra en la estación Facultad de Minas y la mediana más baja en la estación Barbosa. Se observa claramente que el rango de datos de las estaciones Barbosa, Girardota y Copacabana está por debajo que el de las demás estaciones, lo que indica las bajas concentraciones detectadas en dichas estaciones y que están asociadas a la poca actividad vehicular en las vías cercanas.

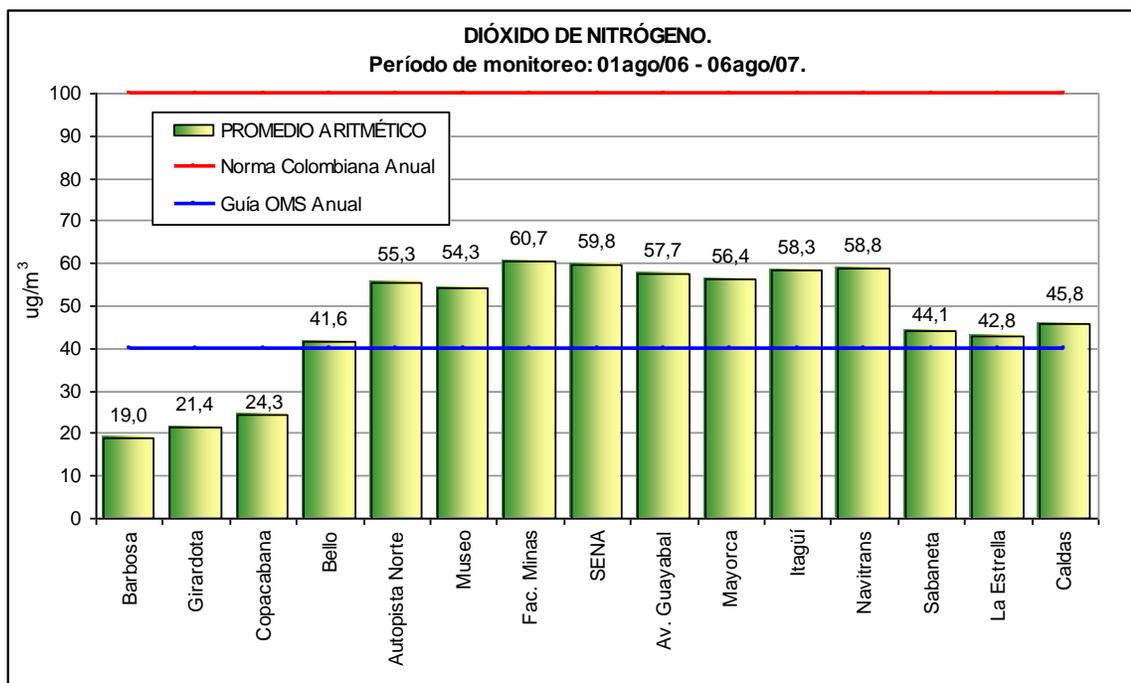


FIGURA 6.45 Concentraciones promedio anuales de NO₂ por monitor pasivo en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Período de monitoreo: 01 agosto/06 – 06 agosto/07.

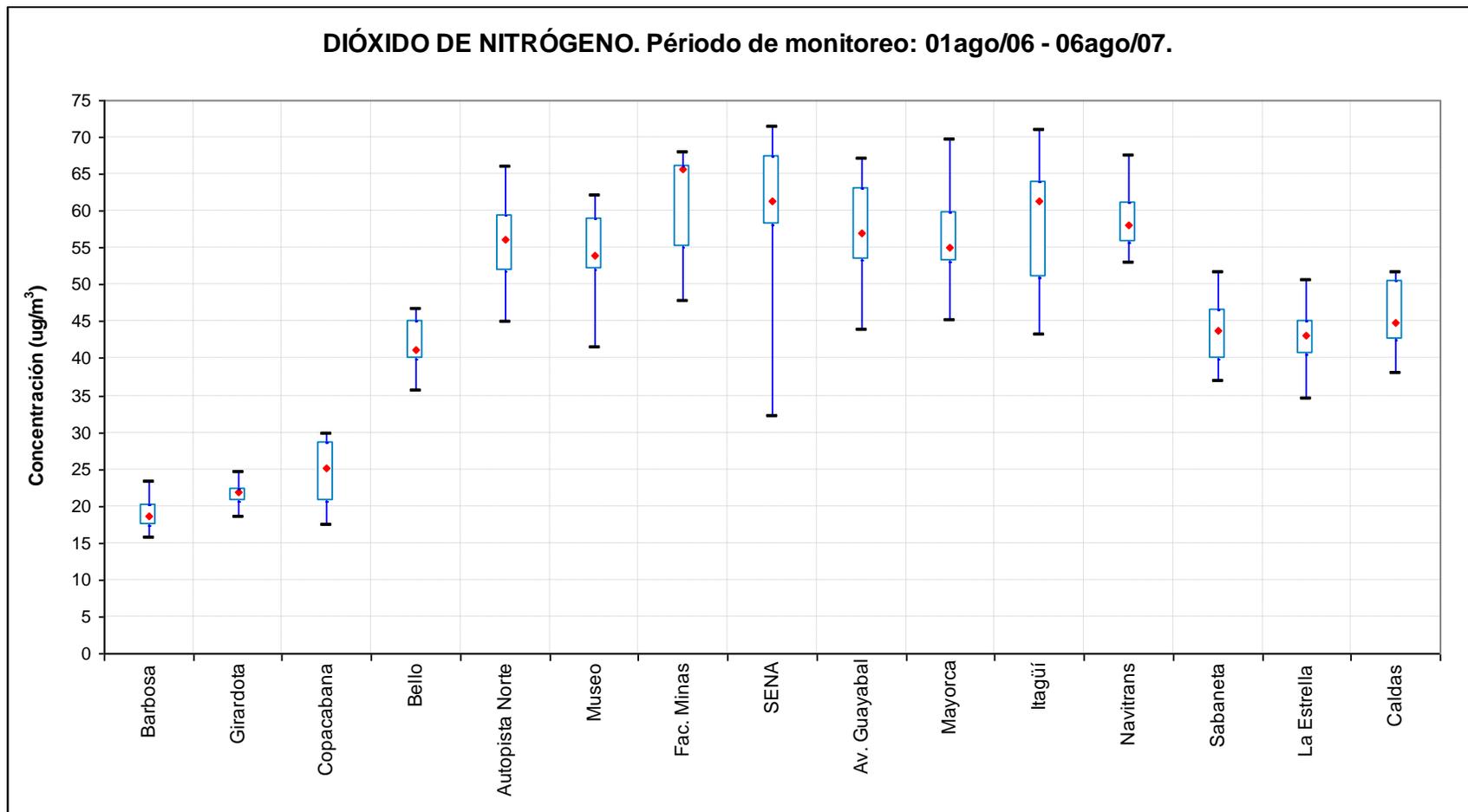


FIGURA 6.46. Diagrama de cajas y bigotes de las concentraciones de NO₂ en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá.

6.7.3 Ozono.

Las concentraciones promedio anuales de ozono registradas en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá e ilustradas en la FIGURA 6.47, están por debajo de la Norma Colombiana Horaria ($120 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y Octohoraria ($80 \mu\text{g}/\text{m}^3$) de Calidad del Aire. Las estaciones Sabaneta y La Estrella, reportan las mayores concentraciones de ozono, con valores de 44.2 y $47.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente.

La evaluación del ozono permite corroborar el comportamiento de éste contaminante en el Valle de Aburrá, de acuerdo con los estudios llevados a cabo con medidores automáticos. A diferencia del dióxido de azufre y el dióxido de nitrógeno, los mayores niveles de ozono se registran en la zona norte y sur del Área Metropolitana. Éste comportamiento se atribuye a las características de formación de éste contaminante en la atmósfera, por reacciones fotoquímicas de los óxidos de nitrógeno y los hidrocarburos, que al dispersarse en el aire, tiende a acumularse en las laderas, tal como se ha evidenciado en estudios de calidad del aire con monitores automáticos en el Valle de Aburrá. Es importante anotar, que los resultados de ozono con métodos pasivos son un indicativo de la contaminación y que el cumplimiento de la norma horaria y octohoraria se deberá verificar con métodos automáticos.

Las variaciones de las concentraciones de ozono en cada uno de los puntos de monitoreo es ilustrado en la FIGURA 6.48. Todos los rangos de datos se traslapan entre sí, mostrando un comportamiento homogéneo de las concentraciones. La estación Mayorca presenta un rango de datos más amplio en comparación con las demás estaciones. La estación SENA presenta el rango intercuartil más pequeño de las estaciones, indicando una menor dispersión de las concentraciones típicas en dicha estación. El percentil 50 más alto se registra en la estación La Estrella y los más bajos se registran en las estaciones Facultad de Minas y SENA.

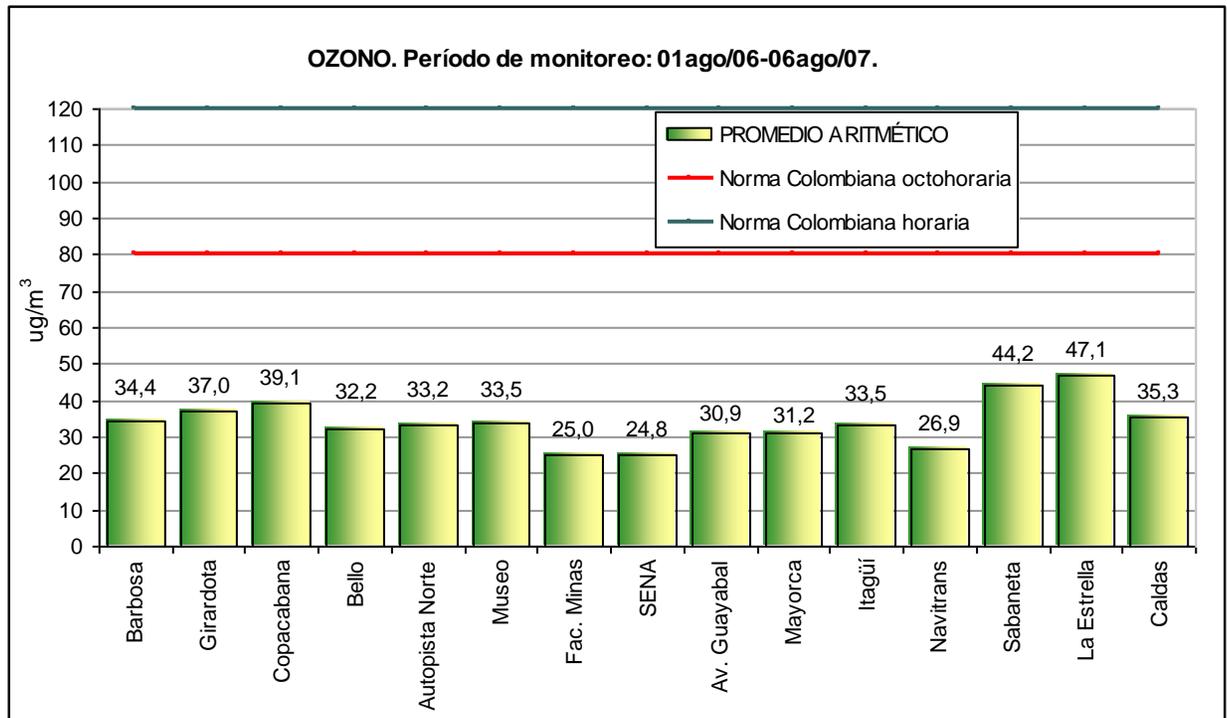


FIGURA 6.47 Concentraciones promedio anuales de ozono por monitor pasivo en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Período de monitoreo: 01 agosto/06 – 06 agosto/07.

6.7.4 Compuestos orgánicos volátiles.

Las concentraciones promedio anuales de benceno en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá para el período comprendido entre el 01 agosto/06 y el 06 agosto/07, son ilustradas en la FIGURA 6.49. Los promedios anuales de benceno en la zona centro del Valle de Aburrá superan la Norma Colombiana Anual de Calidad del Aire de $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Las estaciones que superan el valor máximo permisible para benceno en el aire son: Autopista Norte, Museo, Facultad de Minas, SENA, Avenida Guayabal, Mayorca, Itagüí, Navitrans y Sabaneta. La Organización Mundial de la Salud no recomienda un valor seguro de exposición para éste contaminante, por considerarlo un cancerígeno, por lo tanto en los 15 sitios de monitoreo se está incumpliendo ésta guía mundial para la protección de la salud pública. La situación encontrada en el Área Metropolitana es preocupante si se considera el significado toxicológico que tiene el benceno para el hombre por sus efectos cancerígenos, principalmente leucemia en trabajadores expuestos. En el caso del presente estudio, la población que vive ó transita por los sitios evaluados, se encuentra en riesgo, ya que el benceno puede ser cancerígeno a niveles bajos por largos períodos de exposición.

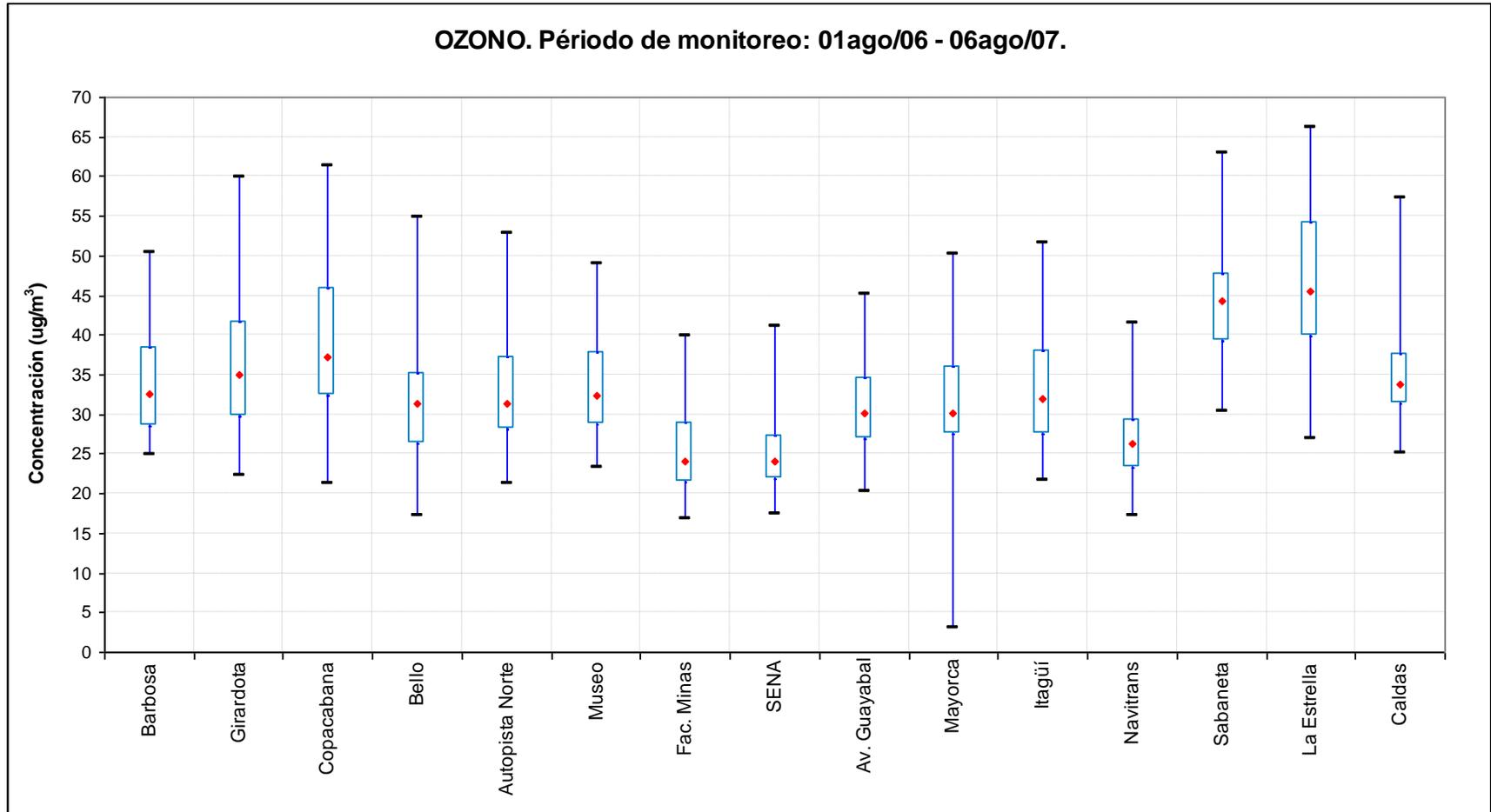


FIGURA 6.48. Diagrama de cajas y bigotes de las concentraciones de Ozono en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá.

Es importante resaltar que en estudios realizados en ciudad de México, se ha observado que las concentraciones de los contaminantes en el interior de los vehículos que viajan lentamente, con tráfico vehicular intenso, son generalmente más altas que las concentraciones en el aire ambiente. En un estudio de 1998 (Lemire, S. et al; 1998), se evaluó la exposición ambiental a compuestos orgánicos volátiles mediante la determinación de las concentraciones sanguíneas en usuarios de transporte en la Ciudad de México. Las concentraciones promedio de benceno en sangre, etilbenceno, m-/p-xileno y tolueno fueron aproximadamente dos veces más elevadas que en la submuestra de no fumadores de la Tercera Encuesta de Nutrición y Salud (Third National Health and Nutrition Examination Survey) en la población de Estados Unidos de América. Éste estudio reflejó el problema de contaminación en la Ciudad de México, asociado al bajo control de emisiones en los vehículos viejos y las pobres prácticas de mantenimiento, además enfatizó la necesidad de iniciativas regulatorias y alternativas para disminuir el tráfico vehicular intenso en la Ciudad de México.

Las concentraciones más altas de benceno registradas en el presente estudio se presentan en las estaciones SENA, Facultad de Minas, e Itagüí, donde el valor permisible anual es superado en un 54% ($7.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$), 56% ($7.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y 64% ($8.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$) respectivamente. Estos niveles están asociados directamente con las emisiones de los vehículos que funcionan a gasolina, como taxis, particulares, camionetas y microbuses que utilizan la gasolina como combustible. Estudios realizados en Estados Unidos (Wallace, L.; 1990) y en el Reino Unido (UK, Department of the Environment) atribuyen el 82% y el 97% de las emisiones de benceno, respectivamente, a las emisiones vehiculares. Es importante destacar el nivel promedio anual de benceno alcanzado en la estación de Caldas de $4.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$, donde se debe continuar el seguimiento de éste contaminante por su valor cercano a la Norma Colombiana.

No se reporta problema de contaminación del aire por tolueno, etilbenceno y xilenos en las 15 estaciones de monitoreo distribuidas en el Área Metropolitana (ver FIGURA 6.50, FIGURA 6.52 y FIGURA 6.53, respectivamente). Las concentraciones son inferiores a la Norma Colombiana Semanal para tolueno de $260 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y en el caso del etilbenceno y los xilenos, los valores están por debajo de la Guía Anual de la Organización Mundial de la Salud de $22.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $870 \mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente.

En la FIGURA 6.51 se muestra el diagrama de cajas y bigotes de las concentraciones de benceno para cada uno de los puntos de monitoreo. Se observa que las estaciones SENA, Itagüí y Barbosa presentan un rango de datos más amplio que las demás estaciones. La estación Barbosa reporta un valor máximo muy alejado del comportamiento de las concentraciones típicas, identificando un evento extraordinario de contaminación. El rango intercuartil de

las estaciones SENA, Itagüí y Facultad de Minas es más amplio que el de las demás estaciones, lo que indica una mayor dispersión de las concentraciones típicas en dichas estaciones, a diferencia de las estaciones Girardota y Copacabana que muestran una menor dispersión de las concentraciones típicas de benceno. La mediana más alta se registra en la estación Itagüí y la mediana más baja en la estación Girardota.

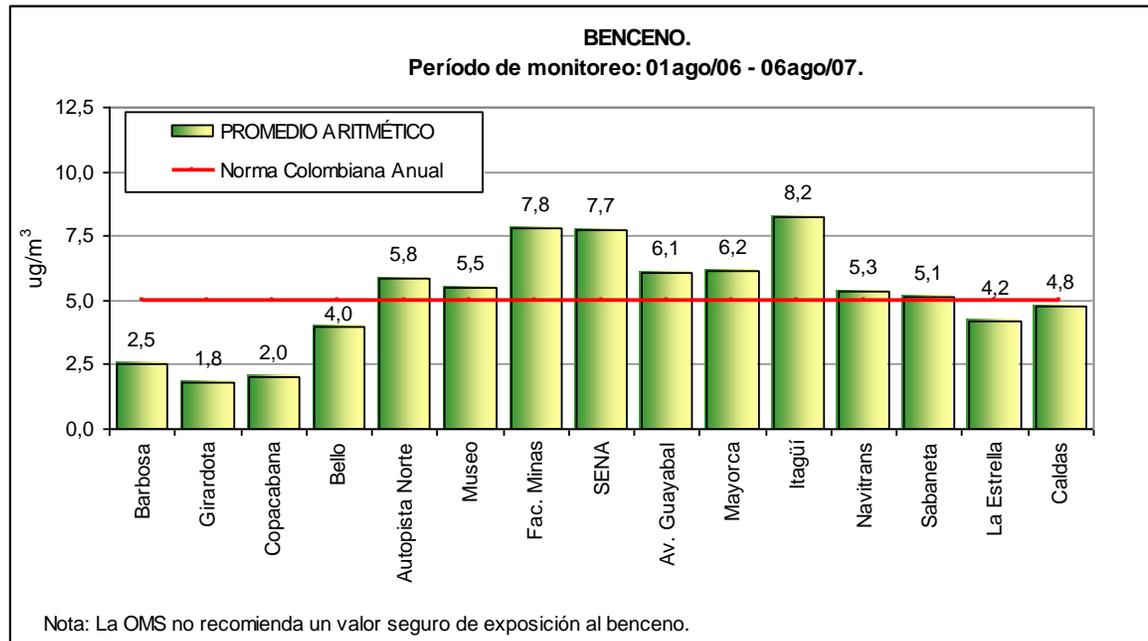


FIGURA 6.49 Concentraciones promedio anuales de benceno por monitor pasivo en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Período de monitoreo: 01 agosto/06 – 06 agosto/07.

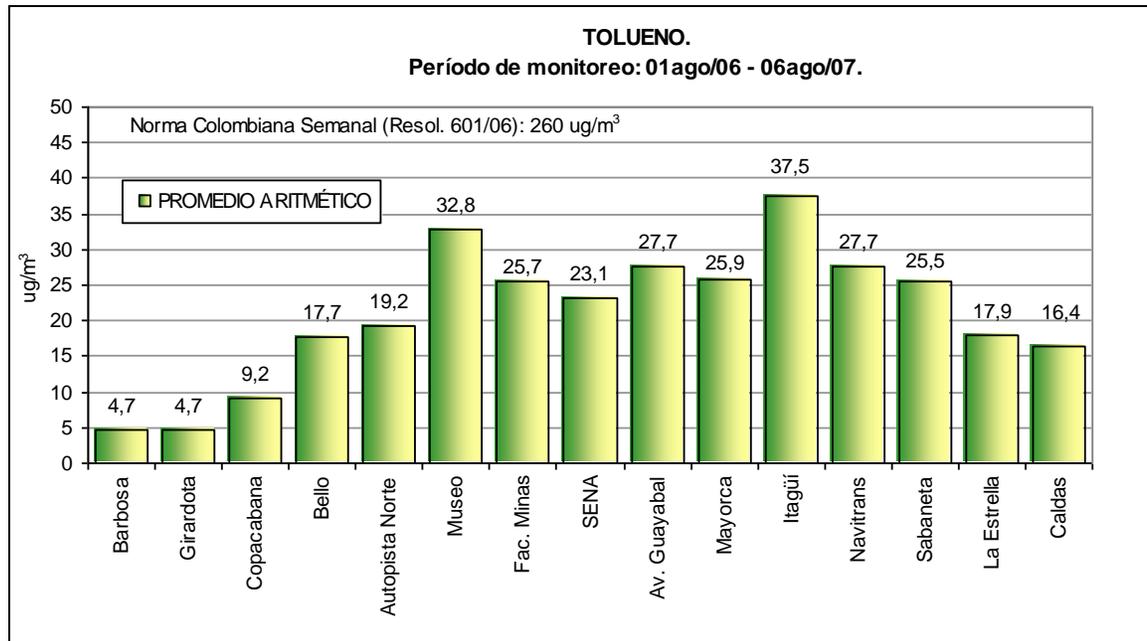


FIGURA 6.50. Concentraciones promedio anuales de tolueno por monitor pasivo en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Período de monitoreo: 01 agosto/06 – 06 agosto/07.

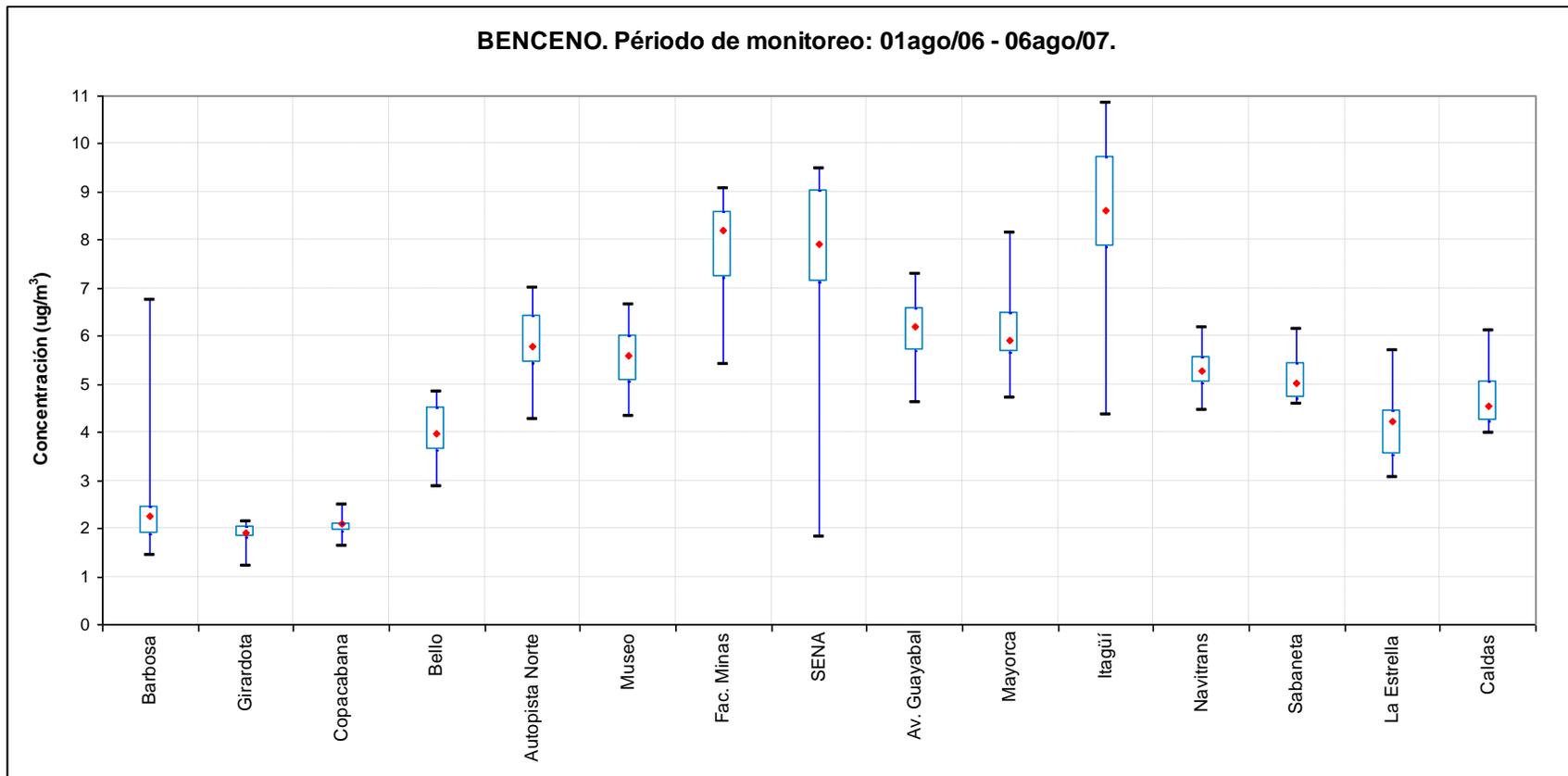


FIGURA 6.51. Diagrama de cajas y bigotes de las concentraciones de Benceno en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá.

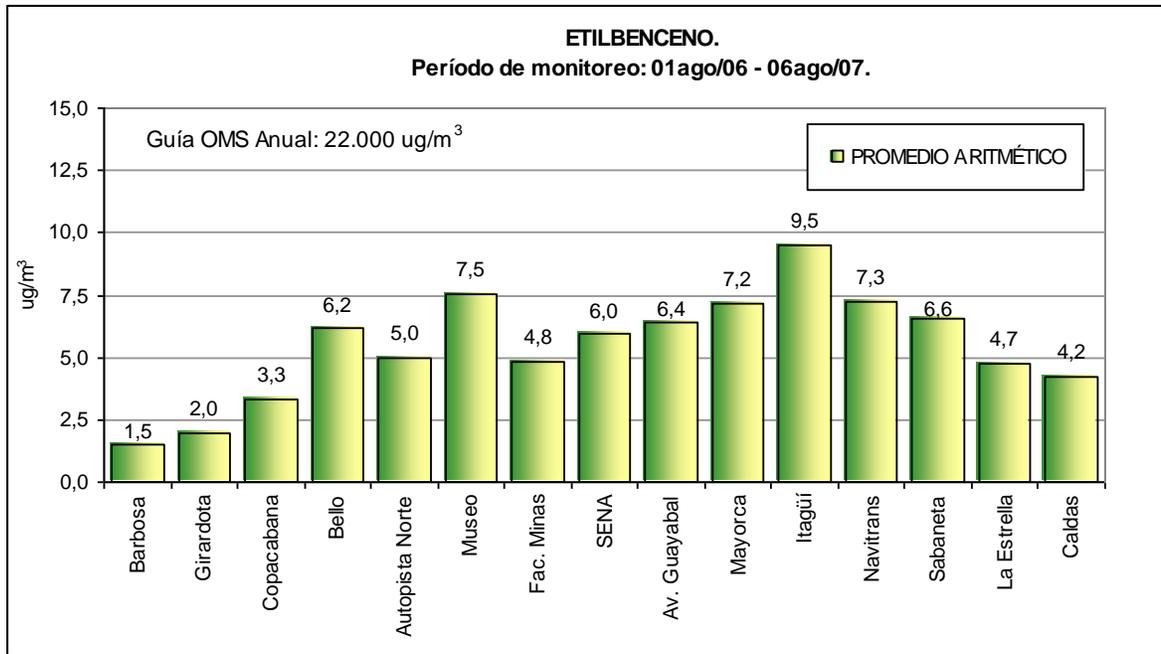


FIGURA 6.52 Concentraciones promedio anuales de etilbenceno por monitor pasivo en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Período de monitoreo: 01 agosto/06 – 06 agosto/07.

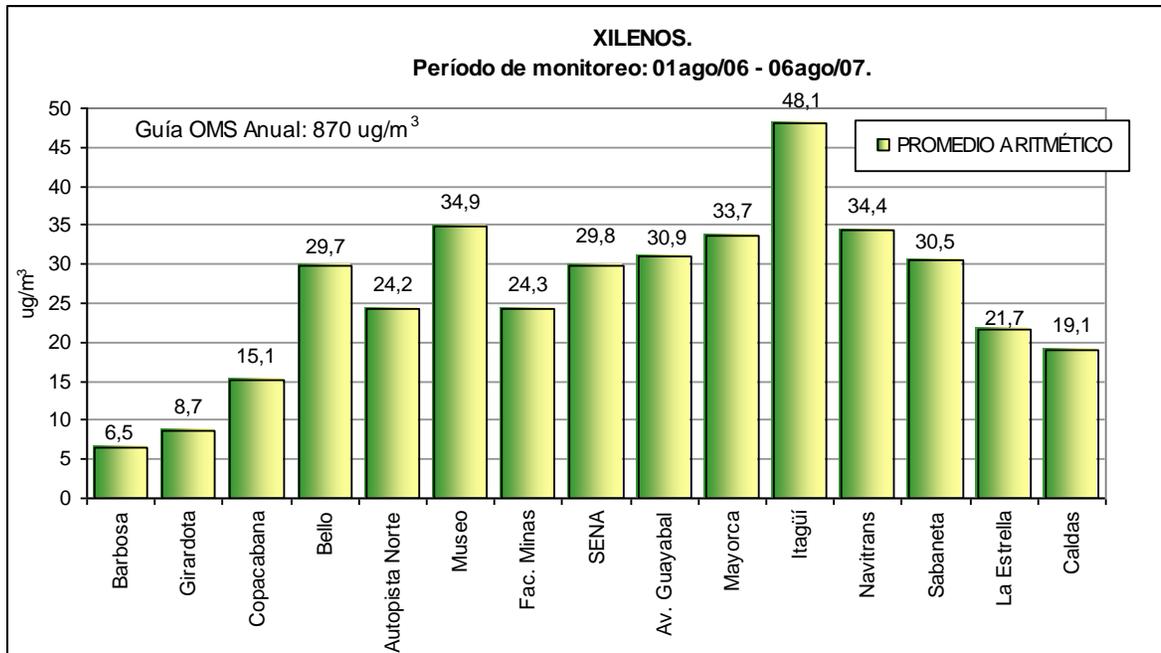


FIGURA 6.53 Concentraciones promedio anuales de xilenos por monitor pasivo en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Período de monitoreo: 01 agosto/06 – 06 agosto/07.

6.7.5 Partículas sedimentables.

La FIGURA 6.54 ilustra la tasa de sedimentación de partículas promedio anual en 15 sitios de monitoreo del Área Metropolitana del Valle de Aburrá. En 12 de las 15 estaciones se sobrepasa la Norma Anual Suiza de $6 \text{ t/km}^2\text{-30 días}$. Sólo las estaciones Barbosa, Girardota y Museo reportan tasas de sedimentación de partículas inferiores a dicha norma. Las vías cercanas a las estaciones Barbosa y Girardota se caracterizan por la poca actividad vehicular en comparación con las vías de la zona centro del Área Metropolitana. En el caso de la estación Museo, ubicada en la zona centro de Medellín, es posible que por ser la estación de monitoreo de mayor altura sobre el nivel del suelo (17.2 m), no se alcanza a captar el polvo generado en la Avenida de Greiff (calle 52).

Las estaciones Autopista Norte, Navitrans, Itagüí y Sabaneta reportan promedios anuales superiores a la Norma Argentina de $10 \text{ t/km}^2\text{-30 días}$. La mayor tasa de sedimentación de partículas promedio se registra en la estación Navitrans, la cual se caracteriza por medir el impacto del flujo vehicular de la Autopista Sur. Es de anotar que entre el 17 de enero y el 7 de marzo de 2007, se registraron trabajos de repavimentación en la vía, afectando la medición de partículas sedimentables en dicho período.

La resuspensión de polvos en las vías y el desgaste de los neumáticos en los vehículos se encuentran entre las principales causas de la presencia de éste contaminante en la atmósfera. Las actividades de construcción y demolición en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá son otra fuente importante de emisión de partículas sedimentables, en donde se llevan a cabo procesos de trituración y pulverización de grandes partículas.

La FIGURA 6.55 muestra el diagrama de cajas y bigotes de la tasa de sedimentación de partículas en cada uno de los puntos de monitoreo. Las estaciones Navitrans y Sabaneta presentan un rango intercuartil más amplio en comparación con las otras estaciones, indicando una mayor dispersión de las tasas de sedimentación de partículas típicas en dichas estaciones. La estación Copacabana presenta el rango de datos más amplio de todas las estaciones y a la vez registra un valor máximo muy alejado del comportamiento de los datos típicos, identificando un evento extraordinario de contaminación. El percentil 50 más alto se registra en la estación Navitrans y el más bajo en la estación Girardota.

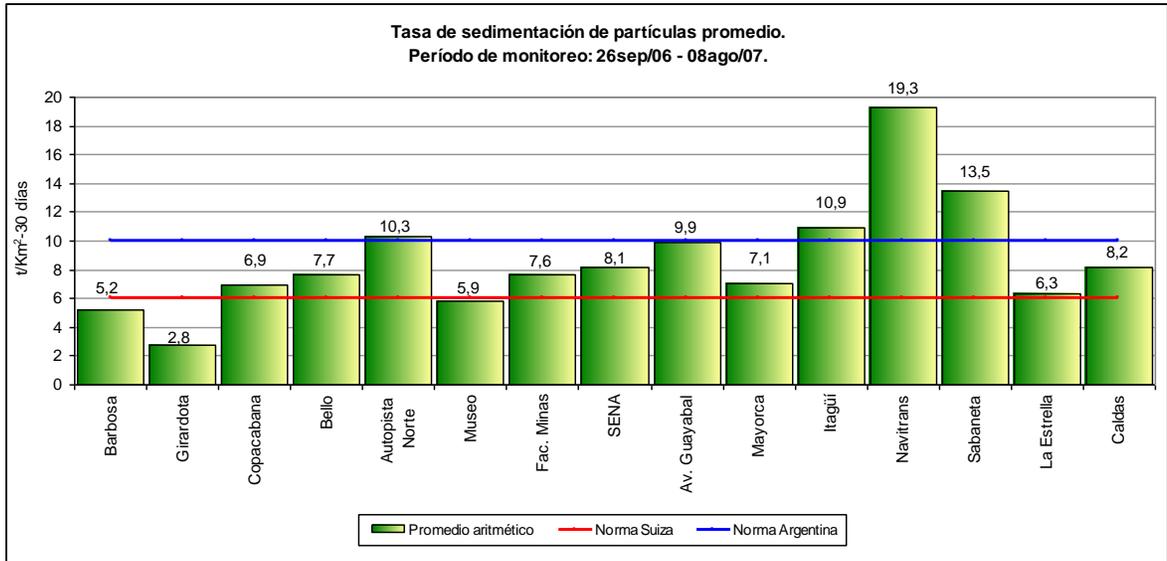


FIGURA 6.54. Tasa de sedimentación de partículas promedio anual en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Período de monitoreo: 26 septiembre/06 – 15 agosto/07.

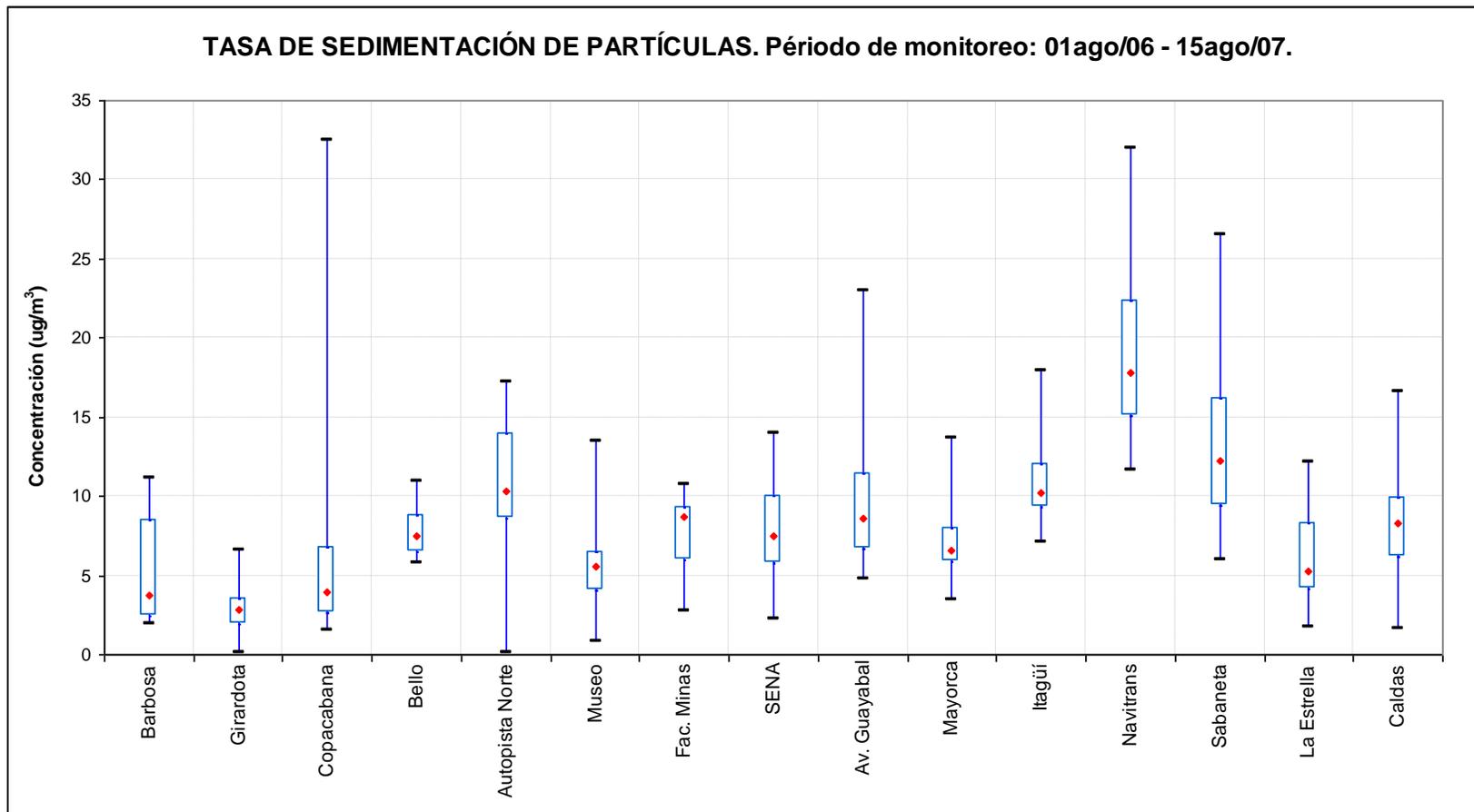


FIGURA 6.55. Diagrama de cajas y bigotes de las tasas de sedimentación de partículas en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá.

6.8 IDENTIFICACIÓN DE ZONAS CRÍTICAS DE CONTAMINACIÓN.

De acuerdo con los resultados de calidad del aire obtenidos, se identificaron las zonas críticas de contaminación en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Se analizaron aquellos contaminantes que se pueden comparar directamente con la Norma Colombiana Anual de Calidad del Aire (Resolución 601 del 04 de abril de 2006, expedida por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial de la República de Colombia), como el dióxido de azufre, el dióxido de nitrógeno y el benceno, exceptuando las partículas sedimentables que fueron comparadas con la Norma Suiza y Argentina, por no existir normatividad colombiana para éste contaminante.

Las figuras 6.56 a 6.59 muestran las zonas críticas de contaminación por dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno, benceno y partículas sedimentables en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá respectivamente. Allí se observa el código de colores utilizado el cual obedece al cumplimiento de las diferentes normas con las que son analizados los contaminantes. Se asigna el color rojo cuando el contaminante sobrepasa la Norma Colombiana de Calidad del Aire y verde cuando no sobrepasa la Norma Colombiana ni la Guía Internacional de la Organización Mundial de la Salud. En el caso de las partículas sedimentables se asigna el color rojo cuando los datos sobrepasan la Norma Argentina y verde cuando no sobrepasan la Norma Argentina ni la Norma Suiza.

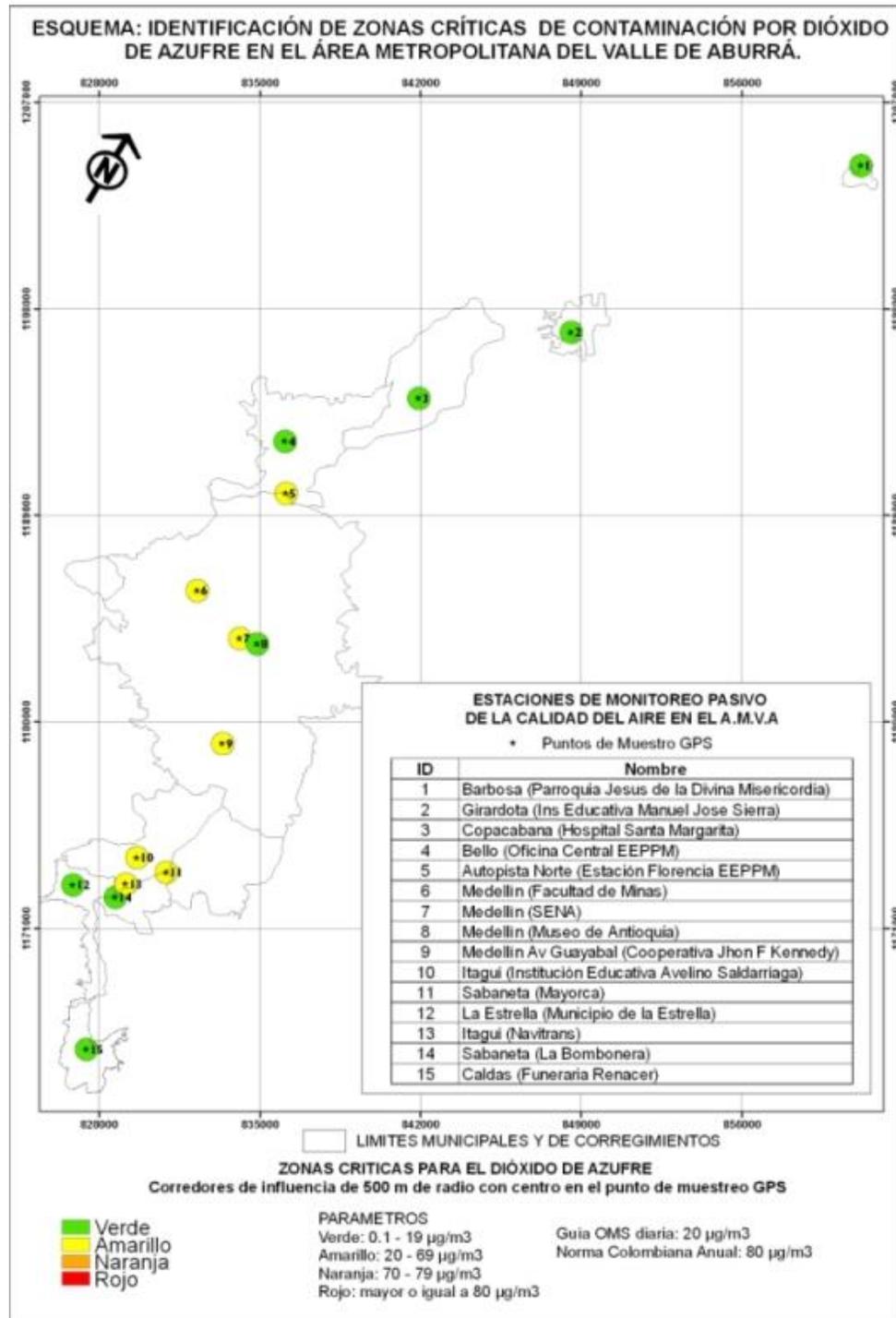


FIGURA 6.56. Identificación de zonas críticas de contaminación por SO₂ en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá.

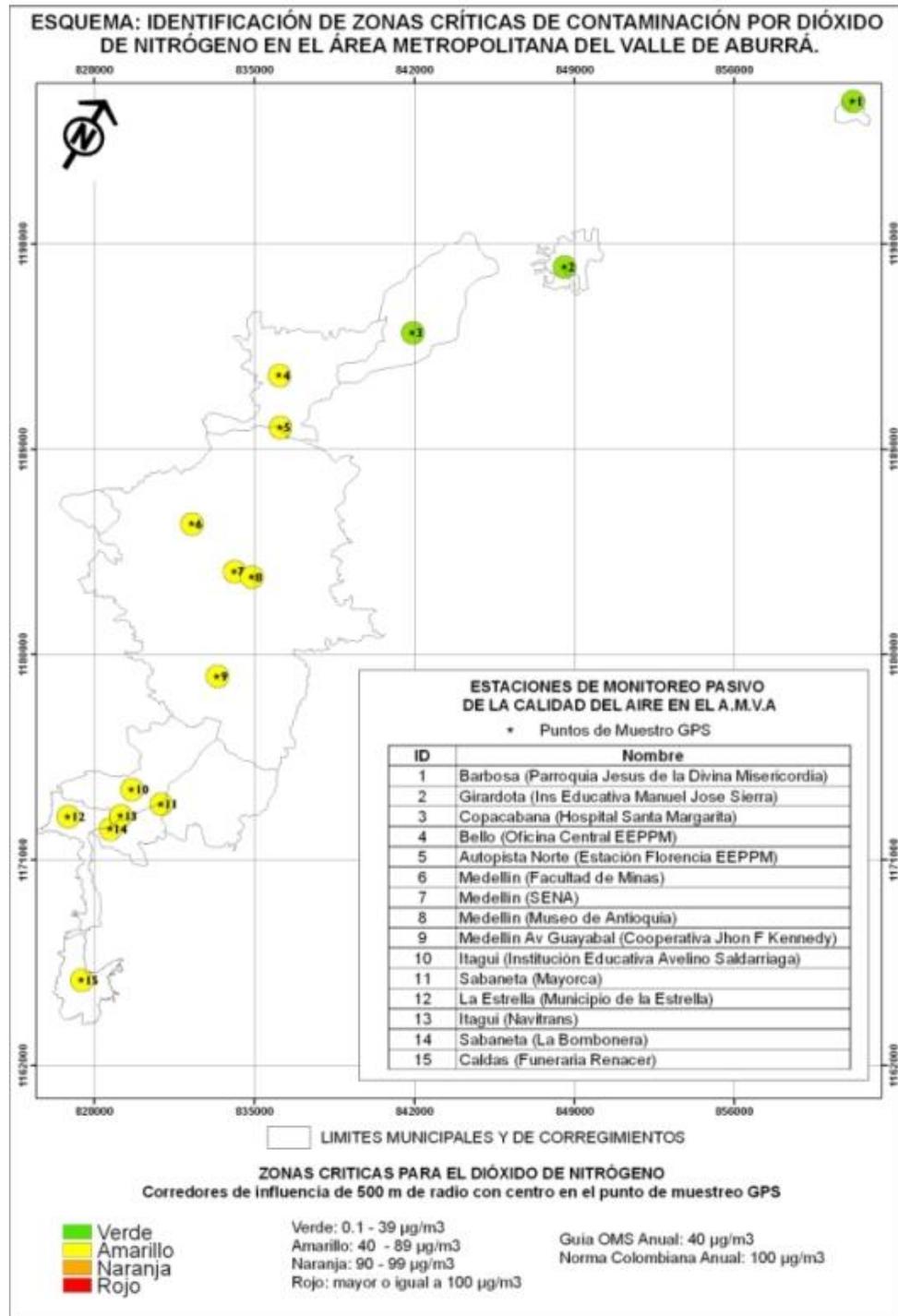


FIGURA 6.57. Identificación de zonas críticas de contaminación por NO₂ en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá.

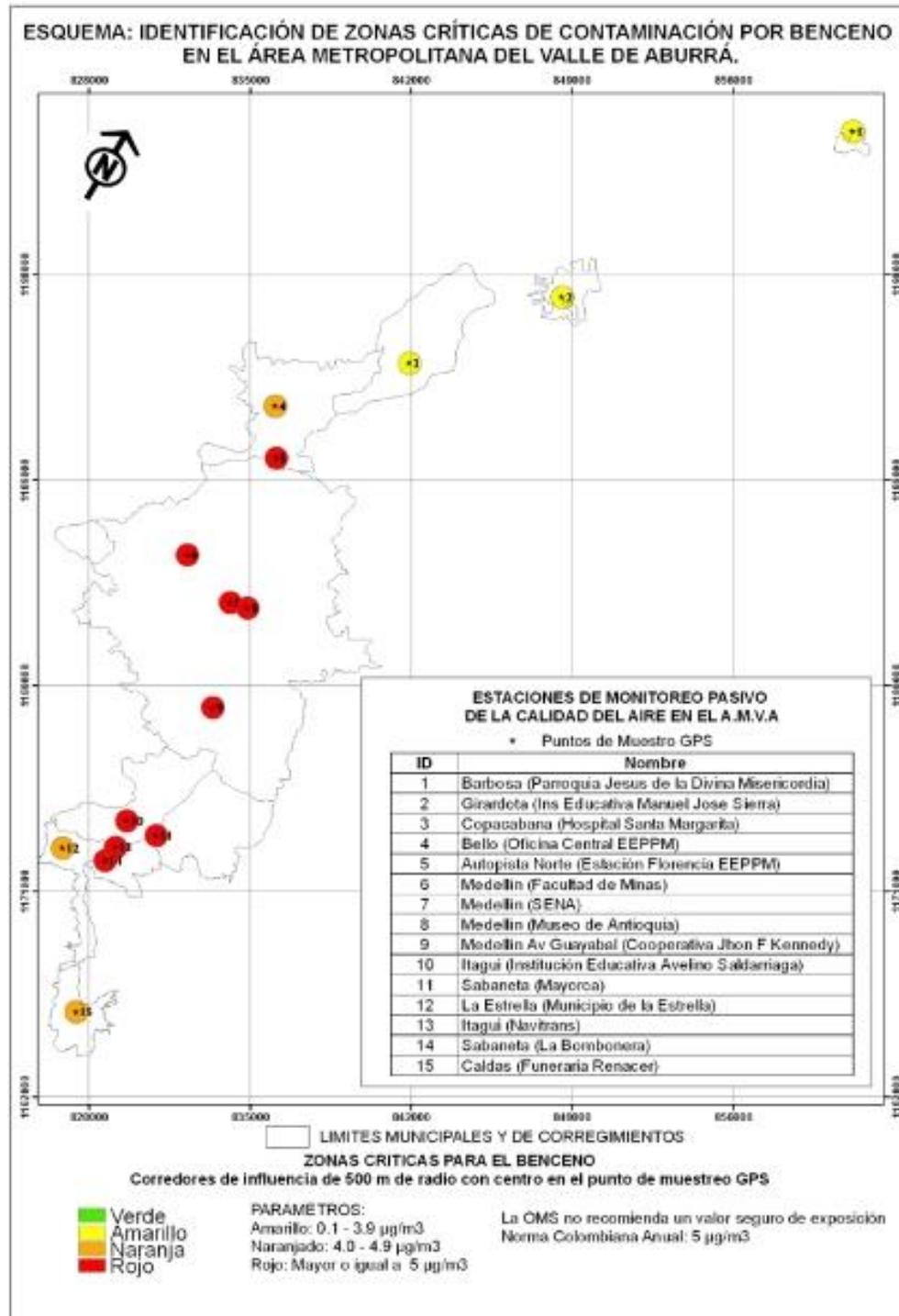


FIGURA 6.58. Identificación de zonas críticas de contaminación por Benceno en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá.

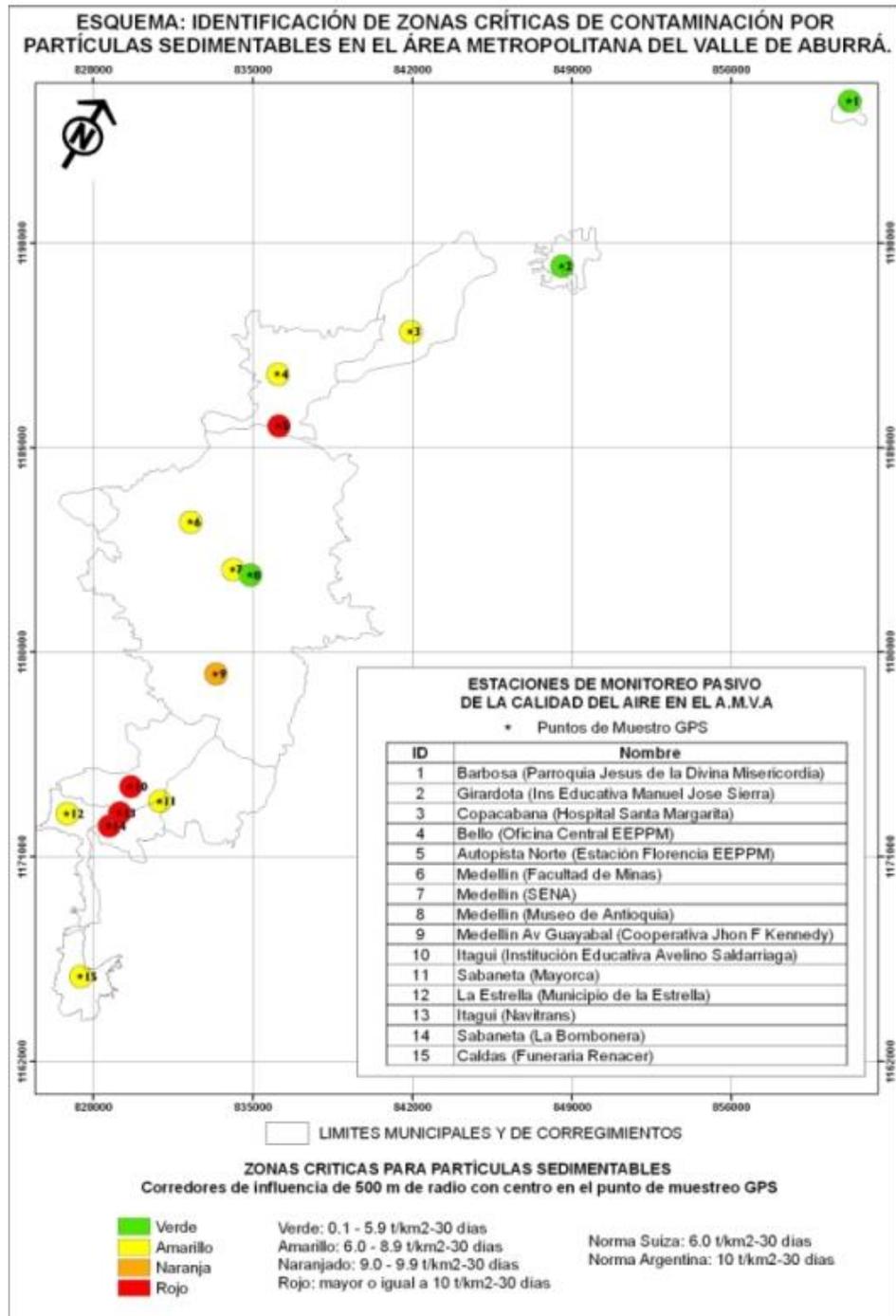


FIGURA 6.59. Identificación de zonas críticas de contaminación por partículas sedimentables en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá.

6.9 CORRELACIÓN CON LOS MÉTODOS DE MEDICIÓN ACTIVOS.

Estudios de medición de calidad del aire realizados en Europa con captadores difusivos Passam, han demostrado una alta correlación con los medidores automáticos ó continuos. Estas comparaciones generalmente se hacen para períodos de un año de medición. La FIGURA 6.60 muestra la comparación de 25 valores límites anuales en diferentes lugares de medición en Suiza con medidores automáticos y pasivos. Se observa que el coeficiente R^2 (0.9706) indica una alta correlación entre los datos.

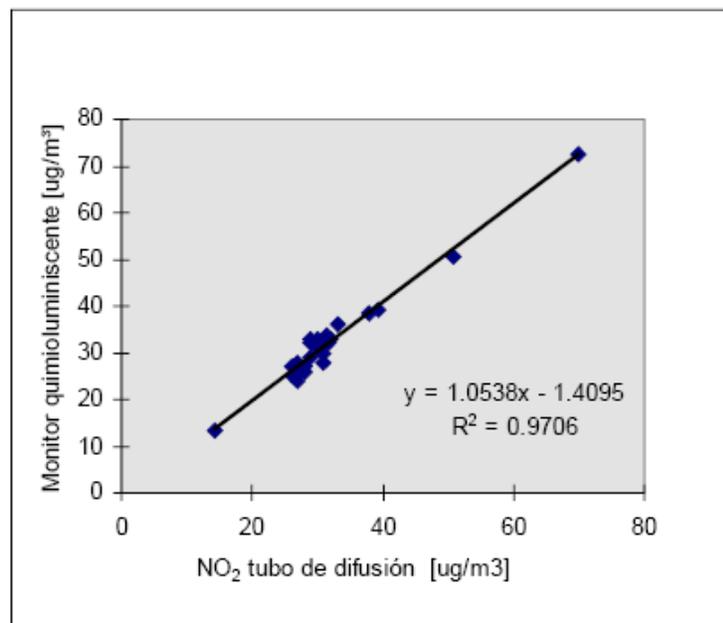


FIGURA 6.60. Correlación entre monitor pasivo y automático de NO₂ realizadas en Suiza.

En el presente estudio, no fue posible hacer comparaciones con los medidores automáticos que utiliza la Red de Monitoreo de la Calidad del Aire en el Valle de Aburrá debido a que éstos funcionaron en otros sitios del Área Metropolitana durante el desarrollo del proyecto. Por ésta razón sólo se realizaron comparaciones entre los métodos pasivos y los métodos activos manuales, para dos sitios de monitoreo: Facultad de Minas y Museo de Antioquia. Los resultados obtenidos en la estación Museo de Antioquia fueron comparados con la estación Miguel de Aguinaga de la Red de Monitoreo de la Calidad del Aire en el Valle de Aburrá, debido a la cercanía de éstos dos sitios (71m de distancia) ubicados en la zona centro de Medellín.

Se realizaron comparaciones para las concentraciones de dióxido de azufre y dióxido de nitrógeno. Estos contaminantes son medidos con el equipo activo

manual tres gases utilizando las soluciones absorbentes Tetracloruromercurato (TCM) para el SO₂ y el Arsenito de Sodio para el NO₂, posteriormente son analizados en el laboratorio por colorimetría.

Se tomaron las concentraciones promedio mensuales de SO₂ y NO₂ y se correlacionaron con la concentraciones máximas obtenidas con el tres gases para el mismo período de monitoreo (ver TABLA 6.17 y TABLA 6.18). la Red de Monitoreo de la Calidad del Aire en el Valle de Aburrá realiza mediciones cada seis días de éstos contaminantes, por lo tanto se asume que el valor máximo de los datos es representativo para el período de análisis.

En la FIGURA 6.61 y la FIGURA 6.62, se observa que el dióxido de azufre y el dióxido de nitrógeno no muestran una correlación para las parejas de datos analizadas, como lo indican los coeficientes de correlación R²: 0.134 y 0.03 respectivamente.

Es importante anotar que éste tipo de correlaciones permite validar el uso de los captadores difusivos para las mediciones de calidad del aire en el Valle de Aburrá, por lo tanto es importante realizar mediciones simultáneas con los equipos automáticos, con los que se han encontrado altas correlaciones en países como Suiza, Francia (Nadine *et al*, 1999) y Alemania (Pfeffer *et al*, 2006).

TABLA 6.17. Concentraciones de SO₂ por monitor activo y pasivo.

Período de monitoreo	Monitor Activo(1)	Monitor Pasivo	Período de monitoreo	Monitor Activo(1)	Monitor Pasivo
01ago-29ago/06	26,6	33,3	01ago-29ago/06	2,3	17,5
29ago-26sep/06	1,9	38,7	29ago-26sep/06	1,2	13,4
26sep-24oct/06	(2)	50,9	26sep-24oct/06	(2)	18,7
24oct-21nov/06	(2)	24,4	24oct-21nov/06	(2)	25,7
21nov-19dic/06	(2)	36,1	21nov-19dic/06	(2)	21,1
19dic/06-16ene/07	(2)	23,8	19dic/06-16ene/07	(2)	15,5
16ene-13feb/07	3,4	27,5	16ene-13feb/07	3,3	16,5
13feb-13mar/07	3,5	30,0	13feb-13mar/07	3,1	15,1
13mar-10abr/07	1,2	24,7	13mar-10abr/07	0,9	14,8
10abr-8may/07	6,4	30,7	10abr-8may/07	5,7	19,9
8may-5jun/07	(2)	28,7	8may-5jun/07	(2)	21,3
05jun-03jul/07	6,1	27,8	05jun-03jul/07	3,8	15,0
03jul-31jul/07	8,6	19,7	03jul-31jul/07	6,1	14,7

(1) Máximo del periodo

(2) No existe registro

TABLA 6.18. Concentraciones de NO₂ por monitor activo y pasivo.

Periodo de monitoreo	Monitor Activo ⁽¹⁾	Monitor Pasivo	Periodo de monitoreo	Monitor Activo ⁽¹⁾	Monitor Pasivo
01ago-29ago/06	37,0	65,7	01ago-29ago/06	7,2	59,0
29ago-26sep/06	34,6	66,1	29ago-26sep/06	45,3	56,3
26sep-24oct/06	(2)	61,0	26sep-24oct/06	(2)	51,3
24oct-21nov/06	(2)	66,2	24oct-21nov/06	(2)	53,9
21nov-19dic/06	(2)	51,7	21nov-19dic/06	(2)	52,5
19dic/06-16ene/07	(2)	50,5	19dic/06-16ene/07	(2)	48,6
16ene-13feb/07	64,9	55,0	16ene-13feb/07	53,0	52,4
13feb-13mar/07	138,8	67,5	13feb-13mar/07	85,3	56,7
13mar-10abr/07	94,4	66,0	13mar-10abr/07	175,6	62,0
10abr-8may/07	38,9	67,9	10abr-8may/07	64,8	60,8
8may-5jun/07	(2)	66,4	8may-5jun/07	(2)	59,5
05jun-03jul/07	168,1	47,6	05jun-03jul/07	96,7	41,4
03jul-31jul/07	61,9	56,9	03jul-31jul/07	59,8	52,0

⁽¹⁾ Máximo del periodo

⁽²⁾ No existe registro

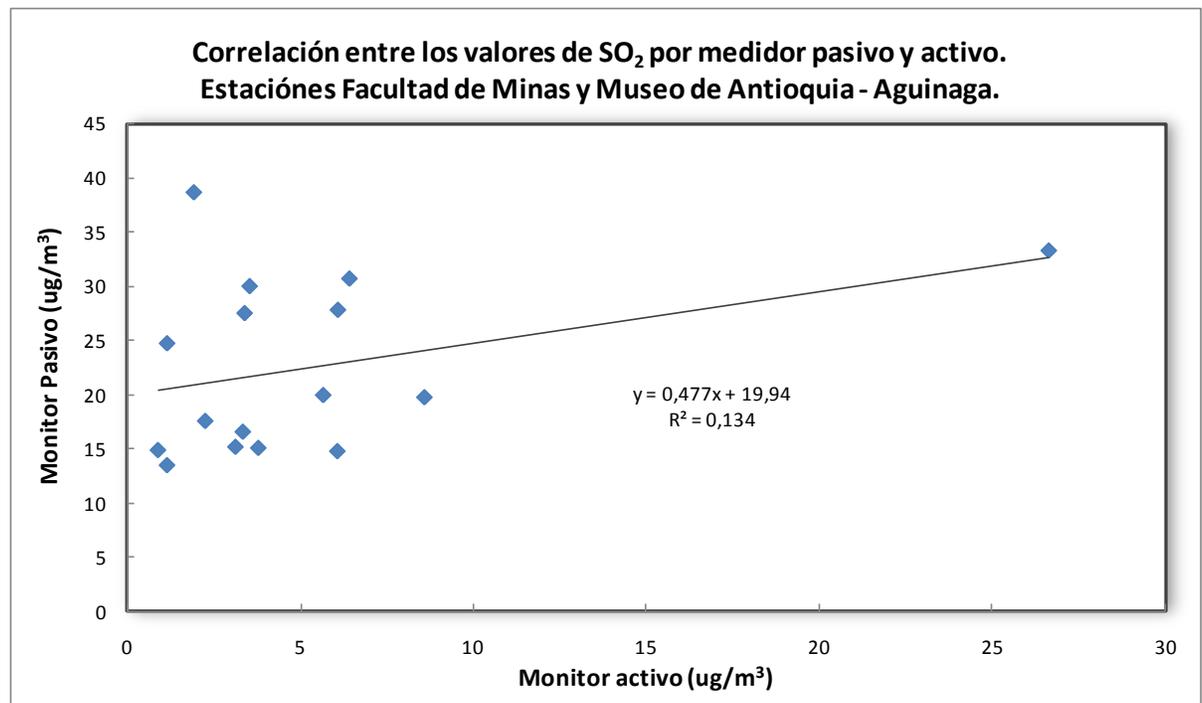


FIGURA 6.61. Correlación entre los valores de SO₂ por medidor pasivo y activo.

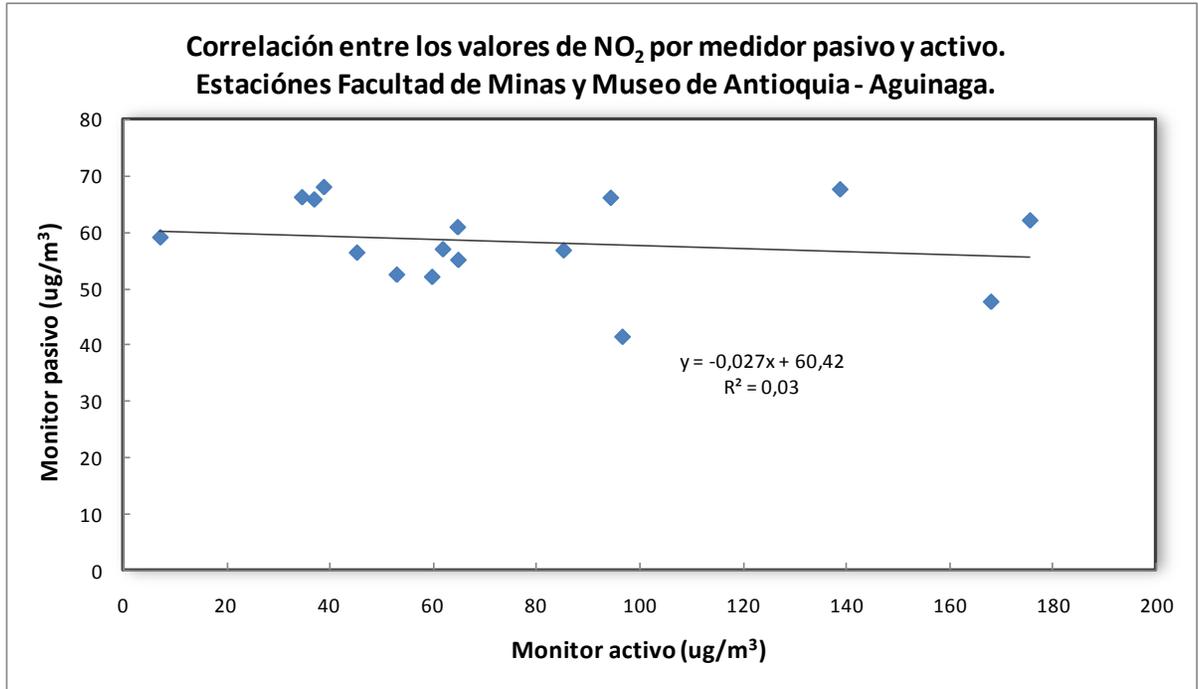


FIGURA 6.62. Correlación entre los valores de NO₂ por medidor pasivo y activo.

7 INFORME FINANCIERO

DESCRIPCIÓN DEL GASTO	UNIDAD	CANT	VR. UNIT (\$)	VR. TOTAL (\$)	SEGUIMIENTO (PESOS)								TOTAL ACUMULADO	
					Primer Desembolso \$66.812.832		Segundo Desembolso \$66.812.832		Tercer Desembolso \$66.812.832		Cuarto Desembolso \$12.612.557		PROGRAMA-DO	EJECUTA-DO
					PROGRA-MADO	EJECUTA-DO	PROGRE-MADO	EJECUTA-DO	PROGRAMA-DO	EJECUTADO	PROGRA MADO	EJECU TADO		
PERSONAL														
Eliana Molina V (Ingeniera de Campo)	Mes	12	1.500.000	18.000.000	6.000.000	6.000.000	10.500.000	10.500.000	9.808.383	9.000.000			26.308.383	25.500.000
Claudia Marcela Rubiano (Estudiante Auxiliar)	Mes	12	651.333	7.815.996	2.605.332	2.605.332	3.256.665	3.256.665	5.869.815	3.908.000			11.731.812	9.769.997
SUBTOTAL PERSONAL				25.815.996	8.605.332	8.605.332	13.756.665	13.756.665	15.678.198	12.908.000	0	0	38.040.195	35.269.997
INSUMOS														
Colectores Muestreadores Partículas Sedimentables	Unidad	19	120.000	2.280.000			1.559.040	1.559.040					1.559.040	1.559.040
Análisis Pasivos Partículas Sedimentable	Muestra	220	12.000	2.640.000					2.505.900	2.505.900			2.505.900	2.505.900
Pasivos SO2	Muestra	220	72.000	15.840.000	4.968.420	4.968.420			5.971.572	5.971.572			10.939.992	10.939.992
Pasivos NO2	Muestra	220	55.200	12.144.000	3.726.315	3.726.315			4.478.706	4.478.706			8.205.021	8.205.021
Pasivos Ozono	Muestra	720	115.200	82.944.000	20.166.120	20.166.120			21.826.108	21.826.108			41.992.228	41.992.228
Pasivos COV (Benzeno, Tolueno, Xileno)	Muestra	220	184.800	40.656.000	15.319.380	15.319.380			18.412.359	18.412.359			33.731.739	33.731.739
Protectores de Muestreadores Pasivos	Global	20	98.400	1.968.000	1.665.900	1.665.900							1.665.900	1.665.900

DESCRIPCIÓN DEL GASTO	UNIDAD	CANT	VR. UNIT (\$)	VR. TOTAL (\$)	SEGUIMIENTO (PESOS)								TOTAL ACUMULADO	
					Primer Desembolso \$66.812.832		Segundo Desembolso \$66.812.832		Tercer Desembolso \$66.812.832		Cuarto Desembolso \$12.612.557			
					PROGRA- MADO	EJECUTA- DO	PROGRE- MADO	EJECUTA- DO	PROGRAMA- DO	EJECUTADO	PRO GRA MADO	EJECU TADO	PROGRAMA- DO	EJECUTA- DO
Gastos de Importación Primera, Segunda y Tercera Compra	Global	1			12.672.178	12.672.178			23.211.178	23.211.178			35.883.356	35.883.356
Chalecos y Gorras	Unidad	6	70.500	423.000	423.000	423.000							423.000	423.000
SUBTOTAL INSUMOS				158.472.000	58.941.313	58.941.313	1.559.040	1.559.040	76.405.823	76.405.823	0	0	136.906.176	136.906.176
TRANSPORTE				155.832.000										
Visita a las estaciones y recolección de muestras	Viaje	46	200.000	9.200.000			3.197.500	3.197.500	10.417.500	10.417.500			13.615.000	13.615.000
Envío de muestras	Paquete	12	300.000	3.600.000					3.040.000	3.040.000			3.040.000	3.040.000
SUBTOTAL TRANSPORTE				12.800.000	0	0	3.197.500	3.197.500	13.457.500	13.457.500	0	0	16.655.000	16.655.000
ADMINISTRACION														
Administración de la UNAL	Global		25.621.444	25.621.444	270.186	270.186	74.053	74.053	2.502.956	2.499.722			2.847.195	2.843.961
Compra de Norma									350.000	350.000				
Estudiante Auxiliar SIG									867.400	867.400				
Papelería									870.000	870.000				
SUBTOTAL ADMINISTRACION				25.621.444	270.186	270.186	74.053	74.053	2.502.956	2.499.722	0	0	2.847.195	2.843.961
TOTAL GASTOS DEL SUBPROYECTO				222.709.440	67.816.831	67.816.831	18.587.258	18.587.258	108.044.477	105.271.045	0	0	194.448.566	191.675.134

8 CONCLUSIONES

Las concentraciones promedio anuales de dióxido de azufre obtenidas en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá, para el período 01 agosto/2006-06 agosto/2007, no sobrepasan la Norma Colombiana Anual de Calidad del Aire de $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$. El promedio anual más alto es de $66.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y se registra en la estación Autopista Norte. El gran aporte de SO_2 reportado en éste sitio de monitoreo se debe a la influencia de la zona industrial circundante, donde se identifica el uso de carbón bituminoso como combustible, proceso que genera emisiones de dióxido de azufre a la atmósfera. A esto se suma la dirección predominante de los vientos en el sector, en el sentido norte-sur, que favorece la dispersión de los contaminantes hacia el sitio de monitoreo.

La Organización Mundial de la Salud, no establece un valor guía anual para el dióxido de azufre, por considerar que el valor guía para 24 horas ($20 \mu\text{g}/\text{m}^3$) asegurará niveles bajos del promedio anual. Las estaciones Autopista Norte, Facultad de Minas, SENA, Avenida Guayabal, Mayorca, Itagüí y Navitrans, superan éste valor guía para la protección de la salud pública. Es importante anotar que el dióxido de azufre es un gas irritante para el sistema respiratorio y puede conducir, con una exposición de larga duración, al incremento de enfermedades de las vías respiratorias como la bronquitis.

La distribución de los niveles de dióxido de azufre en el Área Metropolitana, muestra que las mayores concentraciones se presentan en la zona centro del Valle de Aburrá, observando una asociación con la quema de combustibles tanto a nivel industrial como vehicular. Las estaciones ubicadas en los extremos norte y sur del valle reportan las menores concentraciones de SO_2 y se caracterizan por una menor actividad vehicular en comparación con la actividad que se presenta en el centro de la ciudad de Medellín.

Las concentraciones promedio anuales de dióxido de nitrógeno obtenidas en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá, para el período 01 agosto/2006-06 agosto/2007, no sobrepasan la Norma Colombiana Anual de $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$, sin embargo, sí se supera la Guía Anual de la Organización Mundial de la Salud de $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en 12 de las 15 estaciones de monitoreo. Éste gas puede tener efectos en la salud, al inhalarse en grandes cantidades y penetrar a las vías respiratorias inferiores del pulmón, lo que puede generar respuestas biológicas. Al igual que el dióxido de azufre, los individuos que padecen de asma se encuentran entre la población más susceptible de desarrollar una respuesta de constricción bronquial.

Las estaciones Facultad de Minas y SENA, localizadas cerca a vías de flujo vehicular importante, registran las concentraciones más altas, con valores de 60.7 y 59.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente. En éstos sitios de monitoreo no se identifica la influencia de fuentes fijas de dióxido de nitrógeno, por lo tanto los niveles de contaminación medidos, se consideran representativos de las emisiones producidas por los vehículos. Las concentraciones más bajas se registran en las estaciones Barbosa, Girardota y Copacabana, reflejando la poca actividad vehicular en las vías cercanas. Éstas concentraciones son inferiores al valor guía de la Organización Mundial de la Salud.

La distribución de los niveles de dióxido de nitrógeno a lo largo del Valle de Aburrá, indican una correlación directa con los procesos de combustión asociados al parque automotor. Las concentraciones más altas se registran en las estaciones ubicadas en la zona centro del valle, donde la actividad vehicular es mayor que en el resto del Valle.

Las concentraciones promedio anuales de ozono en las 15 estaciones de monitoreo distribuidas en el Área Metropolitana, para el período 01 agosto/2006 – 06 agosto/2007, son inferiores a los valores límite horario ($120 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y octohorario ($80 \mu\text{g}/\text{m}^3$) establecidos por la Norma Colombiana de Calidad del Aire. Los sitios de monitoreo localizados en la zona norte y sur, a diferencia del comportamiento analizado para el dióxido de azufre y el dióxido de nitrógeno, reportan los mayores niveles de ozono. Éste comportamiento se atribuye a las características de formación del ozono en la atmósfera, por reacciones fotoquímicas de los óxidos de nitrógeno, que al dispersarse en el aire, tiende a acumularse en las laderas. Las características topográficas del valle permiten que las zonas norte y sur actúen como sumideros de ozono. Éste comportamiento se ha identificado también en los estudios de calidad del aire llevados a cabo en el Valle de Aburrá, con medidores automáticos.

Las estaciones Sabaneta y La Estrella, reportan las mayores concentraciones de ozono con valores de 44.2 y 47.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente. Es importante anotar, que los resultados de ozono con métodos pasivos son un indicativo de la contaminación y que el cumplimiento de la norma horaria y octohoraria se deberá verificar con métodos automáticos.

Las concentraciones promedio anuales de benceno registradas principalmente en la zona centro del Valle de Aburrá, para el período comprendido entre el 01 agosto/06 y el 06 agosto/07 superan la Norma Colombiana Anual de Calidad del Aire de $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Las estaciones que superan el valor máximo permisible para benceno en el aire son: Autopista Norte, Museo, Facultad de Minas, SENA, Avenida Guayabal, Mayorca, Itagüí, Navitrans (Autopista Sur) y Sabaneta. La Organización Mundial de la Salud no recomienda un valor seguro de exposición

para éste contaminante, por considerarlo un cancerígeno, por lo tanto en los 15 sitios de monitoreo se está incumpliendo ésta guía mundial para la protección de la salud pública. La situación encontrada en el Área Metropolitana es preocupante si se considera el significado toxicológico que tiene el benceno para el hombre por sus efectos cancerígenos, principalmente leucemia en trabajadores expuestos. En el caso del presente estudio, la población que vive ó transita por los sitios evaluados, se encuentra en riesgo, ya que el benceno puede ser cancerígeno a niveles bajos por largos períodos de exposición.

Las concentraciones más altas se registran en las estaciones SENA, Facultad de Minas e Itagüí, donde el valor permisible anual es superado en un 54%, 56% y 64% respectivamente. Estos niveles están asociados directamente con las emisiones de los vehículos que funcionan a gasolina, como taxis, particulares, camionetas y microbuses que todavía utilizan la gasolina como combustible.

No se reporta problema de contaminación del aire por tolueno, etilbenceno y xilenos en las 15 estaciones de monitoreo distribuidas en el Área Metropolitana. Las concentraciones son inferiores a la Norma Colombiana Semanal para tolueno de $260 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y en el caso del etilbenceno y los xilenos, los valores están por debajo de la Guía Anual de la Organización Mundial de la Salud de $22.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $870 \mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente.

Las concentraciones de BTX tienen una relación directa con las emisiones de los vehículos que funcionan a gasolina, debido a la adición de compuestos aromáticos con el fin de mejorar el octanaje del combustible, particularmente en Colombia, se aumenta el índice de octano de 60 hasta 94 para el caso de la gasolina extra. En el Área Metropolitana los valores críticos están siendo detectados en vías de importante flujo vehicular, como la Autopista Norte en la confluencia con la vía Medellín-Bogotá, la Avenida 80 en el cruce con la calle 65, la Avenida Regional a la altura del SENA, la Avenida Guayabal con calle 7 y la Autopista Sur con carrera 50.

En 12 de las 15 estaciones de monitoreo distribuidas en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá, se sobrepasa la Norma Anual Suiza de $6 \text{ t}/\text{km}^2$ -30 días. Sólo las estaciones Barbosa, Girardota y Museo reportan tasas de sedimentación de partículas inferiores a dicha norma. Las vías cercanas a las estaciones Barbosa y Girardota se caracterizan por la poca actividad vehicular en comparación con las vías de la zona centro del Área Metropolitana. En el caso de la estación Museo, ubicada en la zona centro de Medellín, es posible que por ser la estación de monitoreo de mayor altura sobre el nivel del suelo (17.2 m), no se alcanza a captar el polvo generado en la Avenida de Greiff (calle 52). Las estaciones Autopista Norte, Navitrans, Itagüí y Sabaneta reportan promedios anuales superiores a la Norma Argentina de $10 \text{ t}/\text{km}^2$ -30 días. La mayor tasa de sedimentación de

partículas promedio se registra en la estación Navitrans, la cual se caracteriza por medir el impacto del flujo vehicular de la Autopista Sur. Es de anotar que entre el 17 de enero y el 7 de marzo de 2007, se registraron trabajos de repavimentación en la vía, afectando la medición de partículas sedimentables en dicho período.

La resuspensión de polvos en las vías y el desgaste de los neumáticos en los vehículos se encuentran entre las principales causas de la presencia del material particulado sedimentable en el aire. Las actividades de construcción y demolición en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá son otra fuente importante de emisión de éste contaminante, en donde se llevan a cabo procesos de trituración y pulverización de grandes partículas.

9 RECOMENDACIONES

- El monitoreo pasivo de contaminantes en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá, identifica sectores con contaminación crítica y evalúa de manera sencilla, la evolución de los contaminantes durante el monitoreo. Éstos resultados deben ser validados por los métodos activos estándar, en el caso que se tengan valores muy cercanos al límite establecido por la norma. En el centro del Área Metropolitana se identifica un sector desde la estación Autopista Norte hasta la de Navitrans (Autopista Sur), donde se debe hacer un seguimiento de los niveles de dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno y benceno de acuerdo a las zonas críticas de contaminación mostradas en los esquemas del capítulo 6.8.
- Los resultados del monitoreo pasivo de contaminantes pueden ser utilizados por la Red de Monitoreo de la Calidad del Aire del Valle de Aburrá para la ubicación de equipos activos manuales y automáticos en sitios estratégicos donde se identificaron valores superiores o cercanos a la norma. Por ejemplo, en la estación del SENA, se debe considerar una nueva estación de monitoreo para la Red, ya que registra las concentraciones más altas de benceno y dióxido de nitrógeno, las cuales son representativas de las emisiones de los vehículos que circulan por la Avenida Regional y la Avenida Ferrocarril. Es importante anotar que a pesar de la presencia de árboles en los alrededores del SENA, las emisiones de los vehículos que circulan por la Avenida Regional, se dispersan en el aire por acción del viento y son detectadas en el sitio de monitoreo.
- En el sector donde se ubicó la estación Autopista Norte, se debe verificar el cumplimiento de la Norma Colombiana Anual de Calidad del Aire para dióxido de azufre con equipos activos manuales ó equipos automáticos, debido a los altos niveles encontrados con los métodos pasivos. Es probable que la zona industrial esté afectando la calidad del aire de los habitantes de las zonas aledañas.
- De acuerdo con los resultados de ozono que se vienen reportando en el estudio, se debe continuar con el seguimiento en las zonas de ladera del Valle de Aburrá, ya que en la zona centro no se alcanzan a medir concentraciones importantes de éste contaminante. En éste sentido la Red de Monitoreo de la Calidad del Aire del Valle de Aburrá debe reubicar los medidores de ozono hacia las zonas de ladera en donde se observa la presencia de éste contaminante.

- En el caso de los compuestos orgánicos volátiles (BTX), que aun no están siendo medidos por la Red, los resultados del presente estudio servirán como línea base para el seguimiento futuro de éste contaminante. Los niveles de benceno obtenidos son preocupantes desde el punto de vista epidemiológico y de calidad de vida de los habitantes del Área Metropolitana. Por ésta razón se debe continuar con el monitoreo en la zonas identificadas como críticas y ampliar la cobertura de medición a otras intersecciones viales con alto flujo vehicular, tales como la Calle San Juan con la Carrera 80, la Calle San Juan con la Avenida Ferrocarril, otros puntos en la Avenida Regional.
- El Área Metropolitana del Valle de Aburrá, en su función de autoridad ambiental, debe empezar a revisar los niveles máximos permisibles de BTX en su jurisdicción, teniendo en cuenta los resultados del presente proyecto y de estudios epidemiológicos. En éste caso se propone la elaboración de una malla de puntos de muestreo más densa en la zona centro del Área Metropolitana del Valle de Aburrá, desde Bello hasta Caldas, en los cuales los niveles están cercanos a los valores límite ó lo superan.
- Las Autoridades Ambientales deben tomar acciones coercitivas para que ECOPETROL mejore la calidad de los combustibles especialmente reduciendo el contenido de hidrocarburos aromáticos. Ya existe el problema epidemiológico y de afectación de la salud así no se hayas efectuado los estudios.
- ECOPETROL debe incluir en su Plan Decenal la disminución de azufre e hidrocarburos aromáticos como el benceno en los combustibles, para ser implementados en los primeros 2 años.
- Al revisar el Inventario de Emisiones de Fuentes Fijas del Área Metropolitana del Valle de Aburrá - 2005, se notó la deficiencia en información que es importante para conocer la calidad de los combustibles. Por ejemplo, la procedencia del carbón es importante para verificar el contenido de azufre de éste combustible. Se propone al Área Metropolitana del Valle de Aburrá que realice una segunda etapa del Inventario en la que se incluya la procedencia de los combustibles.
- En concordancia con el estudio realizado, el Área Metropolitana del Valle de Aburrá debe presentarle al Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, como propuesta de nueva norma de calidad del aire, la Norma Europea EN 13528 de 2003 que aprueba el uso de captadores difusivos para la determinación de las concentraciones de gases y vapores en el aire ambiente. Los métodos pasivos ofrecen ventajas en comparación con los métodos activos manuales y automáticos, por su bajo costo, manejo sencillo y

sus aplicaciones para la evaluación de tendencias de contaminación a largo plazo, la determinación de zonas críticas, el diseño y optimización de redes de monitoreo automáticas, entre otras. Los captadores difusivos son ampliamente utilizados en Europa. Por ejemplo, en Francia han sido validados para la determinación de la contaminación por ozono y sus efectos en la salud (Nadine *et al*, 1999); en Alemania se han realizado mediciones de dióxido de nitrógeno en sitios con tráfico vehicular importante (Pfeffer *et al*, 2006).

- El Área Metropolitana del Valle de Aburrá debe realizar mediciones simultáneas con los captadores difusivos y con los equipos automáticos, para poder establecer correlaciones entre ambas metodologías. También es importante implementar el uso de duplicados en las mediciones con captadores difusivos, para disminuir el porcentaje de incertidumbre del método y para asegurar la información en el sitio de monitoreo.
- El Ministerio de Ambiente debe establecer e incluir en la Norma de Calidad del Aire el valor máximo permisible de polvo sedimentable. La Norma ASTM D1739-98 para polvo sedimentable, establecida en el “Protocolo para la Vigilancia y Seguimiento del Módulo Aire en el Sistema de Información Ambiental”, del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), se debe seguir aplicando en los estudios de calidad del aire en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá, para el seguimiento del impacto generado por las vías y el rodamiento de los vehículos.
- El uso de la metodología de polvo sedimentable en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá es un buen mecanismo para el seguimiento de las actividades de construcción y de mantenimiento de vías y permite a la Autoridad Ambiental ejercer un control en los tiempos de ejecución de éste tipo de obras.
- El Área Metropolitana debe trabajar mancomunadamente con las Secretarías de Tránsito y Transporte Municipales en una estrategia de rediseño de rutas de alto tráfico vehicular.
- El Sistema de Transporte Masivo Metroplús debe emplear combustibles limpios dado los resultados del presente estudio que mostraron niveles de benceno superiores a la Norma Colombiana. Así como niveles preocupantes de dióxidos de azufre y nitrógeno, los cuales provienen de los combustibles actuales y que permiten identificar zonas críticas de contaminación.
- El Área Metropolitana y las Secretarías de Tránsito y Transporte Municipales deberán establecer una estrategia para aumentar los factores de ocupación de los vehículos que transitan por vías de alto flujo vehicular y en el caso de los taxis, restringir su movilidad cuando se encuentran sin pasajeros. De la misma

manera se sugiere que se diseñen campañas educativas que incentiven el uso de los acopios de taxis y colectivos. Adicionalmente, se recomienda estudiar el pico y placa para las motos ya que ellas consumen gasolina y aumentan la concentración de benceno.

- El Área Metropolitana deberá poner en consideración de la Red de Monitoreo de la Calidad del Aire del Valle de Aburrá los resultados del estudio con el fin de ser asimilado dentro de los procedimientos metodológicos para la recolección de información de calidad del aire.

BIBLIOGRAFÍA

- Bedoya, J., 2002. El Hombre y su Ambiente. Universidad Nacional de Colombia. pp. 121-122.
- Brown, R.H., 2000. Monitoring the ambient environment with diffusive samplers: theory and practical considerations. *Journal of Environmental Monitoring*, Vol 2, No 1. pp 1-9.
- Capó Martí, M., 2002. Principios de Ecotoxicología. Diagnóstico, Tratamiento y Gestión del Medio Ambiente. McGraw-Hill. pp 57-76.
- CIEMAT (Editor), 2002. Química analítica de los Contaminantes Medioambientales. Serie ponencias. Ed. Ciemat, Madrid, España.
- Delgado, J., 2004. Validación e implementación de técnicas de captación pasiva para el estudio de los niveles y efectos de ozono troposférico y dióxido de nitrógeno en un área costera mediterránea. Universitat Jaume. 567 p.
- De Nevers, N., 1998. Ingeniería de Control de la Contaminación del Aire. McGraw-Hill. 1998. pp 188–189.
- Directiva 96/62/CE del Consejo de 27 de septiembre de 1996 sobre evaluación y gestión de la calidad del aire ambiente. Unión Europea.
- Directiva 1999/30/CE del Consejo de 22 de abril de 1999 relativa a los valores límite de dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno y óxidos de nitrógeno, partículas y plomo en el aire ambiente. Unión Europea.
- Directiva 2000/69/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 16 de noviembre de 2000, sobre los valores límite para el benceno y el monóxido de carbono en el aire ambiente.
- Directiva 2002/3/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 12 de febrero de 2002, relativa al ozono en el aire ambiente.
- EN 13528-3: Calidad del aire ambiente. Captadores difusivos para la determinación de las concentraciones de gases y vapores. Requisitos y métodos de ensayo. *Parte 3: Guía para la selección, uso y mantenimiento*. 2004. Versión en español de la Norma Europea EN 13528-3 de diciembre de 2003.

- Hangartner, M., 1996. Diffusive Sampling as an Alternative approach for developing countries, World Congress on Air Pollution in Developing Countries. Swiss Federal Institute of Technology, Zurich, Switzerland, Costa Rica.
- Henao, E., 1993. Generalidades y fuentes de generación de material particulado. En: Curso Contaminación del aire por material particulado. AINSA. Medellín.
- Liu, L.J.S., Koutrakis, P., Leech, J. and Broder, I., 1995. Assessment of Ozone Exposures in the Greater Metropolitan Toronto Area. Journal of the Air & Waste Management Association. Vol 45, No 4. pp 223-234.
- Nadine, B. *et al.*, 1999. Ozone Measurement with Passive Samplers: Validation and Use for Ozone Pollution Assessment in Montpellier, France. Environmental Science & Technology. Vol 33, No 2. pp 217 – 222.
- Nieto, O., 1993. Efectos en la salud de la contaminación por material particulado. En: Curso Contaminación del aire por material particulado. AINSA. Medellín.
- Ogawa, 1998. NO, NO₂, NO_x and SO₂ Sampling Protocol Using The Ogawa Sampler.
- OMS, 2004. Guías para la Calidad del Aire. Traducción del Informe de la Reunión de un Grupo de Trabajo de Expertos de la OMS desarrollada en Ginebra, Suiza en diciembre de 1997. Lima.
- OMS, 2005. Guías de Calidad del Aire. Actualización Mundial 2005. Informe de la Reunión del Grupo de Trabajo. Bonn, Alemania.
- Passam, 2003. Muestreos pasivos para benceno. Protocolo suministrado por Laboratório de análisis del médio ambiente, Passam ag. Suiza. 2p.
- Passam, 2003. Muestreos pasivos para dióxido de nitrógeno. Protocolo suministrado por el Laboratório de análisis del médio ambiente, Passam ag. Suiza. 2p.
- Passam, 2003. Muestreos pasivos para ozono. Protocolo suministrado por el Laboratório de análisis del médio ambiente, Passam ag. Suiza. 2p.
- Passam, 2003. Muestreos pasivos para el dióxido de azufre. Protocolo suministrado por el Laboratório de análisis del médio ambiente, Passam ag. Suiza. 2p.

- Pfeffer, U., Beier, R. and Zang, T., _____. Measurements of Nitrogen Dioxide with Diffusive Samplers at Traffic-Related Sites in North Rhine-Westphalia (Germany). Performance Characteristics and Measurement Uncertainty.
- Radiello, 2006. Diffusive Sampling System. Manual. 56p.
- Rave, C., 2005. Evaluación Integrada Ambiente - Energía - Economía para la Planificación Sostenible de Núcleos Locales, Caso de Aplicación Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Tesis de Maestría en Aprovechamiento de Recursos Hidráulicos. Universidad Nacional de Colombia. 169 p.
- Resolución 601 del 4 de abril de 2006. Norma de Calidad del Aire. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial de Colombia.
- Universidad de Antioquia y Corantioquia, 2004. Construcción de la línea base de Calidad de Calidad del Aire en 10 municipios de la jurisdicción de Corantioquia. Informe Final.
- Unión Temporal Universidad de Antioquia - Universidad Pontificia Bolivariana, 2006. Corantioquia y Construcción de la línea base de Calidad de Calidad del Aire en 15 municipios de la jurisdicción de Corantioquia. Informe Final.
- Universidad Pontificia Bolivariana y Corantioquia, 2005. Evaluación de la Calidad del Aire en Zonas Rurales del Valle de Aburrá. Informe Final.